

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS (UNISINOS)
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO PÚBLICO
NÍVEL DOUTORADO**

DANIELE WEBER S. LEAL

**ESTRATÉGIAS AUTORREGULATÓRIAS NO CENÁRIO DE RISCOS
DOS RESÍDUOS NANOTECNOLÓGICOS A PARTIR DA ECONOMIA CIRCULAR:
Uma Proposta de Rastreabilidade dos Nanomateriais**

São Leopoldo

2023

DANIELE WEBER S. LEAL

**ESTRATÉGIAS AUTORREGULATÓRIAS NO CENÁRIO DE RISCOS
DOS RESÍDUOS NANOTECNOLÓGICOS A PARTIR DA ECONOMIA CIRCULAR:
Uma Proposta de Rastreabilidade dos Nanomateriais**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Direito Público, pelo Programa de Pós-Graduação em Direito da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador: Prof. Dr. Wilson Engelmann

São Leopoldo

2023

L435e

Leal, Daniele Weber S.

Estratégias autorregulatórias no cenário de riscos dos resíduos nanotecnológicos a partir da economia circular : uma proposta de rastreabilidade dos nanomateriais / Daniele Weber S. Leal. – 2023.
397 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Direito, 2023.

“Orientador: Prof. Dr. Wilson Engelmann”

1. Autorregulação. 2. Economia circular. 3. Fragmentos constitucionais de Teubner. 4. Gestão de risco nanotecnológico. 5. Nanotecnologias. I. Título.

CDU 34

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecária: Silvana Domelles Studzinski – CRB 10/2524)

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO – PPGD
NÍVEL DOUTORADO

A tese intitulada: “**ESTRATÉGIAS AUTORREGULATÓRIAS NO CENÁRIO DE RISCOS DOS RESÍDUOS NANOTECNOLÓGICOS A PARTIR DA ECONOMIA CIRCULAR: Uma Proposta de Rastreabilidade dos Nanomateriais**”, elaborada pela doutoranda **Daniele Weber da Silva Leal**, foi julgada adequada e aprovada por todos os membros da Banca Examinadora para a obtenção do título de DOUTORA EM DIREITO.

São Leopoldo, 12 de maio de 2023.



Prof. Dr. Anderson Vichinkeski Teixeira,
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Direito.

Apresentada à Banca integrada pelos seguintes professores:

Presidente: Dr. Wilson Engelmann _____ *Participação por Webconferência*

Membro Externo: Dr. André Rafael Weyermüller _____ *Participação por Webconferência*

Membro Externo: Dr. Reginaldo Pereira _____ *Participação por Webconferência*

Membro: Dr. Leonel Severo Rocha _____ *Participação por Webconferência*

Membro: Dra. Raquel von Hohendorff _____ *Participação por Webconferência*

AGRADECIMENTOS À CAPES

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, a qual dedico meus maiores agradecimentos pela concessão do benefício da bolsa, sem a qual não teria condições de alcançar este grande sonho acadêmico. Destaco ainda o trabalho essencial da instituição no fomento e difusão da ciência, principalmente levando em consideração o descrédito por parte dos governantes na importância na educação.

Dedico a tese as pessoas que são a razão da minha vida, do meu esforço diário, da minha evolução como ser humano: Pedro, Filippo, Marcelo, Ieda e Paulo.

AGRADECIMENTOS

Torna-se quase uma missão mais difícil que a construção da tese colocar em palavras os meus agradecimentos. O que posso afirmar com convicção é que são feitos do fundo da alma, com todo carinho possível vindo do meu coração.

Abdicar de tanto tempo em família, daquelas horas de lazer dos finais de semana, e até mesmo o descanso noturno diário faz todo o processo do doutorado uma fase tão difícil, de introspecção, de crescimento intelectual. Contudo, na mesma medida torna-se um dos momentos mais especiais da minha vida, alcançar tal desenvolvimento acadêmico sempre foi um sonho.

Assim, após perder tantos momentos importantes com as pessoas mais especiais da minha existência, começo meus agradecimentos demonstrando - o que aqui se traduzirá em uma simples parcela - gratidão eterna ao Marcelo, meu marido, aquele que acompanhou minha jornada acadêmica desde o início. A pessoa que posso dizer ser meu refúgio nos momentos de tempestade, meu alicerce em tempos de desespero (pois a tese traz desses sentimentos, e como). Do seu jeito único, me deu e sempre dá todo suporte para que eu possa trilhar em caminhos tão difíceis. Mesmo com tantas adversidades, com preconceito pelo simples fato de ser mulher e mãe, graças a sua ajuda eu consegui! Nunca imaginei este e qualquer outro caminho sem você ao meu lado. Obrigada pela paciência também meu pequeno filho, Pedro, que no auge dos seu 1 ano e 3 meses nem consegue compreender o momento, mas o qual certamente sentiu minha falta em alguns momentos na hora de dormir, ou naqueles dias inteiros que me fiz tão ausente. E Filippo, que ainda está no meu ventre mas literalmente sentiu todas as minhas emoções, enfrentou comigo os medos e angústias. Mas esse sonho é a esperança de proporcionar uma vida melhor a vocês meus amores, meus filhos.

Outro agradecimento especial vai aos meus pais, Ieda e Paulo, que sempre estiveram ao meu lado, dado todo tipo de apoio. Destaco que minha determinação e persistência nada mais são do que reflexo desta mulher que é um exemplo de vida e profissional. E minha alegria e resiliência são origem do meu pai, que independente da situação consegue abrir um sorriso e extrair o seu melhor.

Gratidão eterna ao meu professor orientador, Dr. Wilson Engelmann, o qual me honrou desde o mestrado com a oportunidade de segui-lo neste caminho. Após tantos anos posso afirmar que és um ser humano único, sensível, preocupado,

amigo, e como profissional me faltaria espaço para preencher todas suas qualificações. Um pesquisador que merece todas as letras maiúsculas, reflexo do seu trabalho e empenho na comunidade acadêmica. Aquele verdadeiro mestre que além de vetor do conhecimento, é um amigo para todas as horas, o qual desde o mestrado nunca largou minha mão. Fica aqui meu agradecimento mais sincero, minha admiração eterna ao melhor professor que tive a honra de conhecer. Conte sempre com sua eterna orientanda.

Falando em seres humanos especiais, não poderia de agradecer a minha amiga do coração, e exemplo de professora, Dra. Raquel Von Hohendorff. Você é um ser de luz, que sempre iluminou minha trajetória nos momentos mais nebulosos, estendendo a mão, disponibilizando-se a ouvir, me ajudando mais do que qualquer outra pessoa poderia fazer. Ratifico aqui o que venho afirmando desde que reconheci a importância da tua amizade na minha vida: sorte a minha ter cruzado teu caminho! Independente da finalização desta etapa, nossa amizade permanecerá, assim como minha admiração por ti como esta pesquisadora e professora maravilhosa que és.

Meu carinho e gratidão a Maria Alice Santos, a qual participou desta etapa do doutorado assim como no mestrado, emprestando sua expertise numa área tão complexa para nós, auxiliando na correção e formatação da tese. Profissional exemplar que faz tudo com o coração, coração este de uma verdadeira mãe, que por essa razão merece cada palavra de carinho e afeto, pois transcende o profissional. Sempre recordarei de você falando: não te preocupas que tudo dará certo, fica tranquila, não podes te estressar! E de fato me trazendo mais tranquilidade nesse processo conturbado. Obrigada sempre!

Preciso agradecer ainda a todos os demais professores do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS, pelos ensinamentos, por serem exemplos de pesquisadores, pela brilhante condução em todas as aulas para que nós, alunos, estivéssemos aptos a levar adiante o nome da UNISINOS.

Agradeço a FAPERGS e ao meu orientador pelo privilégio do intercâmbio acadêmico na Espanha, em janeiro e fevereiro de 2020, originário do Projeto de Internacionalização nº 06/2018, pelo qual tive a honra de levar nossas pesquisas à Universidade de Santiago de Compostela. Obrigada ao professor Dr. Jose Julio Fernandez Rodriguez pela acolhida e coorientação na minha estada na universidade.

À CAPES pela bolsa concedida, sem a qual não teria condições de tornar o sonho do doutorado uma realidade.

Se você não encontrar nada nos corredores, abra as portas; se você não encontrar nada atrás dessas portas, há outros andares; e se você nada encontrar lá em cima, não se preocupe, simplesmente salte para outro lance. Se você não parar de subir, as escadas jamais terminarão; sob seus pés escaldadores, elas continuarão a se desdobrar para cima (KAFKA, 1988, p. 451).

RESUMO

Esta tese pretende demonstrar os impactos da Revolução Nanotecnológica na sociedade contemporânea, situada no cenário da Quarta Revolução Industrial. Analisar as complexidades desta tecnologia, que vão desde as mesmas características que tornam os nanomateriais diferenciados e benéficos ao passo que também geram inquietações e dúvidas quanto ao risco, acerca de seu comportamento especialmente quanto a sua interação com o ecossistema. O recorte deste estudo recai sobre os resíduos nanotecnológicos, ou *nanowaste*, com destaque ao nanoplástico, que se inserem numa conjuntura de risco e a necessidade de adoção de desenvolvimento sustentável e destino final mais seguro. Pretende-se fomentar a pesquisa empírica com proposta de revisão sistemática da literatura, especialmente no Portal de Periódicos da CAPES, a partir de palavras-chaves de busca, com posterior análise dos dados extraídos, vislumbrando a pertinência da pesquisa na comunidade científica. O problema desta Tese de Doutorado apresenta os seguintes contornos estruturantes sobre a ausência regulatória específica para os resíduos nanotecnológicos, e de que forma a adoção da Economia circular pelas empresas, fundadas na (nano)sustentabilidade poderá efetivar a implementação da rastreabilidade dos nanoprodutos (de berço ao berço), e dos resíduos nanotecnológicos, que conseqüentemente, efetivará gestão do risco e autorregulação, num espaço iluminado pela sustentabilidade exigida neste cenário permeado por incertezas e riscos nanotecnológicos, em respeito ao objetivo maior das ODS 9 e 12 da Organização das Nações Unidas (ONU). Ademais, busca-se construir os elementos estruturantes para a necessária (auto)regulação com fundamentos nos Fragmentos Constitucionais de Teubner, que identifica novos atores e espaços inéditos de autorregulação, através da adoção de medidas sustentáveis impostas neste cenário de “*riscos nanotecnológicos*”, apresentando como alternativa possível projeto para “*rastreabilidade de resíduos nanotecnológicos*” – fundado nos próprios princípios basilares da Economia Circular - efetivando paralelo com o Projeto de Lei que tramita na Câmara de Deputados nº 7.088, de 2017, de Rômulo Gouveia, o qual 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 objetivo geral da tese é estudar alternativa autorregulatória frente a ausência específica para nanoprodutos e resíduos nanotecnológicos. Para

tanto, analisar-se-á de que forma a adoção da Economia circular pelas empresas, fundadas na (nano)sustentabilidade, poderá efetivar a implementação da rastreabilidade dos nanoprodutos e resíduos nanotecnológicos, realizando ainda o recorte específico no nanoplástico como uma nova atenção dentro dos resíduos. A base autorregulatória será explorada através de instrumentos com potencial regulatório da União Europeia, com foco na OECD. A investigação se dará através da metodologia sistêmico-construtivista, com análise funcional (LUHMANN). Como considerações finais apresenta-se a viabilidade da adoção da economia circular com base na (nano)sustentabilidade, bem como possibilidade de implementação da rastreabilidade dos nanomateriais através de estruturas autorregulatórias.

Palavras-chave: nanotecnologias; *nanowaste*; nanoplástico; economia circular; rastreabilidade; gestão de risco nanotecnológico; autorregulação; Fragmentos Constitucionais de Teubner.

ABSTRACT

This thesis intends to demonstrate the impacts of the Nanotechnological Revolution in contemporary society, situated in the scenario of the Fourth Industrial Revolution. Analyze the complexities of this technology, ranging from the same characteristics that make nanomaterials different and beneficial, while also generating concerns and doubts about the risk, about their behavior, especially regarding their interaction with the ecosystem. The focus of this study is on nanotechnological waste, or nanowaste, with emphasis on nanoplastics, which are part of a situation of risk and the need to adopt sustainable development and a safer final destination. It is intended to encourage empirical research with a proposal for a systematic review of the literature, especially in the CAPES Periodicals Portal, based on search keywords, with subsequent analysis of the extracted data, envisioning the pertinence of the research in the scientific community. The problem of this Doctoral Thesis presents the following structuring contours about the absence of specific regulations for nanotechnological waste, and how the adoption of the Circular Economy by companies, founded on (nano)sustainability, can implement the implementation of traceability of nanoproducts (from cradle to the cradle), and of nanotechnological waste, which, consequently, will effect risk management and self-regulation, in a space illuminated by the sustainability required in this scenario permeated by nanotechnological uncertainties and risks, in respect of the greater objective of SDGs 9 and 12 of the United Nations (UN). In addition, it seeks to build the structuring elements for the necessary (self)regulation based on Teubner's Constitutional Fragments, which identifies new actors and unprecedented spaces of self-regulation, through the adoption of sustainable measures imposed in this scenario of “*nanotechnological risks*”, presenting as a possible alternative, a project for “*traceability of nanotechnological waste*” – based on the very basic principles of the Circular Economy – in parallel with the Bill pending in the Chamber of Deputies nº 7.088, of 2017, by Rômulo Gouveia, which amends Law nº 12,305, of 2010, which establishes the National Solid Waste Policy, to provide for the tracking of hazardous waste. The general objective of the thesis is to study a self-regulatory alternative in the face of a specific absence for nanoproducts and nanotechnological residues. To this end, it will be analyzed how the adoption of the Circular Economy by companies, founded on (nano)sustainability, can implement the traceability of nanoproducts and

nanotechnological residues, also carrying out the specific focus on nanoplastics as a new attention within of waste. The self-regulatory basis will be explored through instruments with regulatory potential in the European Union, with a focus on the OECD. The investigation will be carried out using the systemic-constructivist methodology, with functional analysis (LUHMANN). As final considerations, the feasibility of adopting the circular economy based on (nano)sustainability is presented, as well as the possibility of implementing traceability of nanomaterials through self-regulatory structures.

Key-words: nanotechnologies; *nanowaste*; nanoplastic; circular economy; traceability; nanotechnology risk management; self-regulation; Teubner's Constitutional Fragments.

RESUMEN

Esta tesis pretende demostrar los impactos de la Revolución Nanotecnológica en la sociedad contemporánea, situada en el escenario de la Cuarta Revolución Industrial. Analizar las complejidades de esta tecnología, que van desde las mismas características que hacen diferentes y beneficiosos a los nanomateriales, hasta generar inquietudes y dudas sobre el riesgo, sobre su comportamiento, especialmente en cuanto a su interacción con el ecosistema. El foco de este estudio está en los residuos nanotecnológicos, o nanoresiduos, con énfasis en los nanoplásticos, que forman parte de una situación de riesgo y de la necesidad de adoptar un desarrollo sostenible y un destino final más seguro. Se pretende incentivar la investigación empírica con una propuesta de revisión sistemática de la literatura, especialmente en el Portal de Periódicos de la CAPES, a partir de palabras clave de búsqueda, con posterior análisis de los datos extraídos, vislumbrando la pertinencia de la investigación en la comunidad científica. El problema de esta Tesis Doctoral presenta los siguientes contornos estructurantes acerca de la ausencia de normativa específica para los residuos nanotecnológicos, y cómo la adopción de la Economía Circular por parte de las empresas, fundamentada en la (nano)sostenibilidad, puede implementar la implantación de la trazabilidad de los nanoproductos (desde la cuna hasta la cuna), y de los residuos nanotecnológicos, que, en consecuencia, efectuarán la gestión de riesgos y la autorregulación, en un espacio iluminado por la sustentabilidad requerida en este escenario permeado por incertidumbres y riesgos nanotecnológicos, respecto del objetivo mayor de los ODS 9 y 12 de las Naciones Unidas (ONU). Además, busca construir los elementos estructurantes para la necesaria (auto)regulación a partir de los Fragmentos Constitucionales de Teubner, que identifica nuevos actores y espacios inéditos de autorregulación, a través de la adopción de medidas sostenibles impuestas en este escenario de “*riesgos nanotecnológicos*”, presentando como posible alternativa, un proyecto de “*trazabilidad de residuos nanotecnológicos*” –basado en los principios básicos de la Economía Circular– en paralelo al Proyecto de Ley en trámite en la Cámara de Diputados nº 7.088, de 2017, de Rômulo Gouveia, que modifica la Ley nº 12.305, de 2010, que establece la Política Nacional de Residuos Sólidos, para prever el seguimiento de residuos peligrosos. El objetivo general de la tesis es estudiar una alternativa de autorregulación ante una ausencia

específica de nanoproduitos y residuos nanotecnológicos. Para ello, se analizará cómo la adopción de la Economía Circular por parte de las empresas, fundamentada en la (nano)sostenibilidad, puede implementar la trazabilidad de los nanoproduitos y residuos nanotecnológicos, realizando además el foco específico en los nanoplásticos como una nueva atención dentro de los residuos. La base de autorregulación se explorará a través de instrumentos con potencial regulatorio en la Unión Europea, con un enfoque en la OCDE. Como consideraciones finales, se presenta la viabilidad de adoptar la economía circular basada en la (nano)sostenibilidad, así como la posibilidad de implementar la trazabilidad de los nanomateriales a través de estructuras de autorregulación.

Palabras clave: nanotecnologías; residuos nanotecnológicos; nanoplástico; economía circular; trazabilidad; gestión de riesgos de nanotecnología; autorregulación; Fragmentos Constitucionales de Teubner.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Eric Drexler	42
Figura 2 - A nanoescala e os nanomateriais (naturais e engenheirados)	44
Figura 3 - Uso de nanopesticidas na agricultura: vantagens vs riscos ambientais....	44
Figura 4 - As quatro ondas da Revolução Industrial.....	48
Figura 5 - Nova Revolução Industrial	49
Figura 6 - Etapas de contaminação do <i>nanowaste</i> no meio ambiente	66
Figura 7 - Liberação ambiental de ENMs durante diferentes fases de desenvolvimento de produtos habilitados para nano	66
Figura 8 - O contato endógeno e exógeno ao <i>nanowaste</i>	67
Figura 9 - SARS-CoV-2 como nanopartícula.....	69
Figura 10 - nanomateriais em tecidos para combate COVID-19.....	71
Figura 11 - Desafios principais para nanosegurança	78
Figura 12 - ECHA demanda uma hipótese de abordagem dirigida	79
Figura 13 - Relação esquemática da nanotoxicologia com as propriedades físico-químicas dos nanomateriais.....	80
Figura 14 - Riscos emergentes das nanotecnologias.....	82
Figura 15 - Diagrama sobre risco	83
Figura 16 - As novas tecnologias trazem riscos que precisam ser equilibrados com seus benefícios	83
Figura 17 - Ranking do risco Allianz.....	86
Figura 18 - Graphene	87
Figura 19 - GRACIOUS framework	95
Figura 20 - Input from live cycle	95
Figura 21 - Pensando o ciclo de vida para produtos circulares	96
Figura 22 - Ciclo de vida das nanopartículas e diferentes momentos de possíveis liberações ambientais.....	98
Figura 23 - Lista de projetos da OCDE sobre diretrizes de teste e documentos de orientação para nanomateriais, em andamento ou concluído (2017 – 22 de junho).....	99
Figura 24 - Estudos feitos para análise dos efeitos nos sistemas, comportamento ambiental e destino das nanopartículas	100
Figura 25 - Projetos com estudos sobre efeitos na saúde	100
Figura 26 - Ciclo de vida dos nanomateriais	105

Figura 27 - Possíveis rotas de vazamento de ENMs em operações de tratamento de resíduos	113
Figura 28 - Método ecológico de reciclagem de nanopartículas de lixo eletrônico por biolixiviação	116
Figura 29 - Estratégias para mitigação do <i>nanowaste</i>	117
Figura 30 - Campanha ONU Mares Limpos, 2017	124
Figura 31 - Dia mundial oceanos e poluição plástica	125
Figura 32 - Origem do plástico	125
Figura 33 - Ilha de Plástico e origem dos resíduos	126
Figura 34 - Maldivas e plástico	128
Figura 35 - Formas de exposição ao nanoplástico	131
Figura 36 - A nova geração de bebês com (nano)plásticos	133
Figura 37 - Resíduo industrial e eletrônico	136
Figura 38 - Produtos nanocosméticos	139
Figura 39 - Produtos alimentícios com nanotecnologia	140
Figura 40 - Economia circular visão OECD	147
Figura 41 - Indústria X.0	148
Figura 42 - Projeção OECD	149
Figura 43 - Novos materiais, nanotecnologia e meios de energia são tecnologias físicas facilitadoras à economia circular	150
Figura 44 - Três drivers que sustentam a mudança para circular	151
Figura 45 - Panorama 3 bilhões de novos consumidores em 2030	151
Figura 46 - Sustentabilidade, proteção ambiental, saúde e segurança	155
Figura 47 - Dados atuais estatísticos sobre os países registrados no EMAS e áreas atuação	161
Figura 48 - Certificação nano Plataforma NPD	165
Figura 49 - Vantagens dos ecoselos	166
Figura 50 - Evolução da economia circular	171
Figura 51 - Modelo linear SENAI	172
Figura 52 - Cadeia de valores da economia linear	172
Figura 53 - Situando a economia linear, a economia circular e seus atores no controle	174
Figura 54 - Ciclo da economia circular	175
Figura 55 - Aspectos da economia circular no resíduo plástico	176

Figura 56 - Modelo de transição linear – circular.....	177
Figura 57 - Foco na mudança para centralidade do consumidor e modelos de negócios implementados.....	179
Figura 58 - Cadeia de valores circular.....	180
Figura 59 - Modelos de negócios redefinem ecossistemas de negócios	181
Figura 60 - Diagrama economia circular	182
Figura 61 - Formas de recirculação de recursos.....	183
Figura 62 - Políticas globais de economia circular	184
Figura 63 - Definição economia circular	185
Figura 64 - Cenário “oferta” e “demanda”.....	187
Figura 65 - Evolução da economia circular	188
Figura 66 - Da economia linear à economia circular	190
Figura 67 - Os 15 movimentos sustentáveis	195
Figura 68 - Representação geográfica dos movimentos	198
Figura 69 - Hierarquia de resíduos e economia circular	200
Figura 70 - Riscos e incertezas	200
Figura 71 - Apresentação geral dos ODS	220
Figura 72 - Mandala representativa do ODS 9.....	227
Figura 73 - Intersecções das ODS'S	228
Figura 74 - ODS 12 e economia circular	229
Figura 75 - Empresas europeias com produção circular	232
Figura 76 - Rastreabilidade alimentos.....	245
Figura 77 - Etiqueta de identificação	253
Figura 78 - Fluxo processo operacional	257
Figura 79 - Responsabilidades das partes na logística reversa (Art. 33 PNRS)	265
Figura 80 - Geração de <i>nanowastes</i> e vias de exposição em sistemas ecológicos	266
Figura 81 - Estruturas internacionais ESG	277
Figura 82 - Regulação em torno da economia circular.....	286
Figura 83 - Publicações Teubner em linha cronológica.....	307

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Incidência de palavras-chaves no Portal de Periódicos da CAPES.....	51
Gráfico 2 - Curvas S para duas megatendências em ciência e tecnologia	53
Gráfico 3 - Rotas de eliminação de resíduos sólidos municipais na OCDE em 2013	109
Gráfico 4 - Composição global dos resíduos.....	128
Gráfico 5 - Aumento da demanda global para plástico.....	129
Gráfico 6 - Média global de geração de resíduos especiais.....	135
Gráfico 7 - Redução em 56% de emissões até 2050	138
Gráfico 8 - Utilização de material circular	230

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de produtos contendo cada nanomaterial, nas diferentes áreas industriais, já disponíveis para consumo	49
Tabela 2 - Pesquisa no Portal de Periódicos da CAPES com palavras-chave referentes aos recortes da tese	50
Tabela 3 - Quadro comparativo-evolução nano em números	54
Tabela 4 - Ranking dos 10 primeiros termos de pesquisa	86
Tabela 5 - Disposição de pneus em seu final de ciclo de vida para os maiores mercados globais	108
Tabela 6 - Indicação de percentual de artigos publicados por setor de aplicação da rastreabilidade.....	247
Tabela 7 - Graus de preferência atribuídas às alternativas.....	254
Tabela 8 - Valor global normalizado por alternativa	254

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEA	Agência Europeia do Ambiente
AGCS	Allianz Global Corporate & Specialty
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BCSD	Business Council for Sustainable Development
BEI	Banco Europeu de Investimento
BSE	Bovine Spongiforme Encephalopathy
BSI	British Standards Institution
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CEINT	Center for the Environmental Implications of NanoTechnology
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais S.A
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CESVI	Centro de Experimentação e Segurança Viária
CIEL	Centro de Direito Ambiental Internacional
CIESP	Centro das Indústrias do Estado de São Paulo
CMADS	Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNORP	Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos
CNPEM	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CO2	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONMETRO	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
COVID-19	Coronavírus
CSN	Center for Sustainable Nanotechnology
CVT	Comissão de Viação e Transporte
E	Ambiental
EBA	European Banking Authority

ECHA	European Chemicals Agency
EEA	European Environment Agency
ELV	End of Life Vehicles
EMAS	Esquema de Ecogestão e Auditoria da União Europeia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENMs	Engineering Nanomaterials
EPA	Environmental Protection Agency
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
ESG	Environmental, Social and Governance
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FAPERGS	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul
FCS	Forest Stewardship Council
FDA	Federal Drug Administration
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FUNDACENTRO	Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho
G	Governança
GCRSR	Coalizão Global para Pesquisa Científica Regulatória
GRI	Global Reporting Initiative
GSIA	Global Sustainable Investment Alliance
GSRS19	Global sobre Ciência Regulatória 2019
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IBD	Instituto Biodinâmico
ICANN	Internet Corporation for Assigned Names and Numbers
ICTA	International Center for Technology Assessment
IFSC/USP	Instituto de Física de São Carlos
IRP	International Resource Panel
ISO	Organización Internacional de Normalización
ISO	International Organization for Standardization
ITC	International Trade Centre

JRC	Joint Research Centre
LED	Light Emitting Diode
LEED	Procel Edifica, Liderança em Energia e Design Ambiental
LNNano	Laboratório Nacional de Nanotecnologia
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIOSH	Instituto Nacional para Segurança e Saúde Ocupacional
NIST	National Institute of Standards and Technology
NNI	National Nanotechnology Initiative
NPD	Nanotechnology Products Database
OCDE	Organisation for Economic Co-Operation and Development
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONG's	Organizações não Governamentais
ONU	Organização das Nações Unidas
PERS/PR	Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Paraná
PHB	Polihidroxibutirato
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation, Restriction of Chemicals
REEE	Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos
S	Social
SARS-CoV-2	Coronavírus 2
SDA	Secretaria de Defesa Agropecuária
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SEBRAE/SC	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de Santa Catarina
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SENAI-SP	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de São Paulo
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos

SISBOV	Sistema Brasileiro de Identificação e Certificação de Origem Bovina e Bubalina
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNIRS	Sistema de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SUN	Sustainable Nanotechnologies
SUNDS	Software Sustainable Nanotechnologies
TEA	Toronto Environmental Alliance
UAN	Unidade de Alimentação e Nutrição
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
UNEP	United Nations Environment Programme
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNICs	United Nations Information Centres
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
USP	Universidade de São Paulo
VCI	Verband Der Chemischen Industrie e.V.
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WCEF	World Circular Economy Forum
WDO	Waste Diversion Ontario
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
2 O MUNDO NANOTECNOLÓGICO E OS NOVOS CONCEITOS PARA UMA REALIDADE SUSTENTÁVEL: ENTRE FASCÍNIOS, RISCO E CICLO DE VIDA DOS NANOPRODUTOS.....	39
2.1 Desvelando as nanotecnologias e sua classificação: conhecendo o estado da arte, definições, principais aplicações e benefícios da revolução nanotecnológica.....	41
2.2 A percepção dos riscos nanotecnológicos pelo sistema do direito e da ciência: da sociedade do risco à metamorfose do mundo (Beck)?.....	59
2.2.1 O ciclo de vida dos nanomateriais (destinação final dos resíduos?) e atenção diante do risco nanotecnológico	89
2.2.1.1 <i>Debate global sobre o tratamento de resíduos nanotecnológicos: a diretriz da OECD.....</i>	<i>99</i>
2.3 What a (nano)waste? A potencialização do risco a partir do resíduo de (nano)plástico: uma preocupação global renovada pelas nanotecnologias?	120
2.4 Entre fascínios e risco: o enfrentamento transnacional deste paradoxo para adoção da economia circular como medida de desenvolvimento sustentável	146
3 A NECESSÁRIA TRANSIÇÃO SUSTENTÁVEL DO DESENVOLVIMENTO DAS NANOTECNOLOGIAS E REFLEXOS POSITIVOS NA MITIGAÇÃO DO NANOWASTE: MIGRANDO PARA ECONOMIA CIRCULAR A FIM DE CONCRETIZAR OS OBJETIVOS DE SUSTENTABILIDADE DO MILÊNIO	168
3.1 A necessária mudança de paradigma no desenvolvimento das nanotecnologias: da análise conceitual da economia linear ao desvelamento da economia circular para gestão do risco dos resíduos nanotecnológicos com reflexos positivos na redução do <i>nanowaste</i>.....	169
3.2 O debate transnacional acerca da economia circular: o enfoque global e políticas públicas adotadas mundialmente	192
3.3 A discussão nacional sobre a economia circular: vislumbrando um cenário não tão distante para a sustentabilidade e redução dos (nano)resíduos	204
3.4 Fundamentando a (nano)sustentabilidade e disposições da Organização das Nações Unidas: objetivos sustentáveis do milênio (ODS 9 e 12) como base para gestão (e redução) do <i>nanowaste</i> através da economia circular.....	218

4 (NANO)RASTREABILIDADE FUNDADA NA AUTORREGULAÇÃO E FRAGMENTOS CONSTITUCIONAIS (TEUBNER): CAMINHO ANÁLOGO AO PROJETO DE LEI Nº 7.088/2017, SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS PERIGOSOS FOMENTADO PELA ECONOMIA CIRCULAR COMO CONDIÇÃO DE POSSIBILIDADE PARA GESTÃO DE RISCOS NANOTECNOLÓGICOS	239
4.1 Caracterizando a rastreabilidade de produtos: cenário global acerca da rastreabilidade e o panorama do Brasil	240
4.2 Análise do Projeto de Lei de Rastreabilidade de Resíduos Sólidos Perigosos nº 7.088/2017 e contribuições da Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei nº 12.305/2010 – para a rastreabilidade de nanoproductos e controle adequado do <i>nanowaste</i>	258
4.3 Diálogos entre ESG e a nanorrevolução: intersecções da (nano)rastreabilidade, economia circular e comunicação com fundamentos do ESG	274
4.4 (Auto)Regulação 4.0: autorregulação como base para adoção das medidas sustentáveis.....	279
4.5 A conexão do sistema do direito através dos fragmentos constitucionais (Teubner) como condição de possibilidade à (nano)rastreabilidade vinculada à economia circular.....	297
5 CONCLUSÃO	310
REFERÊNCIAS.....	331
APÊNDICE A – PESQUISA NO PORTAL DE PERIÓDICOS DA CAPES	373
ANEXO A – FIGURA DISTRIBUIÇÃO DE NANOPARTÍCULAS EM PRODUTOS COSMÉTICOS	396
ANEXO B – FIGURA DISTRIBUIÇÃO DE NANOPARTÍCULAS NOS 5169 PRODUTOS REPORTADOS.....	397

1 INTRODUÇÃO

A presente tese encontra-se ligada ao cenário das inovações tecnológicas, movimento este que se mobiliza para desenvolver novas tecnologias, novos produtos, a fim de dar conta da complexidade vivenciada e satisfazer a sociedade pós-moderna.

O primeiro viés significativo da pesquisa é a interdisciplinaridade, sendo que para a investigação sobre o desenvolvimento sustentável da atividade das empresas a partir da economia circular, aliada à implementação da rastreabilidade dos nanoproductos (o que conseqüentemente realizaria a gestão do risco e destinação adequada do *nanowaste*), necessário que perpassasse outras áreas da ciência, apropriando-se dos conhecimentos daquelas searas e das ciências duras, a fim de adequação e auxílio ao Direito para buscar respostas adequadas e aptas às complexas demandas enfrentadas neste contexto. É preciso um Direito¹ crítico, capaz de fazer leituras da realidade e apto a provocar as mudanças necessárias nesta realidade, sob pena de restar isolado das outras áreas do conhecimento, que se utilizarão dos espaços vazios deixados pelo Direito, para atuarem, inclusive em questões regulatórias.

Inserem-se na chamada Quarta Revolução Industrial, cunhada por Schwab (2018), e mais recentemente nos desafios trazidos na sua última obra, intitulada *Aplicando a Quarta Revolução Industrial*, quais sejam: a) a justa distribuição dos benefícios das disrupções tecnológicas; b) a contenção das inevitáveis externalidades; c) garantia de que as tecnologias emergentes nos empoderem como seres humanos, em vez de nos governar.

A era nanotecnológica é uma realidade da qual o Direito não pode se esquivar de prover respostas aptas nessa nova complexidade, 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 (HOHENDORFF, 2015).

¹ “O trabalho de Niklas Luhmann e em alguns trabalhos dele conjuntamente com Raffaele de Giorgi são exemplares para a transformação do modo de pensar tradicional do direito” (ROCHA, 1994, p. 1).

Verifica-se aplicação no setor alimentício, cosméticos (ENGELMANN, 2015a), na indústria do plástico, biocombustível etc. 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.

Vislumbra-se uma gama de novidades *nano*, produtos inovadores que vêm se desenvolvendo com maior força desde o início do século XXI. Nesta conjuntura, o mundo nanotecnológico vem revolucionando a vida cotidiana da sociedade, sendo que diariamente inúmeros nanoprodutos são utilizados, desde a utilização doméstica (como bebedouros, ar condicionado, embalagens) até uso na área bélica, aeronáutica, engenharias e medicina. Tais produtos trazem a promessa de benefícios e utilidades nunca antes pensados, despertando nos consumidores e sociedade em geral a curiosidade. Portanto, o consumo destas criações em escala nano vêm sendo cada vez maior, com um universo de novidades despejadas no mercado diariamente. Em consequência do uso cada vez maior dos nanoprodutos, maior o descarte de nanomateriais ao meio ambiente.

Entretanto, mesmo observando-se tal promessa de evolução benéfica à humanidade, as nanotecnologias vêm acompanhadas de incertezas científicas quanto aos seus efeitos e (possíveis?) danos futuros ao meio ambiente e vida humana. No estado atual da arte, não se sabe ao certo quais os danos os nanomateriais podem acarretar ao ecossistema. Por esta razão, diversas pesquisas estão sendo desenvolvidas no intuito de verificar qual os (possíveis ou não) impactos das nanos na vida humana e meio ambiente. Diante disso, urge que se faça uma transição a uma logística produtora e consumidora mais sustentável, como seria a economia circular.

A maior dificuldade apresentada é a questão da metodologia empregada aos estudos, pois até mesmo as simples definições das nanotecnologias são imprecisas, de forma que diversos institutos internacionais apresentam diferentes caracterizações das mesmas, como Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD), Registration, Evaluation, Authorisation, Restriction of Chemicals (REACH), Instituto Nacional para Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH), Federal Drug Administration (FDA), National Nanotechnology Initiative (NNI), dentre outros.

Muitos estudos sobre as nanotecnologias estão em desenvolvimento em nível mundial, como nos Estados Unidos da América (EUA), Europa em geral, Ásia e até mesmo América Latina, conforme se verá ao longo da tese de doutorado. E face a publicação de pesquisas sobre os efeitos e (possíveis) danos (futuros?) à vida humana, o alerta entre os cientistas foi apresentado sobre o potencial risco, o que deslocou a discussão também ao mundo jurídico.

Neste contexto, poderão as indústrias nanotecnológicas, por meio da (nano)sustentabilidade, fomentando a economia circular, e posteriormente instituindo a rastreabilidade dos nanoprodutos (e por fim aos resíduos nanotecnológicos), efetivar a gestão do risco? Tal questionamento desperta uma enorme incógnita e clama por uma necessária implementação de regras e princípios, tendo em vista o atual desconhecimento, especialmente a respeito de seu descarte e depósito, em face da possibilidade dos danos.

Assim, a era nanotecnológica é uma realidade, o que acarreta a maior produção, gerando mais resíduos nanotecnológicos, que vai 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 com potencial regulatório – com fundamentação na (nano)sustentabilidade, adotando da economia circular – para além de minimizar resíduos e efetivar a gestão do risco, implementar a *rastreabilidade dos resíduos nanotecnológicos* tomando como norte o Projeto de Lei n.º 7.088/2017 (BRASIL, [2017]), que pretende alterar a lei de resíduos sólidos com rastreabilidade dos resíduos perigosos.

A inquietação e incertezas das nanotecnologias trazem o debate ao risco, o que inevitavelmente acaba sendo inserido nesse contexto de maior preocupação ambiental, de modo que aprofundar a pesquisa para propor desenvolvimento mais sustentável e seguro é extremamente oportuno, se não puder ousar a dizer essencial para a academia.

Portanto, ante a possibilidade de dano (futuro) ao meio ambiente e vida humana, é necessária a discussão sobre a (auto)regulação das nanotecnologias, e seu urgente desenvolvimento sustentável com o fito de preservar as presentes e futuras gerações de danos futuros, e de que forma serão as empresas despertadas para essa postura ética-cidadã.

Tomando-se em consideração este cenário de contato com nanopartículas, da produção ao final de consumo, com consequência de descarte dos resíduos nanotecnológicos no meio ambiente, o problema desta Tese de Doutorado apresenta os seguintes contornos estruturantes sobre a ausência regulatória específica para os resíduos nanotecnológicos, e de que forma a adoção da Economia circular pelas empresas, fundadas na (nano)sustentabilidade poderá efetivar a implementação da rastreabilidade dos nanoproductos (de berço ao berço), e dos resíduos nanotecnológicos, que conseqüentemente, efetivará gestão do risco e autorregulação, num espaço iluminado pela sustentabilidade exigida neste cenário permeado por incertezas e riscos nanotecnológicos, em respeito ao objetivo maior das ODS 9 e 12 da Organização das Nações Unidas (ONU). Neste contexto, como a estruturação dos elementos dos Fragmentos Constitucionais propostos por Gunther Teubner poderá contribuir para modelar estratégias autorregulatórias em um cenário de crescente produção de resíduos em escala nanométrica, com destaque ao nanoplástico, orientadas pelos elementos estruturantes da Economia circular fundadas na (nano)sustentabilidade (fundamentada pelos Objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU, especificamente o 9 e 12), implementando também a *rastreabilidade dos resíduos nanotecnológicos* (tomando como norte o Projeto de Lei nº 7.088/2017 (BRASIL, [2017]), que pretende alterar a lei de resíduos sólidos com rastreabilidade dos resíduos perigosos), na busca da compatibilização da atuação local e transnacional das organizações de base nanotecnológica?

Outro alerta da comunidade científica dentro da Revolução nanotecnológica é a questão dos nanoplásticos, cuja toxicidade ganha maiores escalas que o plástico tradicional. Observa-se a potencialização do risco, cabe apresentar outras áreas de nanoproductos que, desde a produção até o fim de vida, são embalados em plásticos (gerando o nanoplástico), o que no fim acaba elevando os danos ao meio ambiente em uma proporção ainda desconhecida. Fala-se no setor de cosméticos, alimentos, eletrônicos, dentre outros.

De outra maneira, a economia circular e (nano)sustentabilidade são temas há muito discutidos no cenário europeu, como o relatório publicado pela OECD, que explica que os recursos materiais constituem a base física da economia. Sua extração, processamento e uso têm conseqüências 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, 2020a). Complementando a exposição, apresentam imagem que melhor elucida a economia circular, como a maximização do produto circulando por mais tempo nos fluxos, minimizando o consumo de material, prestando atenção especial à materiais, substâncias perigosas e fluxos de resíduos que geram preocupações (como plásticos, alimentos, produtos elétricos e eletrônicos) e evitando a geração de resíduos.

Neste contexto, como a estruturação dos elementos dos Fragmentos Constitucionais propostos por Gunther 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 (nano)sustentabilidade, fundamentada pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especificamente o 9 e 12, na busca da compatibilização da atuação local e transnacional das organizações de base nanotecnológica?

A hipótese da tese consiste na possibilidade de utilização e transição ao desenvolvimento (nano)sustentável e mais responsável das empresas, adotando a chamada Economia Circular, que no mínimo aumentaria o tempo de circulação de nanoproductos na economia, e conseqüentemente, gerando menos resíduos e efetivando gestão dos riscos. A partir destes fundamentos que corroboram com a (nano)sustentabilidade, baseados nos ODS da ONU, especificamente o 9 e 12, será possível a construção da necessária (auto)regulação com fundamentos de Teubner (2016), em Fragmentos constitucionais, fazendo a ligação com algumas categorias, como constituições próprias das instituições globais, regimes transnacionais, e direitos fundamentais transnacionais de eficácia horizontal, através da adoção dessas medidas sustentáveis impostas neste cenário de “*riscos nanotecnológicos*”, tendo como alternativa a construção para “*rastreabilidade de nanoproductos e resíduos nanotecnológicos*” – fundado nos próprios princípios basilares da Economia Circular - efetivando paralelo com o Projeto de Lei que tramita na Câmara de Deputados nº 7.088, de 2017, de Rômulo Gouveia (BRASIL, [2017]), o qual altera a Lei nº 12.305, de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010).

O objetivo geral da tese é estudar alternativa autorregulatória frente a ausência específica para nanoproductos e resíduos nanotecnológicos. Para tanto, analisar-se-á de que forma a adoção da Economia circular pelas empresas, fundadas na (nano)sustentabilidade, poderá efetivar a implementação da rastreabilidade dos nanoproductos e resíduos nanotecnológicos, realizando ainda o recorte específico no nanoplástico como uma nova atenção dentro dos resíduos. A partir disso, se poderá ter as condições de possibilidade para se estruturar a gestão do risco e a autorregulação para o nanowaste, num espaço iluminado pelos princípios da sustentabilidade e precaução exigida neste cenário permeado por incertezas e riscos nanotecnológicos, através dos elementos de Teubner (Fragmentos Constitucionais).

Quanto aos objetivos específicos, a tese apresenta a seguinte estruturação:

- a) apresentar o estado da arte do mundo nano, um dos tipos de inovação tecnocientífica da pós-modernidade, destacando sua origem, seus usos na atualidade, os setores produtivos envolvidos e os riscos e perigos decorrentes desta tecnologia, especialmente no que tange aos resíduos nanotecnológicos; aprofundar na potencialidade de danos dos nanoplásticos; b) compreender os fundamentos da (nano)sustentabilidade e estudar conceitos, definições e políticas sustentáveis, atrelado ao estudo dos ODS da ONU (ODS 9 e 12); c) analisar as bases e princípios da Economia circular e de que maneira poderá ser útil na efetivação da gestão do risco nanotecnológico; avaliar contexto nacional e global de adoção da economia circular, sob perspectiva do direito comparado, com foco da União Europeia e OECD; d) entender definição de rastreabilidade e cases nacionais e internacionais; estudar o Projeto de Lei nº 7.088/2017 (BRASIL, [2017]), que versa sobre proposta de rastreabilidade de resíduos sólidos perigosos, e construir como poderá ser um modelo para a implementação da rastreabilidade dos nanoproductos e resíduos nanotecnológicos e estudar as contribuições da Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010) que instituiu a PNRS; e) avaliar a ligação dos princípios da environmental, social and governance (ESG) e suas intersecções com a Revolução nanotecnológica; f) compreender e analisar as categorias estruturantes de Teubner na obra Fragmentos Constitucionais como matriz teórica para autorregulação, e apresentar outros modelos regulatórios inovadores no cenário das novas tecnologias; g) realizar estudo empírico com proposta de revisão sistemática da literatura (EISENHARDT, 1989), especialmente no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento

de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do período temporal de 2018 a 2023, a partir de buscas de palavras-chave da tese com posterior busca na plataforma, dentre elas se destacando: autorregulação; economia circular, resíduos nanotecnológicos, *nanowaste*, rastreabilidade, (nano)sustentabilidade, naoplásticos, a fim de analisar qual a abordagem acadêmica nesse viés de investigação, bem como avaliar a percepção dos riscos nanotecnológicos e mais especificamente da questão do lixo nanotecnológico entre locais desenvolvedores de nanotecnologia. Posteriormente, estes dados serão apresentados e analisados a partir da análise de conteúdo proposta por Laurence Bardin.

Para atender a estrutura dos objetivos específicos e atingir o objetivo geral, será dividida a tese em três capítulos, com diálogo contínuo entre eles. No primeiro capítulo serão abordadas as transformações no mundo nanotecnológico, a partir da concepção de metamorfose, analisada por Ulrich Beck, uma vez que tais mudanças na era nano ultrapassam qualquer modificação na sociedade até então observada.

Para compreender tais alterações disruptivas na sociedade, analisar-se-á o estado da arte das nanotecnologias, identificando suas definições, caracterizações e conceitos perante as mais importantes organizações científicas. Ademais, serão estudadas as principais aplicações desta tecnologia inseridas na sociedade contemporânea, as quais vêm se destacando pelos seus benefícios. Será demonstrado, inclusive, o viés benéfico das nanotecnologias, interligando também ao recente cenário da pandemia do Coronavírus (COVID-19), o qual demandou maiores esforços da comunidade científica na obtenção de medicamentos, exames e tratamentos para a doença que afetou a vida humana de forma significativa, recorrendo assim às nanotecnologias.

Entretanto, toda nova tecnologia apresenta duas faces. Por essa razão é que se mostra essencial a análise neste primeiro capítulo a questão dos riscos nanotecnológicos, e de que maneira o Sistema do Direito e da Ciência vêm desenvolvendo suas pesquisas no sentido de minimizar esta preocupação. A partir dessa análise, será necessário abordar a questão do ciclo de vida dos nanomateriais, a fim de identificar seu comportamento e toxicidade em cada etapa, desde produção até consumo.

Outro alerta científico concentra suas atenções na questão do *nanowaste*, e por essa razão é que será estudada a interação dos resíduos nanotecnológicos dentro do contexto da sua destinação final, destacando as pesquisas específicas

nesta área desenvolvidas pela OECD, a qual já apresentou inclusive protocolo de mitigação de risco nanotecnológico. Outro recorte importante na área dos resíduos, e que será abordado no capítulo, é o nanoplástico. O plástico em geral apresenta-se, há muitos anos, como um grande desafio para o ecossistema, e de que forma a comunidade científica vem tentando diminuir sua produção e descarte no meio ambiente, a fim de desenvolver sistemas mais sustentáveis. Uma vez que existe um novo tipo de resíduo, que é o nanoplástico, maiores esforços devem ser empregados para efetuar a gestão do risco, recorte a ser analisado neste momento da tese.

E ao final do primeiro capítulo será estudado de que maneira está ocorrendo o enfrentamento em nível transnacional deste novo paradoxo de risco nanotecnológico, e como a economia circular poderia alcançar um desenvolvimento mais sustentável neste cenário.

Avançando para o segundo capítulo da tese, abordar-se-á a transição para a economia circular, para alcançar um desenvolvimento nanosustentável, a fim de respeitar os Objetivos de Sustentabilidade do Milênio apresentados pela ONU. A partir desse estudo, o capítulo se desenvolve com a abordagem acerca da essencial mudança de paradigma dentro do sistema econômico, apresentando as definições sobre economia linear (atualmente adotada) e economia circular, a qual traria uma série de impactos positivos e sustentáveis para o meio ambiente e saúde humana.

Outra análise será o debate em nível global, mas também em nível nacional sobre a economia circular, a fim de verificar de qual maneiras ela está sendo aplicada, seja em políticas públicas ou na esfera privada. Encerrando essa segunda parte da investigação, serão abordados os fundamentos para tal mudança de paradigma dentro dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis do Milênio da ONU, dando destaque aos ODS 9 e 12. Tal fundamentação serviria de base para a efetivação da gestão do nanowaste a partir da economia circular, mas ainda ocasionando a redução dos resíduos de uma forma geral.

Por fim, respeitando a estruturação da tese, e alcançando seu objetivo, no capítulo terceiro abordar-se-á os aspectos autorregulatórios na concepção dos Fragmentos Constitucionais de Teuber, o qual servirá de matriz teórica para adoção da economia circular, bem como atrelar a ela a implementação da rastreabilidade dos nanomateriais, utilizando como parâmetro o Projeto de Lei nº 7.088/2017 (BRASIL, [2017]) sobre resíduos sólidos perigosos. No primeiro momento do último

capítulo será estudada a característica da rastreabilidade de produtos, sua definição e origem, bem como a implementação em outros setores deste mecanismo de controle, seja em nível global ou nacional.

Na sequência será analisado então o projeto de lei acima destacado, que versa sobre a rastreabilidade de resíduos sólidos perigosos, e de que maneira poderiam os nanomateriais e *nanowaste* se utilizarem deste instrumento como modelo para adequação e mitigação do risco. Observadas as novas políticas de sustentabilidade ao redor do mundo, faz-se essencial conhecer sobre os princípios do ESG, que perfazem diálogo com a era nanotecnológica e economia circular.

Encerrando o último capítulo, será estudado o aspecto da regulação e autorregulação como condição de possibilidade para alcançar o desenvolvimento mais sustentável e gestão do risco nanotecnológico, elaborando importante abordagem sobre os Fragmentos constitucionais de Teubner, que vincularia assim a adoção da economia circular à (nano)rastreabilidade de forma autorregulatória.

A fim de desenvolver a tese, 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.

Este método consegue compreender outros modos de produção de marcos regulatórios e outros diversos instrumentos com potencial de regulação, especificamente no que tange aos resíduos nanotecnológicos e projeto de lei da Política de Resíduos Sólidos, não exigindo do Estado e do Poder Legislativo uma lei formal, estanque, até porque esta normatização não acompanharia a dinâmica imposta neste contexto. Isso parece ser um movimento importante que precisará ser anotado e compilado, pois a regulação está surgindo com a intervenção de diversos atores, muitos dos quais não-estatais.

Será utilizada a análise funcional, proposta por Luhmann (1990), como apoio metodologicamente 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 que seja um fim em si mesma, mas, antes, serve como fio condutor de perguntas por possibilidades e equivalências funcionais.

É na perspectiva sistêmico-funcionalista que se pretende estabelecer este elo de ligação entre o problema e uma solução a ser construída, utilizando-se a observação dos marcos regulatórios capazes de dar conta dos desafios trazidos pelas nanotecnologias, mesmo que estranhos ao mundo jurídico. Esse método é propício para o desenvolvimento tendente à interdisciplinaridade, ou seja, num viés de transbordamento disciplinar da pesquisa, impondo-se o pesquisador perpassar em outros níveis de investigação, lidando com ação de vários níveis de realidade.

O Direito somente avançará, alcançando uma resposta apta e adequada para novas demandas ou desafios ante os avanços das nanotecnologias, através da investigação em outras áreas do conhecimento, mais aptas a entender as complexidades das nanotecnologias, possibilitando o ingresso em outros saberes.

Esse método é propício para o desenvolvimento interdisciplinar da pesquisa, notadamente a partir das discussões publicadas recentemente na Revista *Nature*.² Busca-se inscrever este trabalho numa perspectiva interdisciplinar, levando em consideração a existência de questões urgentes ou problemas que não podem ser adequadamente tratados por pesquisadores vinculados somente uma área de conhecimento ou atividade de investigação e que uma abordagem além dos limites rígidos das disciplinas deve conduzir as pessoas a fazer perguntas e resolver problemas que nunca foram lançados anteriormente.³

Além disso, considera-se que a construção social é contínua e não de detém ao exato momento da investigação. Esta é a tarefa da sociologia: investigar o muno social pois esta é, antes de tudo, aprendizagem, consistindo em a) averiguar; b) compreender; c) explicar; d) teorizar; e) predizer (FERRARI, 2015).

Ademais, será abordado o real estado da arte, consoante perspectiva metodológica correta, que vai da abordagem mais completas das obras, como leitura dos resumos, somados ao aprofundamento do conjunto maior por redes, como se catalogasse a história do resumo, para localizar outras informações mais importantes. Nos últimos quinze anos, no Brasil e em outros países, tem se produzido um conjunto significativo de pesquisas conhecidas pela denominação “estado da arte” ou “estado do conhecimento”. Definidas como de caráter bibliográfico, elas parecem trazer em comum o desafio de mapear e de discutir uma certa produção acadêmica em diferentes campos do conhecimento, tentando

² Tal informação está contida em *Interdisciplinarity...* (2015).

³ Ver também a Revista *Nature* – Too... (2015).

responder que aspectos e dimensões vêm sendo destacados e privilegiados em diferentes épocas e lugares, de que formas e em que condições têm sido produzidas certas dissertações de mestrado, teses de doutorado, publicações em periódicos e comunicações em anais de congressos e de seminários (FERREIRA, 2002).

Complementando esta abordagem metodológica, utilizar-se-á uma **análise da triangulação de métodos** enquanto importante instrumento adotado pelas ciências sociais. Vale destacar, de antemão, que a triangulação não é um método em si, mas sim uma estratégia de pesquisa que se apoia em métodos científicos testados e consagrados, servindo e adequando-se a determinadas realidades, com fundamentos interdisciplinares. Tal abordagem teórica deve ser escolhida a fim de contribuir para o aumento do conhecimento sobre o assunto e atender aos objetivos que se deseja alcançar (MINAYO *et al.*, 2010).

Denzin (*apud* GURGEL, 2007) traz do “interacionismo simbólico” para o campo da avaliação de programas sociais, o conceito de “triangulation”, para significar, entre outros sentidos, o de uma combinação e cruzamento de múltiplos pontos de vista, a tarefa conjunta de pesquisadores com formação diferenciada, a visão de vários informantes e o emprego de uma variedade de técnicas de coletas de dados que acompanham o trabalho de investigação na pesquisa qualitativa. O conceito de “triangulação” ultrapassa a mera conjugação dos métodos de investigação selecionados, na medida em que podem ser equacionados diversos outros elementos, como por exemplo, a “triangulação de dados”, onde o investigador se utiliza de diferentes fontes para sua pesquisa; a “triangulação do investigador”, onde investigadores recolhem dados de maneira independente sobre um mesmo fenômeno; a “triangulação teórica”, na medida em que são utilizadas diferentes teorias para interpretação de determinados dados e; a “triangulação metodológica”, onde são utilizados vários métodos para estudar determinado problema de investigação (FERREIRA; SCHIMANSKI; BOURGUIGNON, 2012).

No que tange aos métodos de procedimento empregados no estudo, trabalhar-se-á com os métodos funcionalista, histórico e comparativo através de técnicas de pesquisa a documentação indireta, especialmente a pesquisa bibliográfica, além da documentação direta de textos normativos e jurídicos além de textos resultantes de produção científica (artigos e papers) produzidos por outras áreas do saber, incluindo publicações de blogues e sites de organismos internacionais e de grupos de pesquisa; permeando o conjunto de técnicas

empregadas, lançar-se-á mão de recursos como a “análise de conteúdo”, projetada por Bardin (2011). Cumpre destacar que ao longo do texto não será utilizada a expressão “traduzido pela autora” nas citações em inglês, de modo que todas as traduções foram realizadas por esta doutoranda, a fim de deixar de maneira mais limpa a estrutura das referências no corpo do texto.

Para melhor construir a viabilidade ou aplicabilidade da economia circular e rastreabilidade na indústria nano, é preciso aferir a realidade local das empresas e laboratórios que desenvolvem nanotecnologia. Assim, propõe-se o projeto de tese a elaborar proposta de revisão sistemática da literatura (EISENHARDT, 1989), e análise de dados, no período de 2018 a 2023, no Portal de Periódicos da CAPES, a partir de palavras-chaves de busca do tema da tese, dentre elas se destacando: autorregulação; economia circular, nanoplástico, resíduos nanotecnológicos e rastreabilidade, a fim de analisar qual a abordagem acadêmica nesse viés de pesquisa e sua pertinência científica.

A partir dessa ideia, foi elaborada uma pesquisa na base de dados do Portal de Periódicos da CAPES (2023), dividida na seguinte estruturação: a) primeiro foram escolhidas palavras-chave que se relacionam com os pontos principais do estudo (acima elencadas); b) na sequência, feita busca com cada uma delas, chegando ao resultado de quantas publicações continham no portal, no período de 2018-2023; d) após, abordada a divisão dentro do portal sobre quais os tipos de publicações; e) ao final, realizada análise dos dados, com elaboração de tabelas e gráficos a partir dos resultados.

Este estudo empírico possibilitará a compilação dos dados coletados, como a meta de definir os “conhecimentos” acerca da economia circular, rastreabilidade e *nanowaste*, bem como avaliar a percepção dos riscos nanotecnológicos. Importante destacar que a partir da abordagem desta pesquisa empírica será avaliada a pertinência da investigação, se o tema e recortes são válidos para contribuição no campo científico. Ademais, será possível assim analisar em que medida o recorte da tese está sendo desenvolvido em pesquisas tanto em nível global como nacional, identificando pontualmente pelas palavras-chave qual a abrangência, ou não, de publicações.

A análise de conteúdo é uma metodologia de análise, como conjunto de orientações, abertas, reconstruídas em cada trabalho, com caminhos a serem seguidos, mas que não sejam rígidos demais, mesmo que se afirme que a Análise

de Conteúdo parece ser mais sistematizada (MORAES; GALIAZZI, 2011). Como o tema nanotecnologias corresponde a complexidades de termos, análises mais detalhadas, levantamento de diversos estudos, de outras áreas do conhecimento, principalmente tentando aliar ao mundo jurídico, a metodologia empregada precisa ser mais flexível e adaptável a uma nova realidade de levantamentos e avaliação de saberes.

Diante desta conjuntura científica e metodológica, esta investigação tem o norte para analisar quais são os impactos ambientais face esse crescimento? As atividades econômicas que impulsionam o uso de materiais afetam o meio ambiente de várias maneiras, contudo, as consequências ambientais decorrem da obtenção dos materiais (por exemplo, gás de efeito estufa emissões de extração e processamento de matérias-primas primárias), de seu uso (por exemplo, ar poluição causada pela queima de combustíveis fósseis) e de seu descarte (por exemplo, poluição do ar, solo e água de aterros). Importa ressaltar nesta tese que todos os materiais e resíduos acima citados, das mais variáveis áreas são produzidos em grande escala com tecnologia nano, e diante do risco urge que se estude a respeito da implementação de medidas sustentáveis do “berço ao berço”, que seria ainda mais seguro caso implementado um rastreamento (que será objeto do estado da arte), bem como todas as demais análises em conformidade aos objetivos específicos estarão distribuídas nos capítulos a seguir expostos.

A tese está adequadamente inserida na linha de pesquisa 2, “Sociedade, novos direitos e transnacionalização”. Tal linha de estudo envolve uma gama de novos direitos, que vem se adequando às novas demandas apresentadas na sociedade, como as que envolvem novas tecnologias, mais precisamente a nanotecnologia. Ressalta-se a inserção do projeto no contexto de pesquisas desenvolvidas internacionalmente, como os estudos desenvolvidos pela OECD e União Europeia.⁴

Ademais, de suma importância demonstrar a harmonização desta tese com a linha de pesquisa desenvolvida pelo orientador indicado, Prof. Dr. Wilson Engemann, que fomenta três projetos em nanotecnologias no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e um da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), em andamento desde 2017,

⁴ Seguem alguns estudos recentes cerca do risco e gestão: a) European Commission (2018); b) NanoReg2 (2018a); c) NanoReg2 (2018b); d) European Union (2018).

específico em *nanowaste*, chamado “A autorregulação da destinação final dos resíduos nanotecnológicos”. Outro projeto importante é o de Internacionalização também da FAPERGS, nº 06/2018, pelo qual levei nossas pesquisas à Universidade de Santiago de Compostela no início de 2020 em período de coorientação com prof. Dr. Jose Julio Hernandez Rodriguez, com bolsa concedida fomentada pela instituição. Além da vinculação a estes projetos, a proposta de investigação da seleção está alinhada com as atividades desenvolvidas no Grupo de Pesquisa JUSNANO, credenciado junto ao CNPq.

Portanto, a nanotecnologia, economia circular, sustentabilidade, e rastreabilidade são pilares dentro do cenário de inovação tecnológica, a fim de vislumbrar adoção de ações mais sustentáveis, construindo assim estruturas autorregulatórias. Tais desdobramentos na área jurídica, ambiental e social, moldam-se perfeitamente nesta linha de pesquisa, e esta investigação será de grande valia para o nível de estudo do doutorado da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), contribuindo no campo da construção de marcos regulatórios, bem como poderá surtir efeitos no âmbito de pesquisa do resíduo nanoparticulado e adoção de medidas sustentáveis.

2 O MUNDO NANOTECNOLÓGICO E OS NOVOS CONCEITOS PARA UMA REALIDADE SUSTENTÁVEL: ENTRE FASCÍNIOS, RISCO E CICLO DE VIDA DOS NANOPRODUTOS

Metamorfose é o termo mais adequado para explicar, ou ao menos tentar explicar, a respeito das constantes transformações na era nanotecnológica. Atrelado então à lição de Beck (2018), onde é exposta uma dinâmica disruptiva da nossa sociedade, com novos movimentos globais entre empresas transnacionais, mudanças climáticas, dentre outros comportamentos nocivos ao meio ambiente, consegue-se aclarar ainda melhor a realidade do nano mundo.

Pelos estudos anteriormente elaborados por esta doutoranda, não é mais possível se dizer que as nanotecnologias são um tema desconhecido. Pelo contrário, é uma área que a partir da virada do século XX para o XXI ingrenou um desenvolvimento enorme, constante, o qual desperta na indústria cada vez mais a atenção pela sua capacidade de transformação e aprimoramento de materiais e produtos.

O que se sabe é que 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, e que 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).

De fato depara-se com uma realidade nunca vivenciada antes, com uma evolução acelerada das nanotecnologias, implementação em grande escala de produção de novos produtos, os quais trazem benefícios em diversas áreas, como da construção, medicina, farmácia, cosméticos, e até promessas de regeneração no meio ambiente. Contudo, em paralelo ao cenário positivo, observa-se o risco nanotecnológico, o qual não é difundido de forma clara perante a sociedade.

Neste cenário é que o homem ultrapassa qualquer barreira do conhecimento, indo além de limites até então seguros e definidos como de tecnologias bem definidas e conhecidas na ciência de forma pacífica. Com isso, os recursos disponíveis no meio ambiente já não se encontram em um patamar suficiente, e que com tamanha manipulação de materiais, como na nanotecnologia, poderão vir a

sofrer ainda mais danos, danos estes desconhecidos. O que se sabe é que outras áreas da ciência, fora o Direito, exploram as pesquisas nessa área, e assim são muitas as publicações que trazem alertas importantes quanto ao desenvolvimento das nanotecnologias, principalmente no quesito risco.

Levando em consideração o cenário de risco das nanotecnologias, necessário que se opere uma mudança de mentalidade nos processos produtivos, de modo a atrelar seu desenvolvimento aos fundamentos da sustentabilidade. A partir de uma abordagem (nano)sustentável possibilitar-se-á uma conscientização acerca do risco, o qual terá o condão de minimizá-lo, além de promover uma produção, distribuição e consumo mais seguro destas tecnologias, dando ainda o enfoque em todos os ciclos do produto, entoando a nanosegurança do berço-ao-berço.

Todos os aspectos das nanotecnologias estão presentes na pesquisa, como os benefícios já descobertos por ela, os quais são apresentados no item 2.1, que inclusive esclarecerá sobre a origem, aplicabilidade, inserção na sociedade, dando um panorama completo sobre seu estado da arte.

Este capítulo inicial objetiva apresentar as nanotecnologias no cenário da Quarta Revolução Industrial, comprovando sua nova realidade, trazendo ainda dados estatísticos acerca dos usos e aplicações nas mais diferentes áreas do conhecimento humano. Importa ainda na elaboração deste capítulo apresentar como essencial o estudo das nanotecnologias ao longo de todo seu ciclo de vida, atrelado à sustentabilidade, ao esclarecimento no aspecto do risco, fundamentado por publicações científicas nesse viés. Por fim, destaca-se discorrer sobre o recorte da tese no *nanowaste*, em especial os nanoplásticos, que causam alarde na comunidade científica, pois dada sua particularidade, poderá acarretar danos ainda mais severos à saúde humana e meio ambiente.

Deste modo, o intuito desse capítulo, assim como da tese em geral, é explorar os aspectos ainda pouco difundidos na era nanotecnológica, encontrando assim intersecções tanto das benesses como dos potenciais danos, demonstrando quais são os mais importantes debates atuais sobre possíveis alternativas na conjuntura regulatória em nível global. Oportuna passagem de Morin (2010, p. 39), que afirma ser o conhecimento “[...] uma navegação num oceano de incertezas em meio a arquipélago de certezas”, e assim sendo é preciso ensinar “[...] nos despertar para as incertezas e saber enfrentá-las, saber modificar o desenvolvimento das ações em função do desenvolvimento das situações” (MORIN, 2010, p. 41). E deste modo

adentra-se nesta tese, a qual discute um mar de incertezas, as quais despertam no mundo acadêmico a inquietude para formular, talvez, respostas adequadas, ou ao menos, apresentar os melhores questionamentos.

2.1 Desvelando as nanotecnologias e sua classificação: conhecendo o estado da arte, definições, principais aplicações e benefícios da revolução nanotecnológica

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. 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 (ENGELMANN, 2018).

Através da história das nanotecnologias, destaca-se um nome que foi precursor na área, Richard Feynman, em 1959:

A possibilidade de manipular materiais e construir tecnologia em uma escala muito pequena ganhou atenção devido ao agora famoso discurso proferido por Richard Feynman em 29 de dezembro de 1959 na Reunião Anual da American Physical Society realizada no Caltech LA, 'There is Plenty of Room at the Bottom' No qual ele começou a descrever o desenvolvimento de um processo para manipular átomos individuais usando ferramentas precisas para construir e operar outro conjunto proporcionalmente menor e assim por diante até atingir a escala necessária para manipular átomos. O assunto a que ele se referia é 'o problema de manipular e controlar as coisas em pequena escala'. Este discurso é muitas vezes considerado como tendo fornecido inspiração para o campo da nanotecnologia. No entanto, sua real influência é debatida por muitos estudiosos, uma vez que a nanotecnologia não começou a ganhar força na pesquisa até a década de 1980 (HOFFMAN, [2022c?]).

Seguindo o pesquisador, Eric Drexler, apresentado na Figura 1, inspirado pela visão de Feynman, em 1986 introduziu o termo "nanotecnologia" usando-o para

descrever a abordagem *bottom-up* da nanofabricação. Em que ferramentas de precisão são usadas para construir pequenas partículas e a partir dessas pequenas partículas construir dispositivos maiores. Ele expandiu a ideia de fabricação molecular e imaginou máquinas de construção, e até mesmo computadores muito menores que uma célula (HOFFMAN, [2022c?]).

Figura 1 - Eric Drexler



Fonte: Hoffman ([2022c?]).

A utilização industrial da escala nanométrica está avançando rapidamente sem que se tenha uma certeza científica sobre a segurança das nanopartículas e sem que a área jurídica tenha construído marco regulatório específico. As nanotecnologias vêm acompanhada de incertezas científicas quanto seus efeitos e (possíveis?) danos futuros ao meio ambiente e vida humana. Veja-se a perspectiva de crescimento que se projeta: “O mercado global de nanotecnologia deve chegar a US \$ 90,5 bilhões em 2021, de US \$ 39,2 bilhões em 2016 com uma taxa de crescimento anual composta de 18,2%” (McWILLIAMS, 2016).

Por conta dessa conjuntura, já não mais tão recente, com a finalidade de fundamentar adequadamente a presente tese, se faz necessário analisar o estado da arte das nanotecnologias. Demonstra a pertinência dessa análise Ferreira (2002), afirmando que durante os últimos quinze anos ocorreu a elaboração de um conjunto significativo destas investigações. Esse movimento foi motivado pela sensação de não conhecimento acerca da totalidade de estudos e pesquisas em determinada área, consequência do crescimento quantitativo e qualitativo e da pouca divulgação sobre uma certa produção acadêmica. A produção de conhecimento científico impõe

a avaliação da situação atual dos aspectos essenciais deste estudo, de modo que abaixo inicia-se uma apuração do estado da arte no que tange às nanotecnologias, tendo sequência nos capítulos sobre o risco, produção de resíduos, bem como economia circular.

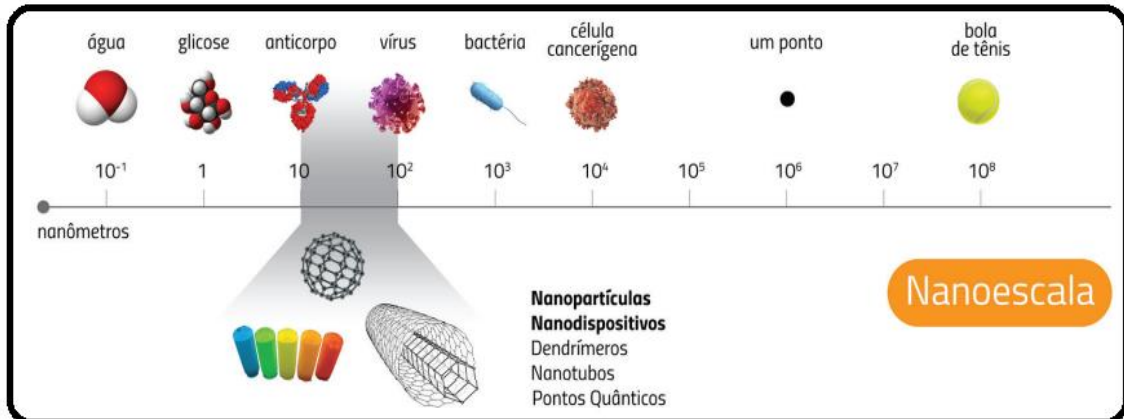
A OECD (2017b) define a nanotecnologia como um “[...] conjunto de tecnologias que permitem a manipulação, estudo ou exploração de estruturas e sistemas muito pequenos (geralmente menos de 100 nanômetros)”.

As nanotecnologias encontram-se nos mais variados setores da vida cotidiana, nos mais diferentes setores econômicos. Esta tecnologia em ultrapequena escala encontra-se no mercado, sendo amplamente consumidas, como nos protetores solares, telefones celulares, medicamentos, cosméticos, medicamentos veterinários, produtos para tratamento de água, para indústria aeroespacial, naval e automotora, siderúrgica, entre outros. Inclusive esse amplo rol é aberto devido ao processo contínuo de desenvolvimento das nanotecnologias (HOHENDORFF, 2015). Portanto, vislumbra-se na atualidade uma atenção por parte do Direito às nanotecnologias.

As nanopartículas são geralmente definidas como partículas com tamanhos que variam entre 1 e 100 nm (KUMAR *et al.*, 2019). Este intervalo é, no entanto, um pouco flexível na literatura com tamanhos que variam entre 1 e 500 nm. Nanopartículas para entrega de ácido nucleico pode ser projetado usando vários tipos de moléculas, como metais, açúcares, peptídeos, polímeros catiônicos e lipídios, com uma grande variedade de funções e possíveis aplicações (BLANCO; SHEN; FERRARI, 2015).

A era nano está em pleno desenvolvimento científico e tecnológico, e muitos termos técnicos ainda não estão bem estabelecidos ou validados. Parte desta dificuldade está ligada à própria definição da nanotecnologia. Inicialmente propôs-se que a nanotecnologia poderia ser entendida como o estudo, a manipulação, e/ou a construção de materiais, substâncias, dispositivos, objetos que estão normalmente na escala nanométrica (1 nanômetro = 10^{-9} do metro) e que apresentam propriedades fortemente dependentes dessa escala de tamanho. Na próxima imagem possível apresentar a escala nanométrica (nanoescala) e alguns exemplos afeitos a esta definição, como nanopartículas, nanodispositivos, nanotubos e quantum-dots, entre outros nano-objetos (CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS (CNPEN), 2019).

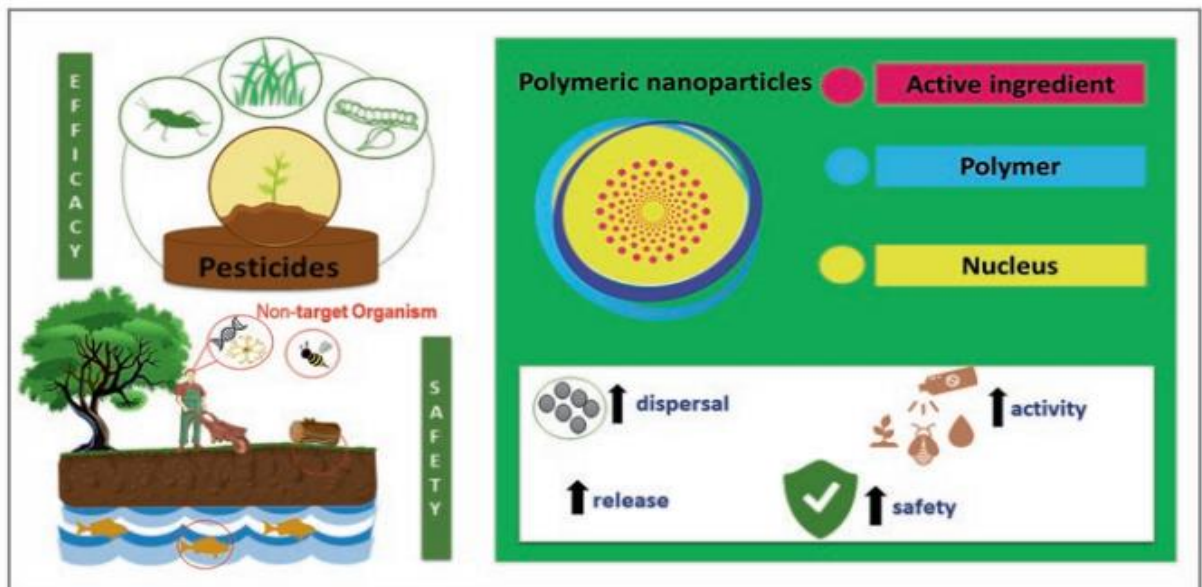
Figura 2 - A nanoescala e os nanomateriais (naturais e engenheirados)



Fonte: Adaptada de Hoffman ([2022b?]).

Sua aplicação está bem estabelecida em diversas áreas como medicamentos, materiais de engenharia e cosméticos. O princípio da aplicabilidade da esta ferramenta é modificar os materiais ou compostos para uma escala nanométrica com maior estabilidade e propriedades alvo de acordo com as necessidades da indústria e/ou população, afirma Pereira *et al.* (2020). Na agricultura, surgiu a necessidade de reduzir o uso de agrotóxicos para minimizar seus efeitos no ecossistema, ao passo que se implementa as nanotecnologias num cenário de vantagens *versus* risco, conforme a Figura 3 representa:

Figura 3 - Uso de nanopesticidas na agricultura: vantagens vs riscos ambientais



Fonte: Pereira *et al.* (2020, p. 302).

O termo “nanopartículas” refere-se a uma ampla gama de compostos químicos ou biológicos que podem ter efeitos muito variáveis no ambiente, trazendo como exemplo na agricultura, no caso de pesticidas, o fato de que nanocarreadores (*nanocarriers*) são projetados para melhorar a absorção celular no intestino médio de insetos, e assim as células também poderiam fazê-lo em células de mamíferos (CHRISTIAENS *et al.*, 2020). Percebe-se assim o grau de interação com o meio ambiente e até mesmo ser humano, o que pode levar tanto a produtos extremamente benéficos, como no caso da agricultura, mas que em paralelo poderá levar ao risco de degradação do ecossistema e saúde humana.

Ainda na área da agricultura, a qual despende muitos esforços em pesquisa e que vem apresentando resultados benéficos, Pereira *et al.* (2020, p. 299) alerta sobre a preocupação com saúde ambiental e impactos no ser humano, dando enfoque às análises de toxicidade:

O uso de nanoagroquímicos é fundamental para a agricultura moderna e as aplicações da nanotecnologia na forma de nanopesticidas ou nanofertilizantes estão crescendo em todo o mundo. Não obstante, a avaliação de risco desses produtos foi muito ultrapassada pelo seu desenvolvimento. Saúde ambiental e humana impactos são preocupações gerais que foram abordadas, conforme analisado neste capítulo. Muitos estudos se concentram no nível de testes de toxicidade usando organismos como procariontes, plantas e animais invertebrados e vertebrados. Os dados, no entanto, ainda insuficiente, pois muitos estudos são incompletos, carecem de análise físico-química completa, controles adequados ou continuidade. Isso prejudica o desenvolvimento de regulamentações políticas e, conseqüentemente, a comercialização desses produtos. A avaliação de risco é necessária para garantir a segurança dos nanoagroquímicos e os benefícios que o meio ambiente pode obter com seu uso. Este campo exige pesquisadores, financiamento e iniciativas colaborativas internacionais organizadas para prosperar.

Complementando o aspecto de definição da nanotecnologia, destaca-se a lição trazida pela lição de Lazzaretti e Hupffer (2019, p. 155) que de forma clara auxilia na explicação de sua caracterização:

A nanotecnologia consiste na aplicação de insumos ou processos em que ao menos um de seus componentes possua uma de suas dimensões na escala nanométrica, ou seja, entre um e 100 nanômetros, propiciando a manipulação de qualquer material reduzido a essa escala, surgindo novos materiais em qualquer área econômica, influenciando a economia mundial. Muitos estudiosos consideram essa tecnologia como constituinte da Quarta Revolução Industrial, pois essa tecnologia faz parte de uma evolução tecnológica tão significativa que representa, juntamente com outras tecnologias, alterações históricas inimagináveis como em relação ao tamanho diminuto, à velocidade do desenvolvimento dessas novas tecnologias e ao elevado grau de complexidade devido aos diferentes

agentes envolvidos nesse processo, como as universidades, pesquisadores, fabricantes, governos e a sociedade em geral, através de grupos de interesses.

As perspectivas científicas são de que os nanomateriais fornecerão formas de melhorar o desempenho em uma série de produtos, incluindo eletrônicos à base de silício, displays, tintas, baterias, sensores e catalisadores de silício, dentre muitos outros (THE ROYAL SOCIETY; THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2004).

De outro modo, estão presentes nas mais áreas da ciência:

Desde os tempos pré-históricos, o desenvolvimento e o progresso da humanidade sempre foram marcados pela capacidade de fabricar, modificar e funcionalizar os materiais. Hoje já é possível pensar em uma plataforma tecnológica que torne as pessoas mais longevas e saudáveis, a energia gerada mais limpa e abundante, os computadores mais rápidos. A intensa pesquisa utilizando as nanotecnologias está buscando soluções visando o desenvolvimento econômico, social e a sustentabilidade ambiental do nosso planeta. Essa tecnologia se relaciona com várias áreas do conhecimento como a física, a química, a biologia, as engenharias, a medicina, a tecnologia de informação, a ciência da computação e parte das ciências humanas e sociais. Observa-se que cientistas de todas as áreas do conhecimento vêm aplicando ferramentas nanotecnológicas. Empresas interessadas em se tornar mais competitivas estão encontrando na nanotecnologia soluções desejáveis e inovadoras. Contudo, esta plataforma tecnológica, como qualquer tecnologia disruptiva, apresenta benefícios e riscos (CNPEM, 2019, p. 6).

Assim, os químicos de materiais (pesquisadores) estão intimamente envolvidos nestas questões, ou seja, aos caminhos possíveis para se resolver alguns dos grandes problemas do século XXI, como a questão energética (materiais para dispositivos fotovoltaicos e células solares, eletrodos, catalisadores e eletrólitos em baterias, células a combustível e supercapacitores, materiais para light emitting diode (LEDs), materiais para geração e armazenamento de hidrogênio, dentre outros) (ZARBIN, 2007). Somente com esse breve exemplo, de tamanha variedade na aplicação das nanotecnologias, é possível relacionar à quantidade e dimensão de resíduos nanotecnológicos que podem se acumular indevidamente no meio ambiente. Inclusive esse é um recorte importante da tese, a qual tem por preocupação desenhar novos modelos autorregulatórios a fim de minimizar o risco do *nanowaste*, usando como base de aplicação a economia circular atrelada à rastreabilidade.

O vasto potencial das nanotecnologias é evidente desde o papel fundamental desempenhado por suas diversas aplicações, tanto que as nanotecnologias já foram

indicadas 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 (SALAMANCA-BUENTELLO *et al.*, 2005).

Na melhor doutrina constata-se que a particularidade desta tecnologia é não poder ser tratada de forma única, tampouco seria uma promessa futurista, uma vez que o mercado global, ainda em 2018, despendia gastos na casa do trilhão com sua produção e comercialização:

Em todos os países desenvolvidos está consolidada a ideia de que a nanotecnologia não pode ser tratada de forma única e uniforme. A nanotecnologia não configura uma promessa ou uma ficção futurista, pois ela já é uma realidade observada em inúmeros produtos e serviços de diferentes setores econômicos. Temos hoje comercializados no mundo muitos produtos 'nano', cujo mercado mundial foi superior a US\$ 1 trilhão em 2018. Segundo o documento produzido na Alemanha denominado '*Nanotechnology for Disaster Relief and Development Cooperation*' a nanotecnologia pode nos ajudar a dissociar o crescimento econômico saudável do consumo descomedido de recursos e da geração de poluição. Isso pode facilitar uma nova forma de cooperação para o desenvolvimento que permite reduzir o fosso entre países emergentes e em desenvolvimento sem colocar pressões indevidas sobre o meio ambiente e o clima (CNPEM, 2019, p. 7, grifo do autor).

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 (HOHENDORFF, 2015).

Verifica-se aplicação no setor alimentício, cosméticos (ENGELMANN, 2015a), na indústria do plástico, biocombustível etc. De outra forma, há muitos anos os cientistas, como Richard Smalley, defendiam que a nanotecnologia poderia ser a resposta para os principais desafios da humanidade:

O cientista Richard Smalley, ganhador do prêmio Nobel de Química em 1996 pela descoberta dos fulerenos, percorreu os EUA proferindo palestras em diversas instituições de pesquisa. Ao final perguntava à audiência: Qual o grande desafio que a humanidade deverá enfrentar no próximo século? Colecionou os 10 tópicos mais citados na ordem crescente de números de respostas: (1) Energia, (2) Água, (3) Alimentos, (4) Meio Ambiente, (5) Pobreza, (6) Terrorismo, (7) Doenças, (8) Educação, (9) Democracia, e (10)

População. Sua hipótese era: se resolvêssemos o primeiro – prover energia limpa, barata e continuamente disponível para 10 bilhões de pessoas –, resolveríamos pelo menos os outros quatro primeiros. E concluiu que: ‘Se há alguma resposta, esta será através da manipulação da matéria na escala atômica, e podemos chamá-la de nanotecnologia!’ (CNPEM, 2019, p. 6).

O mundo nanotecnológico se insere na chamada Quarta Revolução industrial, cunhada por Schwab, e mais recentemente nos desafios trazidos na sua última obra, intitulada *Aplicando a Quarta Revolução Industrial*, quais sejam: a) a justa distribuição dos benefícios das disrupções tecnológicas; b) a contenção das inevitáveis externalidades; c) garantia de que as tecnologias emergentes nos empoderem como seres humanos, em vez de nos governar (SCHWAB, 2018).

Corroborando com a inserção das nanos às novas tecnologias a Figura 4, a qual apresenta as maiores inovações em cada uma das “ondas” da Revolução Industrial, sendo que todas as novas tecnologias são aquelas desenvolvidas pelas maiores indústrias e de investimentos em escala global (PRISECAR, 2016).

Figura 4 - As quatro ondas da Revolução Industrial

The four waves of industrial revolution

Wave	Period	Transition Period	Energy resource	Main technical achievement	Main developed industries	Transport means
I	1760 - 1900	1860 - 1900	Coal	Steam engine	Textile, steel	Train
II	1900 - 1960	1940 - 1960	Oil, electricity	Internal combustion engine	Metallurgy, auto, machine building	Train, car
III	1960 - 2000	1980 - 2000	Nuclear energy, natural gas	Computers, robots	Auto, chemistry	Car, plane
IV	2000 - present	2000 - 2010	Green energies	Internet of Things, 3D printer, genetic engineering	High tech industries	Electric car, ultra fast train

Fonte: PriseCar (2016).

Apresentam-se novas incertezas, novos questionamentos, novos riscos nesse cenário da Quarta Revolução Industrial. Alocam-se, da mesma forma, novos debates face a inovação, como as nanos e novas tecnologias, big data, impressão 3d, energia renovável, economia circular, dentre tantas outras, e inclusive o aspecto da economia circular que adiante será abordada como uma condição de possibilidade para desenvolvimento mais seguro das nanos (Figura 5):

Figura 5 - Nova Revolução Industrial



Fonte: Weetman (2019, p. 34).

Oportuno apresentar pesquisa de campo realizada em nível de doutorado, a qual traz resultados que vão ao encontro deste estudo. Por conta da análise e coleta de dados, identificou Hohendorff (2018) o número de produtos e quais nanomateriais já disponibilizados para consumo, demonstrando assim na Tabela 1, a abrangência e contato da sociedade com tais produtos:

Tabela 1 - Número de produtos contendo cada nanomaterial, nas diferentes áreas industriais, já disponíveis para consumo

	Cosméticos	Construção	Têxtil	Medicina	Energias renováveis	Automotiva	Petróleo	½ ambiente	Esportes	Alimentos	Domésticos	Eletrônicos	Impressão	Agricultura
Silver	134	41	102	205	1	1	3	80	10	42	93	7	34	15
Dióxido de Titânio	101	121	46	2	121	19	3	11	9	15	3		4	6
Dióxido de silicone	8	78	51	6	11	15	8	10	2	5				
Dissulfeto de Tungstênio					12	59	78							
Vit C elipossomos	78									5				
Outros	151	52	81	39	57	67	52	47	88	57	14	86	19	16

Fonte: Hohendorff (2018, p. 50).

A proposta desta tese, além de trazer uma revisão da melhor doutrina, coletando os mais recentes artigos científicos na área bem como materiais produzidos pelas principais organizações internacionais referência em nanotecnologias, é elaborar uma pesquisa aplicada, com coleta de dados e revisão

sistemática da literatura para avaliação de impacto da pesquisa. A partir dessa ideia, foi elaborada uma pesquisa na base de dados do Portal de Periódicos da CAPES (2023), dividida na seguinte estruturação: a) primeiro foram escolhidas palavras-chave que se relacionam com os pontos principais do estudo; b) na sequência, feita busca com cada uma delas, chegando ao resultado de quantas publicações continham no portal, no período de 2018-2023; d) após, abordada a divisão dentro do portal sobre quais os tipos de publicações; e) ao final, realizada análise dos dados, com elaboração de tabelas e gráficos a partir dos resultados.

Desta forma, vislumbrando a demonstração de pertinência da pesquisa e seus recortes, cumpre apresentar a Tabela 2 elaborada com os números extraídos desta pesquisa no Portal de Periódicos da CAPES (2023):

Tabela 2 - Pesquisa no Portal de Periódicos da CAPES com palavras-chave referentes aos recortes da tese

Palavras-chave	Período temporal	idioma	Número de incidência de publicações
Nanowaste	2018-2023	Inglês	97
Resíduos nanotecnológicos	2018-2023	português	97
Nanoplastic	2018-2023	Inglês	3249
Nanoplástico (obs- abrangência de publicação em espanhol e inglês)	2018-2023	Português	11
Sustentabilidade	2018-2023	Português	19.355
Nanosustentabilidade	2018-2023	Português e inglês	0
Economia circular	2018-2023	Português	344
Circular economy	2018-2023	Inglês	7009
Rastreabilidade	2018-2023	Português	29
Traceability	2018-2023	Inglês	2287
Autorregulação	2018-2023	Português	113
Self-regulation	2018-2023	Inglês	5061

Fonte: Elaborada pela autora.

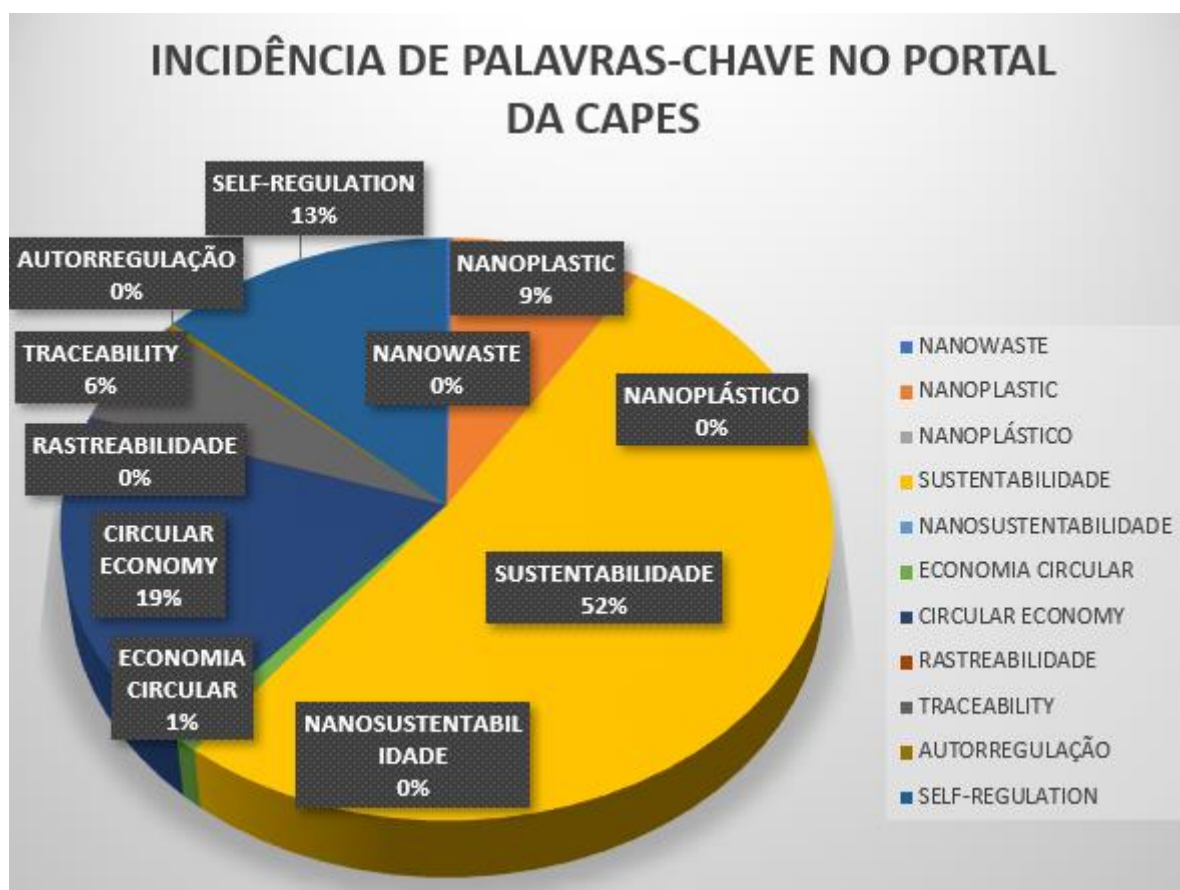
Analisando os dados extraídos, percebe-se um fator interessante, algumas palavras-chave apresentam grandes números de publicações na base, e outras nem tanto, como por exemplo a palavra *nanowaste*, rastreabilidade e autorregulação. Indo de encontro, temos palavras como *nanoplastic*, sustentabilidade, circular economy com números maiores. Outro ponto que merece destaque é a questão do

idioma: as mesmas palavras escolhidas, mas coletadas em idiomas estrangeiros, tem uma publicação muito maior fora do Brasil. Como exemplo, cita-se autorregulação e self-regulation, nanoplástico e nanoplastic, economia circular e circular economy.

Conclui-se, desta forma, pela importância da pesquisa, uma vez que se constata em publicações estrangeiras números elevados de artigos e materiais diversos nesta área, mas no cenário brasileiro ainda é necessário fomentar o estudo, difundir a informação, não havendo equiparação nos dados estatísticos.

O Gráfico 1, igualmente demonstra a análise dos dados, com percentual de publicações:

Gráfico 1 - Incidência de palavras-chaves no Portal de Periódicos da CAPES



Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, fica demonstrada a importância do tema dentro das diversas áreas da ciência, levando em consideração que as publicações são de áreas aleatórias e não somente do Direito. Percebe-se ainda que são essas outras áreas da ciência que estão conduzindo as pesquisas em nanotecnologias e segurança no mundo, de

modo que a o Direito precisa intervir de forma mais efetiva na regulação, ou assim outras áreas a farão, como já vem ocorrendo.

Continuando na parte de definição e interação dos nanoproductos, interessante entender a própria distribuição de nanopartículas nos mais diferentes produtos desenvolvidos por esta tecnologia, conforme George *et al.* (2022), conseguiram reproduzir na imagem do Anexo B,⁵ “distribuição de nanopartículas nos 5169 produtos relatados”. Segundo os pesquisadores George *et al.* (2022), estatisticamente, a nanopartícula mais abundantemente utilizada em os 5.169 produtos relatados para o ano de 2021 foi a prata, titânio e dióxido de titânio, carbono e ouro. A distribuição de produtos à base de nano é nanopartícula, nanotubo, nanocompósito e grafeno. Os produtos à base de nano são mais expostos à palma, as mãos, os dedos, o cabelo, o rosto, as unhas, o peito e as costas.

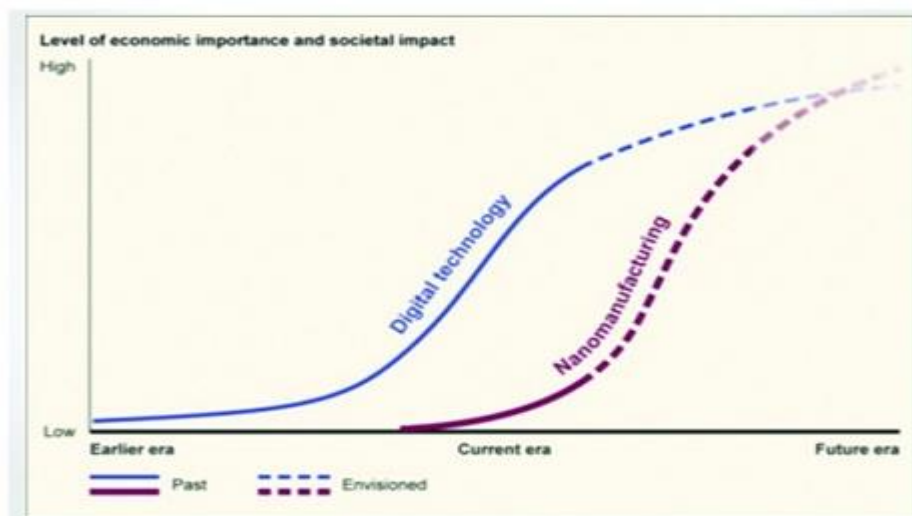
Outro dado importante é o representado na figura do Anexo A, *Distribuição de nanopartículas em produtos cosméticos*,⁶ O qual traz o número de cosméticos com nanotecnologia, qual sua aplicação (cuidado ao cabelo, cuidado pessoal, maquiagem etc), qual a maior incidência de nanopartículas, bem como quais são os países que mais produzem, indicando o Brasil no topo da produção de nanoproductos para o cabelo, ao lado dos EUA, Reino Unido, Coreia do Sul e Rússia (GEORGE *et al.*, 2022).

Assim, a nanotecnologia promete tornar-se uma tecnologia de propósito geral com aplicações em grande escala semelhantes à tecnologia digital. Poderia eventualmente combinar ou ultrapassar a revolução digital em termos de importância econômica e impacto social uma vez que os métodos de investigação e fabricação sejam desenvolvidos e os programas de educação subjacentes e a infraestrutura física sejam estabelecidos. Entre 2020-2030, a nanotecnologia poderá igualar e até ultrapassar a revolução digital em termos de avanços tecnológicos, nível de investimentos e importância social, como bem demonstra o Gráfico 2 (UNITED STATES, 2014).

⁵ Cumpre esclarecer que a imagem X está em anexo em virtude do seu tamanho e configuração, levando em conta que, caso inserida no corpo do texto, pelas formatações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), ela não ficaria legível.

⁶ Em Anexo A por ausência de espaço no corpo do texto, conforme explicação da nota anterior.

Gráfico 2 - Curvas S para duas megatendências em ciência e tecnologia



Fonte: United States (2014, p. 11).

Com o mesmo objetivo, a fim de 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 –, 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. Baseando-se então na NPD, pode-se afirmar que na primeira data de coleta (quando da apresentação do projeto para seleção do doutorado), existiam 8452 produtos com nanotecnologias, produzidos por 2052 companhias, oriundos de 56 países (NPD, 2017).

Acompanhando a evolução na mesma plataforma, tais produtos como cosméticos (protetor solar, creme antirrugas), shampoos, até mesmo produtos domésticos (bebedouro d'água) e medicamentos, indústria bélica, dentre outras várias áreas seguiram disparando em números. Comparando com levantamento ainda anterior de 17 de abril de 2017 (LEAL; ENGELMANN, 2018, v. 1), observou-se que à época havia exatamente 7226 produtos, 1120 empresas, em 52 países (NPD, 2017). À data da qualificação de projeto desta tese, observou-se a existência de 8860 produtos, em 2453 empresas, em 62 países diversos (NPD, 2020b). Por fim, atualizando ao mês de outubro 2022, tem-se o registro de 10.243 produtos, 1394

tipos, 3308 empresas em 64 países (NPD, 2022). Veja a Tabela 2 que apresenta a comparação e traz o crescimento dos números:

Tabela 3 - Quadro comparativo-evolução nano em números

Período Coleta de Dados	Produtos	Nº indústrias	Países
17 abril 2017	7226 produtos	1120 empresas	52 países
21 outubro 2018	8452 produtos	2052 empresas	56 países
22 setembro 2020	8860 produtos	2453 empresas	62 países
25 de outubro de 2022	10.243 produtos	3.308 empresas	64 países

Fonte: Elaborada da autora, com base na NPD (2017, 2018, 2020b, 2022).

Conclusão: em lapso temporal de 5 anos e meio, possível constatar a elevação em mais de 3017 produtos registrados (entre a 1.^a coleta e última), dando maior destaque para o número de empresas desenvolvedoras de nanoproductos, que aumentou mais de 100% (NPD, 2017, 2022). Considerando a última atualização de dados e na quantidade de empresas, observa-se o crescimento importante, com aumento de 200% de indústrias no ramo (de 2017 a 2022).

Conforme apresentado neste capítulo, o lado positivo das nanotecnologias são muitos, principalmente quando serve de “tecnologia parceira” aos problemas mais contemporâneos da sociedade. Neste viés, Shukla *et al.* (2021) as apresenta como grande aliada no combate atual da pandemia do COVID-19. Explicam os autores que o surgimento de um novo vírus Corona (COVID-19) originou-se em 19 de dezembro na China. A cidade de Wuhan, capital da província de Hubei, na China, seria responsável por um surto de doença respiratória conhecida como COVID-19 e que se espalhou rapidamente pelo mundo, ceifando milhões de vidas. O surto repentino do novo coronavírus, síndrome respiratória aguda grave coronavírus 2 (SARS-CoV-2 ou 2019-nCoV), foi uma grande preocupação, buscando para sua mitigação rápida o tratamento previsível. Pesquisadores e médicos estavam à época em busca de kit de diagnóstico rápido, medicamentos e equipamentos de proteção individual (EPI) resistentes a vírus para diagnóstico clínico, medicação e prevenção da disseminação da COVID-19. Assim, as nanotecnologias alcançaram grandes benefícios nesse combate:

A engenharia de nanotecnologia cria um grande número de materiais para diagnóstico e terapia. A nanotecnologia compreende uma perspectiva notável para a prevenção, diagnóstico e terapia de doenças mediadas por vírus. É promissor que as metodologias de nanotecnologia mencionadas acima sejam a abordagem adequada subsequente para lidar com o COVID 19. Estas são atividades antivirais de amplo espectro bem estabelecidas, que ajudarão a formar drogas antivirais. Além disso, esses materiais potenciais também podem ser utilizados em equipamentos de proteção individual, material de revestimento, material sanitizante, dopando quantidade apropriada de NPs em materiais de base. Foi provado que os nanomateriais podem ser uma abordagem prática para controlar e inibir infecções virais, que são muito difíceis de lidar com a medicação conservadora disponível atualmente. No entanto, é promissor que as metodologias de nanotecnologia sejam a próxima abordagem apropriada para atender ao COVID 19. Mas, paralelamente, também é necessário entender completamente a patogênese do COVID19; caso contrário, é muito difícil desenvolver nanopartículas baseadas em receptores/ligantes específicos. Assim, esta avaliação fornece detalhes momentâneos sobre a patogênese do COVID 19; em algum lugar, pode ser informal preparar uma nanopartícula antiviral específica de alvo único para combater a pandemia de COVID 19. Um breve resumo de vários tipos de nanopartículas, como estudos de metal, óxido de metal, orgânicos, híbridos e conjugados compostos orgânicos-inorgânicos apresentados nesta revisão seu possível valor diagnóstico e terapêutico contra infecções virais seria útil na avaliação rápida de sua adequação para diagnóstico e terapêutica de COVID 19. (SHUKLA *et al.*, 2021, p. 11).

Ao encontro dos benefícios do mundo nano na era do COVID-19, corrobora Truong *et al.* (2023), explicando que temos avanços interdisciplinares em nanomateriais e biotecnologia, como biossensores baseados em nanomateriais. Estes abriram novos caminhos para detecção rápida e ultrasensível de patógenos no campo da saúde. Muitos biossensores baseados em nanomateriais atualizados, nomeadamente eletroquímicos, plasmônicos e colorimétricos, empregam ácido nucleico e antígeno-anticorpo nas interações para detecção de SARS-CoV-2 de forma altamente eficiente, confiável, sensível e maneira rápida.

No campo da segurança alimentar, Xu *et al.* (2023) afirmam que sensores nano-ópticos para detecção de bactérias têm sido muito explorados com o surgimento da nanotecnologia e da inteligência artificial.

Na medicina a nanotecnologia igualmente proporciona um grande avanço, como destacam Hedge *et al.* (2023). Explicam Hedge *et al.* (2023) que o câncer cervical é uma das principais causas de morte feminina, com uma taxa de mortalidade superior a 200.000 por ano nos países em desenvolvimento. Com apenas algumas terapias convencionais altamente invasivas disponíveis, percebeu-se a clara necessidade de novas opções de tratamento, como a administração de drogas quimioterápicas baseadas em nanotecnologia.

Na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), os pesquisadores conseguiram – por meio do fungo *Fusarium Oxysporum* – transformar íons de prata em nanopartículas com forte ação bactericida. Quando a prata é reduzida à escala nanométrica seu potencial germicida é ampliado. A descoberta dos pesquisadores foi tão importante que gerou uma patente (FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO (FUNDACENTRO), 2020). Contudo, em paralelo há alerta sobre o risco, ponto que será abordado mais adiante na tese.

Portanto, estas tecnologias, já não mais tão novas no cenário tecnológico, estão situadas 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 (2016, p. 11):

[...] 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.

Ao contrário das revoluções industriais anteriores, esta evolui em um ritmo exponencial e não linear⁷ e demonstra ainda outro aspecto importante, o impacto sistêmico: ela envolve a transformação de sistemas inteiros entre países e dentro deles, em empresas, indústrias e em toda sociedade (SCHWAB, 2016). De acordo com Schwab (2016), o que a distingue das três revoluções anteriores é a velocidade, a amplitude e a profundidade, além da fusão de tecnologias e a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos. Acrescenta ainda que, como evolui em ritmo exponencial e não linear, se tem como resultado do mundo multifacetado e

⁷ A noção sobre a diferença entre o crescimento linear e o crescimento exponencial, em termos de tecnologia, é muito importante: “Someone who does understand the concept pretty well is inventor, futurist, author and director of engineering at Google, Ray Kurzweil (whom Forbes Magazine describes as ‘the ultimate thinking machine’ – that’s a pretty cool moniker). Kurzweil uses an analogy of firstly taking 30 linear steps (where the distance of each step is the same as the last), and then taking 30 exponential steps (where the distance of each step is double that of the previous). The distance travelled by taking 30 linear steps is approximately 20 to 30 meters (depending on the length of your legs). This might get you from one end of your house to the other, or across a busy city street. However, taking 30 exponential steps gets you around the world 25 times (a distance of about a million kilometers) or to the moon and back again” (HOLLINGWORTH, 2016, p. 39-40).

profundamente interconectado em que vivemos; em relação à amplitude e profundidade, como tem por base a revolução digital e combina várias tecnologias, gera uma mudança de paradigma sem precedentes não apenas na economia, mas também na sociedade e nos indivíduos.

Diversas são as inquietações sobre as nanotecnologias, mas um ponto que vem se destacando é a questão da pesquisa multidisciplinar, envolvendo diversos profissionais, das mais diversas áreas, até mesmo dos advogados, conforme afirma o Plano Estratégico de Nanotecnologias da Austrália, sobre a necessidade de múltiplos setores da pesquisa:

This has been brought about through exceedingly multidisciplinary research-with physicists, chemists, materials scientists, engineers, mathematicians, biologists, medical scientists, environmental scientists, and even social scientists, economists and lawyers, coming together to fuel the advancement of nanotechnology research (AUSTRALIAN ACADEMY OF SCIENCE, 2012, p. 12).

A partir desta conjuntura de inovação surge a preocupação com a nanosegurança. O desenvolvimento sócioeconômico 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 (HOHENDORFF, 2018).

Contudo, muito embora o desenvolvimento desta nanotecnologia venha alcançando contornos significativos, não há regulação específica. Segundo Engelmann (2015b, v. 1, p. 350), “[...] o Direito deverá construir as bases para um conjunto normativo de acompanhamento, assessoramento e recompensas pela implementação das condutas mais aceitáveis em relação à gestão do risco nanotecnológico”.

E por estar neste cenário de inovação, apresenta-se com potencial grandioso de avanços e benefícios, entretanto, a possibilidade do risco demonstra o foco mais importante para o desenvolvimento de pesquisas e regulações.

No entanto, nem tudo são boas notícias em relação à nanotecnologia. À medida que a utilização da nanotecnologia aumenta em bens comerciais e novos dispositivos, também aumenta a exposição ambiental e humana a esses nanomateriais. O tamanho ultrapequeno e as propriedades únicas dos

nanomateriais levaram a uma preocupação crescente em relação à sua toxicidade (HOFFMAN, [2022a?]; JOIN..., 2012).

Os riscos⁸ são, em grande parte, desconhecidos e os danos futuros incertos, mas a decisão precisa ser realizada no presente, através da utilização destas novas ferramentas surgidas pela incorporação da ideia de que o conhecimento não poderá mais ficar aprisionado nos limites herméticos de cada campo do saber. Desta forma, é neste tempo em que se deve observar e construir modelos jurídicos permeados tanto pela certeza quanto pela incerteza em relação às expectativas sociais que são continuamente frustradas/satisfeitas por meio da complexidade social em permanente incremento (ROCHA; MARTINI, 2016).

Esta rápida transição dos laboratórios para as fábricas e, a partir da produção em grande escala, para o mercado consumidor, reside um importante foco de possibilidade de riscos não adequadamente avaliados e conhecidos. Vale dizer: é uma face a ser observada pelo Sistema do Direito (HOHENDORFF, 2018).

As nanotecnologias surgem como uma tecnologia prometeica, possuindo inúmeras aplicações e possibilidades conforme as demonstradas anteriormente. De fato, se trata de um mercado muito promissor e em amplo crescimento (HOHENDORFF, 2018), mas com um potencial pandórico (ÁLVAREZ DÍAZ, 2016), especialmente se forem analisados seus possíveis riscos.

É justamente por conta deste alerta, com a preocupação massiva nos danos em potencial na saúde humana e meio ambiente, sinalizados pela comunidade científica, que o próximo recorte da tese abordará a questão do risco. Ao longo desta pesquisa será demonstrada as possibilidades de alterações muito severas na vida de todos. Existe uma necessidade urgente de uma série de ações, como maior difusão da pesquisa (especialmente sobre aspectos toxicológicos do *nanowaste*), maior educação formal sobre essas questões em várias áreas (pelo menos ciências da saúde e engenharia), maior disseminação para a população em geral, além de um desenvolvimento responsável das nanotecnologias, atrelados aos fundamentos da sustentabilidade através da economia circular, que passa também pela abordagem da rastreabilidade como condição de possibilidade para gestão dos riscos nanotecnológicos.

⁸ “Na literatura tradicional, o risco vem acompanhado da reflexão sobre a ‘segurança’. Nesta ótica, Luhmann prefere colocar o risco em oposição ao ‘perigo’, por entender que os acontecimentos sociais são provocados por decisões contingentes (poderiam ser de outra forma), que não permitem mais se falar de decisão segura” (ROCHA, 2013, p. 24).

2.2 A percepção dos riscos nanotecnológicos pelo sistema do direito e da ciência: da sociedade do risco à metamorfose do mundo (Beck)?

Não paira dúvida de que a era nano apresenta inúmeros benefícios para sociedade, auxiliando na evolução da medicina, saúde humana, cosméticos, criando produtos mais eficazes. O consumo e acesso destes nanoproductos pela sociedade também é reconhecido de maneira pacífica. Entranto, o cenário do risco é pouco difundido, muito menos os estudos científicos que alertam para a necessária tomada de precaução no seu desenvolvimento.

A ciência caracterizava-se até pouco tempo atrás 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, para poder descrevê-lo, interpretá-lo, até mesmo compreendê-lo e dar explicações e, no melhor dos casos, prever *a priori* os acontecimentos que vão ocorrer, e retrodizer o que ocorreu, explicando-o da melhor forma (ECHEVERRÍA, 2009).

Levadas pela preocupação do risco para a atual mas também com futuras gerações, importante relacionar à Jonas (2006), que explica as desmedidas intervenções provocadas pela nova técnica do homem que acarretam uma crítica vulnerabilidade da natureza, que jamais fora pressentida antes, identificada através dos danos já causados ao equilíbrio natural. Em virtude disso, as limitações de proximidade e simultaneidade, presentes na Antiguidade, perderam sua essência em face de um prolongamento temporal e de um crescimento espacial das sequências de causa e efeito que vislumbram o agir humano.

Portanto, enfrenta-se uma complexidade não antes vista, num cenário de inovação e da Quarta Revolução Industrial, com o desenvolvimento disruptivo das nanotecnologias, que podem ter suas consequências negativas incalculáveis, conforme afirma Hohendorff (2018, p. 131, grifo do autor):

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

Conforme Berwig, Engelmann e Weyermuller (2019) as possibilidades benéficas que as nanotecnologias representam não podem ser ignoradas, ao passo que indicam um novo paradigma tecnológico para o futuro. As nanotecnologias significam uma nova fronteira ultrapassada sem possibilidade de retorno muito embora várias foram as revoluções tecnológicas já vivenciadas pela humanidade. As nanotecnologias representam ao mesmo tempo uma clara novidade de riscos futuros assim como uma nova etapa da evolução humana. Muitas outras inovações não podem ainda ser consideradas seguras, como é o caso dos transgênicos. Porém, a amplitude das aplicações das nanotecnologias supera qualquer outra em termos de números e multiplicidade de aplicações. De outro modo, a ausência de regulação potencializa a insegurança, de modo que o Direito deverá implementar outros mecanismos nesta mitigação, principalmente no Direito ambiental, impondo-se ainda a precaução exigida nesse cenário:

A ausência de norma jurídica, mais precisamente de regra, indica que sequer dentro da perspectiva aqui designada como tradicional do Direito, se tem resposta adequada para as possibilidades futuras de danos que podem advir da utilização em larga escala dessa tecnologia. Instrumentos de tutela tradicionais também encontram dificuldades para promover adequadamente a conciliação entre as necessidades da sociedade e a carga ambiental que elas representam. [...]. Nessa perspectiva, se impõe uma necessária adaptação de instrumentos jurídicos que possam dar conta de tal complexidade, ao menos reduzindo bastante as possibilidades de danos no futuro. Danos que podem advir de possíveis efeitos ainda não conhecidos dos produtos em escala nanométrica não podem ser controlados apenas pela noção tradicional e positivista do Direito Civil, por exemplo. Assim, visualizar o contexto amplo dos riscos das nanotecnologias é o primeiro ponto a ser considerado. Essa complexidade não pode ser simplesmente combatida por norma restritiva. Um Direito Ambiental adaptado a essas novas demandas precisa considerar de maneira efetiva a aplicação de princípios fundadores da ordem jurídica ambiental, com especial destaque para o princípio da precaução. Não apenas uma precaução formal, mas, sobretudo, uma postura realmente antecipadora baseada na premissa da incerteza científica (BERWIG; ENGELMANN; WEYERMULLER, 2019, p. 238-239).

A percepção dos riscos nanotecnológicos ingressam num cenário de alteração profunda na sociedade. A evolução das nanotecnologias, ainda que se desenvolva atrelado ao ESG (que no capítulo específico será abordado), aliados ainda a propostas como da Economia circular e rastreabilidade, são verdadeiramente a “metamorfose do mundo” cunhada por Beck (2018). E por quê? Não se está a falar sobre mudanças, evolução, revolução e transformação,

Pois vivemos num mundo que não está apenas mudando, mas está metamorfoseando. Mudança implica que algumas coisas mudam, porém outras permanecem iguais – o capitalismo muda, mas alguns aspectos do capitalismo continuam como sempre foram. A metamorfose implica uma transformação muito mais radical, em que as velhas certezas da sociedade moderna estão desaparecendo e algo inteiramente novo emerge (BECK, 2018, p.15).

O risco nanotecnológico enquadra-se aos contextos mais complexos com os quais a própria comunidade científica tenta lidar para criar mecanismos e alcançar soluções não antes pensadas, e deste modo fica adequado à percepção de metamorfose de Ulrich Beck. Beck (2018) ainda exemplifica com outro grande problema emblemático global que retrata a mesma preocupação: as mudanças climáticas, onde a grande concentração foi em saber se ela ocorre ou não, e caso esteja, o que se deve fazer. Contudo a ênfase na busca por solução acaba cegando para o fato que ela já é um agente de metamorfose, pois “[...] já alterou a maneira de estar no mundo [...]” (BECK, 2018, p. 16). Ainda alterou a maneira como vivemos no mundo, observando a questão da elevação do mar que traz novos desenhos nos mapas-mundi, que não mais são somente fronteiras entre Estados-nação.

Portanto, a evolução, o crescimento disruptivo das nanotecnologias, em especial questão dos resíduos nanoplásticos, toda complexidade em torno do risco e gestão, ficam alinhadas à visão de metamorfose de Beck (2018, p. 16), até mesmo pois avança na teoria anterior, de risco Mundial:

A teoria da metamorfose vai além da teoria da sociedade de risco mundial: ela não trata de efeitos colaterais negativos dos bens, mas dos efeitos colaterais positivos dos males. Estes produzem horizontes normativos de bens comuns e nos impedem para além da moldura tradicional, rumo a uma perspectiva cosmopolita. Mas a palavra ‘metamorfose’ ainda deve ser manipulada cautelosamente e entre aspas. Ela ainda carrega consigo todas as marcas distintivas de um corpo estranho. [...]. De qualquer maneira, com este livro, eu me disponho a incorporar o conceito migratório de ‘metamorfose’ ao senso comum social de países e línguas.

A visão sobre esse fenômeno cosmopolita traz mudanças de visão global, conforme explica:

A metamorfose do mundo significa mais que um caminho revolucionário de fechado para aberto, e também é algo diferente disso: significa mudança extraordinária de visões de mundo, e reconfiguração da visão de mundo nacional (BECK, 2018, p. 18).

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

Muito pouco hoje é conhecido acerca do comportamento ambiental e os efeitos da liberação de nanopartículas, embora estes sejam materiais que já se encontram efetivamente presentes no ambiente. Mais pesquisas são necessárias para determinar se a liberação e os processos de transformação resultam em um conjunto de nanopartículas similar ou mais diversificada e, finalmente, como isso afeta o comportamento ambiental (NOWACK *et al.*, 2012).

Na última década, o número de publicações trabalhos na área de nanotoxicologia – o estudo da toxicidade, e ambiental, questões de saúde e segurança dos nanomateriais – cresceu cerca de 600%. A maioria desses trabalhos relatam estudos *in vitro* que examinam a toxicidade de vários nanomateriais. Os estudos são feitos empregando uma certa quantidade de nanomaterial em células que crescem no fundo de uma placa de cultura e medindo como eles responder. Tanta coisa parece ter sido feito – usando diferentes sistemas de modelo e nanomateriais – e, no entanto, há resmungos em toda a literatura sobre o lento progresso. Equívocos em e do campo, e propostas sobre o que a comunidade precisa fazer como um todo para que o campo progredir mais rápido. Uma coisa é pelo menos clara para agora: poucos estudos oferecem resultados consistentes que são de valor, e é difícil comparar estudos porque muitas vezes são usando nanomateriais mal caracterizados e condições experimentais arbitrárias (JOIN..., 2012).

Importante destacar a incerteza sobre os riscos, como por exemplo na gestação, ou ainda uma provável causa de câncer, atravessando facilmente barreiras biológicas:

Pouco se sabe sobre o risco clínico de exposição de nanomateriais, se eles podem representar um risco para o feto durante a gravidez. Acredita-se que a inalação de nanomaterial seja de risco para doenças cardiorrespiratórias e os CNTs são um risco comprovado. A forma de fibra de agulha dos NTCs é semelhante às fibras de amianto, que podem causar câncer de pulmão e

outras doenças respiratórias. Além disso, há evidências crescentes de que as nanopartículas apresentam capacidade de atravessar barreiras biológicas obtendo acesso à corrente sanguínea e outros órgãos onde podem se acumular (HOFFMAN, [2022a?]).

Face às incertezas quanto a segurança das nanos, importa destacar a cautela e precaução que devem ser empregados em seu desenvolvimento. Neste sentido, interessante a ligação das nanotecnologias ao contexto ético e de responsabilidade com as relações futuras, destacando novamente a lição de Hans Jonas como paradigma, que os autores Hupffer e Engelmann (2017, p. 25-26, grifo dos autores) apresentam:

As nanotecnologias, como resultado do poder e agir humano, também estão expostas a uma avaliação ética. Ao se integrarem no corpo humano e na natureza, as nanotecnologias se tornam não apenas irreversíveis como também já ultrapassaram muito do que os primeiros cientistas projetaram e planejaram. [...]. A novidade em Jonas está em conceber seu princípio responsabilidade ontologicamente como um *Tractatus tecnolócico ethicus* ao justificar que o homem tem responsabilidade para com o futuro longínquo da humanidade, ou seja, para com aquele que ainda não existe e, por esta razão, ainda não conseguem reivindicar seu direito para viver. Ao aconselhar a prudência para com o futuro é possível dizer que Jonas fundamenta eticamente o princípio da precaução. A resposta que ele oferece é que o avanço tecnológico deve ser avaliado sempre em função dos seus piores prognósticos, o que não significa paralisar o desenvolvimento tecnocientífico. O princípio responsabilidade advoga que diante da incerteza científica é necessário responsabilidade, cautela e precaução.

Como resultado na busca pela segurança do desenvolvimento nanotecnológico, em novembro de 2017, a OECD publicou o relatório *Consumer and Environmental Exposure to Manufactured Nanomaterials: Information used to Characterize Exposures: Analysis of a Survey* que analisou uma grande pesquisa desenvolvida desde 2015 em vários países membros da organização, sobre a exposição dos consumidores e do meio ambiente a nanomateriais manufaturados, demonstrando preocupação com os riscos destes materiais. O relatório objetivava fornecer uma análise dos resultados da pesquisa iniciada em 2015, com a finalidade de coletar informações usadas para caracterizar exposições ao consumidor e ao meio ambiente para avaliação de risco humana e ecológica. A pesquisa seria uma ferramenta para informar as possíveis vias para futuras pesquisas e colaboração na área de avaliação da exposição em relação aos nanomateriais fabricados (OECD, 2017a).

A informação apresentada no documento não se destina a implicar aprovação científica e/ou política de métodos ou modelos específicos de avaliação de

exposição. A pesquisa coletou dados sobre a importância e disponibilidade de informações e dados em seis grandes categorias: a) caracterização do material; b) produção, uso e mercado; c) lançamentos para o meio ambiente (direto, indireto e via uso do consumidor); d) destino ambiental e transporte; f) avaliação da exposição (direta e indireta); e g) controle de exposição e mitigação. Também solicitou informações sobre lacunas e prioridades de dados percebidas e solicitou voluntários para liderar ou contribuir para projetos da OCDE que possam surgir a partir da informação obtida da pesquisa. Ainda, com base na análise apresentada, o relatório também recomenda possíveis vias para o trabalho futuro da OCDE, divididas em três temas: a) Tema 1 inclui projetos relacionados ao desenvolvimento e uso de modelos de exposição para nanomateriais fabricados. Isso inclui informações sobre quantidades de produção, importação, percursos de exposição e mensuração da exposição no meio ambiente, para consumidores e emissões de artigos e produtos de consumo; b) Tema 2 inclui projetos sobre questões relacionadas ao comportamento e transformação ambientais e inclui informações sobre nanomateriais liberados ao meio ambiente através do uso de artigos e produtos; e c) Tema 3 inclui projetos relacionados à caracterização material de nanomateriais fabricados e inclui dados sobre a forma física de nanomateriais em produtos. (OECD, 2017a).

Outro ponto importante que merece destaque são as definições associadas à questão da avaliação dos perigos e riscos das nanotecnologias (CNPEM, 2019). Apresentam-se duas em especial:

- a) nanotoxicologia: é uma nova área do conhecimento científico que tem como objetivo estudar a interação de nanomateriais com sistemas biológicos e o ambiente para entender de maneira integrada os efeitos adversos, a toxicidade e os mecanismos de ação dos nanomateriais;
- b) nanosseguurança: conjunto de medidas para garantir a segurança ambiental, ocupacional e sanitária de toda a cadeia de valor e o ciclo de vida dos nanomateriais através de ferramentas que prevêm, prescrevem e proscuem o desenvolvimento de produtos e processos nanotecnológicos (MAYNARD; WARHEIT; PHILBERT, 2011).

Cientes do alerta de risco, a equipe de pesquisadores das universidades de Pittsburgh e Yale, nos EUA, advertem que quando materiais sintéticos são

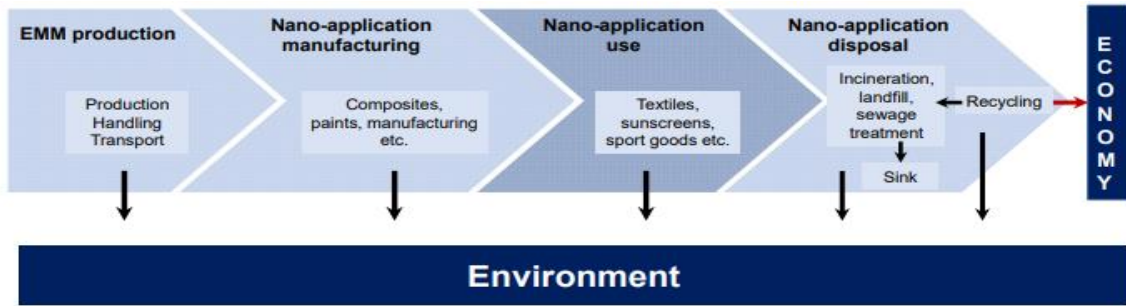
projetados sem informações críticas sobre seus impactos ambientais desde o início do processo, seus efeitos a longo prazo podem prejudicar esses avanços ou fazer com que o que se acreditava serem avanços se tornem problemas. O grupo traçou uma estratégia para fornecer aos cientistas de materiais as ferramentas necessárias para realizar as avaliações de maneira eficiente desde o início do processo de design. Com isso, dentre os milhares de materiais já conhecidos ou que aguardam para ser descobertos, poderão ser selecionados aqueles com menor risco de impacto à saúde e ao ambiente.

Os nanomateriais desafiam-nos com a combinação de um banco de dados de toxicidade relativamente limitada, uma grande variabilidade, e a incerteza sobre a toxicidade. Materiais que pertencem a um mesmo composto podem variar consideravelmente que respeita à forma, distribuição de tamanho, funcionalização, a superfície modificação, a agregação de estados e capacidade de dissolução. Devido a esta variabilidade baseada em materiais, hoje a ciência está confrontada com lacunas de conhecimento sobre o destino e o comportamento de materiais nanoengenheriados em sistemas de teste e no meio ambiente (GOTTSCHALK; KOST; NOWACK, 2013).

Como se está analisando o risco, interessante apresentar as formas de contaminação do *nanowaste* ao meio ambiente, observando ainda que o recorte desta tese perpassa o controle e tratamento adequado destes resíduos, fundamentado na economia circular e rastreabilidade.

Conforme mostrado na Figura 6, existem duas etapas pelas quais os engineering nanomaterials (ENMs) contaminam o ambiente. A primeira etapa é mostrada por setas azuis escuras representando sua liberação durante Manuseio do produto ENM, enquanto a segunda etapa é mostrada por setas azuis claras representando a eventual liberação de nanoresíduos no meio ambiente. As caixas tracejadas representam setores que retardam a eventual contaminação do meio ambiente. Observe que a reciclagem é não conectada de volta à fabricação no início do ciclo, uma vez que o ENM irá ser jogado fora (lixo ou queimado) ou incorporado a outros produtos (por exemplo, plásticos) que são usados para fabricar outros produtos, em vez de ENM ou aplicações nano (CABALLERO-GUZMANN, NOWACK, 2016):

Figura 6 - Etapas de contaminação do *nanowaste* no meio ambiente



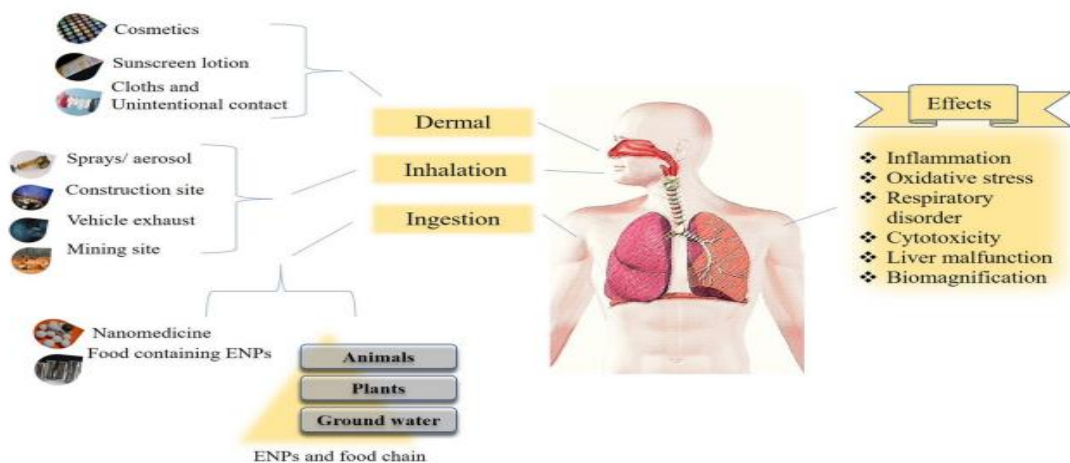
Fonte: Caballero-Guzmann e Nowack (2016, p. 508).

Ao considerar o risco ao meio ambiente e saúde humana, percebe-se que o *nanowaste* prejudica o ecossistema, conforme a lição de George *et al.* (2022, p. 10):

Os resíduos de nanopartículas industriais que são diretamente liberado na terra, ar, sistemas aquáticos ou remediação de terras contaminadas afetam a qualidade de vida humana. O nanopartículas em suspensão invadem os corpos de água diretamente através de descargas industriais ou tratamento de águas residuais efontes ou indiretamente através do escoamento superficial do solo. Esses componentes potencialmente tóxicos que são liberados em ambiente tendem a ser absorvidos pelas superfícies celulares de a biota aquática, o que pode levar à biomagnificação consumo humano.

Corroborar ainda as outras formas de liberação de nanopartículas. Certos produtos liberam vapores perigosos de óxidos de metal à base de nano durante a fabricação (Figura 7) que entram na atmosfera causando graves riscos à saúde, como mal funcionamento do fígado, inflamação, problemas respiratórios dentre outros, conforme a Figura 7:

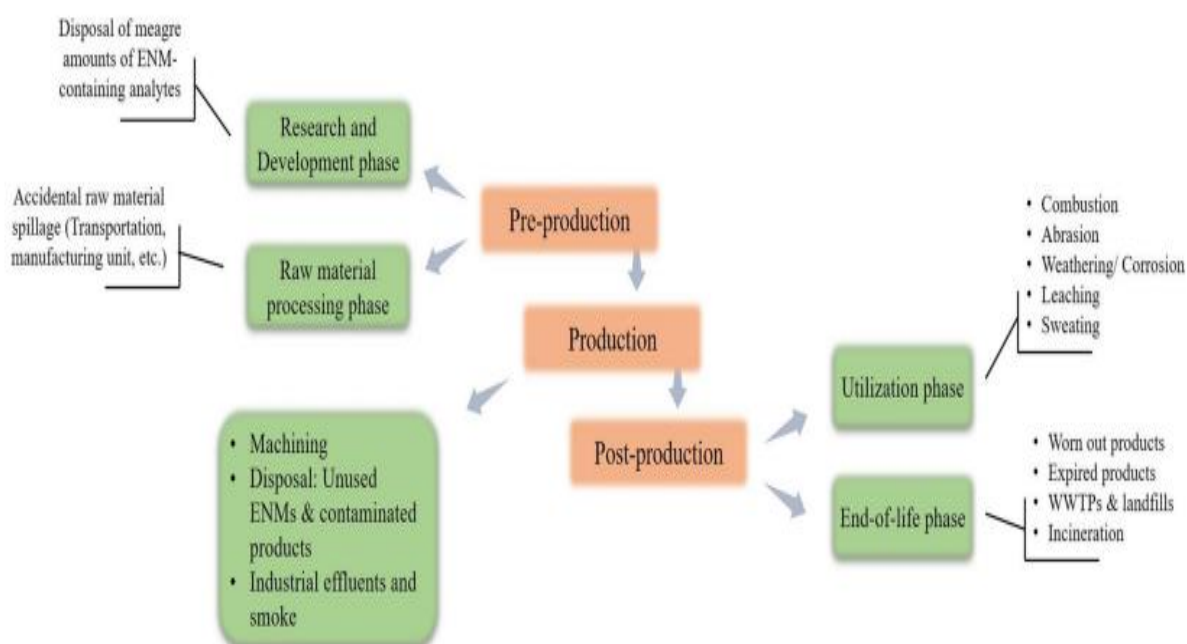
Figura 7 - Liberação ambiental de ENMs durante diferentes fases de desenvolvimento de produtos habilitados para nano



Fonte: George *et al.* (2022, p. 6).

Com enfoque no risco dos resíduos nanotecnológicos, cumpre destacar que a produção em larga escala de ENM resulta no acúmulo de *nanowaste* que interage ainda mais com diferentes compartimentos e processos celulares para produzir substâncias perigosas e tóxicas. As nanopartículas também facilitam a absorção na camada epidérmica da pele, promovendo a difusão para a superfície celular. (GEORGE *et al.*, 2022). A ingestão exógena de ENMs (Figura 8) resulta principalmente do contato direto com a pele, que é comum entre mineiros, trabalhadores industriais, e cientistas que trabalham com nanopartículas. A entrada endógena de resíduos de nanopartículas inclui a ingestão de alimentos, bebidas água, medicamentos contaminados por nanoresíduos, inalação de nanopartículas transportadas pelo ar ou injeção deliberada, explanando a Figura 8:

Figura 8 - O contato endógeno e exógeno ao *nanowaste*



Fonte: George *et al.* (2022, p. 10).

Apesar do risco em potencial, as benesses das nanotecnologias não podem ser esquecidas. O intuito desta pesquisa não é fomentar a paralização do seu desenvolvimento, mas sim esclarecer sobre a necessidade de implementação de padrões de segurança mais cautelosos, a fim de minimizar os riscos, ainda mais observando os recortes da tese, que são resíduos e nanoplásticos.

Desta forma, possível afirmar sim que as nanotecnologias apresentam um grande potencial benéfico e de evolução em prol da humanidade, reforçando apenas com três exemplos:

- a) verificou-se nos EUA, o qual desponta como percursora nesta área, em Harvard, em estudo datado de junho de 2016, intitulado *Nanotechnology and Math Deliver two-in-one Punch for Cancer Therapy Resistance*, foi encontrado um novo método de encolhimento de tumores, o qual ainda impede a resistência em cânceres agressivos, ativando duas drogas dentro da mesma célula ao mesmo tempo, utilizando-se de uma nanopartícula (NANOTECHNOLOGY..., 2016a).
- b) no mesmo sentido, relativo à medicina e combate a doenças, verificou-se em pesquisa utilizando-se de nanopartículas, que seria viável elaborar vacinas em temperatura ambiente, de maneira mais rápida. Os mesmos testes estão sendo realizados com a vacina para Chikungunya, dada a particularidade do surto atualmente presenciado:

Pesquisadores de nanotecnologia do Laboratório de Nanomateriais Supramoleculares e Interfaces Supramoleculares da EPFL (SUNMIL), em colaboração com cientistas de Milão, Turim, Leiden e Oregon, desenvolveram três aditivos de vacina simples e baratos para contornar esse obstáculo. Usando pequenas quantidades de nanopartículas, ou polímero aprovado pela FDA (polietilenoglicol), ou maiores quantidades de sacarose, eles foram capazes de estabilizar as vacinas à temperatura ambiente durante várias semanas ou, em alguns casos, meses. [...] [...] usando esses resultados, os pesquisadores aplicaram seus métodos a uma vacina que está atualmente em desenvolvimento. Eles foram capazes de estabilizar uma vacina contra Chikungunya, um vírus tropical, durante 10 dias, e, em seguida, inoculados com sucesso ratos com ele. 'O próximo passo será executar testes mais extensos sobre vacinas específicas, possivelmente combinando as três abordagens diferentes' (NANOTECHNOLOGY..., 2016b).

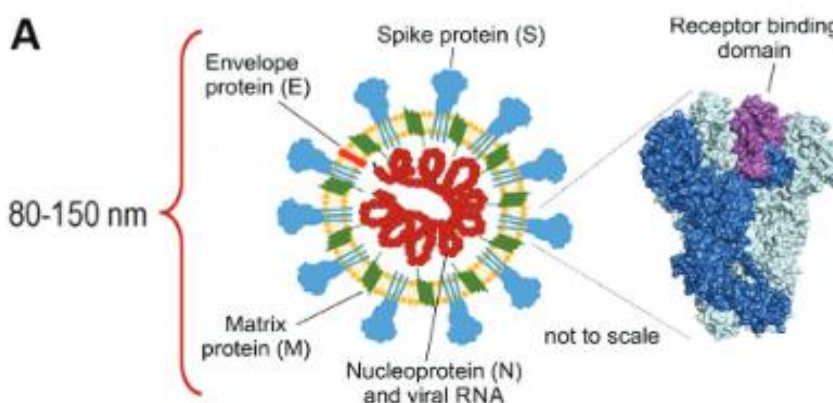
- c) a nanotecnologia foi utilizada para analisar através do hálito, a detecção de câncer e outras 16 doenças, conforme matéria de 2017, da LQES News, explicando que:

Os pesquisadores desenvolveram um dispositivo que utiliza nanopartículas para identificar 17 diferentes doenças, incluindo o câncer de pulmão e mal de Parkinson. Para isto basta você apenas soprar dentro do aparelho que analisa o ar com uma taxa de sucesso de 86%. O dispositivo pode, assim, permitir o acompanhamento regular da população e incentivá-la a realizar outros testes em caso de detecção positiva de uma das doenças abrangidas pelo aparelho. O dispositivo é interessante, pois não só é compacto, como

também, usa um método de rastreamento não-invasivo permitindo, assim, promover a prevenção. O aparelho é capaz de localizar na respiração 13 moléculas encontradas em 8 tipos de câncer, doença de Crohn, doença de Parkinson, hipertensão pulmonar e outras doenças. Cada uma destas moléculas orgânicas voláteis está presente em quantidades variáveis no ar de exaustão, criando, assim, um tipo de assinatura, um ID de doença. (NANOTECNOLOGIA..., 2017).

Atualmente, na recente pandemia do COVID-19, a nanotecnologia também se mostrou efetiva e benéfica no combate ao vírus. No final de dezembro de 2019, o escritório da Organização Mundial da Saúde (OMS) na China foi informado pelas autoridades chinesas de uma doença infecciosa, posteriormente denominada COVID-19 (doença do coronavírus 2019), inicialmente diagnosticada na cidade de Wuhan e causada por um novo tipo de coronavírus, agora denominado síndrome respiratória aguda grave (SARS) coronavírus2 (SARS-CoV-2). A OMS declarou a COVID-19 como uma pandemia em 11 de março de 2020 (RUIZ-HITZKY *et al.*, 2020). A partir desse contexto pandêmico, totalmente desconhecido na comunidade científica, foi possível encontrar na nanociência, com abordagens de nanotecnologia, disciplinas podem ajudar a medicina, comunidades técnicas para combater a pandemia, destacando o desenvolvimento de nanomateriais para detecção, saneamento, terapias e vacinas. O SARS-CoV-2, que pode ser considerado como um núcleo funcional de nanopartícula (NP), pode interagir com diversos materiais em sua vizinhança e permanece ligado por tempos variáveis, preservando sua bioatividade (RUIZ-HITZKY *et al.*, 2020). Na Figura 9, possível encontrar a representação esquemática do SARS-CoV-2 como um núcleo-concha de nanopartícula (esquerda):

Figura 9 - SARS-CoV-2 como nanopartícula



Fonte: Ruiz-Hitzky *et al.* (2020, p. 2).

A partir dos estudos inovadores e mais recentes no campo da COVID-19 e nanotecnologia, Ruiz-Hitzky *et al.* (2020, p. 20) confirmam o poder da nanociência no tratamento e combate ao vírus:

Pode-se supor que a pesquisa básica, desde simulação ao estudo de interações com nanomateriais, ser ainda necessário obter informações fundamentais sobre a nanoestrutura das partículas virais, bem como suas funções intrínsecas e mecanismos de infecção. Esses aspectos precisam ser criticamente acelerado em direção à descoberta e implantação do abordagens e meios mais convenientes na prevenção, diagnóstico e tratamento desta doença infecciosa. [...]. Conforme indicado acima, atualmente existem muitas tentativas de progresso para desenvolver vacinas COVID-19, incluindo testes clínicos. Aqui também as abordagens de nanotecnologia podem ser úteis ao criar vacinas inovadoras baseadas em nanoarquitetônica para prevenir a doença. Apenas como exemplo neste contexto, existem vacinas baseados em nanopartículas de proteína spike ou em partículas semelhantes a vírus células que imitam nanovesículas recentemente desenvolvidas para MERS-CoV, que poderia ser potencialmente extrapolado para o desenvolvimento da vacina COVID-19. Em suma, a nanotecnologia é uma poderosa ferramenta multidisciplinar que oferece várias abordagens e estratégias que poderia contribuir fortemente para a promoção de projetos de pesquisa em o mundo contra esta doença infecciosa letal do coronavírus.

Corroborando, Andresen e Fenton (2021) afirmam a alternativa viável de desenvolvimento de vacinas para o COVID-19 com nanotecnologia. A terapêutica com ácidos nucleicos oferece um novo paradigma para responder rapidamente aos problemas globais de saúde. A versatilidade dos ácidos nucléicos, especialmente nas terapias de RNA, oferece a capacidade de ajustar os níveis de expressão de proteína específica, alcançando regulação negativa através de RNA interferente curto (siRNA) ou upregulation pela administração de RNA mensageiro (mRNA). Avanços recentes no desenvolvimento de veículos de entrega, incluindo nanopartículas não virais são cruciais para superar as barreiras inatas para entrega de ácido nucleico. No estudo específico dos autores, foram utilizadas as abordagens clínicas atuais de mRNA e nanopartículas lipídicas (LNPs) para enfrentar a pandemia de COVID-19 por meio de uma nova estratégia em vacina.

Mas as pesquisas de combate ao COVID-19 e nanotecnologia não ocorrem somente no exterior, em solo brasileiro ela também se mostrou presente desde o início da pandemia. Pesquisadores da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) (2021) entenderam que para lutar com um vírus microscópico, um dos caminhos é operar em escala semelhante. Afirmam os pesquisadores que, como no caso do coronavírus o diâmetro é medido em nanômetros (unidade de comprimento

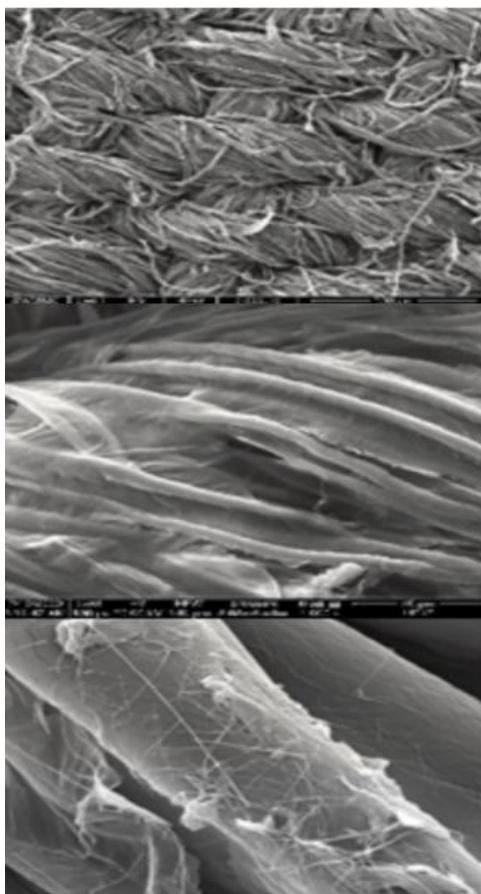
equivalente à bilionésima parte de um metro), a alternativa é utilizar o mesmo caminho. Para diminuir o contágio, dedicam-se a estudos com nanotecnologia para conter o Sars-COV-2, objetivando desenvolver tecidos tecnológicos com ação antimicrobiana que possam ser reutilizados e esterilizados de forma rápida e eficiente – capazes de inativar não apenas vírus, como também bactérias e fungos.

Explica o pesquisador Welber Quitino (*apud* UFJF, 2021) que

Os tecidos estão sendo funcionalizados com nanomateriais que apresentam atividades antimicrobianas: óxidos de grafeno, óxidos de grafeno reduzido e nanofios de prata. 'O projeto também prevê a funcionalização de tecidos normalmente utilizados na confecção de máscaras e vestimentas hospitalares (algodão e TNT), bem como filtros usados na fabricação de ar-condicionado residenciais e automotivos' [...]. 'Buscamos fazer testes em tecidos com GO/rGO com e sem nanofios de prata para verificar qual deles apresenta maior eficácia na inativação de microrganismos como bactérias e vírus – em particular, o coronavírus'.

Interessante ainda a Figura 10, que mostra a presença de nanomateriais estudados em fibras de tecidos tecnológicos:

Figura 10 - nanomateriais em tecidos para combate COVID-19



Fonte: Arquivo pessoal (QUITINO *apud* UFJF, 2021).

Na Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Física de São Carlos (IFSC), o pesquisador Zucolotto⁹ reforça o papel fundamental das nanos também na área de diagnóstico do COVID-19:

A área de diagnósticos tem sido amplamente beneficiada com estudos e aplicações da Nanotecnologia. Como exemplo, temos os kits de diagnóstico à base de nanopartículas que atuam no conceito de Point-of-Care (POC), para diagnóstico de doenças de maneira simples, sem a necessidade de grandes equipamentos e, sempre que possível, manuseados pelo próprio paciente. Esses sistemas estão em consonância com recentes determinações da OMS, que priorizam o diagnóstico genético ou de proteínas a partir de sistemas POC, direcionados à COVID-19. Nesse sentido, a Nanotecnologia pode e vem atuando de maneira importante na fabricação de kits de diagnóstico rápido [...]. Em outros dois trabalhos recentes, a importância da Nanotecnologia fica evidente ao se explorar as propriedades únicas de nanomateriais ópticos e magnéticos para diagnóstico, ou seja, as propriedades desses materiais que permitem seu uso nessas aplicações provavelmente não estariam presentes se o material fosse processado em uma escala maior (na macroescala) (USP/IFSC, 2020).

Muito embora haja o viés positivo das nanos, a questão do risco é o maior destaque desta pesquisa, e tema que é observado atentamente pelos pesquisadores, conforme explica Franzius (2015, p. 231):

Los programas y las obligaciones procedimentales de definir programas son importantes para el Derecho de los riesgos. Estos tienen una función de dirección de la discrecionalidad y se parecen, de esa forma, a los reglamentos que concretan normas. Aquí se hace evidente cómo la práctica genera nuevas formas de racionalización de los márgenes de decisión a los que pueden conectarse la dogmática y los controles [...].

O que desperta o necessário aporte do Direito e correto enfrentamento a fim de autorregular como forma de precaução. Portanto, a era nanotecnológica é uma realidade, o que acarreta a maior produção, gerando mais resíduos nanotecnológicos, que vai desde a industrialização até o destino final dos mesmos.

Quando se aborda o nanomundo a possibilidade de risco é iminente (MOUNEYRAC *et al.*, 2017; XIA *et al.*, 2017). Todos estes materiais estão intensamente presentes no cotidiano humano, conforme demonstrado no capítulo anterior, o que trará, em consequência, um maior descarte no meio ambiente. Com a proposta de economia circular, aliado à proposta de rastreabilidade dos nanoprodutos (aspecto a ser explorado na próxima parte da tese), este *nanowaste* obteria uma destinação controlada, segura, evitando a contaminação desmedida no meio ambiente.

⁹ Líder do grupo de Nanomedicina e Nanotoxicologia USP/São Carlos.

Uma série de lacunas foram identificadas nos conhecimentos atuais sobre processos de transformação de nanopartículasengenheiradas em matrizes ambientais. As lacunas identificadas se dividem em quatro categorias: processos de destino ambiental, métodos de caracterização e medição, disponibilidade de dados e informações e questões relacionadas ao modelo de exposição ambiental (KJØLHOLT *et al.*, 2015).

Neste viés destaca-se a estratégia de pesquisa da European Commission, (2017b), *Horizon 2020: Work Programme 2018-2020: Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing* que faz parte do Programa H2020: NMPB Work Programme 2018-20, a qual envolve um cronograma de ações de governança, avaliação de riscos baseada na Ciência e aspectos reguladores que prevê as seguintes estratégias anuais: 2018, governança de risco de nanotecnologia; nanoinformática: de modelos para a (eco) toxicologia preditiva; 2019: *safe by design*, desde ciência até regulamentação: métricas e setores principais; 2020: seguro por *design*, desde ciência até regulamentação: comportamento de nanomateriais de componentes múltiplos; 2020: ciência reguladora para produtos de tecnologia médica.

Uma das diretrizes é a NMBP-13-2018: governança de risco de nanotecnologia, contida em *EU Research Strategy: Nanotechnologies and Advanced Materials 2018-2020: Safe Nanotechnology* (KATALAGARIANAKIS, 2017), cujo objetivo específico é estabelecer a governança de risco transdisciplinar com base em uma clara compreensão do risco, suas práticas de gestão e a percepção de risco da sociedade por todas as partes interessadas. Esta diretriz objetiva propor e aplicar critérios claros para a avaliação de risco e aceitação e transferência de risco aceitável, através do desenvolvimento de ferramentas de tomada de decisão reforçadas que incorporem esses aspectos e da facilitação da comunicação de risco para as partes interessadas, incluindo a indústria, os reguladores, as companhias de seguros e o público em geral. Ainda, essa diretriz tem como escopo ferramentas de gerenciamento e estrutura de dados e informações sobre a segurança dos nanomateriais para avaliação de risco, risco e exposição para a saúde humana e do meio ambiente, – e mitigação de riscos, incluindo aspectos regulatórios de segurança (KATALAGARIANAKIS, 2017).

Outro aspecto que tem gerado preocupação é o destino final destes materiais com nanotecnologia quando do fim de seu ciclo. Estes materiais podem não ser

biodegradáveis e assim, permaneceriam no ambiente, interagindo com outros materiais. Este risco em potencial já está causando preocupação dos países em desenvolvimento para onde os resíduos contendo nanomateriais podem ser exportados (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO); WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 2012). A avaliação do ciclo de vida está diretamente vinculada, e vice-versa, com a avaliação do risco das nanopartículas. Justamente por conta desta particularidade é que se mostra essencial analisar o comportamento dos nanoproductos ao longo do ciclo de vida, do berço-ao-berço, conforme será exposto no próximo tópico de estudo da tese.

As nanopartículas de prata também podem ser extremamente tóxicas. “Alguns estudos têm demonstrado que nanopartículas de prata podem matar células do fígado e do cérebro de ratos. São, portanto, partículas finíssimas que podem romper a membrana das células e provocar danos” (FUNDACENTRO, 2020). Outros estudos mostraram que partículas de prata minúsculas (15 nanômetros) são mais reativas quimicamente e mais bioativas, por causa do seu tamanho, que lhes permite penetrar com facilidade em órgãos e células (BIELLO, [2008]).

Pesquisa realizada pelo site francês RLT, 60 milhões de consumidores e publicado pelo Instituto Nacional do Consumo, afirma que alguns doces industrializados estão sendo produzidos com nanopartículas de dióxido de titânio, sem que esta informação conste na embalagem dos produtos. Os pesquisadores questionam o efeito para a saúde destes elementos químicos, porque traspassam com facilidade as barreiras fisiológicas e há indícios de que o dióxido de titânio (E171) – na forma nano, em exposição crônica favorece o crescimento de lesões pré-cancerosas em ratos (E171..., 2017). O E171 na forma de nanopartículas foi detectado sistematicamente nos 18 produtos doces testados pela revista francesa, em proporções diferentes: “[...] representou 12% desse aditivo nos biscoitos Napolitain de Lu, 20% nos chocolates M&M’s e 100% nos bolos da marca francesa Monoprix Gourmet” (E171..., 2017). Ainda que exista a presença de E171 nos rótulos dos produtos não há qualquer menção à nanopartículas, o que fez com que os pesquisadores lamentassem a falta de transparência das organizações.

A dúvida e incerteza científica quanto aos impactos das nanos no meio ambiente é latente, principalmente no solo, conforme Dimpka (2014, p. 889) interroga: “A nanotecnologia pode oferecer os benefícios prometidos sem impactar negativamente a vida microbiana do solo?”. Dimpka (2014) afirma que os benefícios

prometidos nas nanotecnologias, podem vir acompanhados de riscos para o meio ambiente: plantas não-alvo, micróbios de solo de planta-benéficas e outras formas de vida poderiam ser impactadas se nanopartículas (nanomateriais) contaminassem o meio ambiente.

Aos mexilhões, as nanopartículas de prata e os íons de prata são tóxicos, os íons causaram efeitos mais fortes do que as nanopartículas. Nos peixes, dependendo da concentração, as nanopartículas de prata têm um efeito tóxico e genotóxico. A nanoprata é absorvida através da água e se acumula nas brânquias, intestino e fígado e é comprovadamente causadora de danos ao fígado. Na água do aquário de peixes, as nanopartículas de prata causam estresse e danificam as brânquias, obstruindo assim a captação de oxigênio. Os mecanismos de ação dos íons de prata e nanopartículas de prata em peixes são diferentes e também a forma das partículas (por exemplo, esférico, em forma de bastonete) influencia no efeito tóxico, o qual é baseado no número de defeitos superficiais. Quanto mais frequentemente esses defeitos ocorrem na estrutura superficial das partículas, maior é a ação tóxica (DaNa, [2022?]).

A literatura atual indica que, além dos efeitos da população e da escala organizacional nos micróbios, outros impactos sutis de nanopartículas são observados no ciclo do nitrogênio, atividades da enzima do solo e processos envolvidos no metabolismo, e produção de antibióticos. Coletivamente, os resultados publicados sugerem que a nanotecnologia apresenta consideravelmente, muitas implicações negativas para os micróbios do solo e, de conseqüentemente, atingem igualmente processos agrícolas que são conduzidos microbialmente. Aproveitar todos os benefícios da nanotecnologia sem degradar o agro-ecossistema requer mais estudos realizados em condições reais de ambiente (solo ou outras matrizes de crescimento comercial) de sistemas de plantas-micróbios. Estudos de avaliação de risco realizado em sistemas integrados de plantas com nanopartículas ajudaria no desenvolvimento de medidas de mitigação (DIMKPA, 2014).

Embora a nanotecnologia seja considerada um dos principais avanços na agricultura, por exemplo, Shang *et al.* (2019) afirmam que ela deve ser incorporada com cautela. Tudo isso observando as duas principais considerações dos riscos potenciais da aplicação de nanoagroquímicos em humanos são os baixos impactos ambientais (recursos hídricos e resíduos em produtos alimentícios) e a segurança do trabalhador e em segundo lugar, sobre os impactos éticos, legais e sociais da

nanotecnologia, destacados por Wang *et al.* (2016). Com a mesma preocupação sobre o risco, asseveram Pereira *et al.* (2020, p. 310):

Atualmente, as avaliações de risco não fornecem dados satisfatórios para prever doses/concentrações de NPs em produtos alimentícios e no meio ambiente. Extrapolação dos dados obtidos também é uma limitação, uma vez que estudos sobre doenças gastrointestinais *in vivo*, absorção, distribuição e biodisponibilidade ainda são insuficientes. Esses desafios tornam a avaliação de risco uma área bastante interessante a ser explorada. As investigações não são bem padronizadas e há pouca conexão entre os pesquisadores que estudam o mesmo assunto. Para entender os impactos humanos e ambientais causados por NMs projetados, iniciativas colaborativas internacionais adicionais devem ser criadas entre os principais institutos/países para desenvolver estratégias e objetivos para o desenvolvimento de produtos que contribuam para a agrotecnologia com baixo riscos ao meio ambiente e à saúde humana.

Muitas das dificuldades para que se obtenham mais respostas e menos interrogações quanto aos resultados confiáveis começa na forma como devem ser feitos os testes. Estes precisam ser específicos para cada nanomaterial, o que faz com que os métodos sofram alterações e adaptações frequentes. Mesmo assim, pode-se avaliar que o estudo da nanotoxicidade ainda está bastante aquém do desejável e tem pauta muito mais restrita do que os demais estudos que envolvem nanopartículas. Endossa esta percepção pesquisa realizada por Antônio Carlos Guestaldi (*apud* OLIVEIRA, 2017), engenheiro do Instituto de Química de Araraquara, que constatou que das 20.216 patentes internacionais sobre nanotecnologia encontradas até o ano de 2014, apenas 795 citavam a nanotoxicidade.

Já sobre nanossegrurança, Fernando Galembeck, professor do IQ-UNICAMP e ex-diretor do Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) (*apud* OLIVEIRA, 2017, p. 72) alerta que “Nos laboratórios, na pesquisa básica ou aplicada, é fácil controlar e destruir esses materiais porque as quantidades são muito pequenas, mas quando muda a escala para um sistema industrial a situação é outra [...]”. Junto ao LNNano, Galembeck (*apud* OLIVEIRA, 2017, p. 72) menciona ter trabalhado com a ideia de que

[...] nenhum nanoproduto deve ser desenvolvido tecnologicamente sem que os seus riscos toxicológicos e ambientais sejam avaliados, começando o mais cedo possível. Precisamos saber quais são os riscos ainda nas fases iniciais da pesquisa, porque o desenvolvimento tecnológico envolve grandes gastos.

O desenvolvimento da nanotecnologia ultrapassou em muito os estudos sobre e segurança ambiental para agências reguladoras. Desde 2004, o NIOSH estabeleceu

uma Nanotecnologia Centro de Pesquisa para identificar as implicações perigosas da nanotecnologia para a saúde dos trabalhadores. Além disso, este Centro auxilia as empresas a planejar e gerenciar condutas para proteger os trabalhadores de quaisquer efeitos adversos à saúde identificados ao trabalhar com nanomateriais. No entanto, atualmente, o desenvolvimento de uma gestão de risco eficaz para nanomateriais ainda é incipiente (PEREIRA *et al.*, 2020).

O mesmo problema foi observado para a avaliação de risco ambiental. Para uma análise de risco eficaz de qualquer material, uma abordagem em camadas ou em camadas focada nos principais pontos de impacto (KOOKANA *et al.*, 2014). Cada nível envolverá a estimativa de uma concentração ambiental prevista, que é estimada com base em dados obtidos a partir de análises de solo, águas subterrâneas e outras fontes (PEREIRA *et al.*, 2020).

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

Discorrem Baruah e Dutta (2009, p. 201-202) sobre o risco e formas de entrada de nanopartículas no corpo humano:

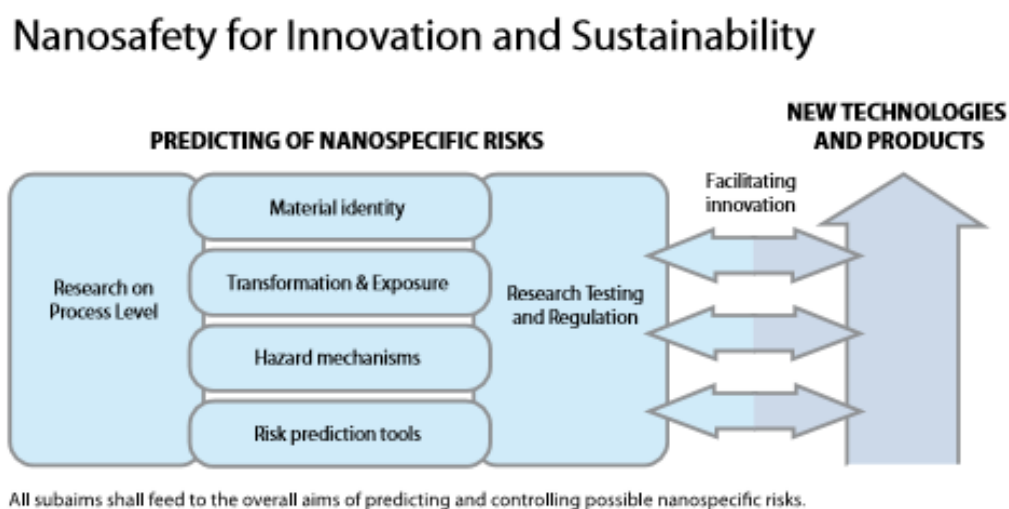
Os materiais em nanoescala estão no mesmo tamanho que o DNA, o Bloco básico de construção de espécimes biológicas, e tem a possibilidade de reagir com espécimes biológicos, ao contrário de maiores partículas. O amplo espectro de aplicações potenciais de nanopartículas levanta questões sobre a segurança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

O desenvolvimento destas tecnologias gera impactos éticos, legais e sociais importantes, relacionados também ao princípio da precaução e informação, bem como reflexos nas relações de trabalho e no meio ambiente. Não há como se imaginar avanços científicos e tecnológicos, além de econômicos, alicerçados sobre retrocesso social em termos de saúde e de proteção. Para que o Direito consiga dar

conta dos desafios trazidos pelos avanços das nanotecnologias deverá abrir-se para dois caminhos: perpassar outras áreas do conhecimento que poderão ajudá-lo a compreender a complexidade das realidades que as nanotecnologias viabilizarão e deixar ingressar as ideias vindas de outras áreas e saberes. Esta será a condição de possibilidade para a inovação *no/do* jurídico na *Era Nanotech* (HOHENDORFF, 2018).

A fim de compreender o alerta que o risco das nanotecnologias promove, mais precisamente sobre os resíduos nanotecnológicos, urge que se estude também o misterioso ciclo de vida -próximo tópico a ser abordado – (e esta proposta dá enfoque ao destino final). Observa-se primeiro, de modo geral, os principais desafios enfrentados para promover a segurança dos nanomateriais e das nanotecnologias, que estão ligados à promoção da nanosegurança a partir da inovação e **sustentabilidade**. Destaca a Figura 11 sobre os desafios principais para nanosegurança:

Figura 11 - Desafios principais para nanosegurança



Fonte: Savolainen (2013, p. 54).

Basicamente a busca pela sustentabilidade e segurança das nanos, partem das pesquisas na identificação dos riscos *nanoespecíficos*, que envolvem ferramentas de previsão de riscos, mecanismos de combate ao *perigo*, aliados aos testes e regulações específicas (SAVOLAINEN, 2013).

Tendo em vista a evolução desta nova tecnologia, pode-se constatar a necessidade de maior debate sobre elas, principalmente no que tange a possibilidade de danos futuros ao meio ambiente e vida humana, dada a complexidade e particularidade destes materiais em escala tão pequena. Ressalta-

se a ausência de regulação específica para esta tecnologia, o que incompatibiliza os preceitos do Princípio da precaução, indispensável neste contexto de incertezas científicas (LEAL; ENGELMANN, 2018, v. 1).

Tão importante a questão do risco e possíveis (futuros) danos ao meio ambiente e vida humana que a União Europeia – através da conjunção dos mais importantes grupos de estudos específicos em nanotecnologias (como a European Chemicals Agency (ECHA) e a OECD) – vem idealizando e implementando frameworks, os quais possam servir de base regulatória para segurança do desenvolvimento nanotecnológico, como este que segue (Figura 12):

Figura 12 - ECHA demanda uma hipótese de abordagem dirigida



Fonte: Stone (2020, p. 3).

Neste contexto, poderão as indústrias nanotecnológicas, por meio da (nano)sustentabilidade, reformular-se a partir da economia circular, e posteriormente instituir a rastreabilidade dos nanoprodutos (e por fim aos resíduos nanotecnológicos), efetivar a gestão do risco? Tal questionamento desperta uma enorme incógnita e clama por uma necessária implementação de regras, tendo em vista o atual desconhecimento, especialmente a respeito de seu descarte e depósito, em face da possibilidade dos danos

A partir da análise do risco, demonstram-se algumas possibilidades de rotas através das quais a exposição após a liberação de nanopartículas pode ocorrer (MORISSO; JAHNO, 2017). Um exemplo são os nanomateriais à base de carbono,

que, podem se dispersar fortemente nos compostos hidrofóbicos celulares, tais como lipídios, em relação à água, resultando em uma bioconcentração potencialmente significativa, apontam pesquisas. Em uma escala global as nanopartículas também devem ser consideradas, tais como em relação a atmosfera induzindo transformações orgânicas, reações e outras tantas que ainda são desconhecidas (GUZMÁN; TAYLOR; BANFIELD, 2006). Corroborando apresenta-se a leitura da Figura 13, onde possível identificar a relação da nanotoxicologia com propriedades físico-químicas dos nanomateriais:

Figura 13 - Relação esquemática da nanotoxicologia com as propriedades físico-químicas dos nanomateriais



Fonte: Viswanath e Kim (2017).

Com este mesmo propósito, em pesquisa específica sobre nanos no ambiente aquático, explica que durante a exposição ambiental das nanopartículas, espera-se que a presença na coluna de água domine o transporte de longa distância, bem como a exposição inicial do organismo aquático. Muito trabalho foi feito para entender os potenciais efeitos ecológicos e toxicológicos dessas partículas. No

entanto, pouco foi feito até agora para entender a persistência comparativa de partículas projetadas em sistemas ambientais realistas (ESPINASSE *et al.*, 2018).

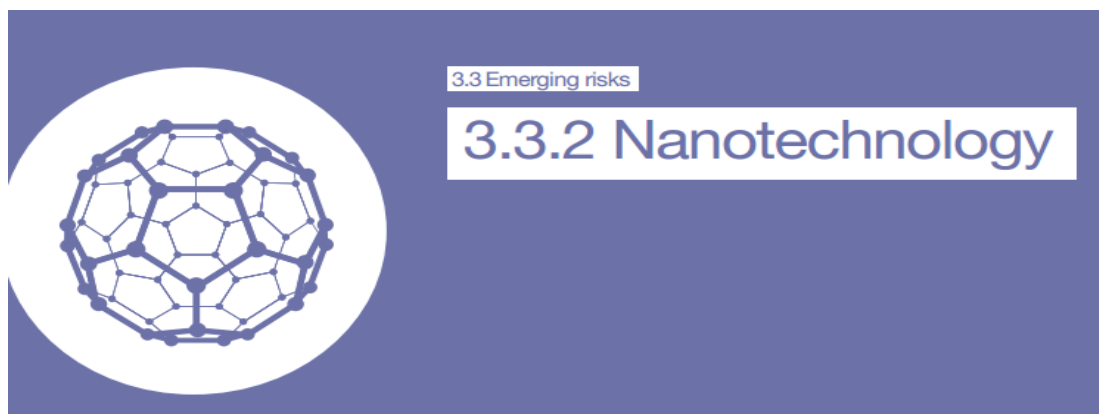
Entretanto, mesmo observando-se tal promessa de evolução benéfica à humanidade, as nanotecnologias vêm acompanhada de incertezas científicas quanto seus efeitos e (possíveis?) danos futuros ao meio ambiente e vida humana. No estado atual da arte, não se sabe ao certo quais os danos os nanomateriais podem acarretar ao ecossistema. Por esta razão, diversas pesquisas estão sendo desenvolvidas no intuito de verificar qual os (possíveis ou não) impactos das nanos na vida humana e meio ambiente. Diante disso, urge que se faça uma transição a uma logística produtora e consumidora mais sustentável, como seria a economia circular, a qual poderia ser implementada através de autorregulação, como diversas empresas globais já vem fazendo. Ademais, atrelar a rastreabilidade à economia circular geraria ainda mais controle e monitoramento dos resíduos, efetivando verdadeira gestão do risco.

A maior dificuldade apresentada é a questão da metodologia empregada aos estudos, pois até mesmo a simples definições das nanotecnologias são imprecisas, de forma que diversos institutos internacionais apresentam diferentes caracterizações das mesmas.

Muitos estudos sobre as nanotecnologias estão em desenvolvimento em nível mundial, como nos EUA, Europa em geral, Ásia e até mesmo América Latina. E face a publicação de pesquisas sobre os efeitos e (possíveis) danos (futuros?) à vida humana, o alerta entre os cientistas foi apresentado sobre o potencial risco, o que deslocou a discussão também ao mundo jurídico.

O tema *nano x incertezas x riscos* é discussão recorrente nas maiores organizações privadas e públicas a nível global. Face essa percepção, a Global Challenges Foudation (2015) realizou estudo sobre 12 novas categorias ou tipos de riscos, inserindo as nanotecnologias nesse contexto, conforme apresenta a Figura 14 abaixo:

Figura 14 - Riscos emergentes das nanotecnologias



Fonte: Global Challenges Foudation (2015, p. 114).

Explicam ainda a razão das nanotecnologias estarem nessa nova categoria de risco, dentro de 5 fatores principais:

Cinco fatores importantes em estimar as probabilidades e impactos do desafio: 1. O cronograma para nanotecnologia desenvolvimento. 2. Quais aspectos da nanotecnologia a pesquisa progredirá em que ordem. 3. Se for possível para pequenos grupos reunirem um arsenal de armas por um curto período de tempo. 4. Se as ferramentas nanotecnológicas podem ser efetivamente usado defensivamente ou para vigilância. 5. Se ferramentas nanotecnológicas ou armas são feitas para ser independente do controle humano (GLOBAL CHALLENGES FOUADATION, 2015, p. 117).

Pouco se destaca o fato de que prevenir riscos ou danos implica escolher quais os riscos ou danos pretendemos prevenir e quais os que aceitamos correr. Se a escolha for feita racionalmente o risco menor será escolhido. Contudo, nem sempre as escolhas são feitas racionalmente, são feitas por vezes na percepção. Sendo que a percepção do risco nem sempre guarda alguma relação com o risco real e, muitas vezes a escolha é feita com base na percepção e não no risco real (ANTUNES, 2016).

Desta maneira, Perez (2010) sugere a aplicação do diagrama de risco qualitativo como ferramenta para fornecer informações úteis para a análise dos riscos e aplicação da precaução, consoante apresentação da Figura 15 abaixo. Nesse contexto, a visualização pode auxiliar os tomadores de decisão na classificação de riscos e na consideração de respostas adequadas. Pode apoiar os tomadores de decisão no raciocínio sobre o Princípio da Precaução e o seu lugar dentro do universo mais amplo de riscos.

Figura 15 - Diagrama sobre risco



Fonte: Adaptada de Perez (2010).

Conforme anteriormente explicado, todas as novas tecnologias, assim como as nanos, apresentam um risco intrínseco, e portanto, demandam uma mitigação do mesmo, equilibrando-os com seus benefícios. Essa busca pelo equilíbrio mostra-se como chave na gestão do risco, de acordo com Figura 16 a seguir, asseverado pela SITRA, Technology Industries of Finland e Accenture, aspecto esse ressaltado também pela OECD, The Guardian, Aliancee, Sustainablebrands, IBM e IT Governance (SITRA; TECHNOLOGY INDUSTRIES OF FINLAND; ACCENTURE, 2018).

Figura 16 - As novas tecnologias trazem riscos que precisam ser equilibrados com seus benefícios

The new technologies come with risks that need to be balanced with their benefits

Illustrative

Environmental risks

Harmful production



Even though beneficial in use phase, the **production** of environmentally friendly technologies can have severe negative environmental impacts (e.g. mining process of rare earth elements)¹

Uncertainty of impact



The **(eco)toxicological risk and impact** of some innovative materials is **not clear upon first application** and regulations are missing – as is the case of nanotechnologies. Existing studies point to potential adverse effects on aquatic and possibly other organisms²

Recycling challenges



An inkjet 3D printer can waste up to **40% of its ink**. In addition, depending on the material used, this waste can not be easily recycled³

Additional consumption and waste



Around half a trillion connected devices by 2025 will result in **additional waste, emissions and resources** (including rare-earth elements) inherent in adding sensors, memory, and wireless⁴

Digital risks

Misuse of data



Data protection is of high public concern. The European General Data Protection Regulation now makes protection of EU residents' data for collector and processor mandatory. Sanctions of up to **€20mn/ 4% of global revenue** can be imposed⁵

Data breaches



The average size of data breaches is 24,000 records and **cost > \$ 3mn** based on costs of \$141 for each stolen or lost record containing sensitive and confidential information⁶

Cyber attacks



Over the last 5 years, average costs of cyber attacks have risen by 62%, mainly because of the **time it takes to resolve** them. While malware take about 6.4 days, malicious codes can take 55.2 days to resolve⁷

Intellectual property protection



Open collaboration and connecting with ecosystem partners e.g. through IoT makes handling **intellectual property protection more complex** – software is e.g. excluded from the scope of patents in EU (different to US)⁸

Fonte: SITRA, Technology Industries of Finland e Accenture (2018, p. 81).

Como se faz presente a intrínseca relação entre o mundo nano, o meio ambiente e risco, oportuno apresentar os maiores riscos globais apontados pelo Fórum Econômico Mundial em janeiro de 2020. Evento ocorrido em Londres, Reino Unido, 15 de janeiro de 2020, afirmou que polarização econômica e política aumentará este ano, já que a colaboração entre líderes mundiais, empresas e formuladores de políticas é mais necessária do que nunca para impedir ameaças graves ao clima, meio ambiente, saúde pública e sistemas de tecnologia. Isso aponta para a necessidade clara de uma abordagem multissetorial para mitigar o risco em um momento em que o mundo não pode esperar que a névoa da desordem geopolítica se desfaça. Mais de 750 especialistas e tomadores de decisão globais foram solicitados a classificar suas maiores preocupações em termos de probabilidade e impacto (MARSH & McLENNAN; ZURICH INSURANCE GROUP, 2020).

O relatório, produzido em parceria com a Marsh & McLennan e o Zurich Insurance Group (2020), aponta para a necessidade de os formuladores de políticas combinarem as metas de proteção da Terra com as de economias dinâmicas - e de as empresas evitarem os riscos de perdas futuras potencialmente desastrosas ajustando para alvos baseados na ciência. Asseveram que pela primeira vez nas perspectivas de 10 anos da pesquisa, os **cinco principais riscos globais em termos de probabilidade são todos ambientais**. O relatório soa o alarme em: Eventos climáticos extremos com grandes danos à propriedade, infraestrutura e perda de vidas humanas; falha na mitigação e adaptação às mudanças climáticas por parte de governos e empresas; danos e desastres ambientais causados pelo homem, incluindo crimes ambientais, como derramamentos de óleo e contaminação radioativa; grande perda de biodiversidade e colapso do ecossistema (terrestre ou marinho) com consequências irreversíveis para o meio ambiente, resultando em recursos severamente esgotados para a humanidade, bem como para as indústrias; grandes desastres naturais, como terremotos, tsunamis, erupções vulcânicas e tempestades geomagnéticas. Portanto, estando o contexto nanotecnológico circundado de incertezas, principalmente no que toca aos efeitos ao ecossistema, possível enquadrar no debate do relatório.

A inquietação e incertezas das nanotecnologias trazem o debate ao risco, o que inevitavelmente acaba sendo inserido nesse contexto de maior preocupação ambiental, de modo que aprofundar a pesquisa para propor desenvolvimento mais

sustentável e seguro é extremamente oportuno, se não puder ousar a dizer essencial para a academia.

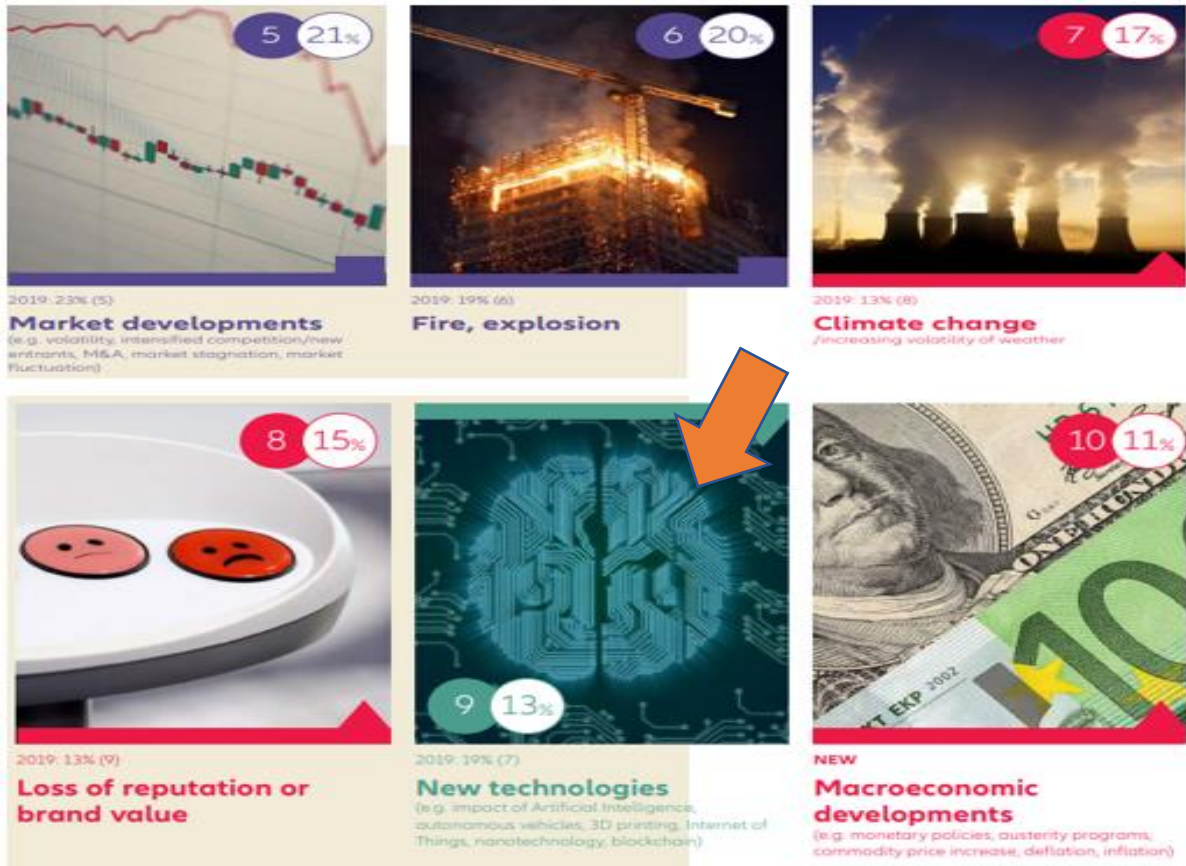
Pesquisadores dos riscos ambientais das nanotecnologias apontam que o principal problema é o método de análise de nanopartículas. Novos e novos nanomateriais são gradualmente desenvolvidos, no entanto, os materiais variam de acordo com a forma e tamanho que são fatores importantes na determinação da sua toxicidade. Falta de informação e métodos de caracterização dos nanomateriais torna extremamente difícil detectar as nanopartículas no ar para proteção ambiental, por exemplo. Além disso, a informação da estrutura química é um fator crítico para determinar quão tóxico nanomaterial é, e pequenas alterações do grupo de funções químicas podem mudar drasticamente suas propriedades. Por isso, a avaliação completa do risco da segurança na saúde humana e no impacto ambiental deve ocorrer em todas as fases das nanotecnologias. Incluindo o risco de exposição, análise toxicológica, risco de transporte, risco de persistência, risco de transformação e capacidade de reciclar. Ademais, um design experimental antes de fabricar um produto baseado em nanotecnologia pode contribuir para reduzir o desperdício material (ZHANG *et al.*, 2011).

Portanto, ante a possibilidade de dano (futuro) ao meio ambiente e vida humana, é necessária a discussão sobre a (auto)regulação das nanotecnologias, e seu urgente desenvolvimento sustentável, que poderá ser operacionalizado pela economia circular e rastreabilidade, com o fito de preservar as presentes e futuras gerações de danos futuros.

Nesse sentido, observa-se que as novas tecnologias estão no topo do ranking do risco (no 9.º lugar), e as nanotecnologias se inserem neste contexto, o que demonstra a importância do debate em nível global (ALLIANZ GLOBAL CORPORATE & SPECIALTY (AGCS), 2020).

Vejamos os dados constantes do ranking mencionado, na Figura 17 a seguir:

Figura 17 - Ranking do risco Allianz



Fonte: AGCS (2020, p. 5).

Ademais, justifica-se o tema dada a emergência de determinados termos utilizados em pesquisas científicas, como apresenta a Tabela 4:

Tabela 4 - Ranking dos 10 primeiros termos de pesquisa

Table 1. Top 10 High emergence nanotechnology terms by time period.

1991–2000		1998–2007		2006–2015	
High Emergence Terms	Emergence Scores	Emergence Scores	Emergence Scores	High Emergence Terms	Emergence Scores
atomic force microscopy	23.68	nanoparticles	63.1	Graphene	55.41
atomic force microscopy (AFM)	20.53	nanowires	20.04	g(-1)	48.15
nanoparticles	19.81	gold nanoparticles	19.97	great potential	42.13
carbon nanotubes	17.85	field emission	18.92	graphene oxide (GO)	32.28
x-ray diffraction (XRD)	15.48	CNTs	17.89	synergistic effect	31.97
mechanical properties	13.1	carbon nanotubes (CNTs)	17.85	electrochemical performance	31.59
particle size	12.37	detection limit	17.52	visible light irradiation	24.93
nanotubes	11.9	nanocomposites	16.66	cancer cells	24.85
XRD	10.25	Catalyst	15.64	Specific capacitance	22.59
Quantum dots	9.87	Nanostructures	14.28	Graphene oxide	21.99

Fonte: Porter et al. (2018, p. 5).

Ante o levantamento acima apresentado, observa-se que o grafeno é o líder no *ranking* dos termos, o que vai ao encontro da Figura 18, publicado pela Nanotechnology Products Data-base, estando o grafeno no centro dos maiores produtos desenvolvidos, tendo a maior pontuação de emergência entre os tópicos quentes da nanociência nos últimos dez anos (PORTER *et al.*, 2018).

Figura 18 - Graphene



Fonte: NPD (2022a).

O grafeno está presente nas mais importantes áreas industriais, como nanomembranas de filtro água (para remediação ambiental); supercapacitores eletrônicos; impressão em tintas; baterias renováveis; selantes e tintas para construção; partes automotivas; embalagens de comida; materiais têxteis para roupa e tênis; lubrificantes e óleos, dentre tantos outros (NPD, 2022a). Esse material é apenas um exemplo de como são diversas as áreas com nanotecnologia, que geram os mais complexos resíduos, os quais estão em contato livre com o ecossistema, principalmente ao final de vida.

Neste sentido, diante das pesquisas já realizadas é importante elencar alguns dos possíveis danos ambientais decorrentes das nanotecnologias: a) alta exigência de energia para sintetizar nanopartículas causando um aumento pela demanda de energia; b) disseminação de nanossustâncias tóxicas e persistentes gerando danos ambientais; c) menores taxas de recuperação e reciclagem; d) implicações ambientais nos estágios do ciclo de vida dos produtos com nanotecnologias são em sua maioria desconhecidos; e) falta de engenheiros e trabalhadores treinados

(ZHANG *et al.*, 2011). Inclusive, o grafeno tem propriedades notáveis e seus produtos podem beneficiar o meio ambiente e a economia, todavia, compósitos baseados em grafeno também podem prejudicar o meio ambiente de outras maneiras: a) a propriedade tóxica do grafeno é desconhecida e, na sua ocorrência a descontaminação do local é difícil; b) o grafeno pode reagir com materiais e sistemas biológicos no ambiente de uma forma que é ainda imprevisível; c) o grafeno tem uma boa condutividade térmica e retardante de fogo em polímero, no entanto, os cientistas alertam que isso pode causar risco de incêndio se o grafeno estiver contaminado com outras substâncias durante o processo (ZHANG *et al.*, 2011).

No mesmo caminho, um estudo realizado pelo Department of Applied Science and Nanotechnology Center, University of Arkansas comprovou por métodos analíticos que os nanotubos de carbono são capazes de penetrar no revestimento de semente, um processo que pode afetar a germinação das sementes e o crescimento de mudas de tomate (KHODAKOVSKAYA *et al.*, 2009). No mesmo sentido, a U.K. Royal Society recomendou que se evite fortemente a liberação de nanopartículas e nanotubos no meio ambiente (INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA), 2007a) e sugerindo que haja o enfrentamento e entendimento por parte as fábricas e os laboratórios de pesquisa das nanopartículas fabricadas e nanotubos como perigosas (ICTA, 2007a) a fim de objetivar reduzir ou remover os seus resíduos.

Pesquisas em âmbito internacional acerca do risco e gestão mostra-se em constante crescimento, que trazem publicações significativas, como os estudos desenvolvidos pela OECD e União Europeia, citando alguns dos resultados: a) Grouping and read-across for the safety assessment of manufactured nanomaterial (EUROPEAN COMMISSION, 2018); b) Environmental hazard and risk of nanomaterials: grouping concepts for aquatic and terrestrial toxicity (NANOREG2, 2018a); c) grouping case studies Human tox. Scientific Workshop – Grouping of Nanomaterials OECD/NR2/GRACIOUS 12-13 (NANOREG2, 2018b); d) Regulatory priorities/needs linked to Grouping (EU) (EUROPEAN UNION, 2018).

Diante o apresentado neste subcapítulo, fica evidente a preocupação com o risco, o qual é constantemente reafirmado pela comunidade científica nos mais diversos artigos científicos e estudos publicados. Mostra-se essencial não só debater-lo, mas principalmente levar essa informação ao consumidor, que poderá assim decidir com mais propriedade sobre seu uso ou não.

Ademais, a questão do risco mostrou-se vinculado a necessidade de aprofundar a interação dos nanomateriais ao longo de todo seu ciclo de vida, principalmente se levarmos em consideração o recorte da tese no *nanowaste*. Portanto, o próximo subcapítulo abordará a essencial avaliação do ciclo de vida dos nanomateriais, para minimização dos riscos no destino final do *nanowaste*.

2.2.1 O ciclo de vida dos nanomateriais (destinação final dos resíduos?) e atenção diante do risco nanotecnológico

Vislumbra-se uma gama de novidades *nano*, produtos inovadores que vêm se desenvolvendo com maior força desde o início do século XXI. Nesta conjuntura, o mundo nanotecnológico vem revolucionando a vida cotidiana da sociedade, sendo que diariamente inúmeros nanoproductos são utilizados, desde a utilização doméstica (como bebedouros, ar condicionado, embalagens) até uso na área bélica, aeronáutica, engenharias e medicina.

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. Em consequência do uso cada vez maior dos nanoproductos, maior o descarte de nanomateriais ao meio ambiente, o que demanda a busca por parte da Ciência do Direito de alternativa para minimizar os riscos, que nesta tese encontra fundamentos na economia circular e rastreabilidade.

Para lidar com as novidades trazidas pela nano escala, especialmente na área de alimentos, embalagens (incluindo plásticos), versando aqui a preocupação com a questão do resíduo e sua destinação final, será fundamental iniciar um trabalho sério por meio da chamada “avaliação e gestão dos riscos” (NOWACK *et al.*, 2012).

Esse tema deverá ingressar na seara jurídica, buscando-se a aprendizagem já gerada na área da Administração, devendo iniciar no laboratório, onde as pesquisas são especificadas, passar pelo setor industrial, e, finalmente, chegar ao mercado consumidor, ao uso e descarte, ou seja, atingindo a integralidade do ciclo de vida de um nano material., sob pena de destruição do ecossistema na gestão incorreta do risco:

Una correcta gestión de riesgos inciertos exige no solo prevenir la arbitrariedad del operador público, sino, sobre todo, ser efectiva. La arbitrariedad puede ser un grave problema para el correcto funcionamiento de un Estado de Derecho, pero la muerte masiva de personas o la completa destrucción de ecosistemas es un problema sistemicamente más grave [...] (EMBID TELLO, 2015, p. 95).

A avaliação e a gestão dos riscos dos produtos nanotecnológicos não é possível dissociada da avaliação dos produtos ao longo de todo o seu ciclo de vida, inclusive e principalmente considerando a destinação final. As inúmeras embalagens dos produtos que contém nanotecnologias podem ser fontes muito importantes de contaminação ambiental, basta verificar-se ao longo da história recente da humanidade o grande problema das embalagens de agrotóxicos, por exemplo, e de medicamentos. Muitos contaminantes chegam aos cursos de água e ao ambiente através da destinação inadequada das embalagens (HOHENDORFF, 2018).

A avaliação do ciclo de vida oferece uma solução para a questão de validação de atividades sustentáveis, fazendo uma conexão também com o ESG (que será adiante analisado), examinando os impactos ambientais de um produto, contabilizando todos os processos, desde insumos até saídas ao longo do ciclo de vida do produto. Usando dados relacionados a ESG de indivíduos empresas dentro de uma cadeia de valor, a avaliação do ciclo de vida pode integrá-las e avaliar o ESG desempenho de toda a cadeia (JIANG *et al.*, 2022).

Há uma necessidade de um conhecimento coletado e melhor dos impactos ambientais dos nanoprodutos. O acesso a informações confiáveis sobre ciclo de vida é uma questão fundamental para que se possa decidir como os produtos devem ser concebidos, utilizados e manipulados quando se tornarem lixo. As informações relevantes também são importantes para os profissionais que lidam com estes materiais e os consumidores, bem como para aqueles que lidam com os resíduos. De igual forma, uma avaliação dos resíduos gerados pelos processos de produção de nanotecnologia é necessária e deve incluir a atenção aos de resíduos provenientes de instalações de produção de nanomateriais que podem impor novas pressões sobre os sistemas ambientais (NEL *et al.*, 2011).

Para tanto, a geração de dados é crucial, mas também se faz necessária uma visão mais holística a fim de melhorar o conhecimento do impacto ambiental a partir destes produtos, e melhorar a difusão deste conhecimento para todos os diferentes

atores envolvidos ao longo de todo o ciclo de vida dos nanoproductos (FLEMSTRÖM; CARLSON; ERIXON, 2004).

Até mesmo pois os benefícios potenciais das nanotecnologias ainda não foram devidamente avaliados em relação ao potencial de riscos à saúde humana e ecológica. A análise do ciclo de vida dos produtos já tem sido reconhecida como uma ferramenta capaz de realizar uma avaliação ambiental, holística e assim, a pesquisa realizada Gavankar e colaboradores demonstra que o número de estudos sobre o ciclo de vida de nanoproductos vem aumentando, embora um olhar mais atento revele que muitos desses estudos não cobrem todo o ciclo de vida dos nanomateriais ou nanoproductos (GAVANKAR; SUH; KELLER, 2012).

Uma revisão sobre a exposição a nanomateriais pode ser estruturada de acordo com campo dos regulamentos: segurança ocupacional, segurança do consumidor, segurança de o público em geral e o meio ambiente. Outra forma de estruturar as informações podem estar de acordo com o ciclo de vida dos nanomateriais discutindo quanto liberações, emissões, processos de transporte, transformação e exposições para cada fase do ciclo de vida (KUHLEBUSCHAB; WIJNHOVENC; HAASE, 2018).

Há um consenso geral de que o potencial para a saúde e os riscos ambientais dos nanomateriais devem ser avaliados ao longo de todo seu ciclo de vida. Cada vez mais são necessários estudos que analisem a aplicação da avaliação do ciclo de vida, a avaliação de riscos e a análise de fluxo de substância para nanomateriais e nanoproductos, como por exemplo, o estudo intitulado *Life cycle aspects of nanomaterials* (LAZAREVIC; FINNVEDEN, 2013).

Tomando-se em consideração este cenário de contato com nanopartículas, da produção ao final de consumo, com consequência de descarte dos resíduos nanotecnológicos no meio ambiente, observa-se inúmeros estudos acerca o ciclo de vida e descarte de nanomateriais. Nesse viés possível citar diversos estudos da – Center for the Environmental Implications of NanoTechnology (CEINT) – organização que está explorando a relação entre uma vasta gama de nanomateriais – do natural, ao manufaturado, àqueles produzidos incidentalmente pelas atividades humanas – e sua potencial exposição ambiental, efeitos biológicos e impactos ecológicos. Com sede na Duke University, o CEINT é um esforço colaborativo que reúne pesquisadores da Duke, Universidade Carnegie Mellon, Universidade Howard, Virginia Tech, Universidade de Kentucky, Universidade de Stanford e Baylor. As

colaborações acadêmicas do CEINT incluem atividades em andamento coordenadas com o corpo docente das universidades de Clemson, Carolina do Norte e Central Carolina do Norte, com pesquisadores dos laboratórios governamentais do National Institute of Standards and Technology (NIST) e da United States Environmental Protection Agency (EPA) e com importantes parceiros internacionais. Criado em 2008 com financiamento da National Science Foundation-NNI e da Agência de Proteção Ambiental dos EUA-EPA, o CEINT realiza pesquisas fundamentais sobre o comportamento de materiais em nanoescala em ecossistemas de laboratório e complexos. A pesquisa inclui todos os aspectos do transporte, destino e exposição dos nanomateriais, bem como os impactos ecotoxicológicos e dos ecossistemas. Além disso, o CEINT está desenvolvendo ferramentas de avaliação de risco para fornecer orientação na avaliação de preocupações existentes e futuras em torno das implicações ambientais dos nanomateriais., que possuem foco na investigação das nanopartículas no meio ambiente e seus efeitos (CEINT, [2022?]).

O maior aspecto deste projeto, e que tem gerado preocupação na comunidade científica é o destino final destes materiais com nanotecnologia quando do fim de seu ciclo. Estes materiais podem não ser biodegradáveis e assim, permaneceriam no ambiente, interagindo com outros materiais. Este risco em potencial já está causando preocupação dos países em desenvolvimento para onde os resíduos contendo nanomateriais podem ser exportados (FAO; WHO, 2012).

A análise do ciclo de vida está diretamente vinculada, e vice-versa, com a avaliação do risco das nanopartículas. O conceito de ciclo de vida do produto, está incluso na Lei que institui a PNRS (Lei nº 12.305/2010), no Art. 3º, IV: “IV - ciclo de vida do produto: série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final;” (BRASIL, 2010).

Para muito além de um conceito, o ciclo de vida do produto faz parte de uma política brasileira de sustentabilidade, que tem como marcos legais vários atos regulamentares do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) (MORAES, 2013). O primeiro deles é a Resolução nº 3, de 22 de abril de 2010, que dispõe sobre a Aprovação do Termo de Referência do Programa Brasileiro de avaliação do ciclo de vida e dá outras providências (CONMETRO, 2010a).

O segundo é a Resolução nº 4, de 15 de dezembro de 2010 (CONMETRO, 2010b), que dispõe sobre a Aprovação do Programa Brasileiro de avaliação do ciclo de vida e dá outras providências:

Considerando que as informações reunidas pelos estudos de Avaliação do Ciclo de vida – ACV constituem importantes instrumentos de avaliação quantitativa de efeitos ambientais oriundos de toda a cadeia produtiva, das ações operacionais que são executadas, facilitando a definição de estratégias para as mesmas.

Considerando a necessidade do desenvolvimento de métodos para melhor compreender e lidar com os diversos e possíveis impactos associados aos produtos e serviços, tanto na sua fabricação quanto no consumo; Considerando que a ACV pode servir de base à identificação de oportunidades para a melhor do desempenho ambiental de produtos em diversos pontos de seu ciclo de vida; Considerando que a ACV pode incrementar o nível de informação dos tomadores de decisão na indústria e nas organizações governamentais ou não-governamentais; Considerando que a ACV pode fundamentar a seleção pertinente de indicadores de desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição; Considerando a necessidade de empreender ações para preservar os recursos naturais com vistas à sustentabilidade e promover o acesso aos mercados, interno e externo, com base em requisitos reconhecidos internacionalmente; Considerando a importância estratégica de o Inmetro dar continuidade aos estudos em sustentabilidade; Considerando a necessidade de dar prosseguimento aos esforços empreendidos com o projeto – Inventário do Ciclo de Vida para a Competitividade Ambiental da Indústria Brasileiro – SICV Brasil, que se conclui em dezembro de 2010; Considerando a necessidade de se inserir e tornar efetiva a Avaliação do Ciclo de Vida como um instrumento de apoio à sustentabilidade ambiental no Brasil [...].

6.1 – Inventários do ciclo de vida. Contextualização: Uma base de dados de inventário contém um modelo de inter-relacionamento entre processos, produtos e serviços industriais, que suportam estudos de ACV. Um inventário ser enquadrados em seis grandes grupos: (i) de aquisição de matérias primas; (ii) de manufatura; (iii) de distribuição de produtos; (iv) de uso produto, por exemplo, através do consumo de energia elétrica e água; (v) de reciclagem, e (vi) de tratamento de rejeitos. Um Inventário de Ciclo de Vida – ICV contém fundamentalmente quatro conjuntos de informações sobre cada processo industrial no escopo de um estudo de ACV: (i) consumos e liberações de energia e substâncias químicas de e para os compartimentos aquático, terrestre e atmosférico da biosfera (chamados de intervenções); (ii) saídas e entradas de subprodutos utilizados por cada processo da cadeia produtiva do produto ou serviço, formando uma rede de interdependências entre processos, compondo os fluxos intermediários; (iii) informações complementares de natureza técnica sobre o processo, como métodos empregados na realização da modelagem, atributos e características diversas do processo modelado, abstrações físico-químicas empregadas na representação informacional do processo; além de (iv) informações de natureza administrativa, sobre a autoria, proprietários das informações e usos permissíveis destas informações. O desenvolvimento banco de dados de inventários para o Brasil é necessário, principalmente, pelas características do País que possui setores econômicos diversificados, uma matriz energética característica e plantas industriais compostas por diversas origens tecnológicas. O uso de banco de dados nacional, que contemple as especificidades das diferentes regiões do País, permitirá que os resultados obtidos nos estudos de ACV sejam consistentes (CONMETRO, 2010b).

Assim, pode-se dizer que o ciclo de vida do produto não se extingue com o consumo *stricto sensu*, que é apenas a penúltima etapa do ciclo de vida do produto, que se finaliza somente com a disposição final ambientalmente adequada, que envolve também as embalagens (MORAES, 2013).

Com foco no meio ambiente, é necessária investigação para estabelecer os ciclos de vida das nanopartículas, melhorar a predição da (bio) degradação de nanomateriais orgânicos e desenvolver métodos de teste padronizados para ambientes de água e solo; e d) ferramentas de previsão de risco. As estruturas tradicionais de avaliação de riscos seguem o paradigma de quatro passos: a) identificação de perigos; b) avaliação do risco; c) avaliação da exposição; e d) avaliação de risco. As prioridades de pesquisa no gerenciamento de riscos incluem a melhoria dos modelos de exposição ananomateriais, melhores estudos sobre impacto ambiental e melhor integração da LCA na avaliação de risco. Há também uma necessidade de pesquisa sobre a integração de abordagens de nanotecnologia segura por design e verde nas etapas de desenvolvimento dos novos nanomateriais e suas aplicações (HOHENDORFF, 2018, p. 137).

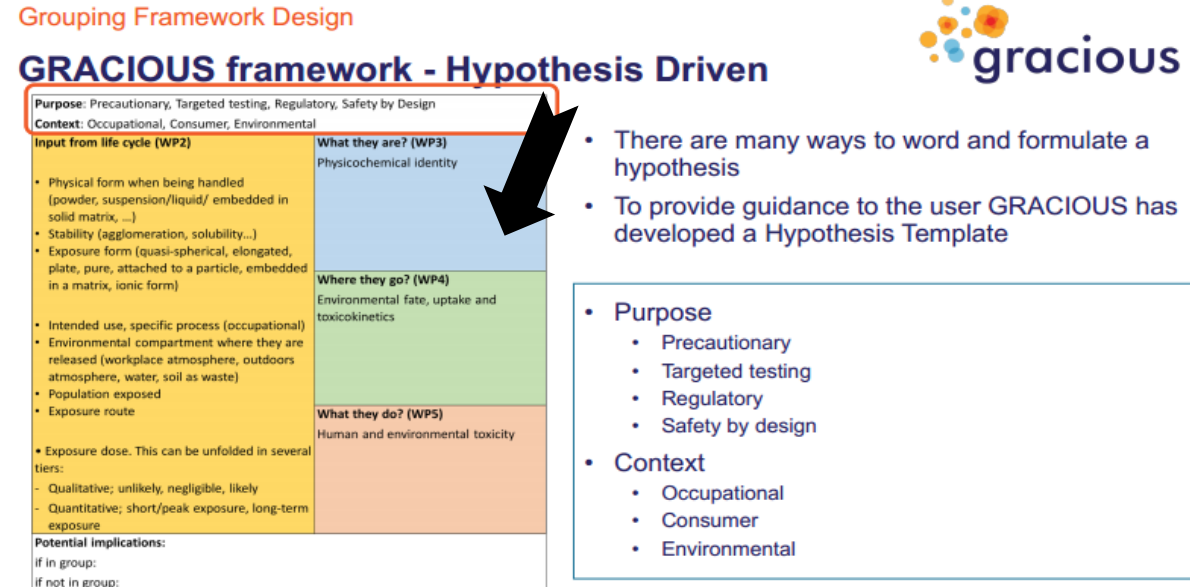
Devido à grande quantidade de fatores que podem alterar as nanopartículas, as pessoas e o meio ambiente podem receber exposições muito diferentes dos mesmos nanomateriais. Portanto, nosso conhecimento de transformação e modelos de exposição atual para substâncias convencionais não é provável que seja apropriado para a predição de exposição ao longo dos diferentes estágios de seu ciclo de vida (SAVOLAINEN, 2013).

Cientes do risco, a equipe de pesquisadores das universidades de Pittsburgh e Yale, nos EUA, advertem que quando materiais sintéticos são projetados sem informações críticas sobre seus impactos ambientais desde o início do processo, seus efeitos a longo prazo podem prejudicar esses avanços ou fazer com que o que se acreditava serem avanços se tornem problemas. O grupo traçou uma estratégia para fornecer aos cientistas de materiais as ferramentas necessárias para realizar as avaliações de maneira eficiente desde o início do processo de design. Com isso, dentre os milhares de materiais já conhecidos ou que aguardam para ser descobertos, poderão ser selecionados aqueles com menor risco de impacto à saúde e ao ambiente (PERIGOS..., 2018).

Inclusive, uma das maiores preocupações desta pesquisa específica versa sobre o ciclo de vida dos nanomateriais, principalmente por serem desconhecidos os efeitos das nanos em cada etapa de produção e utilização, bem como no descarte, questionando as fases do *framework*, “o que são”, “para onde vão”, e “o que fazem” (relativo à toxicidade), relacionando aos propósitos e objetivos básicos do estudo, que

seriam a) precaução; b) regulação; c) teste direcionado; e d) segurança pelo design, e o incentivo ao foco na análise do ciclo de vida conforme as Figuras 19 e 20 detalham:

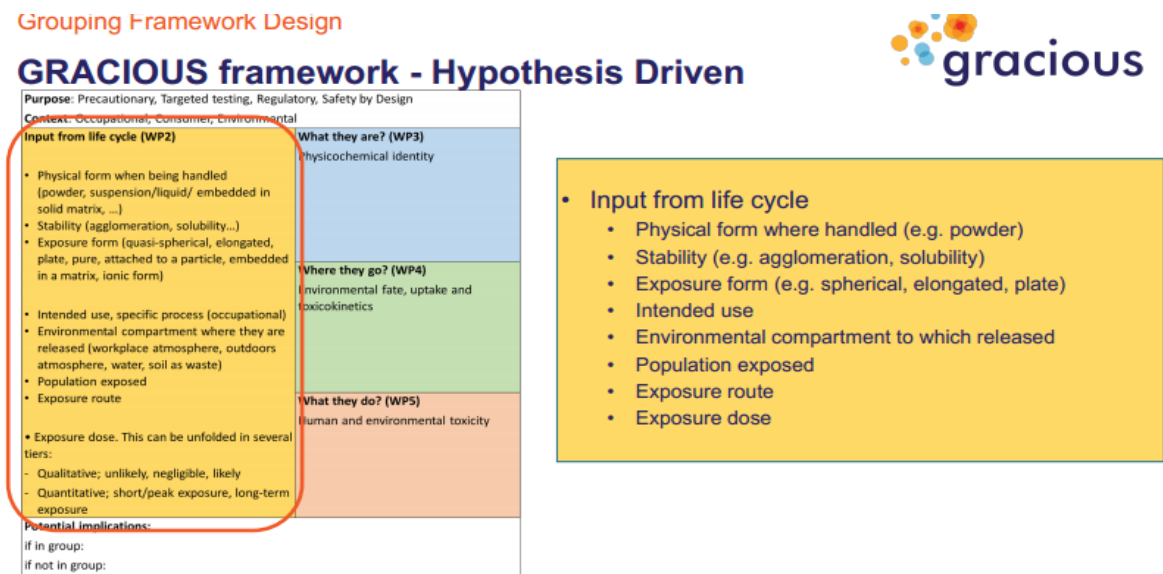
Figura 19 - GRACIOUS framework



Fonte: Stone (2018, p. 7).

Já a Figura 20 explica as formas de entrada no ciclo de vida das partículas nanos, como exposição ao material, forma de contato físico enquanto manuseado, rota de exposição, exposição da população, dentre outras maneiras:

Figura 20 - Input from live cycle




Fonte: Stone (2018, p. 8).

Uma vez que o propósito da tese é embasar uma transição sustentável para Economia Circular, possível identificar que essa mudança se inicia justamente na análise do ciclo de vida, uma vez que para tal implementação o design do produto deverá ser pensado desde sua concepção, ou seja, “O pensamento do ciclo de vida e os critérios de design circular são chave no desenvolvimento de produtos circulares”, conforme apresenta a Figura 21 na sequência (SITRA; TECHNOLOGY INDUSTRIES OF FINLAND; ACCENTURE, 2018, p. 41):

Figura 21 - Pensando o ciclo de vida para produtos circulares

2. Design products for circularity

Life cycle thinking and circular design criteria are key in developing circular products



Required know-how and activities	Guidance on life cycle thinking										
<p>1. Life cycle thinking: Consider the whole life cycle in the design process from production to use phase to end-of-life as more than 80% of the environmental impact of a product is determined at the design stage (See guidance on the right)</p> <p>2. Circular design criteria: Develop and apply circular design criteria such as</p> <ul style="list-style-type: none"> • Design for a longer life through upgrading, reuse, refurbishment and remanufacture • Design based on sustainable and minimal resource use and enabling high-quality recycling of materials • Enabling cleaner material cycles through substitution of hazardous substances <p>See next page for more information and examples</p>	<p>Minimising environmental impacts along the whole life cycle and comparing alternatives against each other are key for sustainable product design. Life cycle assessment (LCA) is a method that allows assessing products and services, and the process itself is described through ISO 14040 and 14044. After defining the scope and boundaries of the analysis, the inventory and impact of products can be modelled. For this, data from environmental databases is available (e.g. resource depletion, CO2 emissions). Several tools from different providers exist on the market e.g. SimaPro, Umberto and GaBi</p> <p>Example metrics</p> <ul style="list-style-type: none"> • % of renewable, recycled or reused material in product • # of different components in product design 										
	<p>Business model relevance</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Circular supply chain</th> <th>Sharing platform</th> <th>Product Life Extension</th> <th>Recovery & Recycling</th> <th>Product as a service</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>	Circular supply chain	Sharing platform	Product Life Extension	Recovery & Recycling	Product as a service	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Circular supply chain	Sharing platform	Product Life Extension	Recovery & Recycling	Product as a service							
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>							

Fonte: SITRA, Technology Industries of Finland e Accenture (2018, p. 41).

Este é um novo foco de pesquisa, analisar os feitos em todo ciclo de vida, para alcançar os resíduos e seus possíveis impactos no meio ambiente. Em virtude do grande desenvolvimento e consumo de nanoproductos, por conseguinte, serão descartados no meio ambiente um número cada vez maior de nanomateriais, que por ora, não adota nenhum protocolo específico. Com base na atenção aos resíduos nanotecnológicos, Mraz (2005) provoca em sua matéria: *Nanowaste: o Próximo Grande Tratamento?*, afirmando também que os governos devem investir uma porcentagem maior de seus orçamentos voltados à segurança dos nanomateriais bem como demandar maiores esforços nas pesquisas a este novo tipo de resíduo, o *nanowaste*, do qual não se tem certeza científica quanto seus efeitos no ecossistema e vida humana (MRAZ, 2005).

Ao realizar-se a revisão da literatura percebe-se que a comunidade científica ainda é muito carente de pesquisas voltadas aos riscos das nanotecnologias, bem como as suas considerações sociais e regulatórias. No cenário ambiental se entende

que o perigo remete a características intrínsecas do produto ou do processo; já o risco supõe o grau de exposição a tal perigo (HOHENDORFF, 2018).

Como afirmado acima, existe carência de pesquisas que perpassem este tema, de modo que se destacam os resultados da coleta de dados na CAPES feitos para esta tese, como o número muito reduzido de publicações dentro do Brasil. As palavras-chaves escolhidas refletem o recorte da investigação, e assim, na busca pelo portal, do ano de 2018 a 2023, chegou-se a seguinte conclusão: somente 113 publicações com termo autorregulação, *nanowaste* e resíduos nanotecnológicos em 97 publicações, nanoplástico com 11, economia circular perfazendo 344, rastreabilidade em 29 indicações. Num cenário de pesquisa os números são pequenos, principalmente se comparados com os mesmos termos em língua inglesa, que igualmente foram apresentados nos gráficos em apêndice.

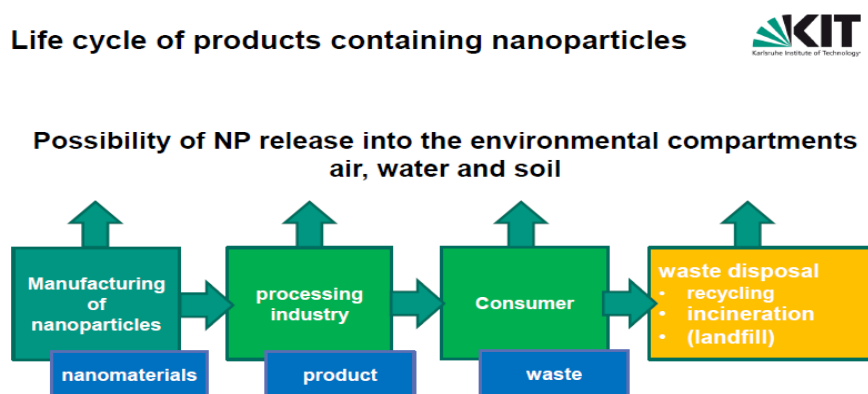
A possibilidade de os nanomateriais representarem riscos específicos o meio ambiente e para a saúde tem sido objeto de discussão desde o início dos anos 2000, quando os principais programas de nanotecnologia dos países mais industrializados foram lançados. As mesmas propriedades que tornam os nanomateriais atraentes para a inovação tecnológica podem ser uma fonte de risco. A grande área em relação ao volume, com o conseqüente aumento da reatividade e as manifestações físico-químicas diferentes das exibidas pelos mesmos materiais em uma escala maior, pode implicar atividade biológica e toxicidade diferente da já conhecida. O desenvolvimento de técnicas de avaliação nanotoxicológica e análise do ciclo de vida dos produtos são imprescindíveis para que se desfrute dos benefícios desta tecnologia com segurança e proteção do patrimônio ambiental das atuais e futuras gerações (FOLADORI; INVERNIZZI, 2016).

Como aconteceu com os plásticos, os nanoprodutos apresentam problemas complexos em relação à sua disposição e, mais uma vez, como antes, o risco é que a sociedade não tem condições de encará-los. Alguns desses produtos têm um ciclo de vida curto e o problema de sua disposição é crescente e urgente, e por essa razão que se faz essencial o estudo do ciclo de vida dos nanomateriais. Como exemplo, os curativos de feridas tratados com um revestimento de 12 nm de nanopartículas de prata são muito populares e a comunidade possui mais acesso. Em quase todos os casos, estes curativos usados são enviados para incineração após seu uso. Os sistemas de filtração de incineradores não são suficientes para capturar todas as partículas e uma quantidade considerável é liberada livremente

para o meio ambiente. Tal estudo denota a diferença de comportamento das nanopartículas em diferentes etapas do ciclo de vida. As cinzas inferiores, juntamente com o que obstrui o filtro, são coletadas, e a maior parte é descartada em aterros sanitários, enquanto alguns são misturados com cimento e asfalto sem considerar quais são as consequências inevitáveis (GATI; MONTANARI, 2015).

A próxima ilustração (Figura 22) demonstram as possibilidades das nanopartículas serem liberadas no meio ambiente (água, ar e solo) nas diferentes fases de sua vida, bem como o ciclo de vida dos produtos nanoengenhierados, que portanto denota a essencialidade do estudo sobre o comportamento das nanopartículas nos diferentes ambientes e sob as diferentes situações (BAUMANN *et al.*, 2016).

Figura 22 - Ciclo de vida das nanopartículas e diferentes momentos de possíveis liberações ambientais



Fonte: Baumann et al. (2016, p. 2).

Desta maneira, o avanço responsável da nanotecnologia demanda uma capacidade científica com confiabilidade para acessar corretamente e gerenciar os riscos e à tomada de decisões no âmbito governamental, buscando levar igualmente em consideração os impactos sociais que a tecnologia poderá gerar na sociedade global, afirma Hohendorff (2018). Neste conjunto, a participação do Sistema do Direito será fundamental, especialmente para colocar em prática propostas normativas criativas, desenvolvidas sem a necessária participação do Sistema da Política. Contudo, a utilização das nanotecnologias sem uma avaliação adequada dos riscos, que perpassam a análise do ciclo de vida, e de uma gestão adequada destes riscos pode configurar-se em caminho como outros produtos perigosos, como aerossóis, do amianto, dos transgênicos, onde a comercialização passou muito à frente da avaliação ambiental dessas tecnologias.

Assim, há um consenso geral de que o potencial para a saúde e os riscos ambientais dos nanomateriais precisam ser analisados ao longo de todo seu ciclo de vida, ao passo que cada vez mais são necessários estudos que analisem então a aplicação da avaliação do ciclo de vida, a avaliação de riscos e a análise de fluxo de substância para nanomateriais e nanoprodutos, como por exemplo, o estudo intitulado *Life cycle aspects of nanomaterials* (LAZAREVIC; FINNVEDEN, 2013).

Portanto, o aspecto na análise do ciclo de vida evidencia-se como essencial para gestão do risco nanotecnológico, em especial o *nanowaste*. Levando em consideração tal necessidade, observa-se a OECD como organização internacional perscrutora, e também referência nas pesquisas nesta seara, conforme será apresentado no próximo tópico de estudo.

2.2.1.1 Debate global sobre o tratamento de resíduos nanotecnológicos: a diretriz da OECD

Primeiramente cabe apresentar de forma objetiva uma lista de todos os projetos em andamento ou finalizados realizados pela OECD acerca das nanotecnologias, conforme ilustra a Figura 23, com recorte temporal de 2017 a 2022, como análise de risco, interação de materiais, resíduos, nanossegrurança e outros.

Figura 23 - Lista de projetos da OCDE sobre diretrizes de teste e documentos de orientação para nanomateriais, em andamento ou concluído (2017 – 22 de junho)

Project Title	Project ID or TG/ GD No.	Description under chapter	
Section 1: Physical Chemical Properties			
Test Guideline on Determination of the (Volume) Specific Surface Area of Manufactured Nanomaterials	TG 124	2.1	p. 9
Test Guideline on Particle Size and Size Distribution of Manufactured Nanomaterials	TG 125	2.2	p. 10
Determination of solubility and dissolution rate of nanomaterials in water and relevant synthetic biologically mediums	TGP* Project 1.5	3.1	p. 22
Identification and quantification of the surface chemistry and coatings on nano- and microscale materials	TGP Project 1.6	3.2	p. 23
New Test Guideline on Determination of the Dustiness of Manufactured Nanomaterials	TGP Project 1.8	3.3	p. 24
New Test Guideline on Determination of Surface Hydrophobicity of MNs	TGP Project 1.7	3.4	p. 26
Guidance Document on the determination of concentrations of nano-particles in biological samples for (eco)toxicity studies	TGP Project 1.10	3.5	p. 27
Guidance on Release Tests for Manufactured Nanomaterials	WPMN** Project	3.6	p. 29
(Update) Guidance Document on Sample Preparation and Dosimetry for the Safety Testing of Manufactured Nanomaterials (GSPD)	WPMN Project	3.15	p. 41

Fonte: Heunisch *et al.* (2022, p. 6).

Na sequência, observam-se as demais sessões que indicam, por exemplo, os estudos realizados que procuram descobrir qual o comportamento e destino de nanopartículas no meio ambiente, os efeitos nos sistemas bióticos, conforme apresentação da Figura 24:

Figura 24 - Estudos feitos para análise dos efeitos nos sistemas, comportamento ambiental e destino das nanopartículas

Section 2: Effects on Biotic Systems			
Technical recommendations for conducting assays with ENMs according to OECD Test Guidelines 201, 202 and 203	TGP Project 2.71	3.7	p. 30
Section 3: Environmental Fate and Behaviour			
Test Guideline No. 318: Dispersion stability in simulated environmental media	TG 318	2.3	p. 12
Guidance Document for the testing of dissolution and dispersion stability of nanomaterials and the use of the data for further environmental testing and assessment strategies	GD 318	2.4	p. 13
Test Guideline on dissolution rate of nanomaterials in aquatic environment	TGP Project 3.10	3.8	p. 32
Study Report on MNS Removal in Wastewater Treatment Plants: Activated Sludge Sorption Isotherm	Study Report No. 340	2.5	p. 14
Guidance Document on assessing the apparent accumulation potential for nanomaterials TG 305	TGP Project 3.12	3.9	p. 33
Guidance Document Behaviour in Soils Using TG 312 for NMs	GD 342	2.6	p. 15
Guidance Document and Test Guideline on Aquatic (Environmental) Transformation of Nanomaterials	TGP Project 3.16	3.10	p. 34
Assessment of the durability of NMs and their surface ligands in env. surroundings (biodegradable/ biodegradable)	WPMN / No. 86	2.7	p. 16
Scoping review for a tiered approach for reliable bioaccu. assess. of MNs in environ. organisms minimising use of higher tier vertebrate tests	WPMN Project	3.11	p. 36

Fonte: Heunisch *et al.* (2022, p. 6).

Completando o levantamento mais recente da OECD, indicam-se na Figura 25 todos os estudos relacionados à saúde humana e impactos das nanotecnologias:

Figura 25 - Projetos com estudos sobre efeitos na saúde

Project Title	Project ID or TG/ GD No.	Description under chapter	
Section 4: Health Effects			
Test Guideline Subacute Inhalation Toxicity: 28-Day Study	TG 412 (updated)	2.9	p. 18
Test Guideline Subchronic Inhalation Toxicity: 90-day Study	TG 413 (updated)	2.10	p. 19
Guidance Document on Inhalation Toxicity Studies	GD 39	2.11	p. 20
Study Report and preliminary guidance on the Adaptation of In Vitro Mammalian Cell Based Genotoxicity TGs for Testing of MNs	Study Report No. 359	2.8	p. 17
Applicability of the TG 442D <i>in vitro</i> skin sensitisation for nanomaterials	TGP Project 4.133	3.12	p. 37
Test Guideline on toxicokinetics to accommodate testing of nanoparticles	TGP Project 4.146	3.13	p. 38
Guidance Document on Integrated In Vitro Approach for Intestinal Fate of Orally Ingested Nanomaterials	TGP Project 4.158	3.14	p. 39

* TGP = Test Guideline Programme

** WPMN = Working Party of Manufactured Nanomaterials

Fonte: Heunisch *et al.* (2022, p. 7).

Depreende-se deste levantamento da OECD (2022) a importância dada ao tema pela organização, a qual há vários anos caminha no ambiente da pesquisa para desvelar todas as principais inquietações dos impactos das nanotecnologias no meio ambiente, saúde humana, e a partir disto consegue lancar protocolos, guidelines que viabilizam um desenvolvimento mais seguro. Dando destaque a gestão do risco do *nanowaste* – enfoque este também abordado pela OECD (2022) –, para buscar assim a fundamentação a partir da economia circular e posterior rastreabilidade, importante entender o que a ciência refere sobre resíduos nanotecnológicos e a questão do destino final.

Segundo Part *et al.* (2015), o comportamento dos nanomateriais e acompanhamento do destino final é fundamental para o desenvolvimento mais sustentável das nanos. A gestão do risco nos resíduos se verifica desde as alterações das substâncias nos processos de tratamento:

Em relação à aplicação de nanotecnologia sustentável e avaliação de risco dos ENMs, é crucial examinar o destino final e comportamento das ENM no meio ambiente e nos processos de gerenciamento de resíduos. A este respeito, o tamanho de partícula, distribuição de tamanho e a forma das partículas, bem como a composição elementar, parecem ser os principais parâmetros do material. Além disso, é importante considerar possíveis processos de transformação e alteração de *nanowaste* que podem ocorrer durante as diversas opções de tratamento de resíduos. Embora este tenha surgido como um problema principal, apenas informações escassas estão disponíveis na literatura publicada sobre como as ENMs irão alterar ou como se transformam durante os processos de tratamento de resíduos. Além do que, além disso, revestimentos de partículas persistentes e sua potencial transformação em fluxos de resíduos são de grande relevância, porque as propriedades da superfície de ENMs predominantemente influenciam seu destino e comportamento em matrizes de resíduos (PART *et al.*, 2015, p. 417, grifo nosso).

Atualmente, há suposições que as tecnologias de gestão de resíduos existentes teriam a capacidade de remover nanomateriais de resíduos sólidos e líquidos de forma eficaz. No entanto, não existem dados disponíveis para validar tal suposição como esta permanece então desconhecida – com ramificações potencialmente de grande alcance para a promoção de boas práticas de gestão de resíduos. Contudo, estudos sobre as águas residuais demonstram a ineficiência no tratamento deste *nanowaste*, o que em consequência, acaba por devolver a água com nanoresíduos ao meio ambiente, demonstrando ainda a dificuldade nas instalações de água, para as gerações futuras. Observa-se ainda mesmo empregando tecnologia para tratar e separar água potável de nanoresíduos, uma

fração significativa dos nanomateriais escapou ao sistema de compensação da planta de tratamento de águas residuais (MUSEE, 2011). Ou seja, mesmo com o tratamento adequado deste tipo de *nanowaste* (na água), ele não é totalmente eficaz.

Resíduos contendo nanomateriais podem ser gerados, e. na produção de substâncias, misturas ou produtos, no processamento e reparo de produtos, ou no descarte de produtos no final de seu ciclo de vida. A recomendação da Comissão da União Europeia de 18 de outubro de 2011 define como “Nanomaterial” um material natural, incidental ou manufaturado contendo partículas, em um estado não ligado ou como um agregado ou como um aglomerado e onde, para 50% ou mais das partículas na distribuição do tamanho do número, uma ou mais dimensões externas estão em faixa de tamanho 1 nm-100 nm. “Partícula”, “aglomerado” e “agregado” são definidos da seguinte forma (VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE E.V. (VCI), 2019):

Quadro 1 - Definições de nanopartículas

- "partícula" significa um pequeno pedaço de matéria com limites físicos definidos,
- "aglomerado" significa uma coleção de partículas ou agregados fracamente ligados onde a área de superfície externa resultante é semelhante à soma das áreas de superfície dos componentes individuais,
- "agregado" significa uma partícula que compreende partículas fortemente ligadas ou fundidas.

Fonte: Elaborado pela autora, com base em VCI (2019).

As medidas descritas na parte seguinte deste documento são necessárias para a recuperação e / ou eliminação segura de resíduos contendo nanomateriais:

A legislação de resíduos se aplica onde é claro que os resíduos não podem ser evitados e onde também é claro que se trata realmente de resíduos e não, um (sub) produto. O próximo passo é descobrir se a recuperação é segura – seja na preparação para reutilização, material ou a reciclagem de matéria-prima ou outra recuperação (especialmente de energia) – é possível. Se este não for o caso, o lixo precisa ser descartado. Obviamente, a periculosidade do lixo deve invariavelmente, ser considerado em todas as formas potenciais de descarte. No entanto, a periculosidade não é o critério decisivo na decisão de escolher uma recuperação ou uma eliminação de método. Por exemplo, incineração eficiente de resíduos perigosos na incineração moderna instalações com utilização eficiente de energia geralmente devem ser vistas como recuperação, pois é o caso, por exemplo se uma mistura de resíduos perigosos for alimentada em uma refinaria. O ponto crucial é conformidade com todas as disposições regulamentares relevantes. Se um Relatório de Segurança Química (CSR) com cenários de exposição for necessário para um registro no REACH, o CSR deve considerar todas as fases relevantes do ciclo de vida da substância,

incluindo, se for caso disso, a fase de resíduos. A fim de estimar a exposição e gerar uma caracterização de risco os seguintes aspectos em relação aos resíduos o descarte deve ser considerado, quando apropriado:

* Duração e frequência das emissões da substância para os diferentes compartimentos ambientais e sistemas de tratamento de esgoto.

* Medidas de gestão de resíduos para reduzir ou evitar a exposição de humanos e do ambiente para a substância durante a eliminação e / ou reciclagem de resíduos.

* Estimativa de exposição cobrindo o estágio de resíduos da substância ou para artigos contendo a substância em questão (VCI, 2019, p. 4-5).

Percebe-se que a organização acima citada, da Associação química alemã, já implementa diretrizes para a gestão dos resíduos e considera o *nanowaste* como perigoso, o que deste modo faria o “link” com a proposta de rastreabilidade que tem como paradigma o Projeto de Lei de rastreabilidade de resíduos sólidos perigosos, em tramitação no Congresso Nacional (BRASIL, [2017]).

Importante esclarecer quais seriam as fontes possíveis do *nanowaste*, para posteriormente compreender as alternativas encontradas para sua gestão adequada e tratamento, caso ele exista. O *Nanowaste* pode ser gerado como um subproduto durante a fabricação de produtos baseados em nanopartículas; pode ser liberado de emissões automotivas e industriais ou durante o uso e transporte de nanoproductos. Pode ser produzido de várias maneiras, algumas das principais indústrias que usam nanotecnologia são têxteis, impressão, produtos farmacêuticos, construção, esportes, fitness e a indústria de cuidados com a pele e beleza. Nanomaterial contendo produtos que estão disponíveis nos mercados incluem cosméticos (gel protetor solar, produtos capilares e agentes de distribuição de cosméticos), tintas e revestimentos (antiestáticos, antiembaçantes, anticorrosivos, filtros UV), têxteis (repelentes de água e agentes antibacterianos) e materiais de construção (resistentes ao fogo e materiais autolimpantes) (GEORGE *et al.*, 2022).

Analisando a doutrina de George *et al.* (2022, p. 5, grifo nosso), identifica-se a possível classificação dos nanoresíduos, que ocorrerá com base na fonte de geração, as quais poderão ser,

- (a) Fonte estacionária - O processo de combustão nas indústrias é responsável pela fonte estacionária mais importante de *nanowaste*. Emissões de refinarias, instalações de produção química, caldeiras e incineradores são algumas das fontes estacionárias de nanoresíduos. [...]. Outros contribuidores para nanopartículas internas emissões são incenso, velas, fogos de artifício e bobinas de mosquito
- (b) Fontes móveis - As emissões de nanopartículas na indústria de transporte são principal fonte móvel, e os motores a diesel têm a maior emissão.

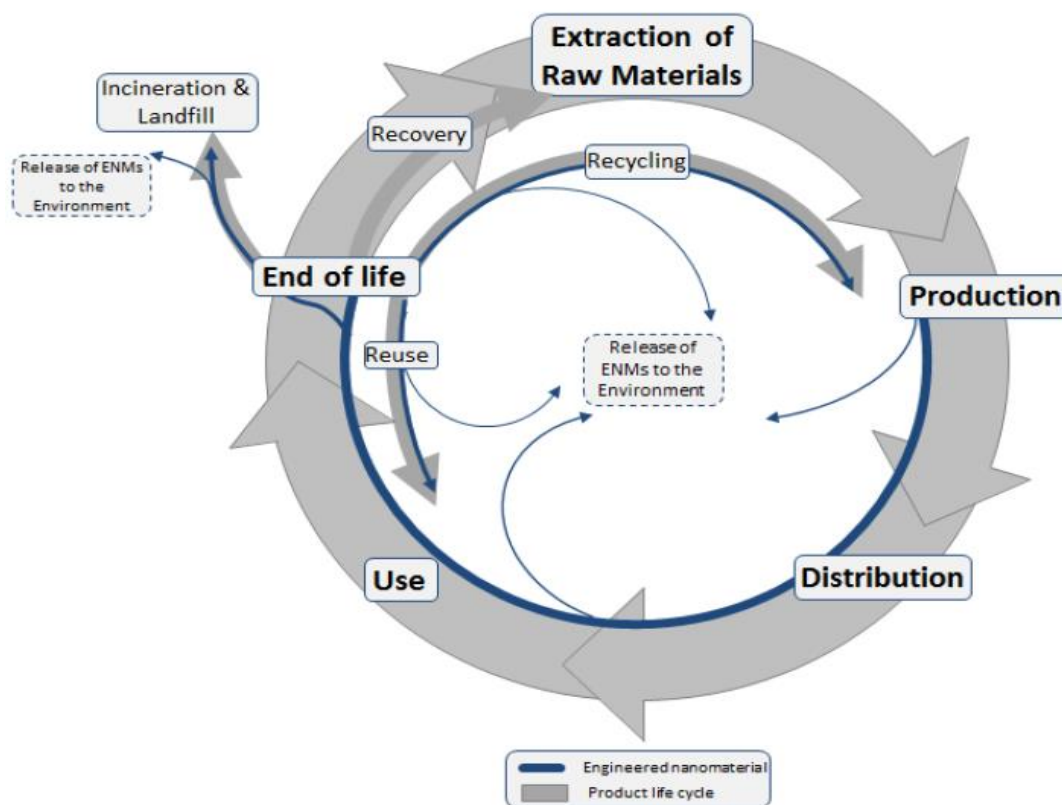
Ganha relevância o crescimento de produção na era nano, onde existem 250 novos nanoproductos produzidos a cada ano, e a fabricação de nanoproductos resulta na geração de mais nanoresíduos (GEORGE *et al.*, 2022).

Complementando a classificação acima, de acordo com o British Standards Institution (BSI) (2007), *Guide PD 6699-2*, as quatro formas de *nanowaste* incluem, a) nanomaterial puro da produção; b) superfícies e materiais contaminados por nanomateriais; c) líquidos contendo nanomateriais; e d) sólidos contendo nanomateriais.

Por outro lado, esta tese possui também o recorte no plástico, ou melhor, nanoplásticos. Portanto, cabe ressaltar a questão da monitoração do destino destes resíduos, e muitas vezes mesmo implementando um método, não se resolve com segurança a questão. Quando se trata de monitorar o destino de nanoplástico, um potencialmente poderoso método é apresentado em um artigo de pesquisa por Mitrano *et al.* (2019). Eles sintetizaram nanopartículas de plástico com um núcleo metálico que pode ser rastreado com técnicas analíticas comumente disponíveis para metais. Os resultados não resolvem problema de monitoramento de nanopartículas ocorrendo no ambiente, mas nanopartículas dopadas com metal podem ser vistas como proxies para estudos de laboratório (MITRANO *et al.*, 2019).

Ganha destaque os fluxos e potenciais lançamentos de nanopartículas como resultado da sua incorporação em ciclos de vida dos produtos, consoante a Figura 26 a seguir apresentada. A linha azul representa as nanopartículas no ciclo de vida do produto e também as potenciais emissões de nanopartículas durante o ciclo de vida do produto e a principal preocupação volta-se não só aos descartes no meio ambiente sem tratamento, mas também nos processos de tratamento de resíduos, sem medidas específicas para contenção destas nanopartículas (LAZAREVIC; FINNVEDEN, 2013). Impõe-se reforçar que a economia circular potencializaria ainda mais a circulação destes produtos, estendendo a utilizando e reaproveitamento, gerando assim, menos resíduo.

Figura 26 - Ciclo de vida dos nanomateriais



Fonte: Lazarevic e Finnveden (2013, p. ix).

Especificamente, a implementação de práticas responsáveis de gestão de risco pelos reguladores, ONG's, cientistas, seguradoras e talvez o mais importante de tudo, as empresas em todas as fases do ciclo de vida das nanotecnologias, é fundamental para preencher a lacuna de governança e garantir a segurança da pesquisa, desenvolvimento, fabricação, distribuição, utilização e eliminação dos produtos da nanotecnologia (ABBOTT; MARCHANT; CORLEY, 2012; BOWMAN, 2008).

Como o objeto deste trabalho é aferir as complexidades dos *resíduos nanotecnológicos* para gestão apropriada, a partir do enfoque no desenvolvimento sustentável partindo das próprias empresas (e com proposta de economia circular, que no mínimo, irá reduzir resíduos), importante que se introduza as principais inquietações sobre o *nanowaste*, tendo o foco na análise do ciclo de vida e destinação final, com respeito ao Princípio da precaução, conforme Part *et al.* (2015, p. 407, grifo nosso) lecionam:

Os nanomateriais de engenharia (ENMs) já são amplamente utilizados em diversos produtos de consumo. Ao longo do ciclo de vida de um produto nano-habilitado, os ENMs podem ser liberados e posteriormente se

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

Corroborando com o aspecto da precaução que deve ser respeitada na área do *nanowaste*, Younis, El-Fawal e Serp (2018) e Zahra *et al.* (2022) reforçam a necessidade do descarte de produtos contendo nanomateriais ser feito com mais cautela. Afirmam que tais nanoresíduos perigosos, tóxicos ou altamente reativos devem ser tratados ou convertidos em formas não tóxicas antes do descarte. Este *nanowaste* é geralmente formado durante vários processos industriais, com uma grande quantidade liberada como subproduto ou produto direto. Portanto, uma mesma técnica não pode ser usada para lidar com todos os diferentes tipos de *nanowaste* pois não será igualmente eficaz a todos. Assim, outras técnicas diversas devem ser implementadas para neutralizar ou reduzir os impactos tóxicos dos *nanowaste*, como a dissolução de óxidos metálicos em banhos ácidos apropriados para descarte e reciclagem seguros. Lembrando-se ainda da era verde da nanotecnologia, onde são necessários fungos e plantas geneticamente modificados para ter uma alta resistência ao ENM, juntamente com a capacidade de imobilizar *nanowaste* em fluxos de resíduos. No entanto, este campo de biotratamento continua a ser um desafio para os pesquisadores em vista do mecanismo de absorção, transferência e acumulação.

Importante o destaque por Zahra *et al.* (2022, p. 1, grifo nosso), onde afirmam a necessidade de atenção no destino dos resíduos nanotecnológicos e a complexa tarefa de minimizar o risco:

- O aumento da produção e consumo desses nanomateriais de engenharia (ENMs) e nanoprodutos que geram enormes quantidades de *nanowaste*

levantaram sérias preocupações sobre seu destino, comportamento, e disposição final no meio ambiente. É de extrema importância que o *nanowaste* seja descartado de maneira adequada para evitar um impacto adverso na saúde humana e no meio ambiente. O propriedades únicas dos ENMs, combinadas com uma compreensão inadequada do tratamento apropriado técnicas para muitas formas de *nanowaste*, torna a eliminação de *nanowaste* uma tarefa complexa. Atualmente, há uma falta de informação disponível sobre os padrões otimizados para identificar, monitorar, e gerenciamento de nanoresíduos. Portanto, esta revisão destaca as preocupações sobre *nanowaste* como futuro resíduos que precisam ser tratados.

A gestão dos resíduos nanotecnológicos vem ganhando maior destaque na literatura internacional, face o risco do *nanowaste* no meio ambiente ser maior do que de materiais em escala macro, conforme observa a OECD (2016, p. 5):

Um ponto em branco relativo no entendimento científico reside área de gerenciamento de resíduos. Os resíduos que contêm esses materiais são atualmente gerenciados juntamente com o desperdício convencional sem conhecimento suficiente dos riscos associados e Impactos no meio ambiente.

A organização OECD (2016) ainda esclarece que os processos atuais de gestão de resíduos e as técnicas não são geralmente apropriadas para abordar impactos potenciais de nanomateriais. Atuais instalações de tratamento de resíduos não são tipicamente projetadas para lidar com resíduos contendo nanomateriais, potencialmente levando a emissões para o meio ambiente e a exposição das pessoas a essas substâncias. Portanto, o estudo da OECD (2016) visa identificar o status do conhecimento nessa área, as falhas de conhecimento, bem como as áreas em que os trabalhos futuros devem ser conduzidos em prioridade.

Alerta a OECD (2016, p. 22) sobre o *nanowaste*, no que tange à assimetria dos países, uns com maiores condições e outros ainda em desenvolvimento, sendo que:

[...] os riscos potenciais que emanam dos ENM em diferentes resíduos nas instalações de tratamento são provavelmente significativamente maiores em operações sub-padrão, das quais muitos ainda estão em operação em todo o mundo e que são predominantes em partes do mundo menos desenvolvidas. Esta é uma área onde mais pesquisas são urgentemente necessárias.

Assim, observa-se a complexa ambivalência das interfaces nanotecnológicas, pois ao mesmo tempo que existe um benefício, pode haver um (potencial) risco. Conforme ocorre o aumento de produção e consumo de nanoproductos, por conseguinte, haverá maior descarte dos resíduos nanoparticulados no ecossistema.

Como enfrentar a lacuna existente sobre a gestão dos resíduos nanotecnológicos, uma vez que há risco – e potencialmente maior do que em materiais em escala macro – e não existe regulação específica? Uma lei estatal, fechada, estática, daria conta desta nova demanda? Portanto, importante para compreensão dos efeitos e interação nos tratamentos de resíduos e a preocupação (e desconhecimento) sobre o destino final dos resíduos nanoparticulados, com o fomento do desenvolvimento sustentável, utilizando a economia circular e propondo uma espécie de projeto para “rastreadabilidade de nanoproductos e resíduos nanotecnológicos” (*Cradle to cradle – Do berço ao berço*).

A fim de exemplificar em números a importância do estudo do *nanowaste* em contato com o solo, com o final do ciclo de vida no nanomaterial, apresenta-se a quantidade de materiais depositados em aterros sanitários ao redor do mundo, através da Tabela 5, como no caso específico dos pneus (OECD, 2014), resíduos estes que interferem diretamente no ecossistema através do contato dos nanoresíduos no solo.

Tabela 5 - Disposição de pneus em seu final de ciclo de vida para os maiores mercados globais

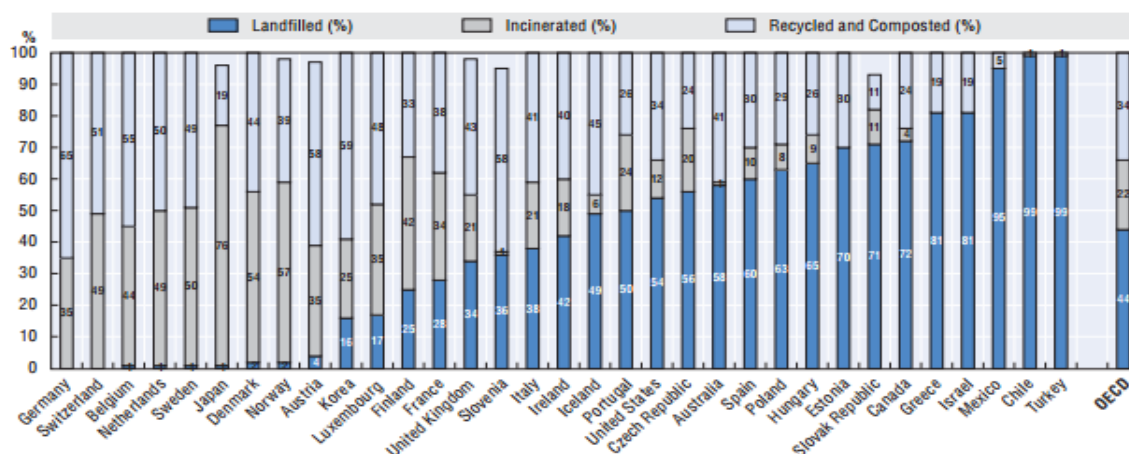
Region	Total volume		% of tyres for each end-of-life disposition method					Source
	Millions of tonnes	Millions of end-of-life tyres	Landfilling	Material recycling	Energy recovery	Re-treading	Reuse and export	
United States	4.60	184	15%	34%	40%	7.2%	3.0%	US Environmental Protection Agency MSW (2012)
Europe	3.30	132	4.0%	40%	38%	8.0%	10%	European Tyre and Rubber Manufacturers Association (2012)
China	5.00	200	83%	10%	0%	6.8%	0%	WBCSD (2012); Yang (2010)

Fonte: OECD (2014, p. 118).

Desta maneira, possível concluir que ainda é grande o descarte de pneus com nanomateriais no solo, principalmente na China (OECD, 2014), sem contar que mesmo em outros processos, os resíduos acabarão tendo contato final no solo, como no caso da reciclagem com uso de água, que ao final, tornam-se também águas residuais (LEAL; ENGELMANN, 2018, v. 1).

Seguindo a linha das nanos no solo, e quanto ao destino final do *nanowaste*, possível avaliar o descarte destes resíduos pelo menos nos países integrantes da OECD, dada sua importância na elaboração e fomento de pesquisas em *nanowaste* – através do Gráfico 3:

Gráfico 3 - Rotas de eliminação de resíduos sólidos municipais na OCDE em 2013



Notes: The data is as of 2013 or the most recent data available for each country since 2009. No data was available for New Zealand. The sum of the categories presented here might not add up to 100% because other recovery and other disposal treatments are not presented. Source: OECD (2016), "Municipal waste", OECD Environment Statistics (database), <http://dx.doi.org/10.1787/data-00601-en> (Accessed on 19 January 2016).

Fonte: OECD (2016, p. 52).

Com base nos dados, possível observar que a grande maioria dos resíduos com nanopartículas são destinados para aterros sanitários, em grande parte dos países componentes da OCDE, o que alimenta o debate da preocupação com *nanowaste* no solo. A liberação de nanopartículas, em virtude da trajetória dos resíduos, alcançará não só o solo, mas também o meio ambiente todo através das águas residuais do lençol freático, e das emissões de gases oriundos do aterro e superfície (OECD, 2016). Tal exposição aumenta o risco, de modo que uma gestão adequada a estes resíduos é o caminho mais seguro e responsável para saúde humana e meio ambiente.

Possível citar um exemplo específico de *nanowaste* que impacta no solo. O Nanosilver tem vasta aplicação em uso doméstico e medicinal produtos e desta forma o volume de *nanowaste* residual pode ser proporcionalmente alto. Apresenta-se o destino dos resíduos no meio ambiente na forma de prata iônica ou nanopartículas aglomeradas. A toxicidade ambiental, assim, orbita para a cadeia biocida afetando as bases da cadeia alimentar nos organismos na microbiota do solo e minhocas, e e lixiviação em canais subterrâneos para águas subterrâneas e se acumulam em a cadeia alimentar (GEORGE *et al.*, 2022).

Necessário ainda entender quanto a segurança (ou não) das proteções projetadas em aterros de resíduos nanotecnológicos, conforme esclarece a OECD (2016, p. 63):

As descobertas recentes sugerem que devidamente projetado e construído os aterros serão capazes de limitar significativamente o transporte de nanopartículas ao meio ambiente para períodos de tempo prolongados (aproximadamente 100 anos). Foi feito um teste de difusão que as nanopartículas não atravessaram a membrana, o que corresponde a uma eficiência efetiva das geomembranas ao longo de 12 anos em condições reais, no entanto, outro estudo propõe que os ENMs sejam colocados perto do fundo dos aterros são motivo de preocupação, pois podem transportar ou difundir através de forros, especialmente se estiverem perto do fundo do aterro sanitário. Desde lixiviado, que é um celular na fase aquosa, poderia ser liberada para o meio ambiente, poderia resultar riscos para a saúde humana. Os revestimentos de membrana sintética provavelmente contêm ENMs e atualmente estão sendo pesquisados. No entanto, são necessárias mais pesquisas, em particular para determinar o risco potencial de ENMs.

O desenvolvimento de técnicas de monitoramento e diagnóstico de nanomateriais (objetivando ampliar os conhecimentos na área nanotoxicológica e sobre o ciclo de vida destes materiais) bem como para se determinar formas apropriadas, sustentáveis e seguras de produção (incluindo manejo de resíduos), é imprescindível para que se possa desfrutar das benesses das nanotecnologias com segurança e objetivando a proteção (ENGELMANN; MACHADO, 2013).

Estes estudos embasam a pesquisa proposta neste projeto de tese. Resta demonstrada a pertinência do debate sobre os resíduos nanotecnológicos e necessidade de adoção de medida autorregulatória com a finalidade de gestão do risco, de modo que a economia circular estenderia o tempo de circulação dos produtos na economia, no mínimo reduzindo resíduos, e para aqueles ao final de vida, a rastreabilidade contribuiria para o descarte seguro e controlado.

Merece destaque na adoção de (auto)regulamentação ou imposição protocolos de conduta o guia elaborado pela BSI (2007, p. 26), o qual indica:

[...] a elaboração de um plano para armazenamento e descarte de nanomateriais ou nanomateriais resíduos contaminados devem ser desenvolvidos, levando em natureza perigosa dos materiais e as quantidades envolvidas. Qualquer material que entrou em contato com produtos dispersíveis fabricados nanopartículas (que não foram descontaminadas) devem ser consideradas como pertencente a um fluxo de resíduos contendo nanomateriais. Isso inclui EPI, toalhetes, e outros materiais laboratoriais descartáveis utilizados durante as atividades de pesquisa. Material de resíduos contendo nanomateriais não devem ser jogados no lixo comum ou no ralo ou córregos. A contaminação da superfície deve ser avaliada e removida. Equipamento usados para fabricar ou manusear nanopartículas devem ser descontaminados antes de ser descartado ou reutilizado. Resíduos (soluções de limpeza, águas, panos, EPI descartáveis) resultantes da descontaminação devem ser tratados como resíduos contendo nanomateriais.

De outro modo, sobre o viés da sustentabilidade adotado pela OECD, instituição integrante dos estudos específicos sobre nanotecnologias na União Europeia, vai ao encontro da proposta de sustentabilidade empresarial no manejo do *nanowaste* que se propõe. O enfoque levado à sério pela OECD é o crescimento verde e meio ambiente, onde se preocupam em orientar seus estados-membros quanto à implementação de regulações e tomada de decisões políticas vislumbrando a redução das emissões globais de gases de efeito estufa e proteção os ativos ambientais (ar puro, água, biodiversidade). Tal passo exige inovação e adoção em larga escala de tecnologias verdes. Caso contrário, será muito difícil e muito caro sustentar as trajetórias de crescimento das últimas décadas. Os governos da OCDE e as economias emergentes, portanto, vêem as atividades de P&D e incentivos para a difusão e adoção de tecnologias verdes como uma prioridade. Afirmam ainda que existem programas de energia renovável, que buscam reduzir os gases de efeito estufa e a dependência do petróleo (o preço que recentemente aumentaram acentuadamente) (OECD, 2012).

Portanto, dado o movimento recente sobre estudos relacionados aos resíduos nanoparticulados e impactos no meio ambiente, face a preocupação com os (possíveis) danos (futuros) destes resíduos, despertou na OECD a mesma inquietação, iniciando a organização uma série de estudos de nanomateriais, segurança a vida humana e meio ambiente, bem como ao ponto do *resíduo nanotecnológico* (OECD, 2016).

Cumprе destacar o princípio da responsabilidade por estas gestões, que vai do produtor ao consumidor. As próprias leis de resíduos estabelecem (a brasileira e de Portugal), onde se imputa ao produtor do resíduo, que tanto pode ser o produtor de um produto ou serviço como um consumidor. No caso dos produtores, a responsabilidade vai desde o *berço* até ao *caixão* porque se estende do momento da produção do produto ou serviço que gera o resíduo até à gestão final do resíduo pós-consumo. Já no caso dos consumidores, a responsabilidade também é alargada: começa no momento da compra e estende-se até à deposição seletiva (ARAGÃO, 2014).

Fazendo a conexão aos resíduos nanoparticulados, precaução e responsabilidade, interessante citar parte da corrente doutrinária que sustenta o chamado Direito dos resíduos (ARAGÃO, 2003), no qual se respeitam princípios

gerais do Direito Ambiental, onde a lei de resíduos sólidos adota designações excessivamente originais que dificultam a sua identificação (ARAGÃO, 2014).

O Direito dos Resíduos deixa, pois, de ser encarado como um problema de vizinhança para ser encarado como um problema de Direito do Ambiente. O ritmo a que se produzem este interesse potencial e a sua quantidade excessiva multiplica os problemas residuais, motivando, a nível global, a constante atualização e inovação da legislação europeia e de convenções internacionais, e a nível nacional, um aumento recente e significativo e denúncias ambientais, sendo a maioria das queixas recebidas relativa a resíduos (ARAGÃO, 2014). Portanto, o Direito dos resíduos é uma discussão global, onde as nanotecnologias são inseridas neste contexto, trazendo problematizações e complexidades muito maiores face sua particularidade no que tange ao tamanho e possíveis efeitos ao ecossistema.

Diante da necessidade de aprofundamento nesta seara, que acompanha do Direito dos Resíduos, a pesquisa da OECD na área das nanotecnologias foca seus questionamentos na procura por respostas adequadas quanto aos resíduos de produção em nano escala, ou seja, o descarte final de nanomateriais, em virtude desta enorme produção, sem qualquer cuidado quanto ao descarte (OECD, 2016).

A organização OECD (2016, p. 5) afirma que

Este relatório tem como objetivo fornecer uma visão geral do estado atual dos conhecimentos científicos nesta área, bem como as lacunas de conhecimento. Investiga a literatura sobre o destino e possíveis impactos de nanomateriais em processos específicos de tratamento de resíduos, incluindo reciclagem, incineração, aterro e processos de tratamento de águas residuais. Também destaca mensagens-chave, áreas de pesquisa futuras e possíveis abordagens para apoiar efetivamente a gestão sustentável de nanomateriais.

Esta publicação foi desenvolvida pelo Comitê de Política Ambiental da OCDE por meio de sua Grupo de Trabalho sobre Produtividade e Desperdício de Recurso. Os capítulos individuais foram desenvolvidos por especialistas técnicos de Suíça, Alemanha, Canadá e França (OECD, 2016).

Antes de apresentar as conclusões do estudo, importante ainda citar os possíveis vazamentos de nanopartículas quando da manipulação nos tratamentos, ilustrados na Figura 27 a seguir, demonstrando o risco constante desde o início do ciclo de vida até o momento do descarte, considerando que, caso as rotas sejam rastreadas, ocorre de maneira mais segura essa destinação:

Figura 27 - Possíveis rotas de vazamento de ENMs em operações de tratamento de resíduos

Waste treatment processes	Possible leakage routes
Recycling	<ul style="list-style-type: none"> ● Imbedded in secondary materials
Incineration	<ul style="list-style-type: none"> ● Flue gas emissions to the environment ● Fly ash and bottom ash to landfills ● Fly ash and bottom ash to storage facilities ● Bottom ash to industrial applications (e.g. roads)
Landfilling	<ul style="list-style-type: none"> ● Landfill gas emissions to the environment ● Landfill surface emissions to the environment ● Leachate to leachate treatment facilities ● Leachate to wastewater treatment facilities
Wastewater treatment	<ul style="list-style-type: none"> ● Emissions to surface water ● Wastewater sludge to incinerators ● Wastewater sludge to landfills ● Wastewater sludge to agriculture applications

Fonte: OECD (2016, p. 22).

Portanto, através da imagem anterior é possível constatar que existe possibilidade de diversos vazamentos de nanopartículas em operações de resíduos nanotecnológicos, na reciclagem através de contato secundário em outros materiais; na incineração pelas emissões de gás no meio ambiente, cinzas de fundo para aterros sanitários, cinzas de fundo para instalações de armazenamento; nos aterros sanitários com emissões de gases para o meio ambiente, e emissões de superfície do aterro para o meio ambiente; e no tratamento de águas residuais com emissões para águas superficiais, do lodo de efluentes para incineradores, do lodo de águas residuais para aterros sanitários, do lodo de águas residuais para aplicações agrícolas (OECD, 2016). Por esta razão, a gestão dos *nanowaste* deve ser levada à sério, de modo que através da implementação da economia circular ocorreria, no mínimo, a redução destes, e com a rastreabilidade efetuar-se-ia o controle e destino mais adequado, lembrando ainda que respeitaria os Objetivos de Sustentabilidade do Milênio da ONU.

Neste sentido a proposta de estudo para adoção de desenvolvimento sustentável pelas empresas, com recorte aos resíduos, relacionando à política de economia circular, bem como sugerindo projeto de rastreabilidade deste *nanowaste* faz-se pertinente em virtude do sério impacto gerado por estes materiais.

Apresentando o estudo sobre os riscos e interações dos resíduos nanotecnológicos, a pesquisa do *nanowaste* forneceu uma revisão da literatura dos quatro processos específicos de tratamento dos resíduos: a) reciclagem, b) incineração, c) deposição em aterro e d) tratamento de águas residuais,

vislumbrando desmistificar o estado atual do conhecimento sobre o destino e possíveis impactos dos produtos em nano escala nestes processos (OECD, 2016). Desta maneira, tal estudo demonstrou a clara preocupação em verificar qual a quantidade de resíduos de nanotecnologia nas principais técnicas de tratamento, bem como qual seria seu impacto sobre a eficácia de tais processos.

A partir da análise do protocolo, possível destacar, de maneira didática, as principais conclusões acerca dos tratamentos do *nanowaste*, presente em quatro formas de gestão de resíduos, apresentado pelo Quadro 2 construído:

Quadro 2 - Relação entre a categoria de tratamento de resíduos x explicação da técnica com o resultado em nanomateriais

Categoria de tratamento de resíduos contendo nanomateriais	Explicação dos respectivos tratamentos de resíduos com nanomateriais e resultados
<p align="center">Reciclagem</p>	<p>Neste processo seria possível a separação dos materiais em nano escala. O problema é a identificação dos que são (e não são) produzidos em nano escala. Observa-se neste procedimento que pode ocorrer a poeira na manipulação dos resíduos com nanopartículas, e desta forma seriam necessárias condições específicas de segurança de trabalho, tanto para prevenir o contato humano quanto com o meio ambiente.</p> <p>Resultado: o destino dos nanomateriais em processo de reciclagem não é claro em virtude dos desafios na exposição dos produtos com nano escala, em relação ao ambiente real de trabalho.</p>
<p align="center">Incineração</p>	<p>Os resíduos são misturados e tratado termicamente em instalações de incineração. Ocorre que as partes inflamáveis são destruídas, os quais deixam partículas não destruídas na câmara de combustão. Desta forma seriam necessários modernos filtros e procedimentos de limpeza específicos. Poderia reduzir a quantidade dos resíduos perigosos. Entretanto, não existem muitas informações sobre a influência da limpeza em relação aos às nano partículas que persistem nas chaminés. E este seria o pior caso, onde persistem as partículas não destruídas, que permaneceriam assim no ambiente.</p> <p>Resultado: o estudo revela que poderia ser capturada uma parcela significativa de nanopartículas, desviando-as em cinzas volantes e cinzas. Mas a remoção das partículas restantes e sua eficiência foi relatava de formas diversas em vários estudos. Ainda, mesmo com este tratamento, 20% do total do material não seria alcançado e passaria pelo método, o que exigiria mecanismos preventivos adicionais.</p>
<p align="center">Tratamento de águas residuais</p>	<p>Os produtos com nanomateriais podem liberar partículas durante sua utilização, bem como em contato com a água. Exemplo disso é a lavagem de roupas em máquinas. Assim, os nanomateriais podem ser encontrados nos tratamentos de águas residuais, inclusive no lodo incinerado e utilizado como fertilizante para a agricultura. Portanto, a ausência de conhecimento existe no que tange aos impactos ambientais decorrentes de utilização deste lodo como fertilizante.</p> <p>Resultado: na investigação de alguns tipos de produtos em nano escala em estações de água piloto, contactou-se que foram capazes de desviar e capturar 80% de nanomateriais em massa em lama sólida, mas o restante dos resíduos com nanopartículas permaneceriam nas águas superficiais.</p>

<p>Deposição em aterros</p>	<p>A deposição em aterros de resíduos com nanomateriais não tratados (biodegradáveis) é o principal resíduo, pois é a técnica de gestão mais utilizada pelos países. Dependendo de como e onde o aterro está e é organizado, as nanopartículas podem deixar o aterro por emissão na atmosfera, água e ainda no solo.</p> <p>Resultado: aqui se assemelha ao caso do tratamento da água, em que a captura se daria ante a agregação ou aglomeração com matéria orgânica e bactérias. Mas no caso específico da eficácia dos forros dos aterros na manutenção dos nanomateriais para o meio ambiente, os resultados são contraditórios, e a extensão em que as superfícies do aterro ou gás para liberação não foi estudada com profundidade.</p>
------------------------------------	--

Fonte: Elaborado pela autora, com base em Leal e Engelmann (2018, v. 1).

Com fundamento nesta pesquisa específica do *nanowaste*, aliado ao Princípio da Precaução, levando-se em consideração todos os documentos produzidos pela organização sobre nanossecurança, saúde humana e ambiental, possíveis danos ao ecossistema, a OECD repassa ainda a seguinte orientação específica:

Nas instalações de reciclagem, onde os trabalhadores podem estar expostos a ENMs através da trituração, Processos térmicos e de desmantelamento, os trabalhadores podem ser protegidos através de uma série de medidas de segurança como:

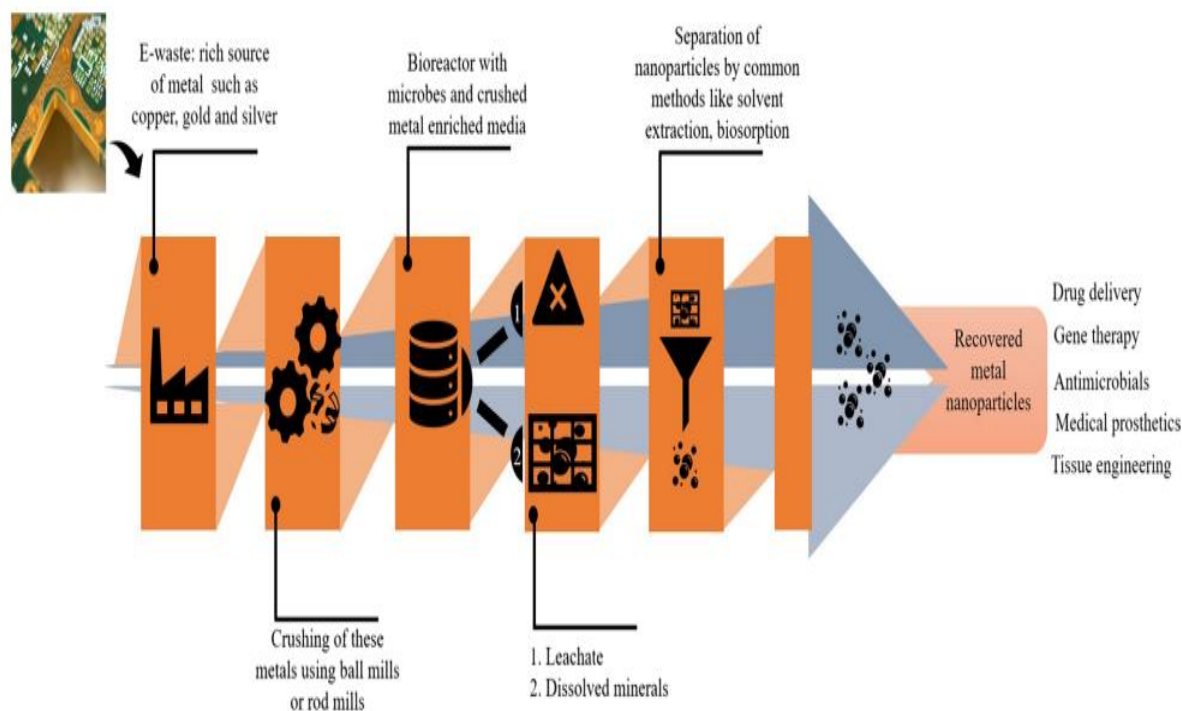
1. Medidas técnicas (minimizando o pó através da vedação, extração, filtragem, isolamento e ventilação, uso de limpeza por pano úmido alterando soprando etc.),
2. Medidas organizacionais (minimizar o tempo de exposição, minimização das pessoas expostas, restrição de acesso e instruções de pessoal sobre riscos e medidas de proteção), e
3. Medidas pessoais (proteção respiratória com filtros de partículas, luvas de proteção, fechadas, óculos de proteção, roupa de proteção etc.) (OECD, 2016, p. 22).

Desta maneira, o estudo comprovou a clara preocupação em verificar qual a quantidade de resíduos de nanotecnologia nas principais técnicas de tratamento, bem como qual seria seu impacto sobre a eficácia de tais processos. Aqui há um conjunto de orientações práticas que deverão nortear o processo de destinação e tratamento dos resíduos gerados a partir da nano escala. Tendo em vista que o movimento circular viabiliza um aproveitamento melhor do produto, permanecendo assim mais tempo no círculo de produção, uso e só eventualmente descarte, nota-se uma condição para minimizar o risco dos resíduos, que conforme acima demonstrado, precisam de um tratamento específico sob pena de maior dano ao ecossistema e saúde humana,

Indo ao encontro de estratégias autorregulatórias para mitigar o risco do *nanowaste*, George *et al.* (2022) apresentam outra possibilidade de tratar

devidamente o *nanowaste*. Ervas daninhas, que são produtos selvagens e indesejados na agricultura, têm sido utilizados com sucesso para sintetizar nanopartículas de ouro, cobre e prata. Assim, devido à viabilidade e custo-benefício do processo, a intervenção industrial empregando fontes naturais ecologicamente corretas, como microorganismos e extratos de ervas daninhas em biorreatores para fabricar nanomateriais é um método potencial (Figura 28). Nanopartículas metálicas obtidas após biolixiviação de lixo eletrônico pode ser empregado em sua aplicação no campo da medicina, incluindo entrega, terapia genética, antimicrobianos, próteses e engenharia de tecidos (SAJJAD *et al.*, 2019).

Figura 28 - Método ecológico de reciclagem de nanopartículas de lixo eletrônico por biolixiviação



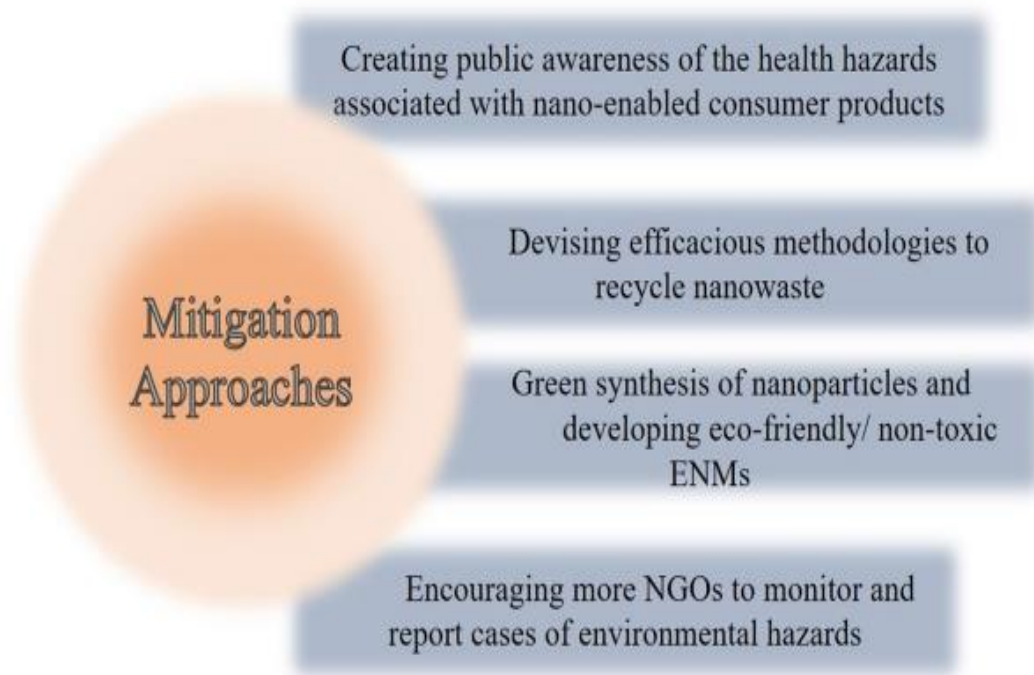
Fonte: George *et al.* (2022, p. 11).

Ademais, talvez procedimentos rigorosos de tratamento e reciclagem específicos de nanoresíduos técnicas poderiam ser implementadas pelas unidades de produção. Além disso, é fundamental encontrar estratégias eficazes de mitigação, conforme a Figura 29 (GEORGE *et al.*, 2022).

Pertinente demonstrar outras estratégias que auxiliam na mitigação do risco do nanowaste, como criar avisos públicos esclarecendo sobre os perigos a saúde, planejar metodologias eficazes para reciclagem do *nanowaste*, desenvolver nano

eco-friendly e não tóxicos, bem como encorajar Organizações não Governamentais (ONG's) a monitorar e reportar casos de perigos ambiental que envolvam nanoprodutos:

Figura 29 - Estratégias para mitigação do *nanowaste*



Fonte: George *et al.* (2022, p. 11).

Independente do destino a ser dado ao resíduo, seja ele descartado ou reciclado, deve-se tomar cuidado para garantir que é seguro e não representa perigo para a saúde humana quando lançado no meio ambiente. Tudo isso por que

Devido à natureza nanomaterial, ou seja, dimensão, fonte, quantidade e química propriedades, um único processo não será suficiente para eliminar *nanowaste*. Iniciam-se rotas eficazes para a gestão de nanoresíduos com testes de toxicidade e avaliações de risco de nanomateriais desperdício. As avaliações de risco e as técnicas de gerenciamento de resíduos devem ser regulamentados e mitigados sob condições adequadas diretrizes durante o tratamento de nanoresíduos. Boas técnicas de gestão de nanoresíduos devem ser concebidas para gerir eficazmente, reciclar e prevenir quaisquer ramificações que os ENMs possam causar (GEORGE *et al.*, 2022, p.13, grifo nosso).

Desta maneira, como etapa preliminar, antes de escolher o método, todos os ENMs devem ser submetidos a testes padrão de toxicidade de nanopartículas e avaliações de risco antes de serem considerado para aplicação tópica. Diversos parâmetros que devem ser considerados para a investigação toxicológica de

nanopartículas incluem tamanho de partícula, distribuição de tamanho de partícula, química reatividade, área de superfície, propriedades de aglomeração, morfologia, composição química, solubilidade e concentrações de massa. Por fim, constata-se que o conhecimento atual sobre as questões relacionadas com *nanowaste* é pouco compreendido e imaturo, o que torna desafiador decidir sobre a reciclagem ou neutralização do *nanowaste* (GEORGE *et al.*, 2022). Pertinente ainda destacar a audiência de dados que acarreta dificuldade na tomada de decisão:

A falta de dados sobre *nanowaste* torna difícil avaliar a complexidade da questão. Assim, o desenvolvimento de tecnologias, como sensores analisar a exposição de nanopartículas no ar e na água, bem como manter um registro das avaliações de *nanowaste*. Esquemas de relatórios obrigatórios, como aprovações de pré-comercialização, vigilância pós-comercialização e programas de notificação voluntária, ajudará no monitoramento adequado do *nanowaste* gerado quando mandatado por regras legislativas (GEORGE *et al.*, 2022, p. 13, grifo nosso).

Zahra *et al.* (2022) concordam com a falta de dados quanto à geração de *nanowaste*, e afirma que atualmente não há dados relatados sobre a quantidade de nanoresíduos gerados a partir de processos relacionados a nano, nem qualquer classificação do produto deixado após o consumo de o setor industrial (durante os processos de desenvolvimento e fabricação). Como os nanomateriais são descartados diretamente no meio ambiente, resultando em “nanopoluição”, eles não são considerados nanoresíduos. Por exemplo, depois de lavar ou enxaguar, cosméticos e têxteis contendo nanomateriais (por exemplo, TiO₂, ZnO e Ag NP) podem entrar em fluxos de águas residuais.

O processo de conhecimento não fica restrito apenas ao setor da pesquisa e industrial, mas deverá atingir o consumidor, promovendo uma adequada organização do lixo doméstico gerado. Por fim, mesmo com estes procedimentos de tratamento implementados, ainda há um certo grau de incerteza associado à sua disposição final, exigindo mais pesquisas nessa área. Mesmo com o conhecimento sobre o destino dos resíduos contendo nanomateriais, e sendo as instalações de tratamento de resíduos susceptíveis de recolher, desviar ou eliminar uma grande parte dos nanomateriais destes fluxos de resíduos, outra boa parte, e muitas vezes as mais suscetíveis ao contato com meio ambiente, fogem ao controle destes processos, e podem ser lançados como emissões (OECD, 2016).

Entretanto, não se pode desconsiderar o êxito alcançado com os protocolos, pois certamente minimizam de alguma forma os possíveis danos e riscos ao meio ambiente. Fica claro diante deste quadro apresentado que se enfrenta uma grande preocupação, pois até mesmo os mais elaborados protocolos, neste caso da OECD, não são suficientes frente ao enorme risco que desencadeiam as nanotecnologias. O que justifica mais ainda a utilização conjunta dos nortes fornecidos pelo Princípio da Precaução.

Numa análise da conjuntura europeia, quanto ao avanço na definição, protocolos e avaliação de risco dos nanomateriais, observa-se o reconhecimento do REACH quanto ao valioso trabalho da OECD, afirmando que:

Atualmente, não há diretrizes de teste finalizadas e reconhecidas para testar adequadamente os perigos potenciais dos nanomateriais. No entanto, o REACH inclui referência aos padrões da Organização para a cooperação e desenvolvimento econômicos (OCDE). O grupo de trabalho da OCDE sobre nanomateriais fabricados (WPMN) está coordenando testes de 59 pontos finais em um conjunto de nanomateriais fabricados, a fim de avaliar a aplicabilidade das diretrizes de teste existentes da OCDE para nanomateriais e determinar se a comparabilidade dos testes pode ser confirmada. Todos os testes realizados sob sua revisão estão aplicando as diretrizes de teste da OCDE, em conjunto com os princípios da OCDE, tais como boas práticas de laboratório (GLP), a fim de garantir o reconhecimento mútuo das restituições a nível mundial (AZOULAY; BUONSANTE, 2014, p. 233-234).

O financiamento inadequado e a falta de ênfase governamental na pesquisa sobre os riscos para a saúde têm sido os fatores que permitiram a atual situação em que algumas pessoas estão expostas diariamente aos nanomateriais, apesar da variada informação sobre os riscos crônicos e a longo prazo decorrentes da exposição a esses materiais. As pessoas que pesquisam, desenvolvem, fabricam, embalam, manuseiam, transportam, usam e descartam nanomateriais serão os mais expostos e, conseqüentemente, os mais propensos a sofrer os danos potenciais à sua saúde. Por esta razão, a proteção do trabalhador deve ser um componente essencial previsto em qualquer regime regulatório (ICTA, 2007b).

Após realizado um apanhado sobre as questões do *nanowaste*, necessidade de tratamento adequado e quais alternativas, conclui-se que é necessário implementar uma estrutura para o monitoramento e descarte eficazes de resíduos contendo nanomateriais. Na gestão de resíduos, o primeiro passo é a quantificação de resíduos produzidos. Os nanomateriais sofrem diversas modificações ao longo de sua permanência no meio ambiente e em outros sistemas, dependendo de suas

propriedades, tornando a quantificação de *nanowaste* mais desafiadora (SHARMA; GULERIA; KUMAR, 2022).

A nanotecnologia pode ser empregada para lidar com vários problemas, mas há uma necessidade por mais reconhecimento e consciência em sua aplicação e uso. Campanhas que aumentam conhecimento e a conscientização das pessoas pode resultar em uma maior compreensão e, finalmente, menos situações perigosas no caso de interação com nanomateriais. Pesquisa e fundos devem ser investidos para avaliar os métodos atuais e criar novos métodos para descartar e reciclar nanomateriais, bem como identificar os perigos do uso de tais materiais. A maioria dos fundos são utilizados para avanços em novos nanomateriais, com menos atenção focada em seus métodos de descarte. Há uma necessidade urgente de trabalhar e melhorar os procedimentos atuais e regulamentações de nanoresíduos, uma vez que se estima que a nanotecnologia cresça exponencialmente (ZAHRA *et al.*, 2022).

Apresentado assim os fundamentos técnicos-científicos que demonstram a necessidade de transição à economia circular (que no mínimo reduziria resíduos), com um desenvolvimento (nano)sustentável, onde as mesmas poderão adotar medidas sustentáveis para o descarte do *nanowaste*, e ainda auxiliar na implementação de autorregulação para “rastreamento dos nanoprodutos e resíduos nanotecnológicos”, comparando ao Projeto de Lei nº 7.088, de 2017 (BRASIL, [2017]), o qual altera a Lei nº 12.305, de 2010 (BRASIL, 2010) (que institui a PNRS – para dispor sobre o rastreamento de resíduos perigosos).

Após a análise detida sobre o *nanowaste* e a essencial abordagem científica da OCDE na implementação de protocolos do *nanowaste*, levando em consideração que o resíduo por si só gera um enfrentamento ainda falho, merece destaque um tipo de lixo que denota ainda mais preocupação quanto sua toxicidade, os nanoplásticos.

2.3 What a (nano)waste? A potencialização do risco a partir do resíduo de (nano)plástico: uma preocupação global renovada pelas nanotecnologias?

A liberação de plásticos no meio ambiente foi identificada como uma questão importante por algum tempo. São diversas as publicações que vêm sugerindo a degradação de materiais plásticos resultará na liberação de partículas de plástico de tamanho nano para o meio ambiente. A partir da inserção de nanoprodutos no meio

ambiente, os quais possuem plástico em sua composição, observa-se claramente um aumento na formação de nanoplásticos ao longo do tempo (LAMBERT; WAGNER, 2016).

Atualmente, os resíduos plásticos são gerados a uma taxa que se aproxima 400 megatoneladas ao ano, dos quais 175 megatoneladas entra em aterros sanitários e no ambiente natural. A quantidade de plásticos que se acumulam no ambiente está crescendo rapidamente, mas nossa compreensão de sua persistência é muito limitada. Esta Perspectiva resume a literatura existente sobre taxas de degradação ambiental e caminhos para os principais tipos de polímeros termoplásticos. Uma métrica para harmonizar diferentes tipos de medições, a taxa de degradação de superfície específica, é implementado e usado para extrapolar meias-vidas (CHAMAS *et al.*, 2020).

A questão da acumulação do plástico, que posteriormente viram resíduos, dos quais muitos serão classificados como nanoplásticos, e o aumento exponencial desses números gera o alerta:

A quantidade de resíduos plásticos que entram nos oceanos surgiu como uma grande preocupação. Concentrado em grande escala acumulações de plásticos foram encontradas no Pacífico Sul giro subtropical e o giro do Oceano Pacífico Oriental. Mesmo em um cenário de taxa média de conversão de resíduos em detritos, o total quantidade de resíduos plásticos no oceano deverá crescer de 50 Mt em 2015 para 150 Mt em 2025 (CHAMAS *et al.*, 2020, p. 3495).

Muitas vezes existem grandes diferenças entre as taxas de degradação de plásticos relatadas na literatura científica e aqueles noticiados pela imprensa popular. Algumas reportagens da mídia reconhecem o déficit de conhecimento sobre os índices de degradação de plásticos (LAPIDOS, [2007]; TORONTO ENVIRONMENTAL ALLIANCE (TEA), [2022?]).

O alerta sobre o (nano)plástico no meio ambiente apresentam quadros ainda mais preocupantes, como por exemplo os estudos confirmando que a exposição pulmonar materna ao nanopoliestireno resulta na translocação de partículas plásticas aos tecidos placentários e fetais e torna a unidade fetoplacentária vulnerável a efeitos adversos. Esses dados são vitais para a compreensão da toxicologia de partículas plásticas e as origens do desenvolvimento da saúde e doença (FOURNIER *et al.*, 2020).

Na procura por resoluções, a ciência vem apontando através de pesquisas quais seriam esse período de degradação, e indicam a possibilidade, inclusive, desse material não degradar:

As estimativas de média de tempos de degradação para sacolas plásticas tendem a se enquadrar em uma das duas faixas: 10-20 anos ou 500-1000 anos, enquanto que para garrafas de 'plástico' é relatado como mais de 70 a 450 anos. Alguns meios de comunicação relataram que os 'plásticos' não degradar em tudo (CHAMAS *et al.*, 2020, p. 3495).

Há vários anos existem campanhas para diminuição do plástico em nível global, contudo percebe-se muito restrito à campanhas publicitárias, as quais se mostram insuficientes. Ademais, a questão avança para o patamar de degradação do plástico, que vem a torna-se micro ou nano, gerando um macroproblema, conforme Giraldez Alvarez *et al.* (2020, p. 105) afirmam:

Embora existam algumas campanhas lançadas para reduzir a quantidade de plásticos nos oceanos, são limitadas e dirigidas à consciência dos indivíduos. Em 2017, a Indonésia se comprometeu a reduzir o plástico lançado no mar; o Uruguai prometeu introduzir imposto sobre os sacos plásticos e a Costa Rica sinalizou com a intenção de melhorar o gerenciamento de resíduos e a educação para reduzir o uso de sacolas. Foi proposto, naquele contexto, que, em 2020, sejam totalmente eliminadas as maiores fontes de plástico no mar: os microplásticos de cosméticos e as embalagens descartáveis. Mas, considerando os efeitos apresentados nesta revisão, o princípio de precaução deve ser priorizado por parte das autoridades sanitárias e ambientais dos diferentes países e organizações internacionais e não se limitar ao lançamento de campanhas publicitárias dirigidas à consciência das pessoas. [...]. A evidência científica mostrando os macroproblemas que os microplásticos originam para o médio ambiente são mais que evidentes como para limitar o problema a uma questão simplesmente de curiosidade científica.

Contudo, mostram-se presentes evidências dos impactos negativos do plástico e seus detritos microplásticos e nanoplástico ingeridos pelos organismos de diversos ecossistemas, fornecidas constantemente pela comunidade científica. Os efeitos negativos da ingestão de micro e nanoplásticos pelos peixes são diversos, tanto que análises mostraram que a carga total desses poluentes no trato gastrointestinal de um peixe durante a sua vida é alta, afetando sua saúde. Como efeitos foram observados o bloqueio intestinal, o dano físico, as alterações histopatológicas no intestino, as mudanças de comportamento e do metabolismo lipídico e sua transferência para o fígado (GIRALDEZ ALVAREZ *et al.*, 2020).

O Banco Mundial realizou um levantamento sobre resíduos sólidos, em especial os plásticos, apresentando o grave panorama global, buscando de forma urgente qual a medida exigida para minimizar os danos até 2050:

Você verá neste relatório, que o mundo está em uma trajetória onde o desperdício desta geração ultrapassará drasticamente o crescimento populacional e dobrará até 2050. Embora estejamos vendo melhorias e inovações em gestão de resíduos sólidos em todo o mundo, é uma questão complexa e necessária para tomar medidas urgentes. A gestão de resíduos sólidos afeta a todos; no entanto, aqueles mais afetados pelos impactos negativos de resíduos mal geridos são em grande parte os mais vulneráveis – perdendo suas vidas e casas em deslizamentos de depósitos de lixo, trabalhando em condições inseguras de coleta de lixo e sofrendo de profunda saúde repercussões. Muitas vezes, o meio ambiente também paga um preço alto. Em 2016, o mundo gerou **242 milhões de toneladas de lixo plástico - 12 por cento de todos os lixo sólido**. Resíduos de plástico estão sufocando nossos oceanos, mas nosso consumo de plásticos só está aumentando. Cidades e países estão se desenvolvendo rapidamente sem sistemas adequados implantados para gerenciar os resíduos em constante mudança composição dos cidadãos (KAZA *et al.*, 2018, p. xi, grifo nosso).

De outro modo, a gestão inadequada dos (nano)plásticos contribuem efetivamente na emissão de gases de efeito estufa. Cerca de 1,6 bilhão de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) – emissões de gases de efeito estufa equivalentes (equivalentes de CO₂) foram geradas da gestão de resíduos sólidos em 2016. Isso é cerca de 5 por cento de emissões global. Sem melhorias no setor, resíduos sólidos deverão aumentar para as emissões de 2,6 bilhões de toneladas de CO₂ equivalente até 2050. Mais de 80 países se comprometeram a reduzir as emissões por meio do histórico Acordo de Paris de 2017 – melhorando a gestão de resíduos é uma forma de contribuir para este esforço (KAZA *et al.*, 2018).

A ONU vem trazendo inúmeros alertas sobre a quantidade alarmante de plástico no oceano, afirmando inclusive que, se seguirmos o rumo que a sociedade se encontra, até 2050 teremos a mesma quantidade de plásticos que de peixes: “[...] se nada for feito para combater a poluição, em 2050 mares e oceanos podem ter a mesma quantidade de peixes e plástico” (NAÇÕES UNIDAS, 2017), conforme ilustra Figura 30. O alerta foi feito à ONU News pelo embaixador de Portugal junto às Nações Unidas (NAÇÕES UNIDAS, 2017).

Figura 30 - Campanha ONU Mares Limpos, 2017



Fonte: ONUBR (2017 *apud* CHIAFITELA, 2017).

Desta maneira, destaca-se a ONU frente ao combate da gestão de resíduos plásticos, marcando ainda o Dia Mundial dos Oceanos, em 8 de junho, alertando a poluição plástica. Em todo o mundo, centenas de eventos chamam a atenção para a prevenção da poluição e soluções para um oceano saudável. Segundo dados da ONU, 80% da poluição dos oceanos sai da superfície terrestre. Todos os anos, são 8 milhões de toneladas de plástico (NAÇÕES UNIDAS, 2018). “O chefe da ONU acredita que ‘é preciso trabalhar de forma individual e coletiva para parar esta tragédia e reduzir significativamente a poluição marinha de todos os tipos, incluindo plástico’” (NAÇÕES UNIDAS, 2018). Afirma que as Nações Unidas querem dar o exemplo e, por isso, 30 agências já começaram a trabalhar para eliminar os plásticos de uso único (NAÇÕES UNIDAS, 2018). Ilustra bem a preocupação a Figura 31, que destaca o Dia mundial dos oceanos e a poluição plástica, em diálogo com a Figura 32, que apresenta a origem do plástico, a qual traz um dado inacreditável: 90% do total deste material tem como origem apenas 10 rios, 8 (oito) na Ásia e 2(dois) na África:

Figura 31 - Dia mundial oceanos e poluição plástica



Segundo dados da ONU, 80% da poluição dos oceanos saem da superfície terrestre.

Fonte: Nações Unidas (2018).

A partir destes dados, uma abordagem circular poderia ser uma solução para gestão do resíduo, levando em consideração que a maior parte do plástico tem origem no mesmo continente, o que facilitaria o desenvolvimento conjunto nestes países:

Figura 32 - Origem do plástico

90% DO PLÁSTICO NOS OCEANOS VEM DE APENAS 10 RIOS (8 NA ÁSIA E 2 NA ÁFRICA)



Fonte: Meio Info (90%..., 2022).

Por fim, importante trazer ao debate a famosa “Ilha de Plástico”, A ilha de lixo que flutua no Pacífico triplica o tamanho da França e é o maior depósito de lixo

oceânico do mundo com 1,8 trilhões de pedaços de plástico flutuantes que matam, anualmente, milhares de animais marinhos entre a Califórnia e o Havaí. Charles Moore foi o primeiro que fez soar o alarme. O capitão e oceanógrafo norte-americano ficou horrorizado quando em 1997 voltava com seu veleiro de uma famosa regata náutica: tropeçou com um mar de plástico tão extenso que precisou de sete dias para atravessá-lo (LEBRETON *et al.*, 2018).

A descoberta de Moore mobilizou a comunidade científica e o resto é história: acabava de se tornar pública a ilha de lixo no Pacífico, um dos sintomas mais significativos da crise ecológica do planeta. Duas décadas depois, a grande mancha é um continente de lixo de 1,6 milhões de km² e, aproximadamente, 80.000 toneladas de plástico que não para de crescer, conforme um estudo científico publicado em 2018 pela revista *Scientific Reports* (LEBRETON *et al.*, 2018). Para termos uma ideia de sua extensão, basta dizer que já triplica o tamanho da França. Porém, apesar do seu tamanho, o continente de plástico do Pacífico é invisível para os satélites, pois 94% de sua constituição está formada por fragmentos minúsculos de plástico que se desprendem de outros maiores pela erosão (IBERDROLA, c2022), apresentação da Figura 33 a seguir.

Figura 33 - Ilha de Plástico e origem dos resíduos



Fonte: Nature e National Geographic (2018 *apud* IBERDROLA, c2022).

Como se não bastasse, é sabido que a maioria dos resíduos plásticos encontrados e acumulados no oceano são os microplásticos (que são considerados os piores ao meio ambiente), e dentro desta classificação poderiam ser enquadrados os nanoplásticos, que assim potencializariam ainda mais os danos e riscos conforme o Quadro 3:

Quadro 3 - Classe e tamanho dos plásticos no oceano

Size class	Type	Mean mass concentration (kg km ⁻²)	Mean numerical concentration (# km ⁻²)
Microplastic (0.05–0.5 cm)	H	2.33	643,930
	N	0.041	19,873
	P	0.13	14,362
	F	0.001	216
Mesoplastic (0.5–5 cm)	H	3.68	20,993
	N	0.23	803
	P	0.0003	3.6
	F	0.003	12
Macroplastic (5–50 cm)	H	15.53	640
	N	1.27	49
	F	0.021	0.7
Megaplastic (>50 cm)	H	3.52	0.3
	N	42.82	3.3
All	All	69.58	700,886

Fonte: Lebreton *et al.* (2018, p. 10).

Face esses dados, até desnecessário seria mostrar mais imagens do atual e preocupante cenário da (ausência) de gestão efetiva dos plásticos, que obviamente envolvem inúmeros plásticos com nanopartículas. Contudo, fica o registro do relatório do relatório do World Bank – *What a Waste 2.0: a Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050* –, que muito embora se tenha ciência desta situação no meio acadêmico, ainda assim se mostra impactante conforme Figura 34 na sequência apresentada:

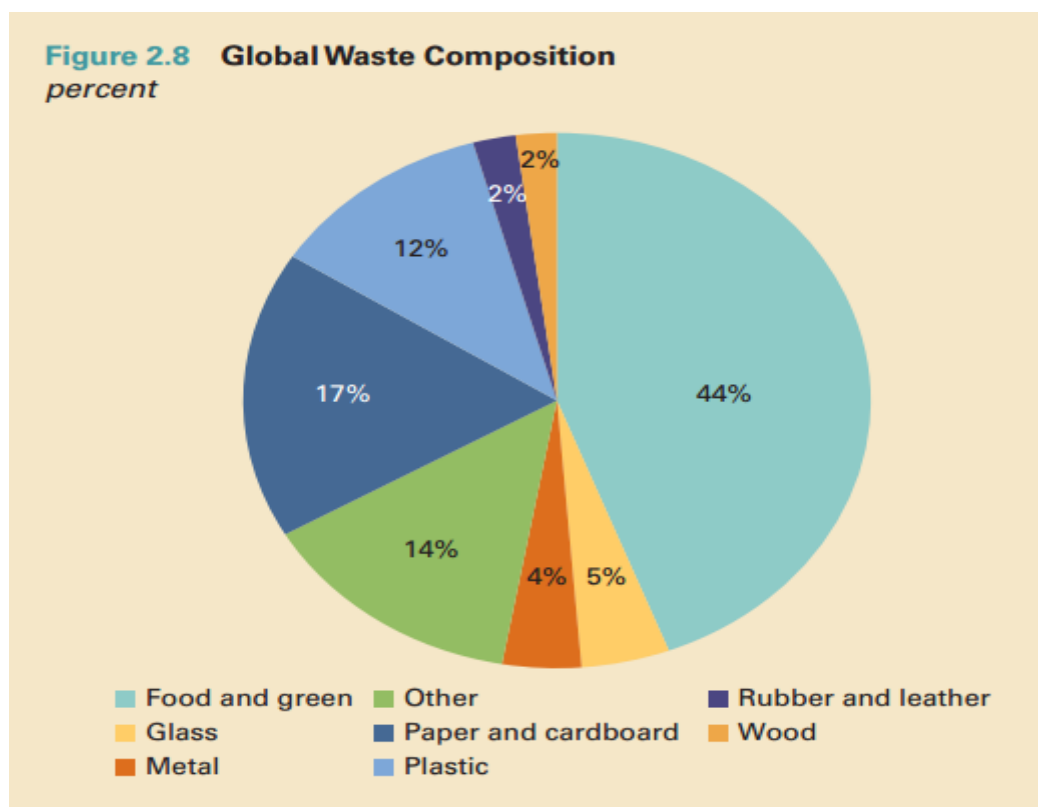
Figura 34 - Maldivas e plástico



Fonte: Kaza *et al.* (2018, p. 3).

A partir dos dados coletados, possível visualizar através do Gráfico 4 a composição geracional dos resíduos, onde o plástico constitui 12% do total global de resíduos:

Gráfico 4 - Composição global dos resíduos

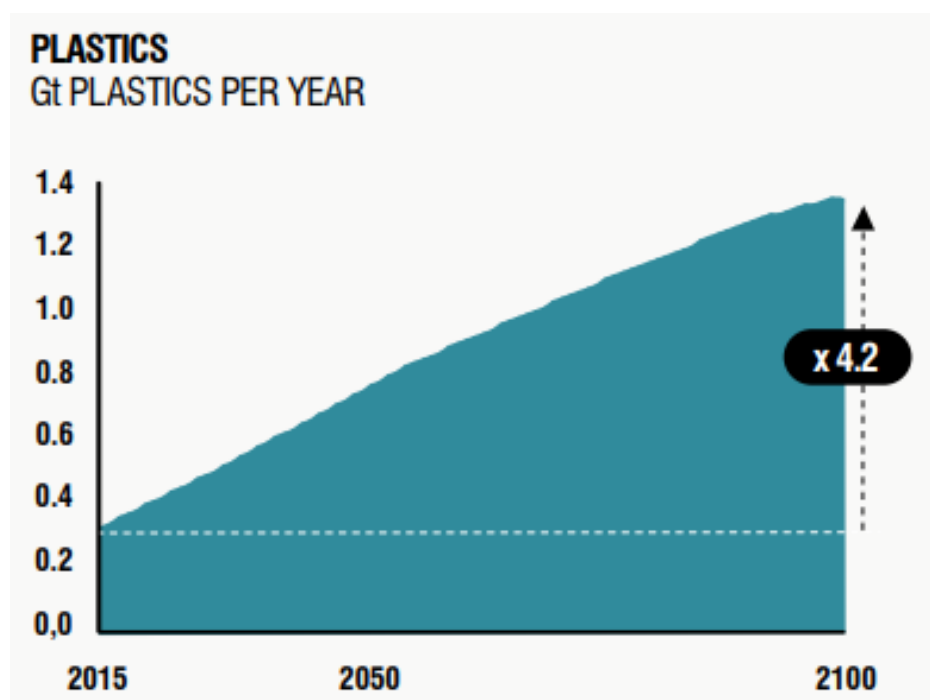


Fonte: Kaza *et al.* (2018, p. 3).

Atrelada à análise deste Gráfico 4, importante destacar que, entre os “outros 14% de resíduos” poderia ser incluídos resíduos não nominados, como *nanowaste*, por exemplo, já que é um resíduo especial, que inclusive o resíduo de águas residuais com nanopartículas é um dos mais complicados de serem tratados (LEAL; ENGELMANN, 2018, v. 1).¹⁰

Mas a preocupação não para aqui. Com os padrões atuais de uso de materiais, a demanda global para o plástico aumentará em 4 vezes até 2100:

Gráfico 5 - Aumento da demanda global para plástico



Fonte: SITRA (2018, p. 11).

Observa-se que produção de plásticos cresceu 50% na última década, para pouco menos de 350 milhões toneladas por ano. Nas economias avançadas, a embalagem é um uso importante, seguido por construção e automotivo. Na Europa, o uso anual atual de plásticos é de cerca de 100 kg/pessoa, enquanto a América do Norte está em cerca de 140 kg/pessoa. Nosso cenário ilustra o resultado se todas as regiões do mundo convergirem para 120 kg/pessoa (SITRA, 2018).

Os plásticos são produzidos através do processamento químico e físico de materiais naturais constituintes. Através da polimerização e policondensação, os

¹⁰ A doutoranda realizou a pesquisa sobre os 4 tipos de tratamentos de resíduos nanotecnológicos e constatou sobre a especialidade e problema do tratamento de águas residuais com nano através da pesquisa empírica em livro específico da OECD (LEAL; ENGELMANN, 2018, v. 1).

constituintes da base reagem entre si para formar cadeias poliméricas, um processo que raramente pode ser revertido. Portanto, uma vez que a reação tenha ocorrido, essas moléculas não podem retornar à sua forma básica anterior apenas serem processadas ou recicladas para diferentes formas poliméricas. Produtos químicos industriais podem ser adicionados à reação para desenvolver resultados mais maleáveis. Devido à estabilidade química, o acúmulo ambiental de plásticos é o aumento e a pesquisa que documenta esses aumentos está recebendo grande interesse. Infelizmente, como identificado em um editorial recente da Nature Nanotechnology, o laboratório e avaliações toxicológicas ambientais não foram concluídas e, em geral, simplesmente não conhece os resultados (NANOPLASTIC..., 2019).

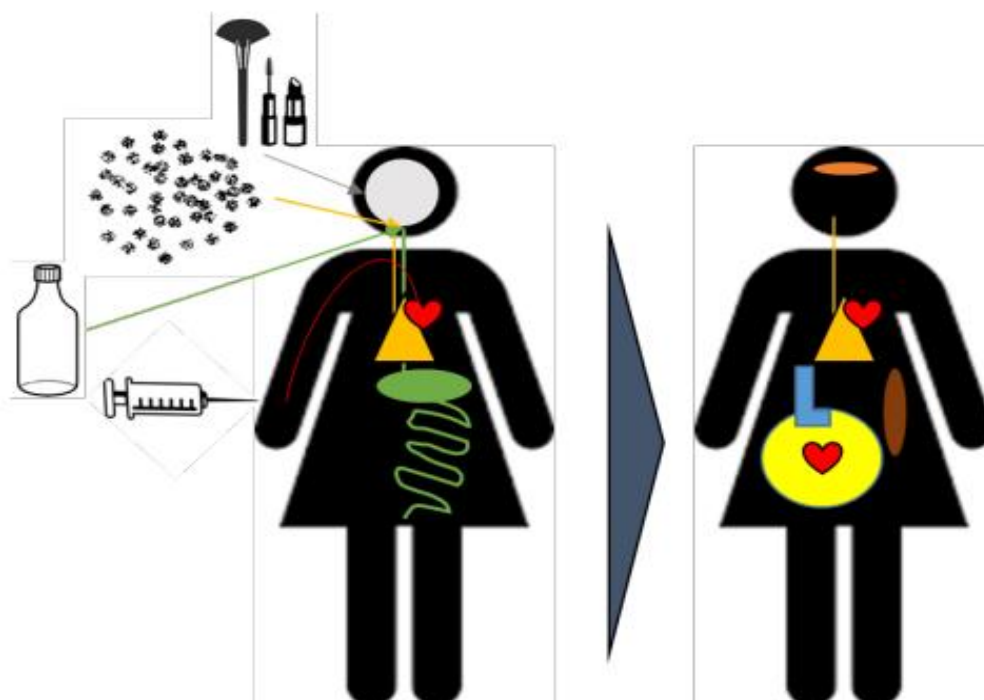
Uma vez que se fala em resíduo nanoplástico, importante lembrar que o *nanowaste*, ou resíduo nanotecnológico em geral já se apresenta como tarefa complexa e de difícil gestão. Apesar do tamanho nanoscópico das nanopartículas, elas tendem a exibir tantos deméritos quanto méritos. Os nanomateriais devem ser eliminados com o máximo cuidado devido às suas desvantagens. Além disso, a reciclagem de nano “resíduos” deve ser contabilizada, pois pode reduzir a intensidade da liberação tóxica no meio ambiente. A principal preocupação das nanopartículas é atribuída às propriedades de solubilidade e aglomeração dessas partículas. A geração do lixo começa durante a produção e uso industrial/comercial do produto. A gestão de *nanowaste* é complicada porque é lançado em sua forma mais pura, ao contrário do lixo convencional (GEORGE *et al.*, 2022).

Avançando sobre o nanoplástico, tanto sua área de pesquisa como o próprio termo são relativamente novos, consoante:

O termo ‘nanoplástico’ é relativamente novo. A primeira utilização do termo em uma Web of Science pesquisa estava dentro de um resumo de 2004 descrevendo métodos computacionais relativos a materiais de deformação. Como tal, tem havido alguma discussão na literatura sobre a definição de um ‘nanoplástico’. No entanto, esta é uma caracterização importante para maior clareza à medida que o campo avança (STAPLETON, 2019, p. 368).

No que diz respeito à saúde humana, de acordo com Figura 35 a exposição aos nanoplásticos pode ser por ingestão gástrica, inalação, aplicação dérmica e injeção intencional:

Figura 35 - Formas de exposição ao nanoplástico



Fonte: Stapleton (2019, p. 371).

Tal diagrama que descreve as rotas de exposição nanoplástica (ou seja, ingestão, inalação, dérmica e injeção), potenciais sistemas primários de impacto e potencial toxicidade secundária associada à deposição de partículas.

Merece destaque diversas as reportagens que provocaram alarde na comunidade científica, face o estudo publicado **em agosto de 2020**, o qual afirmou terem os pesquisadores encontrado microplásticos em órgãos humanos. As partículas de microplástico, graves poluentes do oceano e da vida marinha, podem ser identificadas em órgãos humanos. Com uma nova técnica desenvolvida por cientistas da Universidade Estadual do Arizona, nos EUA, agora é possível observar quando há a presença de plásticos no corpo humano. A descoberta foi feita porque os cientistas adicionaram partículas a 47 amostras de tecido de pulmão, fígado, baço e rim obtidas de um banco de tecidos estabelecido para estudar doenças neurodegenerativas. Os resultados mostraram que os microplásticos puderam ser detectados em todas as amostras. Sabe-se que os humanos estão sujeitos tanto a ingerir microplásticos por meio da comida ou inalando pelo ar, mas sua presença no corpo humano ainda não era possível de ser identificada.¹¹ Uma vez que

¹¹ Ler mais em: Revista Exame (CURY, 2020) e Revista Galileu (MEIO..., 2020).

nanoplástico é uma derivação, as nanopartículas também estão presentes e ali acumuladas. A pesquisa cita as garrafas *pet* e BPA, que normalmente possuem interação com esta escala produtiva:

A nova técnica, porém, não identifica quais são os perigos e os impactos da presença do plástico no corpo humano – algo que ainda não é possível de decifrar. A pesquisa, que está sendo apresentada na sociedade científica American Chemical Society nesta segunda-feira, 17, é a primeira a determinar os níveis de penetração do plástico em órgãos humanos. Rolf Halden, da Universidade Estadual da Arizona, disse em nota que a plataforma pode ajudar a encontrar diversas partículas minúsculas. 'Seria ingênuo acreditar que existe plástico em todo lugar, mas não em nós. Agora estamos fornecendo uma plataforma de pesquisa que permitirá que nós e outros procuremos o que é invisível – essas partículas pequenas demais para ser vistas a olho nu. O risco realmente reside nas pequenas partículas'. O método permitiu identificar, entre outros, plásticos como tereftalato de polietileno (PET) e bisfenol A (BPA), utilizados na produção de garrafas plásticas e plásticos diversos, respectivamente. Segundo os cientistas, o BPA é mais perigoso do que o PET devido a seu caráter tóxico e reprodutivo (CURY, 2020).

Posteriormente, nova pesquisa chocou o mundo da pesquisa acadêmica na área dos nanoplásticos, *Plastic particles pass from mothers into fetuses, rat study shows: nanoparticles found in foetal brains and hearts, but impact on human health is as yet unknown*, ou seja, partículas de (nano)plástico passam das mães para os fetos, mostra estudo com ratos: Nanopartículas encontradas em cérebros e corações fetais, mas o impacto na saúde humana ainda é desconhecido, destaca o *The Guardian* (CARRINGTON, 2021).

No Brasil a notícia também ecoou, trazendo a seguinte manchete: *Nanopartículas de plástico passam para os fetos através da placenta, indica estudo* (SANTOS, 2021). Desta maneira fica evidente o necessário enfrentamento sobre esse novo tipo de resíduo, potencialmente mais lesivo que o plástico comum, que igualmente já é considerado um problema global. Levando tal inquietação à escala nano, novas são as complexidades enfrentadas. Diversas foram as fontes que divulgaram o estudo, inclusive em redes sociais como Instagram da Maternidade com Ciência (SOLETTI, 2022), ilustradas na Figura 36:

Figura 36 - A nova geração de bebês com (nano)plásticos



Fonte: Instituto Serra Pilheira (2023).

Segundo o estudo, partículas de plástico existentes no organismo materno podem passar para os bebês. As conclusões são de pesquisa norte-americana que, ao introduzir nanopartículas no sistema respiratório de ratos fêmeas grávidas, descobriu que a placenta não impede a transferência destes microplásticos para os órgãos dos fetos. Alertam que o plástico está em toda parte. É usado em embalagens de alimentos, recipientes de armazenamento, eletrodomésticos, móveis, roupas e objetos descartáveis de utilização única, começam por recordar os cientistas. Referenciam o estudo da Universidade de Rutgers, nos EUA, sendo o primeiro a ser realizado num mamífero vivo e revela que a placenta não bloqueia a

passagem de partículas como microplásticos. Os cientistas descobriram que as minúsculas partículas de plástico inicialmente introduzidas nos pulmões dos ratos fêmea passaram rapidamente para o coração, para o cérebro e para outros órgãos dos fetos (SANTOS, 2021).

Após pesquisa inédita, chegou-se a alarmante conclusão:

Coletivamente, esses resultados identificaram o impacto de uma exposição pulmonar a uma dose ambientalmente relevante de nanopoliestireno e examinou os parâmetros maternos e fetais e a translocação de partículas plásticas e deposição nos tecidos fetais. Esses dados são vitais para a compreensão da toxicologia de partículas plásticas e o início do desenvolvimento da saúde e da doença. Estudos futuros são necessários para fornecer uma exploração mais detalhada da toxicidade órgão-específica e as implicações da exposição nanoplástica no potencial reprodutivo e desenvolvimento fetal (FOURNIER *et al.*, 2020, p. 9-10).

No mesmo sentido corroboram Grafmueller *et al.* (2015), destacando a transferência aumentada de partículas de poliestireno do feto para o materno compartimento, que foi observado em vez de uma concentração evidentemente equilibrada de transporte passivo.

Muitas pesquisas indicam graves alertas quanto aos nanoplásticos, pois achados levantaram preocupações com os potenciais efeitos adversos à saúde de humanos por conta de inalação de partículas nanoplásticas (STAPLETON, 2019).

Fragmentos de plástico menores que 1 um levantaram preocupações sobre os riscos potenciais que representam para o meio ambiente. A pesquisa responde a uma série de perguntas para estabelecer quais são os riscos realistas, afirmam Wagner e Reemtsma (2019).

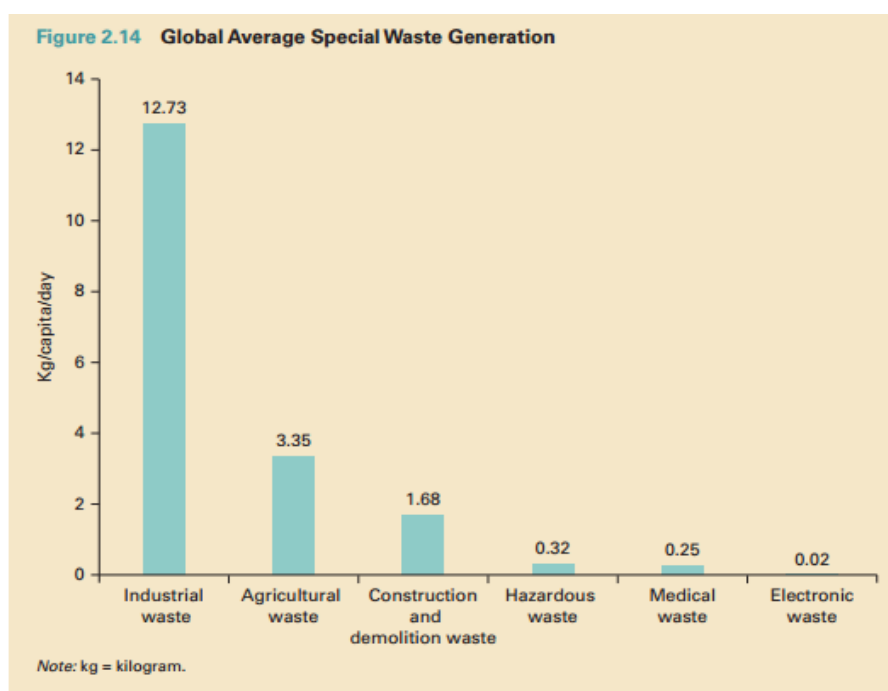
Fazendo a ligação com a questão da destinação final dos resíduos, conforme explicado anteriormente na visão da OECD, os nanoplásticos especificamente geram uma complexidade ainda maior. Conforme pesquisa realizada por Mitrano *et al.* (2019) o comportamento dos nanoplásticos permanece elusiva mesmo após intensificação dos estudos, entretanto, a evolução dessa análise auxiliará nos parâmetros para definir interação deste material e entender a transferência dos mesmos no meio ambiente:

A pesquisa sobre a distribuição e os efeitos do plástico particulado se intensificou nos últimos anos e, no entanto, devido a desafios analíticos, nossa compreensão da ocorrência e comportamento dos nanoplásticos permaneceu comparativamente elusiva. No entanto, estudos de processo podem ajudar muito na definição de parâmetros-chave para interações

nanoplásticas e transferências entre compartimentos técnicos e ambientais. Aqui nós fornecemos um método para sintetizar partículas nanoplásticas dopadas com um metal quimicamente aprisionado usado como traçador, que fornece uma maneira robusta de detectar nanoplásticos com mais facilidade, precisão e quantitativamente em meios complexos. Mostramos a utilidade dessa abordagem em estudos de lote que simulam o processo de lodo ativado de uma estação de tratamento de águas residuais municipal e, assim, entendemos melhor o destino dos nanoplásticos em ambientes urbanos. Constatamos que a maioria das partículas estava associada ao lodo (>98%), com uma recuperação média de mais de 93% do material enriquecido alcançado. Acreditamos que esta abordagem pode ser desenvolvida para estudar o destino, transporte, comportamento mecanicista e absorção biológica de nanoplásticos em uma variedade de sistemas em diferentes escalas (MITRANO *et al.*, 2019, p. 362).

Corroborando com a descoberta, a pesquisa do World Bank (KAZA *et al.*, 2018) apresenta dados sobre resíduos especiais. Outros fluxos de resíduos comuns incluem resíduos industriais, resíduos agrícolas, resíduos de construção e demolição, resíduos perigosos, lixo hospitalar e lixo eletrônico ou lixo eletrônico:

Gráfico 6 - Média global de geração de resíduos especiais



Fonte: Kaza *et al.* (2018, p. 36).

Alguns fluxos de resíduos, como resíduos industriais, são gerados em quantidade muito maior que os resíduos sólidos urbanos (próxima Figura 37). Para os países com dados disponíveis de geração de resíduos industriais, a tendência mostra que, globalmente, a geração de resíduos industriais é quase 18 vezes maior do que os resíduos sólidos urbanos. A geração de resíduos industriais aumenta

significativamente à medida que aumenta o nível de renda. Neste cenário é perfeitamente possível inserir os nanoresíduos ou *nanowaste*, que grande parte deriva da atividade industrial (KAZA *et al.*, 2018). Veja-se os números:

Figura 37 - Resíduo industrial e eletrônico

	Industrial waste generation	E-waste generation
High income	42.62	0.05
Upper-middle income	5.72	0.02
Lower-middle income	0.36	0.01
Low income	No data	<0.01

Note: kg = kilogram.

Fonte: Kaza *et al.* (2018, p. 36).

Lambert e Wagner (2016) fazem o alertam neste sentido, de que a liberação de plásticos no meio ambiente já é identificada como uma questão importante por algum tempo, de modo que publicações recentes sugerem que a degradação de materiais plásticos resultará na liberação de partículas de plástico de tamanho nano para o meio ambiente. No estudo dos autores em destaque foi feita a análise de rastreamento de nanopartículas, aplicada para caracterizar a formação de nanoplásticos durante a degradação de uma tampa de um copo de café descartável de poliestireno. Por fim, afirma que os resultados mostram claramente um aumento na formação de nanoplásticos ao longo do tempo.

Com a grande atenção dada aos microplásticos no meio ambiente, vários pesquisadores começaram a considerar a fragmentação dos plásticos em escalas mais baixas (ou seja, a escala submicrométrica). O termo “nanoplásticos” ainda está em debate, e diferentes estudos estabeleceram o limite superior de tamanho em 1000 nm ou 100 nm. Gigault *et al.* (2018) definem nanoplásticos como partículas produzidas involuntariamente (ou seja, a partir da degradação e fabricação dos objetos plásticos) e apresentando um comportamento coloidal, dentro da faixa de tamanho de 1 a 1000 nm.

A ocorrência de nanoplásticos no meio ambiente já é conhecida e apresenta novas ameaças ligadas a questões de detritos plásticos. Novas questões sobre as vias de formação e avaliação do ciclo de vida de nanoplásticos em ambientes

continentais e marinhos foram levantadas, e no estudo de Davranche *et al.* (2020) deram enfoque no sistema costeiro da ilha de Guadalupe. Pela primeira vez conseguiram demonstrar a presença de nanoplásticos em extratos de água de areia. Ainda foi investigado o potencial de elementos de terras raras no rastreamento de nanoplásticos, tendo como resultado nos plásticos encalhados e corais modernos, a presença dos nanoplásticos como componentes importantes na assinatura de areia costeira (29 a 73%). Esses resultados originais demonstram a relevância do desenvolvimento de traçadores geoquímicos para determinar o destino do lixo plástico perdido (DAVRANCHE *et al.*, 2020).

Neste mesmo sentido, observa-se o destaque do nanoplástico no ambiente aquático:

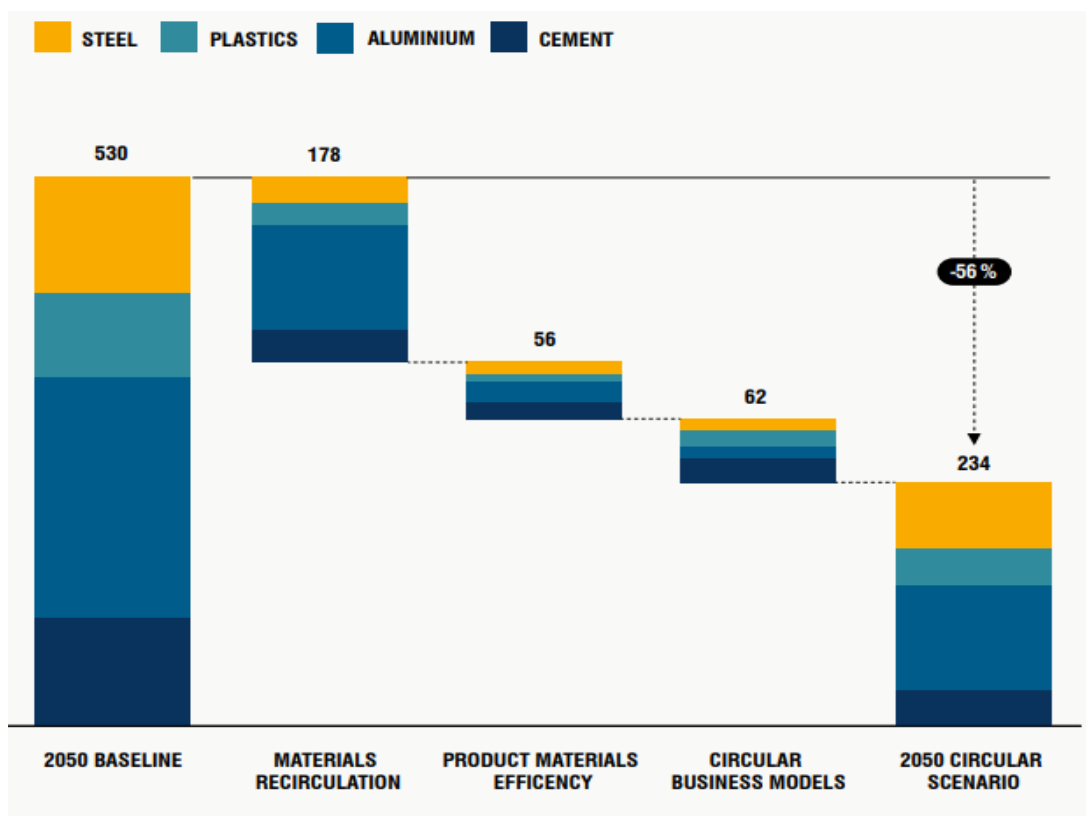
Os plásticos são os que mais contribuem para o crescente acúmulo de poluição nos corpos d'água da Terra. No ambiente aquático, o plástico existe essencialmente em múltiplas formas antes e após a passagem para a natureza, dependendo de sua via sintética e do grau de fragmentação ou degradação subsequente, e inclui material a granel, bem como partículas nanométricas. É de extrema importância entender as consequências ecológicas e biológicas da liberação de nanopartículas na natureza, considerando que suas propriedades diferem consideravelmente de seu material a granel correspondente. Este capítulo destaca descobertas recentes sobre fontes, vias de degradação e ecotoxicidade das nanopartículas derivadas da degradação do plástico, além daquelas fabricadas intencionalmente para sua forma em sistemas aquáticos (MATTSSON *et al.*, 2018, p. 379).

Por fim, é feita uma nota especial sobre os resíduos perigosos, médicos e lixo eletrônico, os quais são normalmente apenas uma fração de Resíduos sólidos municipais. Se descartados de maneira adequada, esses resíduos são normalmente tratados em instalações especializadas, incluindo fábricas de processamento químico, incineradores e centros de desmontagem, respectivamente. A geração de lixo eletrônico está associada ao desenvolvimento econômico, com alta renda países que geram cinco vezes o volume de lixo eletrônico gerado por países de renda média mais baixa. A crescente quantidade de lixo eletrônico e seu potencial de poluição ambiental e reciclagem pode ser uma área de consideração para países em rápido desenvolvimento (KAZA *et al.*, 2018). Uma vez que o estudo sinaliza que são as maiores indústrias que geram esse resíduo, que evidentemente tem relação com o *nanowaste*, possível fazer a conexão com a proposta de rastreabilidade fundada na Economia circular, o que ainda traria outros benefícios e incentivos como a Europa vem propondo (COMISSÃO EUROPEIA, 2020b; EUROPEAN COMMISSION, [2022?]). Neste sentido:

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 económicas sustentáveis, que criará uma terminologia comum que os investidores poderão utilizar onde quer que se encontrem, sempre que investirem em projetos e atividades económicas 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 determinante para que a UE alcance a neutralidade climática até 2050 (COMISSÃO EUROPEIA, 2020b).

A chamada Economia circular (a qual será aprofundada no capítulo adiante) apresenta-se como uma força poderosa para a mitigação climática, sendo uma inovação transformadora indústria de baixo carbono. No caso de implementação, como proposto nesta tese, cairiam 56% as emissões de CO₂ até 2050, também por conta da circularidade do nanoplástico, recorte deste estudo. Portanto, auxiliaria em dois grandes problemas globais, tanto as emissões de CO₂ e ainda a questão do plástico (SITRA, 2018).

Gráfico 7 - Redução em 56% de emissões até 2050

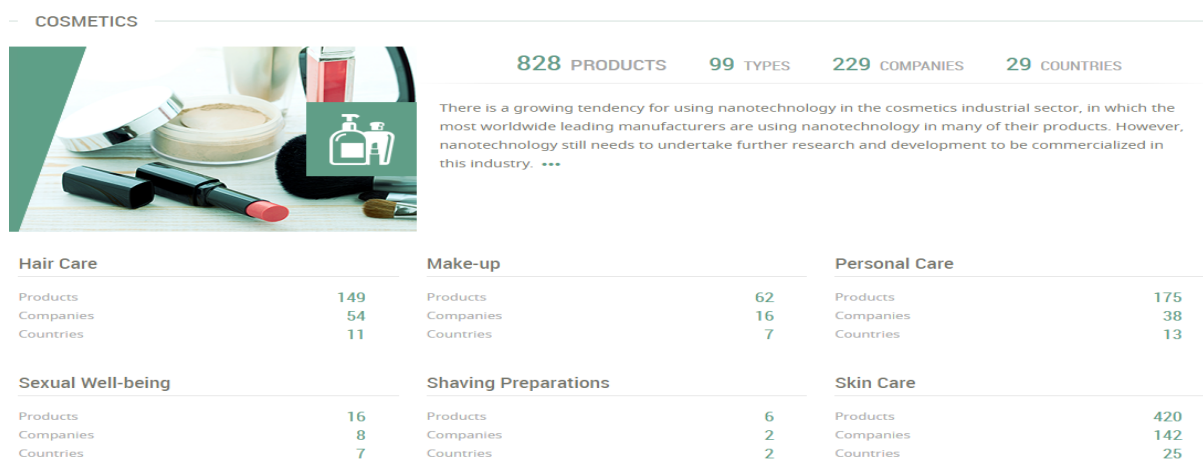


Fonte: SITRA (2018, p. 5).

A gestão de resíduos sólidos, em especial (nano)plástico, é uma questão universal que afeta todas as pessoas no mundo. Indivíduos e governos tomam decisões sobre consumo e gestão de resíduos que afetam a saúde diária, a produtividade, e limpeza das comunidades. Resíduos mal gerenciados estão contaminando os oceanos do mundo, obstruindo drenos e causando inundações, transmitindo doenças através da criação de vetores, aumentando os problemas respiratórios por via aérea partículas da queima de resíduos, prejudicando animais que consomem resíduos sem saber, e afetando o desenvolvimento econômico, por exemplo, por meio da redução do turismo. Resíduos não gerenciados e gerenciados incorretamente por décadas de o crescimento econômico requer ações urgentes em todos os níveis da sociedade. Conforme os países se desenvolvem de baixa renda para média e alta renda níveis, suas situações de gestão de resíduos também evoluem. Crescimento em prosperidade e a movimentação para áreas urbanas está ligada a aumentos na geração per capita de resíduos. Além disso, a rápida urbanização e o crescimento populacional criam centros populacionais maiores, tornando a coleta de todos os resíduos e a aquisição de terras para tratamento e disposição cada vez mais difícil (EUROPEAN COMMISSION, 2020, KAZA *et al.*, 2018).

Tendo em vista que esta tese de doutoramento se propõe a fazer um recorte maior nos nanoplásticos e sua potencialização do risco, cabe apresentar outras áreas de nanoproductos que, desde a produção até o fim de vida, são embalados em plásticos (gerando o nanoplástico), o que no fim poderá acarretar maiores danos ao meio ambiente, em uma proporção ainda desconhecida. A primeira delas é a área de cosméticos, segundo levantamento na NPD representado pela Figura 38:

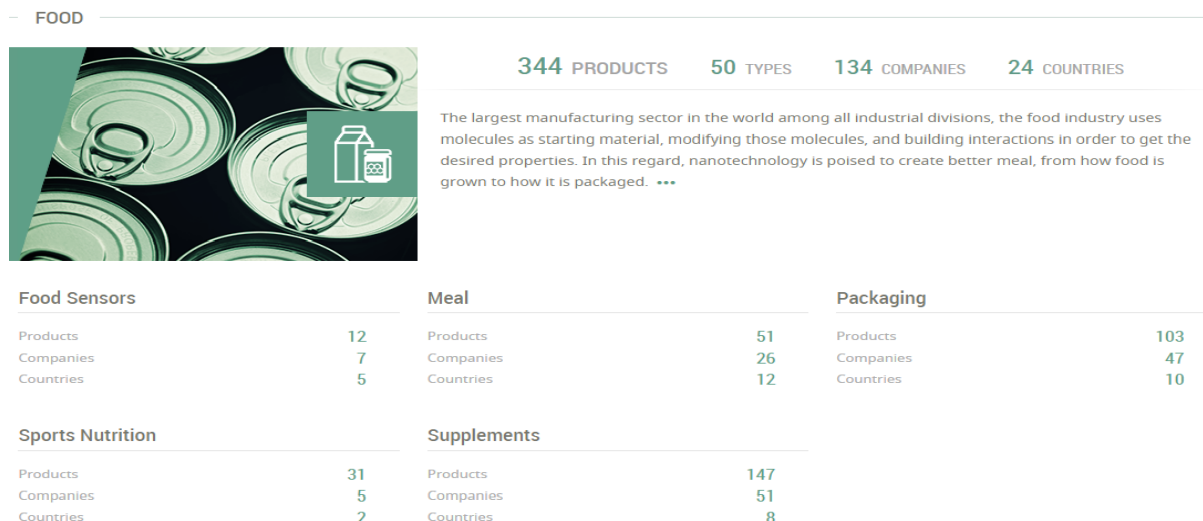
Figura 38 - Produtos nanocosméticos



Fonte: NDP (2021b).

Outro setor industrial que utiliza o plástico, ilustrado na Figura 39, que consequentemente tem contato com partículas nano, é a de alimentos:

Figura 39 - Produtos alimentícios com nanotecnologia



Fonte: NDP (2021a).

Como se demonstrou no arrazoado acima apresentado, as nanotecnologias apresentam-se nas mais variadas formas, produtos de todas as áreas, e o foco dado neste projeto de tese busca atingir um dos resíduos sólidos que vem tirando o “sono” da comunidade acadêmica, o plástico. Se o plástico por si só já apresenta uma ameaça enorme ao meio ambiente, transforme-se então o risco na escala nano.

Conforme debatido, os resíduos são originários de diversos produtos, como por exemplo na indústria de alimentos, esta que, ao colocar seus alimentos para venda, são embalados quase que 100% das vezes por plástico, este com resíduos nanotecnológicos. O uso de nanocompósitos para a embalagem dos alimentos protege e aumenta a sua vida útil e é considerada uma alternativa ambientalmente importante, pois reduz a exigência de utilização de plásticos, como materiais de embalagem. Além disso, os materiais têm potencialidade para aumentar a vida útil e a qualidade dos alimentos. Assim, os nanomateriais em embalagens possibilitam o desenvolvimento de embalagens bioativas, capazes de manter os compostos bioativos – como prebióticos, probióticos, vitaminas encapsuladas ou flavonoides biodisponíveis – em ótimas condições, até que sejam liberados de forma controlável para o produto alimentício. Bem como, ajudam a controlar a oxidação dos alimentos e evitam a formação de sabores estranhos e texturas indesejáveis nos mesmos (ASSIS *et al.*, 2012).

Exemplo são as nanopartículas metálicas de óxido de zinco e prata nos polímeros proporcionando atividade antimicrobiana à embalagem. Dessa forma, muitos alimentos permanecem protegidos por tempo prolongado, aumentando a validade na prateleira e reduzindo a contaminação por microrganismos (TNS INNOVATION, 2015). O uso desses materiais, em função da sua natureza biodegradável, poderia contribuir para a redução dos resíduos. Todavia, a nanotecnologia por ser considerada uma nova tecnologia na área de alimentos e as vantagens e limitações da sua utilização industrial não são completamente compreendidas até o momento (BERWIG, 2019).

Os riscos sobre o nanoplástico e a necessidade de maior pesquisa científica na área, bem como regulação para uma possível gestão é um tema implementado nos maiores grupos de pesquisa.

A Cúpula Global sobre Ciência Regulatória 2019 (GSR19) em Nanotecnologia e Nanoplásticos é co-organizado pelo Centro de Pesquisa Europeia – Joint Research Centre (JRC) e a Coalizão Global para Pesquisa Científica Regulatória (GCRSR). Tal grupo (O GSR19) reúne cientistas de governo, indústria e pesquisa acadêmica de todo o mundo para abordar questões de pesquisa regulatória sobre Nanotecnologia e Nanoplásticos. A conferência fornece uma plataforma onde reguladores, políticas fabricantes e cientistas de bancada podem trocar opiniões em metodologias inovadoras e regulatórias avaliações, bem como a estratégia de harmonização via colaboração global (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

No referido encontro envolvendo potencias mundiais, foram discutidos os tópicos da ciência regulatória global sobre nanotecnologia e nanoplásticos; necessidades de pesquisa regulatória para nanomedicamentos novos e subsequentes; avaliação de segurança de nanomateriais; nanotecnologia no setor agroalimentar / alimentar; padrões documentais e materiais de referência e o mais importante que dá destaque ao enfoque da tese: desafios relativos aos nanoplásticos (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

De maneira consistente, ficou demonstrado o porquê da preocupação global com o nanoplástico, relativo ao risco:

As informações científicas sobre os efeitos ambientais das nano e microplásticos aumentaram drasticamente nos últimos anos. Em experimentos de laboratório, essas partículas podem causar efeitos para organismos, incluindo mudanças na reprodução, absorção de alimentos e inflamação. No entanto, em laboratório os cenários de exposição estão frequentemente longe das condições ambientais relevantes. Baseado nas próprias experiências, literatura disponível e o relatório SAPEA publicado

recentemente, esta apresentação irá resumir o que se sabe até agora sobre os riscos dos micro e nanoplásticos para os humanos e os meio Ambiente (EUROPEAN COMMISSION, 2019, p. 57).

Na sequência, fica latente o risco dos nanoplásticos em oceanos, conforme apresenta a European Commission (2019, p. 57-58):

Nanoplásticos no mundo real: origem, presença e destino ambiental: O principal objetivo da pesquisa que coordeno é determinar o ciclo de vida de micro e nano-plásticos (MNP) na área da bacia hidrográfica, para entender seu padrão de fragmentação e para investigar o primeiro impacto da distribuição de tamanho total de lixo plástico. Na amostragem campanha no Oceano Atlântico Norte - NOA (Expedição 7^o Continente) realizada em 2014 e 2015, fomos os primeiros a desenvolver uma estratégia analítica para demonstrar a presença de plásticos em nanoescala (coloidais) feitos principalmente de polietileno no NOA pela primeira vez. Sediada nesses resultados sem precedentes, que nos ajudam a definir um nanoplástico, várias questões se levantam: Quais são os mecanismos de formação dos nanoplásticos? São os nanoplásticos formados no oceano ou antes na área da bacia? Onde os outros plásticos em micro e nanoescala estão localizados? Encontramos apenas traços de PE e PS em micro e nanoescala no NOA. Onde estão os outros polímeros? De onde vêm os nanoplásticos na zona costeira? Como chegar a nanopeçação dos nanoplásticos? Rapidamente, com base em expedições e missões recentes, identificamos a área da bacia hidrográfica como a principal zona suscetível a desempenhar um papel fundamental no MNP destino e impacto ambiental. Através da minha apresentação irei apresentar a vocês: (i) as metodologias analíticas que desenvolvemos identificar, caracterizar e quantificar nanoplásticos em matrizes ambientais complexas; (ii) o desenvolvimento de padrões de nanoplásticos para técnicas analíticas e estudos ambientais em laboratório; (iii) a aplicação de nossos métodos para detectar e quantificar nanoplásticos no solo, água doce, sistema estuarino (manguezal) e sistema oceânico; e finalmente (iv) o avaliação do comportamento dos nanoplásticos no sistema ambiental através do desenvolvimento de arranjos experimentais levando em consideração a dinâmica das características naturais (salinidade, luz ultravioleta, temperatura, etc.).

A própria ONU, em seu último relatório de acompanhamento das ações para atingir os 17 objetivos de desenvolvimento sustentáveis da Agenda 2030, destaca a presença cada vez maior de novos materiais, dentre eles o plástico e as nanopartículas no oceano:

O oceano também recebe uma quantidade crescente de lixo, esgoto, restos de plástico, antropogênico nanopartículas, fertilizantes, produtos químicos perigosos e petróleo, todos os quais põem em perigo as espécies marinhas e a biodiversidade, contaminam as cadeias alimentares humanas, representam riscos para o sistema imunológico humano, reduzir a fertilidade e aumentar os riscos do câncer (UNITED NATIONS, 2019, p. 29).

Muita atenção tem sido dada nos últimos anos ao destino dos microplásticos no meio ambiente. Vários estudos têm mostrado que os microplásticos podem ser

absorvidos por uma variedade de organismos (por exemplo, peixes, mexilhões, zooplâncton, ouriço-do-mar, pássaros) e, assim, pode causar efeitos adversos, como morte devido à ingestão e emaranhamento, também como respostas pró-inflamatórias. No entanto, estudos recentes apontam que o processo da degradação do plástico progride além da formação de microplásticos. Lambert e Wagner (2016) mostraram a formação de partículas nanoplásticas de café descartável tampas de copos feitas de poliestireno durante a decomposição pela luz ultravioleta, que pode então acabar nos ecossistemas. Portanto, as partículas microplásticas não são o fim da cadeia, mas uma desintegração contínua em partículas nanoplásticas tem que ser esperado. No entanto, até agora, o conhecimento do nanoplástico é muito esparso, pois há apenas um punhado de publicações científicas sobre o assunto publicadas com foco em organismos aquáticos e dados muito limitados estão disponíveis sobre o impacto de esses plásticos na saúde humana, embora sua transferência para os humanos através dos alimentos cadeia está aumentando. Captação celular, acúmulo no tecido intestinal gástrico e reações inflamatórias por nanoplásticos podem ser demonstradas por estudos *in vitro* e partículas na faixa nano mostram mudanças em suas propriedades físico-químicas, que é uma preocupação específica em relação à distribuição *in vivo*, bem como a absorção celular das partículas (LEHNER; PETRI-FINK; ROTHEN-RUTISHAUSER, 2018).

Diante das pesquisas, afirmou-se que micro (nano) plásticos estão atualmente sendo encontrados em todo o meio ambiente e há uma preocupação crescente que o seu acúmulo pode, no futuro, apresentar sérios riscos ao meio ambiente e aos seres humanos saúde através da contaminação da terra, da água e até do ar. Embora o problema seja conhecido pela comunidade científica há vários anos, a falta de métodos para detectar micro e nanoplásticos pequenos (normalmente $<5-10\mu\text{m}$) continua a deixar enormes lacunas de conhecimento sobre sua formação, distribuição e possíveis efeitos nocivos. Para enfrentar este problema, a comunidade científica deve ter acesso a ferramentas analíticas adequadas para estudar o que já pode ser um dos mais amplamente poluentes ambientais produzidos pelo homem. E como nanomateriais inorgânicos podem ser usados ou adaptados para atender aos novos desafios apresentados por partículas poliméricas (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Por causa das preocupações ambientais, o destino e os efeitos adversos dos plásticos atraíram um interesse considerável nos últimos anos. Estudos recentes indicaram que potencial para fragmentação de materiais plásticos

em nanopartículas, ou seja, 'nanoplásticos' e sua possível acumulação no meio ambiente. Nanopartículas podem mostrar marcadamente propriedades químicas e físicas diferentes da sua forma de material a granel. Portanto possíveis riscos e perigos para o meio ambiente precisam ser considerados e tratados. No entanto, o destino e efeito dos nanoplásticos no ambiente (aquático) tem sido até agora pouco explorado. Nesta revisão, pretendemos fornecer uma visão geral da literatura sobre este tópico emergente, com ênfase nos impactos relatados dos nanoplásticos em humanos saúde, incluindo os desafios envolvidos na detecção de plásticos em um ambiente biológico [...]. Uma vez que os riscos potenciais de nanoplásticos ambientais para humanos ainda não foram amplamente estudados, nos concentramos em estudos demonstrando respostas celulares induzidas por nanopartículas de poliestireno. Em particular, a influência do tamanho de partícula e química da superfície são discutidos, a fim de compreender os possíveis riscos dos nanoplásticos para humanos e fornecer recomendações para futuras estudos (LEHNER *et al.*, 2019, p. 2).

Mesmo o (nano)plástico no oceano sendo uma preocupação oportuna, outras áreas também desenvolvem análises, como a pesquisa de Rodríguez-Seijo e Preira (2020), que assim questiona: *Pequenos resíduos de plástico no solo: o que é nossa percepção real do problema?*

Entretanto, de fato as pesquisas de nanoplásticos no ambiente aquático têm obtido destaque, como o estudo que afirma que nanoplásticos secundários liberados de um biodegradável microplástico impactam severamente ambientes de água doce. Segundo a pesquisa, nas últimas cinco décadas a produção de plásticos aumentou devido ao seu uso em setores estratégicos, causando danos ao ecossistema aquático. Nesse contexto, os plásticos biodegradáveis têm surgido como uma alternativa ecológica por serem facilmente degradáveis no meio ambiente. Apesar dos avanços recentes no campo da ecotoxicologia plástica, o impacto ecológico da nanoplásticos secundários (nanoplásticos resultantes da degradação natural de micro e macro plásticos) no meio ambiente permanece mal compreendido. Neste estudo foi investigado os efeitos dos nanoplásticos secundários de polihidroxibutirato (PHB), um plástico biodegradável, em três organismos representativos de ecossistemas aquáticos. Nanoplásticos de PHB secundários foram produzidos a partir de microplásticos de PHB por degradação abiótica em condições ambientalmente representativas. Os nanoplásticos de PHB secundários induziram uma diminuição significativa no crescimento celular e alteraram parâmetros fisiológicos relevantes em todos os organismos. Analisado ainda se a toxicidade observada foi exercida pelos próprios nanoplásticos de PHB ou por outra degradação abiótica produtos liberados de microplásticos PHB. Um experimento foi executado em que nanoplásticos de PHB foram removidos por ultrafiltração; o

sobrenadante resultante não era tóxico para os organismos, descartando a presença de produtos químicos tóxicos nos microplásticos PHB. Além disso, verificou-se uma caracterização físico-química completa, confirmando a presença de nanoplásticos de PHB secundários na faixa de 75-200 nm. Todos os resultados juntos indicaram que nanoplásticos de PHB secundários liberado por causa da degradação abiótica de microplásticos de PHB foram prejudiciais para os organismos testados, **sugerindo que plástico biodegradável não significa seguro para o meio ambiente no caso do PHB** (GONZÁLEZ-PLEITER *et al.*, 2019).

De outra forma, ratifica-se que Micro(nano)plásticos têm sido encontrados e identificados de forma onipresente em ambientes e, muito recentemente, em produtos do mar, outros alimentos e bebidas, como água mineral engarrafada. Como consequência, microplásticos em alimentos é uma questão que preocupa as pessoas. A consciência deste problema aumentou. Outro projeto internacional, “RealRiskNano”, investigou o destino ambiental, comportamento e efeitos dos (nano) microplásticos em organismos marinhos com o objetivo de fornecer algum esclarecimento sobre o potencial de que essas partículas estão tendo efeitos negativos nos organismos (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Destaque ao requerimento feita à ECHA. A pertinência de desenvolvimento da pesquisa para implementação de regulação e minimização dos riscos dos nanoplásticos, que a Comissão Europeia:

[...] solicitou à ECHA em 2018 que preparasse uma proposta de restrição de microplásticos adicionados intencionalmente no âmbito do regulamento REACH. Isso é feito no contexto mais amplo da estratégia da UE para os plásticos. Em março deste ano, a ECHA publicou a sua proposta e abriu consulta pública que ficará aberta até 20 de setembro de 2019. Em sua avaliação, a ECHA concluiu que os riscos decorrentes do uso intencional de microplásticos não são adequadamente controlados. A Agência está propondo restringir o uso de microplásticos adicionados intencionalmente em produtos cujo uso resulte na liberação de microplásticos para o meio ambiente. O proposto restrição impactaria os microplásticos usados em diversos consumidores, profissionais, agrícolas e produtos industriais. A proposta de restrição não cobre polímeros de ocorrência natural, como celulose, polímeros que atendem aos critérios de biodegradabilidade provisórios propostos ou produtos fertilizantes na UE, para os quais os requisitos serão definidos em Produtos Fertilizantes a serem adotados Regulamento. A ECHA propôs que a restrição entraria em vigor de uma maneira passo a passo, dar tempo à indústria para reformular seus produtos e desenvolver produtos adequados e mais ambientalmente alternativas amigáveis aos microplásticos. A primeira fase da restrição, se adotada, deverá entrar em vigor em 2021. A ECHA também recomenda que seja efetuada uma revisão da restrição cinco anos após a sua entrada em vigor. Isso é necessário para avaliar como o mercado se adaptou à restrição, quão bem os polímeros biodegradáveis atuam no contexto do uso pretendido, e o

que informações adicionais estão disponíveis sobre os impactos dos microplásticos no meio ambiente e saúde humana (EUROPEAN COMMISSION, 2019, p. 61-62).

Diante do cenário exposto, mostra-se de extrema relevância abordar na presente pesquisa a necessidade de mitigação e redução de resíduos (nano) plásticos, a fim de contribuir para uma gestão sustentável das nanotecnologias, favorecendo a segurança de desenvolvimento e de consumo, o qual poderá ser minimizado com a alternativa da economia circular, ganhando ainda mais controle na operacionalização de rastreabilidade.

Os resíduos sólidos plásticos estão no cerne dos maiores estudos ambientais (KAZA *et al.*, 2018), que impactam na sociedade no sentido de questionar: *Qual a melhor forma de realizar a gestão dos resíduos plásticos?* E se o plástico traz uma infinidade de danos e riscos já comprovados ao ecossistema, o que se poderá imaginar então sobre os nanoplásticos. Diante o cenário das incertezas dos riscos, potencializadas em escala maior nos nanoplásticos, urge que se busque uma nova postura transnacional, encontrando na economia circular condição de possibilidade para o desenvolvimento sustentável das nanotecnologias, aspecto este que será abordado na sequência.

2.4 Entre fascínios e risco: o enfrentamento transnacional deste paradoxo para adoção da economia circular como medida de desenvolvimento sustentável

Ressalta-se o viés significativo da pesquisa tocante à interdisciplinaridade, sendo que para a investigação sobre o desenvolvimento sustentável a partir da economia circular, aliada à implementação da rastreabilidade dos nanoprodutos (o que consequentemente realizaria a gestão do risco e destinação adequada do *nanowaste*), necessário que perpassasse outras áreas da ciência, apropriando-se dos conhecimentos daquelas searas e das ciências duras, a fim de adequação e auxílio ao Direito para buscar respostas adequadas e aptas às complexas demandas enfrentadas neste contexto.

Conforme afirma Hohendorff (2018), é preciso um Direito¹² crítico, condicionado a fazer leituras da realidade e pronto a provocar as mudanças

¹² “O trabalho de Niklas LUHMANN (Sistemi Sociali, Fondamenti di Una Teoria Generale, 1990), em alguns trabalhos conjuntamente com Raffaele DE GIORGI (Teoria *della Società*, 1992), é exemplar para a transformação do modo de pensar tradicional do direito (ROCHA, 1994, p. 2, grifo do autor).

necessárias nesta conjuntura, sob pena de restar isolado das outras áreas do conhecimento, que se utilizarão dos espaços deixados de lado pelo Direito, para atuarem, inclusive em questões regulatórias.

Como mencionado anteriormente, a economia circular e (nano)sustentabilidade são temas há muito discutidos no cenário europeu, como no recente relatório *Environment at a Glance 2020* publicado pela OECD (2020a), 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.

Elucidando esse debate, apresentam imagem que melhor imprime a essência da economia circular, como a maximização do produto circulando por mais tempo nos fluxos, minimizando o consumo de material, prestando atenção especial à materiais, substâncias perigosas e fluxos de resíduos que geram preocupações (como plásticos, alimentos, produtos elétricos e eletrônicos) e evitando a geração de resíduos, conforme apresentado na Figura 40:

Figura 40 - Economia circular visão OECD



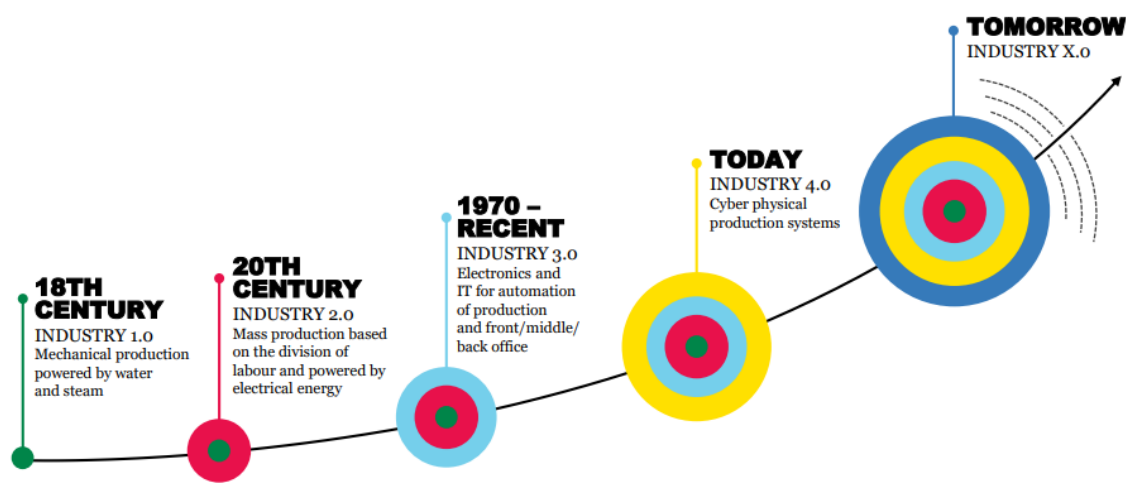
Fonte: OECD (2020a, p. 42).

Como se não bastasse a percepção do Risco (BECK, 2018), com conseqüente metamorfose do Mundo, demanda-se uma mudança de paradigmas, como a condução à Economia circular. Tal necessidade origina-se também da

crescente velocidade de desenvolvimento das tecnologias. Conduz-se assim ao novo termo Indústria X.0 (retrata-se nesta expressão a ideia da indústria do “amanhã”, um modelo que leva inteligência ao setor por meio de inovações tecnológicas, avançadas para reinventar produtos e serviços, desde design e engenharia até produção e suporte, acelerando a eficiência operacional), conforme afirmam SITRA, Technology Industries of Finland e Accenture (2018), referindo-se as tecnologias usadas no “amanhã”. Ilustrado pela Figura 41 a seguir, inevitavelmente as nanotecnologias inserem-se nesse cenário:

Figura 41 - Indústria X.0

The increasing speed of technology development forms the term Industry X.0, referring to technologies used tomorrow



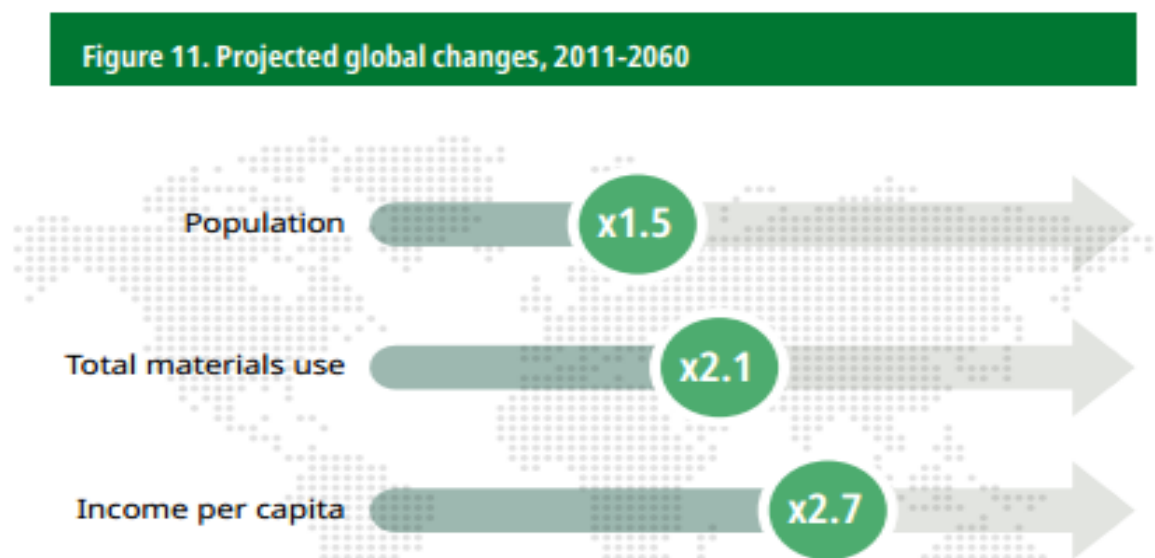
Fonte: SITRA, Technology Industries of Finland e Accenture (2018, p. 69).

Diante desse cenário da então Indústria X.0 (ou do “amanhã”, reforça-se a necessidade de implementação de novas medidas sustentáveis na indústria nano, fundam-se no aumento crescente da produção e consumo, assim como das tecnologias que ainda serão implementadas no futuro, encontrando na economia circular a alternativa.

As últimas décadas testemunharam crescimento sem precedentes na demanda por matérias-primas materiais em todo o mundo, impulsionado pela rápida industrialização das economias emergentes e altos níveis contínuos de consumo de material em países desenvolvidos. Internacional os mercados de commodities se expandiram, com aumento dos fluxos de comércio internacional, e aumentando a mobilidade e fragmentação de produção (OECD, 2020a). Isso foi acompanhado por aumentos e volatilidade de commodities preços e pela crescente competição por

matérias-primas selecionadas. Conforme demonstra a Figura 42 com a projeção da OECD até 2060:

Figura 42 - Projeção OECD



Fonte: OECD (2020a, p. 43).

E quais são os impactos ambientais face esse crescimento? As atividades econômicas que impulsionam o uso de materiais afetam o meio ambiente de várias maneiras. As consequências ambientais decorrem da obtenção dos materiais (por exemplo, gás de efeito estufa emissões de extração e processamento de matérias-primas primárias), de seu uso (por exemplo, ar poluição causada pela queima de combustíveis fósseis) e de seu descarte (por exemplo, poluição do ar, solo e água de aterros). Análise do ciclo de vida da extração e produção global de sete metais (ferro, alumínio, cobre, zinco, chumbo, níquel e manganês) e dois materiais de construção (concreto e areia e cascalho) pela OCDE mostra uma ampla gama de consequências ambientais, incluindo impactos na acidificação, mudanças climáticas, demanda cumulativa de energia, eutrofização, humanos toxicidade, uso da terra, destruição da camada de ozônio, oxidação fotoquímica e toxicidade dos ecossistemas (OECD, 2020a).



















No sentido de preocupação com os resíduos nanotecnológicos, alerta a ONU que melhor antecipar-se na gestão, enquanto dentro do “controle” do produtor, até mesmo por conta dos impactos ainda lentos desses novos resíduos:






Os efeitos nocivos desses resíduos, sejam eles gases de efeito estufa, plásticos, lixo eletrônico ou nanomateriais ou outras entidades novas, podem tornar-se aparentes apenas após os produtos aos quais estão

associados entrarem em uso generalizado, tornando ainda mais difícil a transição longe deles. A ação corretiva é mais fácil para impactos que são experimentados imediatamente e estão dentro da jurisdição onde o produtor está localizado. Muito mais difíceis de enfrentar são produtos para os quais impactos são lentos para se manifestar ou são amplamente dispersos. Aumentar continuamente o consumo de bens e serviços geradores de resíduos é insustentável – O consumo de bens e serviços é essencial para bem-estar humano, mas os países e as populações estão marcado por grandes diferenças tanto no agregado quantidades e tipos de consumo realizados (UNITED NATIONS, 2019, p. 53).

As nanotecnologias, assim como novos materiais e meios de energia, são tecnologias físicas facilitadoras para implementação da economia circular, conforme ilustrado na Figura 43, pois em virtude das suas particularidades de interação, melhoram o ambiente de desempenho do produto:

Figura 43 - Novos materiais, nanotecnologia e meios de energia são tecnologias físicas facilitadoras à economia circular

New materials, Nanotechnology and Energy harvesting are other enabling physical technologies			
Type of technology ■ Digital ■ Physical ■ Biological			
Technology	Description and circular economy example	Illustrative CE Value driver	Business model relevance
Improving	New materials  Advances in material sciences have led to development of polymers/substances with modified molecular structure <i>Example: BMW uses carbon fiber-reinforced plastic in its electric vehicle, lowering the overall mass of the vehicle by over 100kg</i>	Increases product use efficiency	 <input checked="" type="checkbox"/>  <input checked="" type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>
Emerging	Nanotechnology  Manipulates matter on an atomic, molecular, or supramolecular scale. Examples are fullerene, carbon nanotubes and quantum dots <i>Example: GloNaTech produces marine coatings containing carbon nanotubes that facilitate release of microorganisms responsible for biofouling. It reduces flow resistance between the ship's hull and the water in an environmentally friendly way</i>	Improves environmental performance of product	 <input checked="" type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input checked="" type="checkbox"/>
Emerging	Energy harvesting  Captures small amounts of energy that would otherwise be lost, such as heat, light, sound, vibration or movement <i>Example: EnOcean produces energy harvesting wireless switches using kinetic energy for switching application and energy harvesting wireless sensors using solar energy</i>	Enables data gathering at locations where cables and battery changes are not feasible	 <input checked="" type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>

Legend  Circular supply chain  Sharing platform  Product life extension  Recovery & recycling  Product as a service

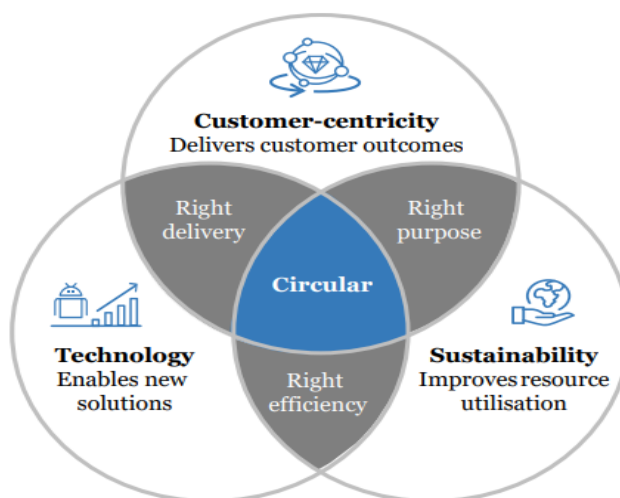
Source, descriptions: WEF, Appendix 2 for more details
Source examples: Pinnace, uhalitec

Fonte: SITRA, Technology Industries of Finland e Accenture (2018, p. 78).

No mesmo sentido afirmam SITRA, Technology Industries of Finland e Accenture (2018), demonstrando que essa transição levará a sustentabilidade na Figura 44 a seguir:

Figura 44 -Três drivers que sustentam a mudança para circular

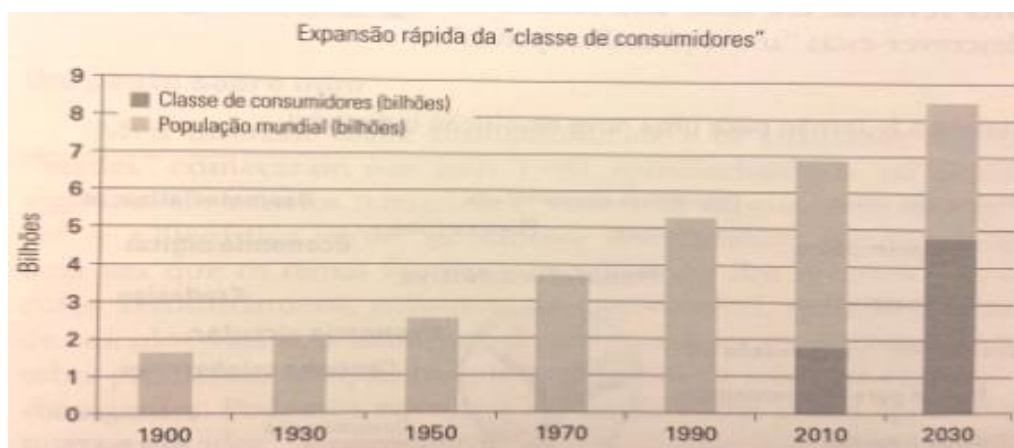
Three drivers underpin the shift towards circular



Fonte: SITRA, Technology Industries of Finland e Accenture (2018, p. 12).

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. Arelada a este princípio ambiental essencial para o desenvolvimento nano, oportuno apresentar a Economia Circular, transição de modelo econômico que vem sendo adotado na União Europeia a fim de concretizar os ODS da ONU. Adotando esta nova postura, a quantidade de resíduos e fluxo dos produtos ficariam em tempo maior em circulação, de produção até consumo, partindo de princípios que norteiam também a redução de resíduos, o que impactaria positivamente no cenário global ambiental, o qual projeta até 2030 mais de 3 bilhões de novos consumidores, corroborando a ilustração 45 a seguir:

Figura 45 - Panorama 3 bilhões de novos consumidores em 2030



Fonte: Weetman (2019, p. 33).

Sobre o crescimento exponencial de nanoproductos e consumidores, cumpre referir que a OECD apresentou esse novo cenário mundial. Segundo a organização, no século XX a população quaduplicou e o produto interno bruto per capita decuplicou. A “classe consumidora” começou a expandir rapidamente, e em 2030 se projetam quase 5 bilhões de novos consumidores. (McKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2011). Quanto maior o número de consumidores, maior a circulação de nanoproductos, o que conseqüentemente gerará um número mais elevado ainda de resíduos. Portanto, urge adoção de uma postura mais sustentável, do berço ao berço (*Cradle to cradle*), e essa inovação é desenvolvida na economia circular. (WEETMAN, 2019). Assim apresentar-se a uma fundamentação básica sobre a economia circular, que poderia levar à sustentabilidade empresarial na indústria nano.

Inclusive existe um novo movimento relacionando nano e sustentabilidade. Observa-se 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 (WEETMAN, 2019). 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 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 co-avaliamos 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. (CENTER FOR SUSTAINABLE NANOTECHNOLOGY (CSN), 2015).

Conforme defende Schwab (2018), 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). 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.

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 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 a presente e futuras gerações, calcadas na sustentabilidade.

Tal movimento vai ao encontro das ideias de Beck (2018), que em sua última obra, *A metamorfose do Mundo*, 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” (BECK, 2018, p. 11-12). “[...] a metamorfose implica uma transformação muito mais radical, em que as velhas certezas da sociedade moderna estão desaparecendo e algo inteiramente novo emerge” (BECK, 2018, p. 15).

Ademais, quando se fala sobre desenvolvimento nanotecnológico, tem-se um estado de desconhecimento reflexivo 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 (BECK, 2018).

Desta maneira, como são riscos jamais enfrentados, 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. Poderia ser mais eficiente e sustentável, entretanto, dados os riscos, é necessária uma compreensão mais sistemática dos mecanismos

envolvidos para provar o potencial de agroquímicos nano-habilitados (WHITE; GARDEA-TORRESDEY, 2018).

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 ODS 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 (SCHOMBERG, 2013).

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* (atores) 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 atores da sociedade tornam-se corresponsáveis pelo processo de inovação por meio de um aporte construtivo para definir produtos desejáveis da sociedade (SCHOMBERG, 2013). Tal aspecto deve ser ressaltado no que tange aos resíduos.

Portanto, consoante ilustração da Figura 46, a sustentabilidade apresenta-se como base para o desenvolvimento empresarial, e a partir dele se baseiam a proteção ambiental e a saúde e segurança:

Figura 46 - Sustentabilidade, proteção ambiental, saúde e segurança



Fonte: Coles *et al.* (2014, p. 4).

Segundo Freitas (2012, p. 52), 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.

Este tema essencial é há muito tempo presente nas Nações Unidas. Está disposta nos 17 ODS da ONU, onde o 12.º objetivo versa especificamente sobre o consumo e produções responsáveis (NAÇÕES UNIDAS, 2020a). 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 ODS 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 metas estimularão a ação para os próximos 15 anos em áreas de importância crucial para a humanidade e para o planeta (NAÇÕES UNIDAS, 2020b).

Importante a complementação com lições de Freitas (2012, p. 16), que ensina:

[...] a sustentabilidade é um compromisso intergeracional: (a) com a equidade; (b) com a precificação da inoperância, que tem permitido a externalização indébita dos custos ambientais; (c) com o foco nas energias renováveis e na economia de baixo carbono; (d) com a 'modernidade ambiental', sem prejuízo das soluções de longo prazo; (e) com a adoção de indicadores habilitados a aferir a qualidade das políticas públicas e privadas; (f) com o pensamento prospectivo de prevenção e precaução, que amplia sensivelmente o controle de constitucionalidade; e amplia sensivelmente o controle de constitucionalidade; e (g) com a lógica sistemática retemperada, que não contempla, em separado ou de modo fragmentário, o ambiental, o econômico, o ético, o jurídico-político e o social.

Na mesma discussão, a OECD traz diversas proposições e políticas que implementem a Economia circular para sustentabilidade global. Foram apresentados durante o Fórum Mundial de Economia Circular a decorrer no Japão, dois importantes relatórios ligados ao tema da economia circular. O primeiro, da OCDE, o *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences* (OECD, 2019), um relatório que apresenta projeções globais do uso de materiais e das suas consequências ambientais, fornecendo uma perspectiva quantitativa para 2060 do consumo a nível global, setorial e regional para 61 materiais diferentes. E reforçam a transição para economia circular como concretização das ODS's da ONU:

Muitos países da OECD e de economias emergentes estão implementando políticas para estimular a transição para economia circular. Eficiência de recurso é também central para esforços para implementar o Acordo de Paris e para atingir os Objetivos de desenvolvimento Sustentáveis, especialmente aqueles relacionados com as mudanças climáticas, biodiversidade, água, energia e consumo e produção responsáveis. Essa perspectiva pode ajudar os tomadores de decisões a entenderem a direção na qual estamos encabeçando e a avaliar quais políticas podem apoiar uma economia circular (OECD, 2019, p. 5-6).

Já no caso da United Nations Environment Programme (UNEP) e International Resource Panel (IRP) (2018), o relatório apresentado denomina-se *Re-defining Value – The Manufacturing Revolution: Remanufacturing, Refurbishment, Repair and*

Direct Reuse in the Circular Economy – Factsheet Industry, que explora um dos aspectos chave na economia circular: a retenção de valor dentro dos sistemas de produção-consumo econômico. Os processos de retenção de valor, como a remanufatura, a reforma, a reparação e a reutilização direta, permitem, em graus variados, a retenção de valor e, em alguns casos, a criação de novo valor, tanto para o produtor quanto para o cliente, com reduzido impacto ambiental.

O relatório da UNEP faz a ligação entre o potencial de eficiência de recursos, por meio da economia circular e dos processos que retêm o valor do produto dentro dos sistemas, com um foco particular nas medidas de política necessárias. O relatório é um dos primeiros a quantificar o estado atual e os possíveis impactos associados à inclusão de processos de retenção de valor nos sistemas econômicos industriais. A avaliação feita aplica os diferentes processos de retenção de valor a uma série de produtos dentro de três setores industriais e quantifica os benefícios em relação ao produto original, tais como a necessidade de material, a energia utilizada, os resíduos gerados e a geração de emprego (UNEP; IRP, 2018, p. 8).

No início deste ano, em março de 2020, a União Europeia fez uma comunicação da comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comitê Econômico e social europeu e ao comitê das regiões, de um novo plano de ação para a economia circular, para uma Europa mais limpa e competitiva. Nesse estudo demonstram a necessidade da implementação da economia circular com maior eficiência a fim de traçar um quadro mais estratégico de sustentabilidade ambiental. E alertam:

Existe apenas um planeta Terra mas, em 2050, o mundo consumirá como se existissem três. O consumo mundial de matérias-primas, como a biomassa, os combustíveis fósseis, os metais e os minerais, deverá duplicar nos próximos quarenta anos, prevendo-se que a produção anual de resíduos aumente 70 % até 2050. Dado que metade das emissões de gases com efeito de estufa e mais de 90 % da perda de biodiversidade e da pressão sobre os recursos hídricos advêm da extração e da transformação de recursos, o Pacto Ecológico Europeu lançou uma estratégia concertada para uma economia com impacto neutro no clima, eficiente em termos de recursos e competitiva. O alargamento da economia circular aos agentes econômicos em geral contribuirá de forma decisiva para que se alcance a neutralidade climática até 2050 e para dissociar o crescimento económico da utilização dos recursos, garantindo igualmente a competitividade da UE a longo prazo sem deixar ninguém para trás. Para concretizar esta ambição, a UE tem de acelerar a transição para um modelo de crescimento regenerativo que restitua ao planeta mais do que lhe retira, progredir no sentido de o consumo de recursos não ultrapassar os limites do planeta e, nesse intuito, envidar esforços para reduzir o impacto ecológico do consumo e duplicar a taxa de utilização de materiais circulares na próxima década (COMISSÃO EUROPEIA, 2020a).

Concentram a avaliação da transição para economia circular face os resíduos, citando inclusive os plásticos, e reforçando o compartilhamento de responsabilidades:

4. MENOS RESÍDUOS, MAIS VALOR

4.1 Reforçar a política de resíduos para incentivar a prevenção e a circularidade dos resíduos

Apesar dos esforços envidados a nível da UE e a nível nacional, a quantidade de resíduos produzidos não está a diminuir. A produção anual de resíduos provenientes de todas as atividades económicas na UE ascende a 2,5 mil milhões de toneladas, ou seja, 5 toneladas per capita por ano, produzindo cada cidadão, em média, quase meia tonelada de resíduos urbanos. Será necessário envidar esforços significativos em toda a cadeia de valor e em cada domicílio para dissociar a produção de resíduos do crescimento económico. O lançamento da política para a sustentabilidade dos produtos e a sua concretização em legislação específica (consultar as secções 2 e 3) constituirão passos fundamentais para a realização de progressos em matéria de prevenção de resíduos. [...]. Desde a década de setenta, a legislação da UE em matéria de resíduos, apoiada por fundos da UE, traduziu-se em grandes melhorias na gestão dos resíduos. No entanto, esta legislação precisa de ser atualizada de forma permanente para se adequar à economia circular e à era digital. Como já explicitado na secção 3, será proposta a revisão da legislação da UE relativa a baterias, embalagens, veículos em fim de vida e substâncias perigosas em equipamentos eletrónicos, com vista a prevenir os resíduos, aumentar o teor reciclado, promover fluxos de resíduos mais seguros e limpos e assegurar uma reciclagem de alta qualidade. Além disso, a Comissão estabelecerá metas para a redução de resíduos de fluxos específicos no âmbito de um conjunto de medidas de prevenção de resíduos mais vasto a definir no contexto da revisão da Diretiva 2008/98/CE. A Comissão reforçará igualmente a aplicação dos requisitos adotados recentemente em matéria de regimes de responsabilidade alargada dos produtores, fornecerá incentivos e incentivará a partilha de informações e boas práticas de reciclagem de resíduos. Todas estas ações contribuem para o objetivo de reduzir significativamente a produção de resíduos e reduzir para metade a quantidade de resíduos urbanos (não reciclados) finais até 2030 (COMISSÃO EUROPEIA, 2020a, grifo do autor).

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 (SARLET; FENSTERSEIFER, 2018).

Se, por um lado, ainda não se conhecem os desdobramentos das transformações geradas por essas revoluções, como são as da era nanotecnológica,

por outro, a complexidade e a interconexão entre os setores implicam que todos os atores da sociedade global – governos, organizações, universidade e sociedade civil – necessitam trabalhar em conjunto para melhor enfrentamento da realidade, e, assim, o conhecimento compartilhado passa a ser condição *sine qua non* para que se possa enfrentar este novo futuro (SCHWAB, 2016).

A partir de leitura incipiente de Castells, o autor justifica a necessidade de repensar até mesmo o significado de práticas econômicas, pois ante o fluxo incontrolável destas práticas ocorrem danos humanos irreparáveis. Na Europa e EUA ocorre adoção de novos valores alternativos, *o valor da vida acima do valor do “[...] dinheiro; a efetividade da cooperação acima da competição implacável; a responsabilidade social das empresas e regulação responsável por parte dos governos acima de estratégias financeiras de curto prazo [...]*” (CASTELLS, 2019, p. 9, grifo nosso).

A proposta da tese coaduna-se com o posicionamento de Castells, eis que o doutrinador assevera que a economia não apenas se relaciona com a cultura, mas sim ela é cultura. Examinando toda gama de práticas econômicas, algumas observadas diretamente, outras estudadas a partir da perspectiva cultural (como a ecológica), é possível compreender a lógica de mudança social. Neste sentido, as empresas nanotecnológicas ao adotar medidas sustentáveis, se adequariam a essa nova postura ética-cidadã.

Outra observação importante que dialoga com as lições de Teubner (que é apresentado no capítulo 4 da tese), é quando Banet-Weiser e Castells (2019, p. 15) dizem que

[...] vivemos em uma sociedade global em torno de redes que seguem lógicas diferentes. Cada rede global/local tem seu próprio princípio de valoração. [...]. Se dissermos que, em última análise, o poder reside na mente humana, na medida em que os seres humanos são capazes de reverter a lógica das instituições através de suas ações conscientes [...].

Ou seja, a sociedade global é influenciada por valores e lógicas próprias, em que a escolha do ser humano reflete na lógica das instituições. Construindo uma ligação com o presente projeto, viável afirmar que escolhas conscientes dos consumidores trazem reflexos nas empresas, de modo que se comunicam valores sustentáveis mais condizentes com a realidade nanocientífica.

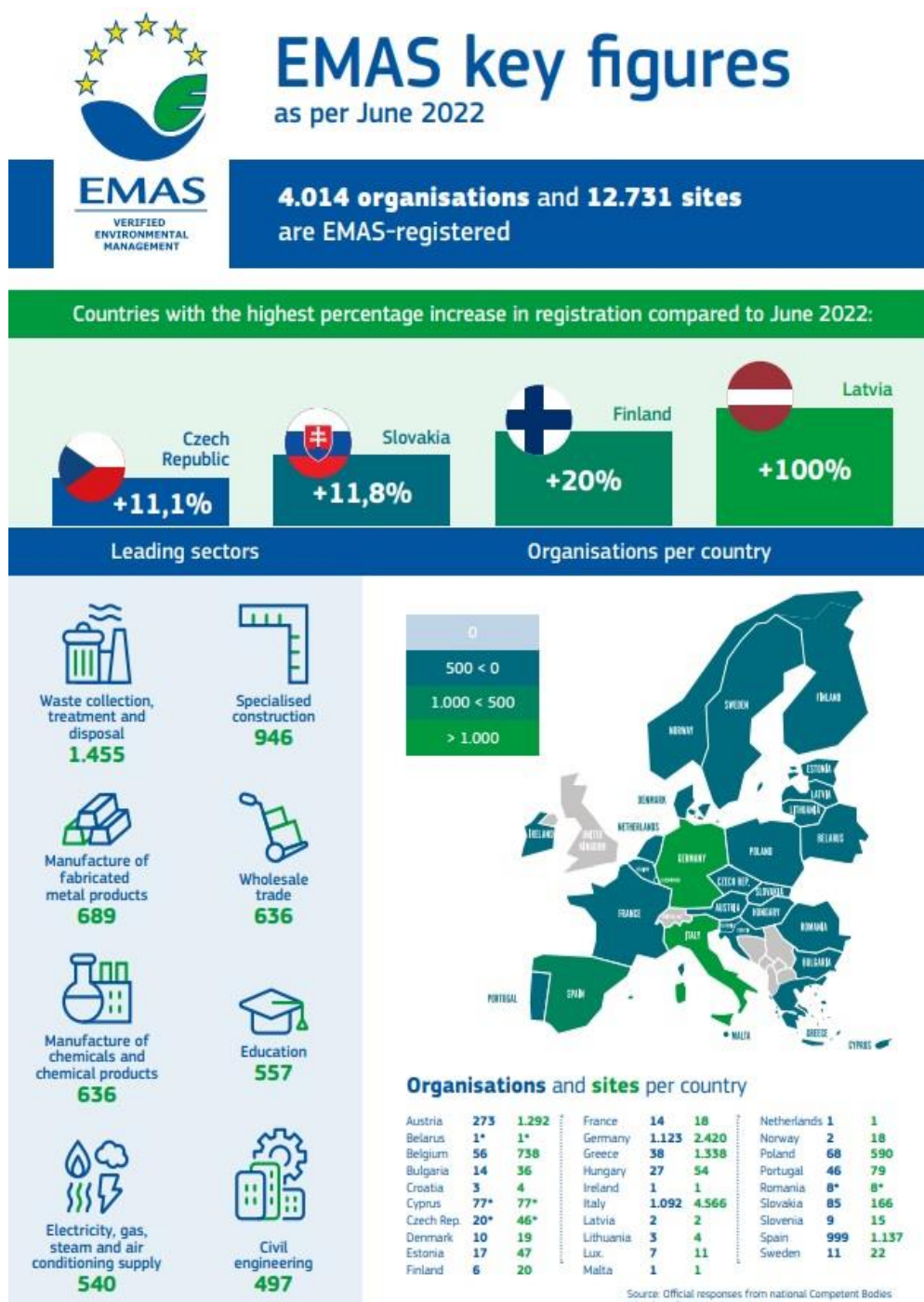
Quando se reflete acerca de um desenvolvimento mais sustentável das nanotecnologias, com a construção de proposta para implementação da economia circular e rastreabilidade dos nanoproductos, possível perguntar: além da consciência ambiental, por qual outra razão prática as empresas adotariam novas práticas sustentáveis, pela autorregulação? Diante desse questionamento, apresenta-se uma nova postura sustentável, ética e mais cidadã pelas empresas que desenvolvem nanoproductos.

Observando o contexto de autorregulação, com uma atitude sustentável e responsável perante a geração atual e futura, cumpre referir o movimento europeu de empresas que estão seguindo o *EMAS – Union European Eco-Management and Audit Scheme* – traduzido ao português, *Esquema de Ecogestão e Auditoria da União Europeia* (EUROPEAN COMMISSION, 2017a). O Esquema de Ecogestão e Auditoria da União Europeia (EMAS) é um instrumento de gestão premium desenvolvido pela Comissão Europeia para empresas e outras organizações avaliarem, de maneira espontânea e fundamentado na autorregulação, reportarem e melhorarem o seu desempenho ambiental.

Em novembro de 2022, um total de 4.014 organizações e 12.731 sites estão registrados no esquema EMAS. De acordo com o registo EMAS, no segundo semestre de 2022, aderiram ao EMAS mais 15 organizações e mais 434 sites, representando um crescimento de 0,37% para organizações e 3,53% para sites (EUROPEAN COMMISSION, 2022).

Para ilustrar, colaciona-se a Figura 47:

Figura 47 - Dados atuais estatísticos sobre os países registrados no EMAS e áreas atuação



Fonte: EMAS (EUROPEAN COMMISSION, 2022).

A partir dessa estatística, possível concluir que dentro os principais setores que estão registrados no EMAS, de forma espontânea, se encontra o setor de majeno de resíduos, como tratamento de lixo, disposição e coleta. Tal dado vai ao encontro da ideia principal da tese, que é justamente a autorregulação no setor de

resíduos nanotecnológicos, a qual seria melhor monitorado a partir da rastreabilidade (aspecto a ser abordado no capítulo 4). Tal postura sustentável, além de respeitar aos Objetivos de Sustentabilidade do Milênio da ONU, alcançaria a minimização do risco nanotecnológico, através, ainda, da autorregulação.

Igualmente no cenário europeu, que se destaca nos movimentos sustentáveis, pode ser elencado outra ação que demonstraria essa mudança de postura das empresas, como a adoção de selos de sustentabilidade. O desenvolvimento (nano)sustentável pode agregar mais confiabilidade nas indústrias, de modo que a certificação ou “selo verde sustentável” 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 (nano)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 económicas sustentáveis, que criará uma terminologia comum que os investidores poderão utilizar onde quer que se encontrem, sempre que investirem em projetos e atividades económicas 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 determinante para que a UE alcance a neutralidade climática até 2050 (COMISSÃO EUROPEIA, 2020b).

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 (um dos focos deste projeto):

BRUXELAS – O Parlamento Europeu aprovou nesta quinta (18) novas regras para determinar se uma atividade econômica é ambientalmente sustentável. O ‘selo verde’ 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 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 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 (PINTO, 2020, grifo nosso).

Segundo o comissário europeu responsável pelo sistema financeiro, Valdis Dombrovskis, o regulamento aprovado hoje é o primeiro sistema de classificação de atividades econômicas ambientalmente sustentáveis no mundo e deve dar impulso a investimentos verdes. A ex-ministra do Meio Ambiente considera que a União Europeia foi ousada e deve, no médio prazo, influenciar outros países e blocos econômicos com os quais tem parceria comercial ou de investimentos. O detalhamento dos critérios para obter o "selo verde" será feito por até 57 especialistas do setor público e privado, incluindo representantes da sociedade civil, universidades, institutos de pesquisa e associações empresariais. Farão parte também a Agência Europeia do Ambiente (AEA) e o Banco Europeu de Investimento (BEI) (PINTO, 2020).

Criou-se pela União Europeia uma Plataforma para o Financiamento Sustentável, que dará um "selo verde sustentável", identificável mundialmente. Esta plataforma terá um órgão consultivo composto por peritos que representem tanto o setor público como o setor privado. Como acima mencionado sobre a estrutura do comitê, a plataforma será composta por um grupo equilibrado de partes interessadas, incluindo peritos nomeados a título pessoal com experiência e conhecimentos comprovados nos domínios pertinentes, peritos que representem um interesse comum partilhado pelas partes interessadas, organizações que representem as partes interessadas relevantes do setor privado, organizações que representem a sociedade civil e organizações que representem o meio acadêmico e os institutos de investigação. Os outros sete membros serão diretamente nomeados pela DG FISMA e representarão entidades públicas, como a AEA e o BEI:

A presente adoção do Regulamento Taxonomia constitui um marco na nossa agenda ecológica. Cria o primeiro sistema mundial de classificação

das atividades económicas sustentáveis do ponto de vista ambiental, o que constituirá um estímulo significativo em prol dos investimentos sustentáveis. Estabelece também oficialmente a Plataforma para o Financiamento Sustentável, que desempenhará um papel crucial no desenvolvimento da taxonomia da UE e da nossa estratégia de financiamento sustentável ao longo dos próximos anos (COMISSÃO EUROPEIA, 2020b).

Contudo, no contexto europeu os “selos verdes” já possuem força há muitos anos, intitulando-os de “ECOLABEL”, datando de mais de 20 anos, com atualização em 2009. O *Ecolabel*, o selo para produtos e serviços sustentáveis na União Europeia, e são discutidos seu processo de obtenção, suas vantagens, seus custos, os fatores que explicam sua criação e sua legitimidade:

Foi escolhido o selo europeu Ecolabel por fazer parte do método europeu de Eco-rotulagem que cobre bens de consumo diário e serviços (exceto comidas, bebidas e medicamentos). Tal sistema de rotulagem foi estabelecido por meio do Regulamento (CEE) nº 880/92 do Conselho das Comunidades Europeias em 23 de março de 1992 com os objetivos de:

- promover a concepção, produção, comercialização e utilização de produtos com um impacto ambiental reduzido durante o seu ciclo de vida completo;
- informar melhor os consumidores sobre o impacto dos produtos no ambiente, sem contudo comprometer a segurança do produto ou dos trabalhadores nem afetar significativamente as qualidades que tornam o produto apto para utilização.

Do ponto de vista da atribuição do selo, podem ser rotulados todos os produtos que estejam de acordo com os objetivos do Regulamento (CEE) nº 880/92 e em conformidade com as exigências comunitárias em matéria de saúde, de segurança e de meio ambiente. [...]. Considerando que o Ecolabel já estava em uso há quase 20 anos, em novembro de 2009 foi realizada uma atualização do Regulamento (CEE) nº 880/92 por meio do Regulamento (CE) nº 66/2010 de forma a corrigir suas deficiências e ampliar o alcance do referido standard (CREDIDIO, 2014).

Inclusive, um dos alertas e características do selo é apresentar abordagem sustentável condizente com a avaliação do ciclo de vida (EUROPEAN COMMISSION, [2022?]).

São objetivos do Ecolabel servir de instrumento para a implementação da política comunitária sobre consumo e produção sustentáveis, estimular alto desempenho ambiental por meio do uso de produtos com rótulo ecológico da União Europeia e respeitar os critérios técnico-científicos baseados no melhor desempenho ambiental obtido pelos produtos no mercado comunitário. [...]. O Ecolabel apresenta critérios de atribuição progressivamente atualizados (mais restritivos) para garantir a consideração do desenvolvimento tecnológico mais recente, os quais são facilmente compreensíveis para orientar o consumidor na escolha de consumo ambientalmente sustentável e estão relacionados aos impactos ambientais mais significativos dos produtos durante todo seu ciclo de vida. Os critérios do Ecolabel apresentam uma abordagem from cradle to grave bastante condizente com a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) dos produtos que permite detectar impactos desde a extração de matérias-primas (qualificação e seleção de fornecedores), passando pelos processos (impactos do fabricante),

pela distribuição (incluindo a embalagem) e por uso e descarte do produto (CREDIDIO, 2014).

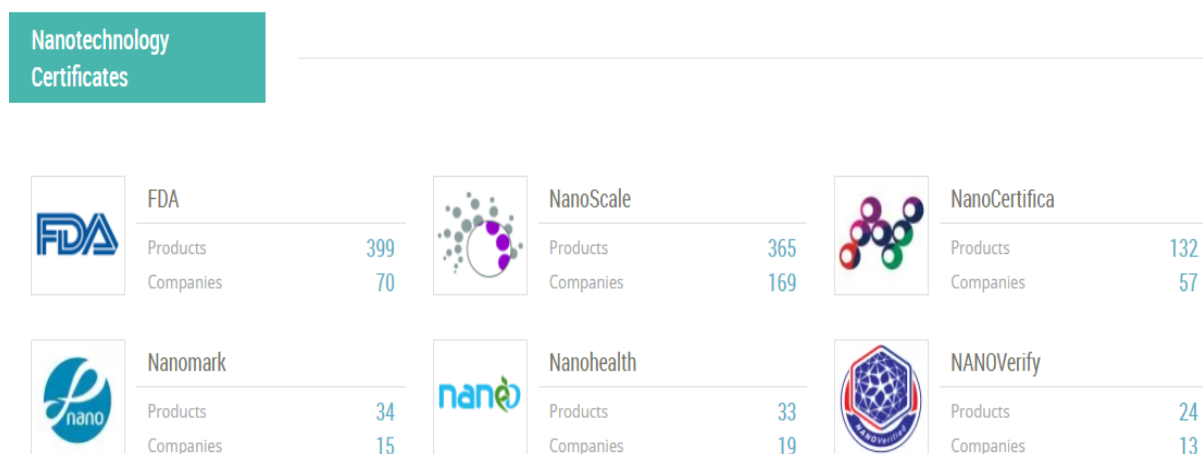
Como mencionado acima, o selo apresenta vantagens tanto ao consumidor quanto à cadeia industrial:

Para o consumidor: disponibilidade de produto com menor impacto ambiental em relação a outros presentes no mercado e que foi submetido a severos testes para assegurar qualidade e desempenho ambiental, disponibilidade de informações transparentes e seguras que são verificadas por organismo independente e garantia de que produto não tem componentes danosos à saúde.

Para o produtor: permite a atribuição de um selo que vale em todos os países europeus, aumenta a visibilidade do produto no mercado europeu, dá acesso aos mercados verdes e permite acesso à publicidade adicional positiva por meio dos sites dedicados à promoção do Ecolabel e das campanhas de divulgação do selo (CREDIDIO, 2014, grifo do autor).

Observa-se que na indústria nanotecnológica já existem certificados próprios de desenvolvimento, de acordo com Figura 48, mas que não atestam sustentabilidade, como os extraídos da plataforma NPD:

Figura 48 - Certificação nano Plataforma NPD



Fonte: NPD (2020c).

No Brasil, o incentivo ao comportamento sustentável empresarial é fomentado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), a qual vêm implementando em sua política a Economia circular (como apresentado no tópico anterior). Deste modo, existem selos verdes ou eco-selos que diversas organizações brasileiras fornecem, como é o caso do sistema S, o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE). Explica a instituição que as certificações de sustentabilidade, “selos verdes” ou “eco-selos” foram criados para auxiliar o consumidor na decisão de

compra, já que indicam que a empresa possui preocupações sustentáveis. As principais categorias que definem a sustentabilidade de uma empresa, produto ou marca são: eficiência energética, gestão da água, alimentos orgânicos, veganos, manejo florestal, gestão de resíduos, biodiversidade, turismo e setor têxtil (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE SANTA CATARINA (SEBRAE/SC), 2016).

Reforçando os pontos estratégicos para adoção, apresenta a Figura 49:

Figura 49 - Vantagens dos ecoselos



Fonte: SEBRAE/SC (2016, p. 1).

Explica que existem mais de 30 certificações sustentáveis no Brasil, ou certificações verdes, sendo os principais: Procel Edifica, Liderança em Energia e Design Ambiental (LEED), Carbon Trust Standard, BREEAM, Forest Stewardship Council (FSC), ISO, OHSAS 18001, Rainforest Alliance Certified, Ecocert, Instituto Biodinâmico (IBD), Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, Centro de Experimentação e Segurança Viária (CESVI) (SEBRAE/SC, 2016).

Portanto, percebe-se um cenário que traz a necessidade de reformulação de estratégias para que sejam compatíveis com a evolução nanotecnológica, mas que

primordialmente respeitem os limites do meio ambiente e saúde humana. Dito isso, ações sustentáveis das mais diversas estão sendo implementadas em nível global e nacional, conforme apresentado anteriormente.

Não basta que sejam elaboradas apenas campanhas informativas a sociedade. O Estado, por meio de políticas públicas, bem como a Ciência do Direito, ao deixar de regular o cenário atual da era nano, escapando o controle mínimo sobre a gestão do risco tecnológico abre portas para que outras ciências tomem a frente da regulamentação, como está ocorrendo. Por conta desse movimento, percebe-se empresas ao redor do mundo autorregulando os setores em respeito a sustentabilidade. Fator esse que vem impulsionando a transição de economias para o modelo circular.

O conceito de “economia circular” oferece precisamente esta nova oportunidade, de transição à ações sustentáveis, por meio de estratégias como a recirculação uma maior parcela de materiais, reduzindo o desperdício na produção, produtos e estruturas mais leves, prolongando a vida útil dos produtos e implantando novos modelos de negócios baseado no compartilhamento de carros, edifícios e muito mais (SITRA, 2018).

Uma economia mais circular é indispensável para atender necessidades materiais globais sem exceder a disponibilidade dos recursos atualmente existentes, recordando que a população mundial está em débito com Terra desde 29 de julho de 2019, o “Dia da sobrecarga da Terra”, isso significa, que a contar deste momento, o mundo começou a consumir mais recursos naturais do que o planeta é capaz de fornecer, ou seja, a natureza não consegue se regenerar. E esse déficit pode trazer consequências desastrosas (FÓRUM SUSTENTABILIDADE, 2019). Afirma-se ainda com base em projeções moderadas das Nações Unidas que, para ocorrer o aumento da população e do consumo, em 2030 precisaríamos da capacidade de duas Terras para acompanhar nosso nível de demanda por recursos naturais.

Deste modo torna-se essencial a transição para a economia circular, principalmente no que tange às nanotecnologias, em virtude do risco que oferece à humanidade, o qual precisa ser minimizado a partir da adoção de condutas sustentáveis para o seu desenvolvimento.

3 A NECESSÁRIA TRANSIÇÃO SUSTENTÁVEL DO DESENVOLVIMENTO DAS NANOTECNOLOGIAS E REFLEXOS POSITIVOS NA MITIGAÇÃO DO NANOWASTE: MIGRANDO PARA ECONOMIA CIRCULAR A FIM DE CONCRETIZAR OS OBJETIVOS DE SUSTENTABILIDADE DO MILÊNIO

Percebe-se que a era nano de fato trouxe uma série de novas preocupações, em especial com seus resíduos e os nanoplásticos, conforme apresentado no capítulo anterior. O importante é alcançar uma alternativa que minimize esse risco em potencial, protegendo a atual geração, mas especialmente as futuras. Caso as pesquisas difundidas pela comunidade científica, algumas delas apresentados anteriormente, se confirmem, os danos poderão ser incalculáveis.

Com as mudanças de paradigma temporal e das relações entre produção e consumo, somam-se outras possibilidades de danos e de impactos nunca enfrentados, ainda desconhecidas para o futuro. Tais novidades são produzidas em um contexto comumente denominado de inovação, em que se caracteriza por uma constante evolução tecnológica, buscando atender a novas demandas e necessidades do homem. Entretanto, tais inovações, como as que se desenvolvem na escala nanométrica dão margem a novos limites e projetam possíveis consequências futuras ainda imprecisas (BERWIG; ENGELMANN; WEYERMULLER, 2019).

Este seria o problema a enfrentar: diante da lacuna regulatória, quais medidas auxiliariam na gestão dos riscos nanotecnológicos, em especial *nanowaste* e nanoplásticos? Certamente a adoção de posturas sustentáveis favoreceriam um ambiente mais seguro, bem como respeitariam os fundamentos dos Objetivos de Sustentabilidade do Milênio da ONU. A transição para a economia circular torna-se essencial neste enfrentamento, inclusive favoreceria também a um controle ainda maior dos resíduos, na implementação da rastreabilidade, que adiante será apresentada.

Este capítulo discorrerá sobre a mudança de paradigma na evolução nanotecnológica, na busca pela implementação da economia circular. Trará os aspectos conceituais deste modelo, bem como explicará os movimentos e debates internacionais e nacionais que versam o tema. Por fim, far-se-á uma abordagem na fundamentação dos Objetivos de sustentabilidade do Milênio da ONU como base para essa transição sustentável.

Assim mostra-se indispensável que o desenvolvimento das nanotecnologias tome um rumo mais seguro e confiável do ponto de vista científico, sendo que uma mudança sustentável dar-se-ia através da implementação da economia circular, a qual possibilitaria a mitigação do *nanowaste*, bem como em paralelo respeitaria os Objetivos de Sustentabilidade da ONU.

3.1 A necessária mudança de paradigma no desenvolvimento das nanotecnologias: da análise conceitual da economia linear ao desvelamento da economia circular para gestão do risco dos resíduos nanotecnológicos com reflexos positivos na redução do *nanowaste*

Na era nanotecnológica verifica-se um duplo alerta: tanto da nanosegurança por conta dos riscos, bem como sobre a escassez de recursos naturais. Uma mudança de postura é necessária, de modo que buscar mecanismos na economia circular parece ser acertiva caso observados seus fundamentos, como maior circularidade e aproveitamento de produtos pela sociedade, o qual proporcionaria a evolução das nanotecnologias mais sustentável. Portanto, urge que se entenda sobre os modelos tradicionais de economia, como o atual, linear, para posteriormente abordar o da economia circular, buscando, desta forma, a real alteração de paradigma que operacionalizará a gestão do risco, tendo maior impacto principalmente nos nanoresíduos.

A percepção de que as atividades humanas causaram degradação, destruição de habitats e alterações de ecossistemas que pôr em perigo o bem-estar humano, levou à busca de estratégias, como a economia circular. O entendimento comum de uma cadeia de suprimentos de produtos em a economia é linear, segundo Foster (2020). Uma cadeia de suprimentos linear processa recursos naturais em produtos que apoiam o bem-estar humano. Os consumidores usam esses produtos e, posteriormente, descartam-os como resíduos. O modelo de uma cadeia de suprimentos circular contrasta com um modelo de economia linear. Existem muitas definições de economia circular em uso com diferentes fundamentos teóricos (FOSTER, 2020).

A sociedade e as empresas estão cada vez mais conscientes que os recursos necessários para os produtos não são infinitos. Há uma pressão crescente sobre a disponibilidade de recursos devido a uma variedade de fatores, incluindo o aumento

esperado no consumo global de bens estimulado por uma crescente classe média mundial. Infelizmente, a economia atual práticas que seguem uma abordagem de “pegar-fazer-descartar” – o que chamamos de “economia linear” – não se concentrando em preservar o valor dos recursos e utilizá-los de forma mais eficaz para aliviar essa pressão. Como resultado, há uma variedade de riscos que surgem da adesão a uma mentalidade de economia. Esses riscos decorrem da escassez de recursos futuros e impactos associados sobre os preços, a oferta contínua e dinâmica de mercado se continuarmos a seguir uma abordagem de negócios como de costume (RAMKUMAR *et al.*, 2018).

Neste sentido, aponta Stahel (2019, p. 7),

A economia atual depende em grande parte dos negócios práticas que derivam da Revolução Industrial. Desde aquele período, o desenvolvimento econômico seguiu-se a suposição de que haverá uma constante, oferta economicamente viável de recursos naturais. Este resultou em uma abordagem econômica linear baseada em extração de recursos, produção de bens e serviços e descarte de resíduos após o fim do uso da mentalidade ‘leve, fazer, desperdiçar’.

Já a economia circular sempre teve como objetivo otimizar o uso de objetos, não sua produção; preservar o valor de uso dos estoques de objetos, componentes e moléculas em seus níveis mais altos de utilidade e valor; e administrar de forma lucrativa essas ações em competição com outras opções econômicas. Ciclos naturais, por contraste, não têm propósito ou objetivo, nem restrições monetárias ou culturais.

A partir dessa percepção mais sustentável, Foster (2020) apresenta sua definição de economia circular, a qual destaca menor impacto ao meio ambiente, minimização de resíduos (aspecto este defendido nesta tese por conta dos nanoplásticos) e utilização de materiais renováveis:

A Economia Circular é um processo de produção e consumo que exigir o mínimo de extração geral de recursos naturais e impacto ambiental, estendendo o uso de materiais e reduzindo o consumo e desperdício de materiais e energia. A vida útil de materiais é estendida por meio da transformação em novos produtos, design para longevidade, minimização de resíduos e recuperação/reutilização, e redefinindo o consumo para incluir compartilhamento e prestação de serviços de propriedade individual. A CE enfatiza o uso de materiais renováveis, não tóxicos e biodegradáveis com o menor ciclo de vida possível impactos. Como conceito de sustentabilidade, uma EC deve estar inserida em uma estrutura que promove o bem-estar humano para todos no âmbito biofísico limites do planeta Terra (FOSTER, 2020, p. 2).

Levando-se em consideração tais fundamentos, percebe-se que acoplá-la ao desenvolvimento nanotecnológico favorecerá essa mudança de paradigma, com a minimização do *nanowaste* e do nanoplástico (grandes preocupações da ciência e recorte desta tese), impulsionando também a extensão do uso dos nanoproductos, o que ao fim geraria algum controle dentro da cadeia produtiva, possibilitando ainda a rastreabilidade.

O desenvolvimento histórico da economia circular como um processo cumulativo ao longo do tempo, explicado na Figura 50 abaixo apresentada por Stahel (2019). Hoje, várias formas de circularidade, sociedade circular e a economia circular existem em paralelo, entrelaçadas e em competição com a economia industrial linear (STAHHEL, 2019):

Figura 50 - Evolução da economia circular

	<i>CIRCULARITY</i>	<i>CIRCULAR SOCIETY</i>	<i>INDIVIDUAL CIRCULAR SOCIETY</i>	<i>CIRCULAR INDUSTRIAL ECONOMY (CIE)</i>
TIMELINE				
STARTED BY	FOREVER	MANKIND	INDUSTRIAL MAN	INDUSTRIAL FIRMS
DRIVERS	NATURE	BELIEFS, CULTURE, TRADITION (AMISH)	NECESSITY, GOOD HUSBANDRY	MAINTAINING VALUES, EFFICIENCY IN USE
ACTORS		GROUPS	INDIVIDUALS	FLEET MANAGERS
EXAMPLES	WATER CYCLE, CARBON CYCLE	SHARED USE, COMMONS, TRADITIONAL DRESS, PUBLIC LIBRARIES,	SENSE OF CARING, REUSE OF GARMENTS, COLLECTORS' ITEMS, MAINTENANCE	SERVICE-LIFE EXTENSION, REMANUFACTURING OF GOODS & COMPONENTS, RECOVERING MOLECULES
VALUES	IMMATERIAL	NON-MONETARY	PERSONAL	MONETARY
IN CONTROL	NATURE	OWNER-USERS	OWNER-USERS	OWNER-MANAGERS
CIRCULAR ACTIVITIES	FORESTRY, AGRICULTURE	SHARING SCHEMES	DO-IT-YOURSELF, REPAIR CRAFTSMEN	RENTAL SCHEMES, LEASING, EU RAIL POOL
RANGE	GLOBAL	LOCAL	LOCAL	OBJECTS REGIONAL, MOLECULES GLOBAL

Fonte: Stahel (2019, p. 19).

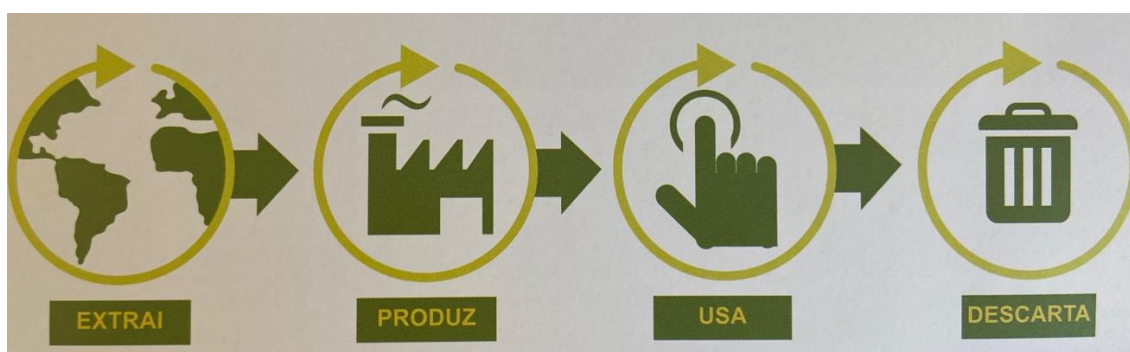
Antes de entender-se a fundo a economia circular urge que se perceba as diferenças inerentes ao processo mais utilizado desde o início da Revolução Industrial, que é o modelo de economia linear.

No modelo linear, as indústrias deixam de ser responsáveis pelos produtos, uma vez que saem da fábrica e vão às mãos do consumidor. O valor é dado pelo fluxo de mercadorias. O aumento impensado desse fluxo gera custo crescente com materiais, energia, água e solo, bem como problemas com suprimento que causam riscos socioeconômicos aos negócios. Esse modelo também não oferece nenhum

incentivo para que os produtores desenhem produtos que poluam menos ou cujos descartes sejam mais fáceis de gerir (RAMKUMAR *et al.*, 2018).

A obra *Design e Economia Circular* do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) (2020) apresenta os fundamentos da linearidade e suas particularidades, desde a extração, após a produção, e na sequência o uso e posterior descarte final, conforme Figura 51.

Figura 51 - Modelo linear SENAI



Fonte: SENAI (2020, p. 13).

Conecta-se com a ideia de desperdício de valor e matéria prima após o uso, de maneira que a otimização do produto não é levada em consideração, desconsiderando todo processo inicial de produção, que consequentemente degrada mais o meio ambiente pela exploração ainda maior de recursos, retratadas na Figura 52.

Figura 52 - Cadeia de valores da economia linear



Fonte: SENAI (2020, p. 17).

Atentas as grandes empresas e nações vêm percebendo que a gestão do risco é uma parte essencial do processo de investimento para os financiadores, e um fator chave para sua estabilidade e crescimento a longo prazo. No entanto, as empresas que continuam operar em uma economia linear de abordagem “tomar-fazer-descartar” e as instituições financeiras que investem em esses negócios estão expostas a uma variedade de riscos que são em sua maioria negligenciados e estão ausentes em riscos tradicionais abordagens de avaliação (RAMKUMAR *et al.*, 2018). Por conta da reflexão tanto da sustentabilidade ambiental quanto da estabilidade dos negócios, as quais são enfrentadas também pelas desenvolvedoras de nanoproductos, impõe-se que ocorra uma transição ecológica para a economia circular.

A circularidade tem sido o princípio orientador da natureza desde o início. As mesmas moléculas foram usadas, desmontadas e reutilizadas em ciclos, como um gigantesco lego, permitindo que a fauna e a flora se adaptem às condições em mudança, desenvolvendo uma biodiversidade crescente. Entretanto, inicia-se a questão que aflige o mundo, onde os microplásticos, sendo os nanoplásticos uma subespécie, passam a trazer toda uma complexidade ao ecossistema pois sequer é reconhecido, até mesmo num sistema circular. Neste sentido Stahel (2019, p. 18) esclarece:

Mas a circularidade na natureza não pode reconhecer objetos e objetos feitos de materiais manufaturados como ‘ruins’: microplásticos nos oceanos serão comidos pelos peixes, que podem se tornar alimentos consumidos pelas pessoas. Da mesma forma, o sal colhido do mar por evaporação, que os gourmets preferem sal-gema, contém microplásticos; nada é ignorado na natureza. A humanidade tem a obrigação moral de manter o controle de materiais manufaturados e objetos, que a natureza não pode decompor, em seu próprio interesse.

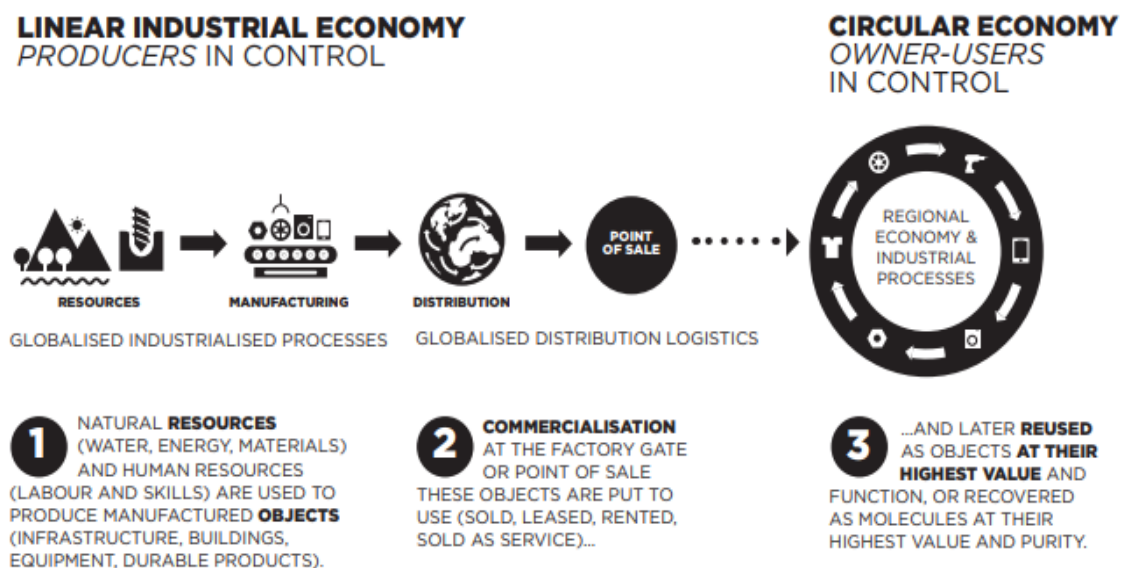
No entanto, ainda há pouca compreensão da magnitude do potencial dos impactos socioeconômicos e ambientais de uma transição para uma economia circular no nível macro, ou seja, em nível nacional, multinacional e escalas globais (AGUILAR-HERNANDEZ; RODRIGUES; TUKKER, 2021).

Portanto, os alertas científicos sobre preservar os recursos do planeta finalmente foram ouvidos na segunda metade do Século XX, quando cada vez mais a indústria abraçou a sustentabilidade. A sustentabilidade além de ser melhor ao meio ambiente, também é aos negócios, pois percebe-se que reduz custos, gerando

eficiência de recursos, possibilidade de usar descartes como insumo. Ainda reduz os riscos legais e sociais ou de reputação. E por fim, acaba gerando um retorno positivo na forma de acesso ao mercado, diferenciação e inovação (SENAI, 2020).

A economia industrial circular gerencia estoques de ativos manufaturados, como infraestrutura, edifícios, veículos, equipamentos e bens de consumo, para manter seu valor e utilidade o mais alto possível pelo maior tempo possível; e estoques de recursos em sua mais alta pureza e valor. Este modelo contrasta com a economia industrial linear na medida em que seus objetivos são manter o valor (não criar valor agregado), otimizar a gestão de estoques (não fluxos) e aumentar a eficiência do uso de bens (não de produção de bens) Stahel (2019). Ganha destaque na economia circular o papel protagonista do “consumidor-proprietário”, que será quem tem controle do fluxo, enquanto na linear o controle é feito pelo produtor, o que fica ilustrado na Figura 53:

Figura 53 - Situando a economia linear, a economia circular e seus atores no controle



Fonte: Stahel (2019, p. 20).

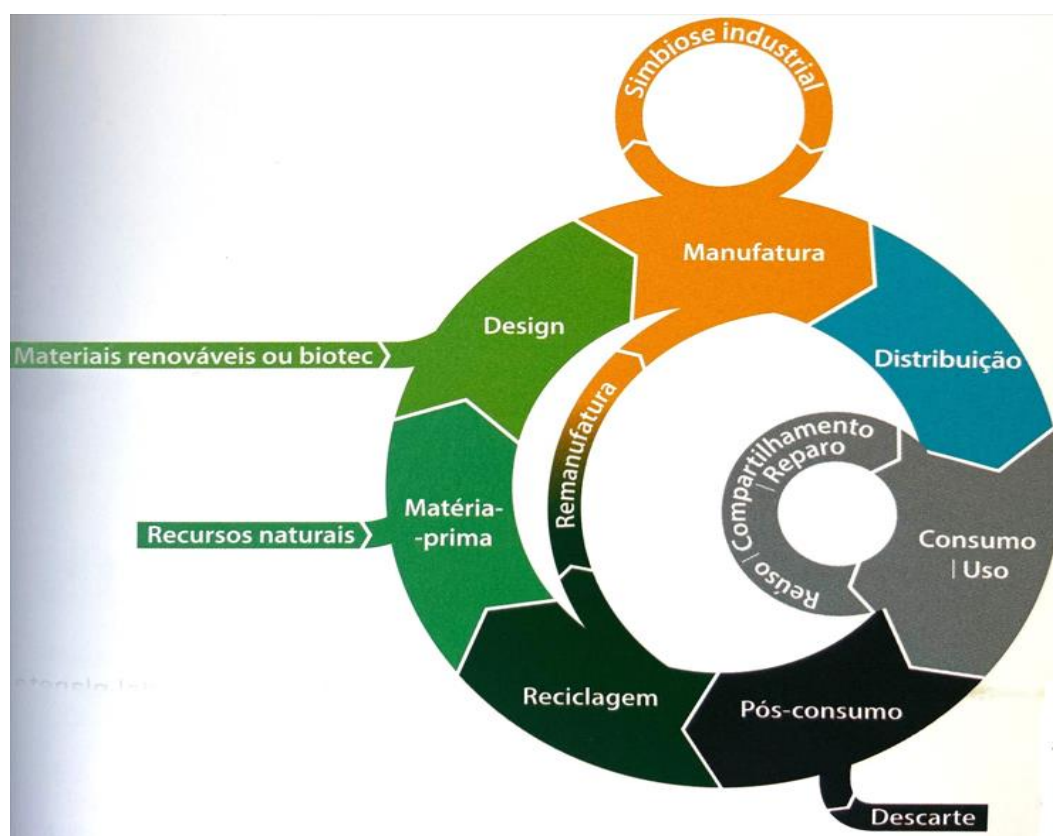
Em outra perspectiva, os dois modelos se diferenciam pela continuidade e otimização dos produtos, incluindo ainda a responsabilidade de todas as partes:

A economia industrial linear pára e a economia circular começa, no ponto de venda ou o portão da fábrica, onde a propriedade e a responsabilidade pelas mercadorias são vendidas dos fabricantes aos usuários-proprietários e após os quais os usuários-proprietários têm a opção otimizar – ou não

otimizar – o uso de bens como ativos em loops concêntricos de reutilização, reparação e remanufatura (STAHEL, 2019, p. 23).

Quando Beck (2018) afirma o contexto de “metamorfose”, direciona a discussão para o mesmo sentido, de que não há mais espaço nem tempo para que determinadas posturas permaneçam as mesmas, sob pena de exaurimento do planeta, de recursos. Portanto, somente a ideia de reduzir, reciclar e reutilizar mostra-se somente um paliativo no contexto de emergência climática, até mesmo porque os materiais e produtos que atualmente vão para reciclagem, por exemplo, não foram desenhados tendo em mente o reaproveitamento. É preciso que se vá além disso, “metamorfoseando” – expressão utilizada por Beck (2018) – o modelo de produção e consumo, sendo assim a circularidade uma radicalização do pensamento sustentável, pedindo o fim da extração de recursos naturais não renováveis e uma mudança na maneira como enxergamos a matéria prima e lixo. Essencial é manter o máximo possível de valor ao longo do ciclo de vida de materiais (SENAI, 2020). Este é o objetivo informado na Figura 54, abaixo apresentada:

Figura 54 - Ciclo da economia circular



Fonte: SENAI (2020, p. 21).

Observa-se dentro do modelo circular valores como sustentabilidade, adicionar valor ao produto, que gera uma remediação ambiental ainda maior no resíduo plástico, conforme apresenta a Figura 55:

Figura 55 - Aspectos da economia circular no resíduo plástico



Fonte: Chawla *et al.* (2022, p. 1).

Destaca-se nossa dependência de um modelo econômico linear, baseado em extração, produção, consumo e descarte, está tendo custos altos para o planeta – desde a escassez de matérias-primas até o aprofundamento da crise climática e seus desdobramentos (ACCENTURE, 2014).

No modelo linear, a economia se caracteriza pela utilização dos recursos naturais sem considerar sua limitação, na qual os processos produtivos se constituem pela transformação da matéria-prima em produtos que após sua vida útil são, em sua maioria, descartados sem o devido aproveitamento, gerando, assim, o aumento da produção de resíduos e os consequentes impactos ambientais e à saúde humana. Em oposição ao modelo linear, a economia circular se fundamenta em um processo cíclico no qual os resíduos são reinseridos no processo produtivo, seja como fonte de energia ou como subprodutos (ASSUNÇÃO, 2019). A Figura 56 apresenta o comparativo entre os dois modelos:

Figura 56 - Modelo de transição linear – circular



Fonte: Assunção (2019, p. 225).

Cumprido dar relevo a obra referência da economia circular, do arquiteto McDonough e o químico Braungart, “*Cradle to cradle*” (McDONOUGH; BRAUNGAR, 2002), a qual explica como a sociedade alcançou o cenário atual. Afirmam que a Revolução Industrial não foi realmente algo planejado. Que a série de desenvolvimentos, entre o fim do século XVIII, século XIX e quase todo século XX, na verdade teria sido a forma coletiva na qual engenheiros, industriais e designers responderam às demandas de um período de mudanças massivas, rápidas e intensas.

O problema do legado cultural e infraestrutural desse período de industrialização linear – *cradle to grave* (berço ao túmulo) com um pequeno período de “uso” no meio, é o emprego da “força bruta”. Tanto física como quimicamente, a humanidade se lançou em uma corrida de extrair e utilizar recursos não renováveis para gerar energia e produzir o máximo possível (McDONOUGH; BRAUNGAR, 2002).

Por fim, McDonough e Braungart (2002) afirmam que naquela época ainda não seria possível prever a expansão do modelo industrial linear nem os impactos disso no nosso planeta e espécies que nele vivem. O senso comum difundido na sociedade ocidental no início do século XIX era de que as essências da natureza não mudariam, e seu poder de regeneração estaria sempre pronto para absorver qualquer impacto.

No entanto, o momento industrial em que vivemos hoje é totalmente diferente de 50 anos atrás, quando designers e cientistas estavam dando alerta ambiental vermelho, iniciando um pensamento sustentável e de redução de danos:

Desde então, passamos pela revolução da informação, que abriu inúmeras possibilidades de comunicação, conexão, automação. Essa infraestrutura informacional e digital que rege nossa indústria e economia atualmente vem abrindo caminho para a Indústria 4.0. O termo teve origem na Alemanha e diz respeito às novas possibilidades de sistemas e de manufatura disponíveis. [...]. Outros fatores que levam a Indústria 4.0 adiante são a digitalização e integração de cadeia de valores em uma indústria e entre indústrias, fornecedores e cliente; a digitalização da oferta de produto e serviços; a possibilidade de novos modelos de negócios (SENAI, 2020, p. 19).

A economia circular trata de fazer circular os descartes, faz circular os produtos e faz circular os serviços. Vários fatores externos estão gerando urgência de implantação da circularidade, desde a dificuldade de aterrar mais lixo até legislações nacionais ou cooperações internacionais, passando por uma nova atitude individual de cuidar e ter bens por mais tempo, em vez de consumir constantemente. Uma economia industrial circular se integra com a economia industrial linear e passa a colocar o valor de uso- em vez de troca – como valor econômico central. A economia circular e ecologia andam de mãos dadas porque modelos de negócios sustentáveis previnem o desperdício, gerando um duplo ganho ao reduzir a perda econômica e dos recursos. De quebra, contribui significativamente para redução da emissão de gases que aprofundam o efeito estufa (STAHEL, 2019).

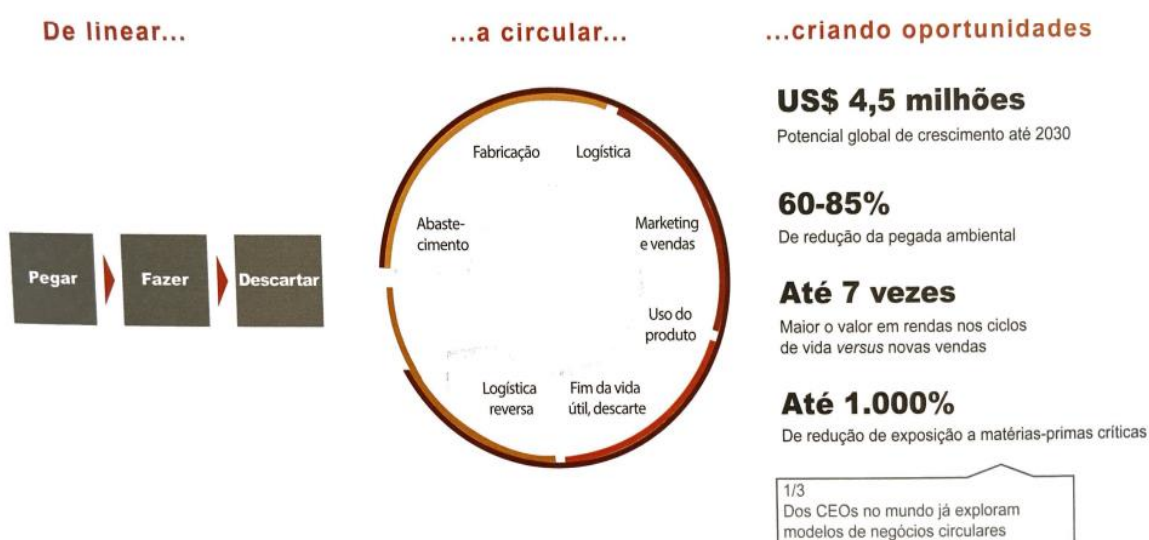
A economia circular certamente mostra-se como uma alternativa compatível com as questões dos riscos ambientais e nanotecnológicos. Uma vez que o recorte da tese recai sobre nanoplásticos, urge que se comprove o alinhamento da economia circular com tais resíduos principalmente por conta da grande quantidade gerada nos últimos anos, o que abaixo se apresenta segundo Chawla *et al.* (2022, p. 1):

As enormes quantidades de produção de plástico (milhões de toneladas) são realizadas em todo o mundo todos os anos e a UE é um dos maiores consumidores desses produtos. Em 2021, a taxa de reciclagem de resíduos plásticos em torno de 32,5% na UE e o restante acabam em sua jornada em aterros e oceanos que levam à poluição ambiental, que é uma preocupação global crucial. Assim, é importante tomar as medidas necessárias para controlar o uso desse plástico e descartá-lo de forma sustentável. Uma das soluções para o problema é usar uma alternativa melhor ao plástico que não degrada a terra, a água ou o ar nem afeta os organismos vivos. A economia circular é outra resposta a esse problema, pois garantiria a prevenção da formação de resíduos plásticos pós-consumo. Além disso, abordagens sustentáveis de descarte de resíduos plásticos, como pirólise, gaseificação a plasma, degradação fotocatalítica e produção de produtos de valor agregado a partir de resíduos de polímeros, podem ser exploradas. Esses métodos de reciclagem têm um enorme potencial para pesquisas e estudos e podem desempenhar um papel crucial na eliminação de resíduos plásticos pós-consumo.

Interessante analisar a Figura 57, a qual demonstra justamente a alteração no campo da sociedade e dos negócios, a qual favoreceria na tomada de decisão das grandes empresas, onde se vislumbra além da questão da sustentabilidade, a própria criação de novas oportunidades empresariais:

Figura 57 - Foco na mudança para centralidade do consumidor e modelos de negócios implementados

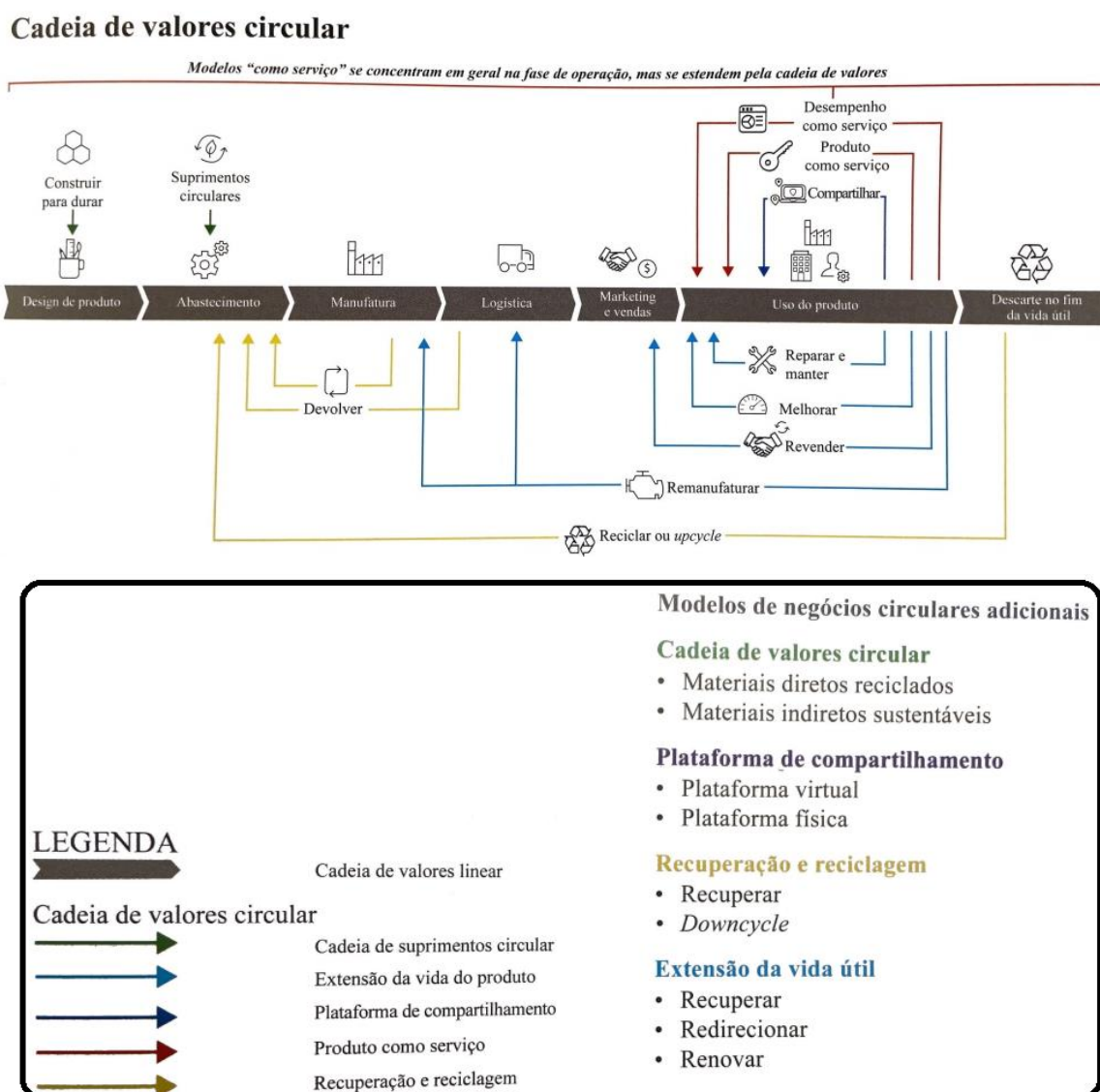
Há fortes argumentos de negócios para a economia circular e a hora de começar é agora



Fonte: Adaptada de SITRA, Technology Industries of Finland e Accenture (2018, p. 24).

Ademais, dialogam os valores da economia circular (Figura 58) com a ideia da nanosustentabilidade, em virtude da valorização do material, o uso do produto é estendido, de maneira que ao invés de descartar o nanoproduto após uso, ele poderá ser reformulado, recuperado, revendido, evitando o fim de vida, e conseqüentemente, diminuindo a produção do *nanowaste*.

Figura 58 - Cadeia de valores circular

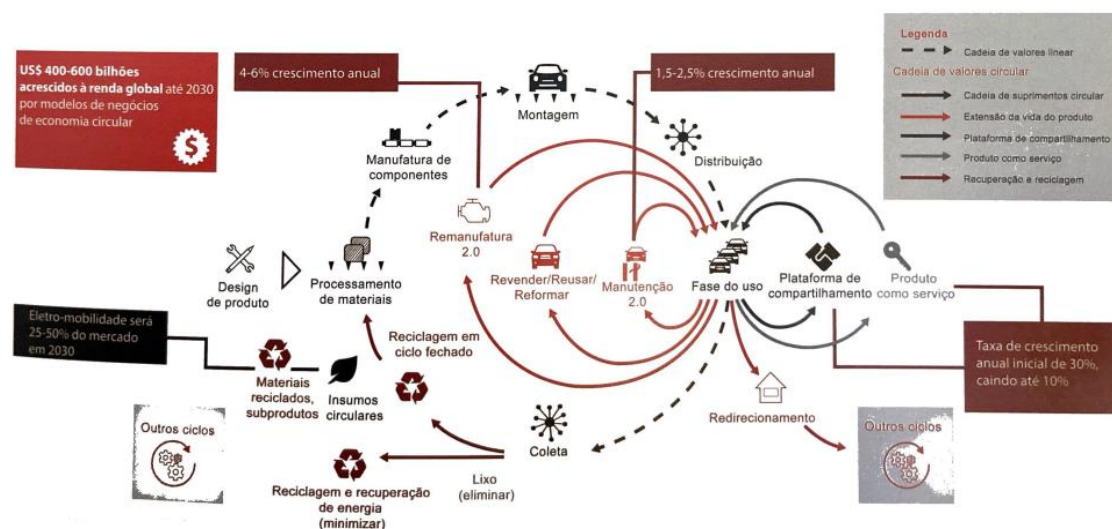


Fonte: Adaptada de SITRA, Technology Industries of Finland e Accenture (2018, p. 25).

Observa-se que para atingir economia circular, modelos de negócios circulares redefinem ecossistemas de negócios, o que significa que as empresas não podem atingir a circularidade sozinhas, por conta própria. Elas precisam que seus parceiros de ecossistema de negócios e facilitadores mudem seus modelos também, identificando ainda e visualizando seu papel presente e futuro em seu ecossistema (SENAI, 2020). Importante destacar que tal análise vai ao encontro da própria Teoria dos Sistemas proposto por Luhmann (2005), circundando os sistemas mais diversos, como de conexão entre sistema da ciência, da economia, do Direito, os quais dialogam na busca por resolução apta nesta nova realidade, principalmente da complexa era das nanos, o que se pode extrair da ilustração da Figura 59:

Figura 59 - Modelos de negócios redefinem ecossistemas de negócios

Exemplo: submodelos e economia circular no setor automotivo



Fonte: SENAI (2020, p. 63).

Apresenta-se interessante diagrama ilustrativo da essência da economia circular, apresentado na Figura 60, o qual aponta os principais nortes que promovem o retorno dos materiais aos fabricantes, indústrias e demais setores de desenvolvimento de produtos, que inclusive relaciona-se à ideia de sistema de Luhmann (2005), onde cada fase mostra-se como um elemento dentro do “sistema da economia circular”, e comunica-se com o outro, efetivando a comunicação, para que assim cada um desempenhe seu papel específico, e perfazendo assim o fechamento operacional e autorreferenciação:

Figura 60 - Diagrama economia circular

DEFINIÇÕES DA ECONOMIA CIRCULAR

PRINCÍPIO

1

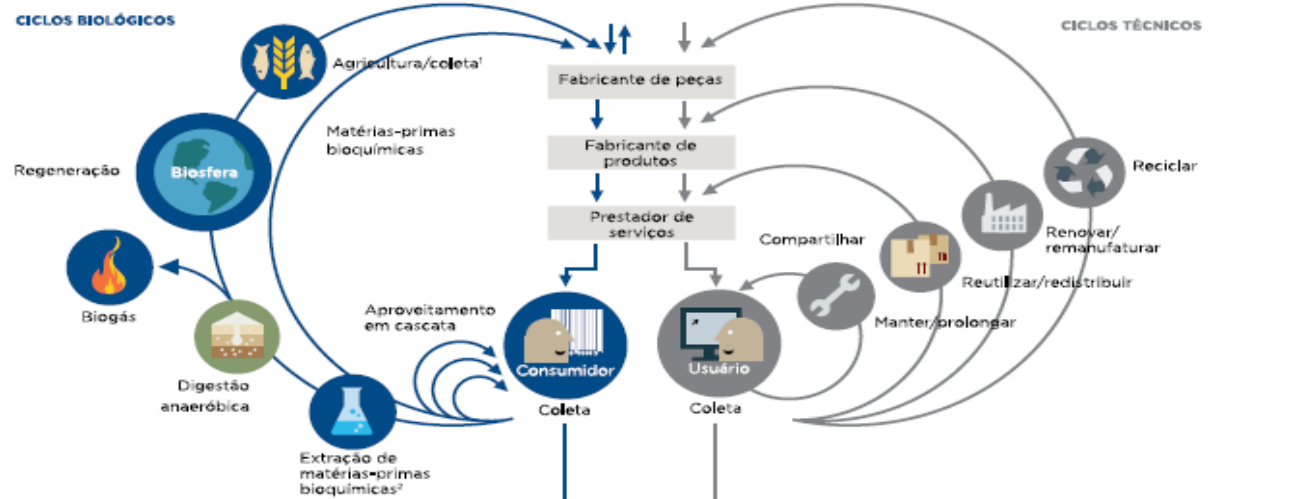
Preservar e aprimorar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis
Avanços ReSOLVE: regenerar, virtualizar, trocar



PRINCÍPIO

2

Otimizar o rendimento de recursos fazendo circular produtos, componentes e materiais em uso no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no ciclo técnico quanto no biológico.
Avanços ReSOLVE: regenerar, compartilhar, otimizar, promover a criação de circuitos



PRINCÍPIO

3

Estimular a efetividade do sistema revelando e excluindo as externalidades negativas desde o princípio
Todos os avanços ReSOLVE

Minimizar perdas sistêmicas e externalidades negativas

1. Caca e pesca
 2. Pode aproveitar tanto resíduos pós-colheita como pós-consumo insueto

Fonte: Ellen MacArthur Foundation, SUN, and McKinsey Center for Business and Environment; Drawing from Braungart & McDonough, *Cradle to Cradle* (C2C).

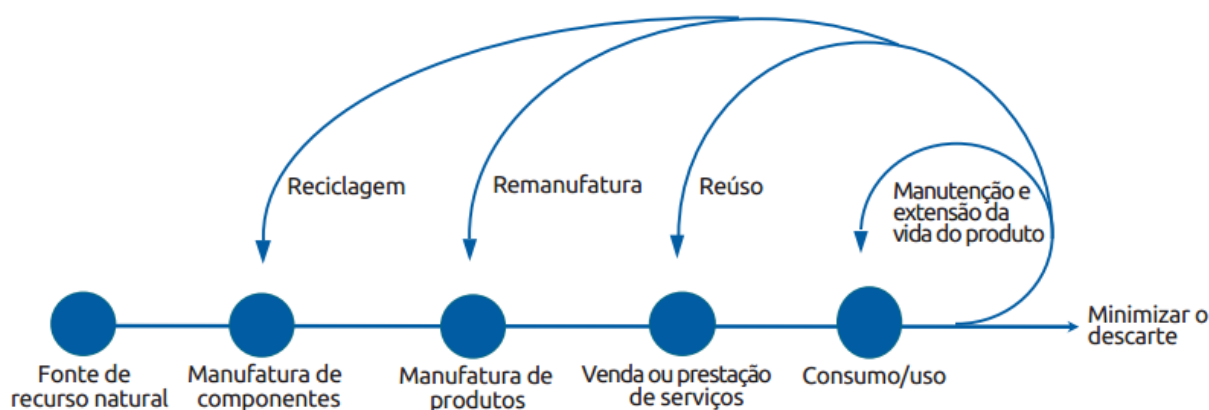
Fonte: Economia Circular no Brasil – uma abordagem exploratória inicial, 2017.

Fonte: CNI (2019, p. 16).

Cumpra ressaltar que a transição para economia circular importa numa mudança sistêmica (aqui novamente vinculando Luhmann), que constrói resiliência em longo prazo. A consequência de se produzir com intuito de minimizar o descarte traz novas oportunidades para as indústrias abrangendo toda a economia (CNI, 2019).

A fim de ilustrar ainda mais a perspectiva sistêmica e circulatória dessas medidas, apresenta-se a proposta de maior extensão e permanência de tempo dos produtos circulando, conforme Figura 61, gerando mínimo descarte final, o que era nanotecnológica, quando se fala em *nanowaste* e as incertezas presentes, seria uma postura mais segura e sustentável:

Figura 61 - Formas de recirculação de recursos



Fonte: CNI (2019, p. 17).

Para efetuar gestão adequada dos resíduos, alicerçada pela sustentabilidade, com a análise dos efeitos, parte-se da avaliação do ciclo de vida (analisado no capítulo anterior). A avaliação do ciclo de vida, 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 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 (PRADO FILHO, 2018).

Conforme mencionado anteriormente, na Europa tal transição já é levada a sério há algum tempo, de maneira que diversas políticas no contexto europeu são

adotadas. Contudo, existem outras políticas adotadas no cenário global, como demonstra a Figura 62, com legenda mais abaixo:

Figura 62 - Políticas globais de economia circular

China		Circular Economy Promotion Law	
Japão		Law for the Promotion of Effective Utilization of Resources	
Canadá		Resources Recovery and A Circular Economy Act	
Alemanha		The German Resources Efficiency Programme (PROGRESS)	
Bélgica		Circular Flanders kick - off statement	
Dinamarca		Denmark Without Waste - Recycle More, Incinerate Less	
Espanha		Estratégia d'impuls a l'economia verda e a l'economia circular	
Finlândia		Leading the cycle - Finnish road map to a circular economy	
França		Institut de L'economie circulaire White Paper on the Circular Economy of Greater Paris 50 measures for a 100% circular economy (roadmap)	
Holanda		Waste To Resource Programme (VANG)	
Estados Unidos		USDA Bio Preferred Program	
África do Sul		The Western Cape Industrial Symbiosis Programme (WISP) The Recycling and Economic Development Initiative of South Africa	
Austrália		Australian Packaging Covenant (APC)	
União Europeia		Closing the Loop	

Modelos de Negócio e Cadeia de Valor



Tipo de instrumento



Nível



Área de Atuação

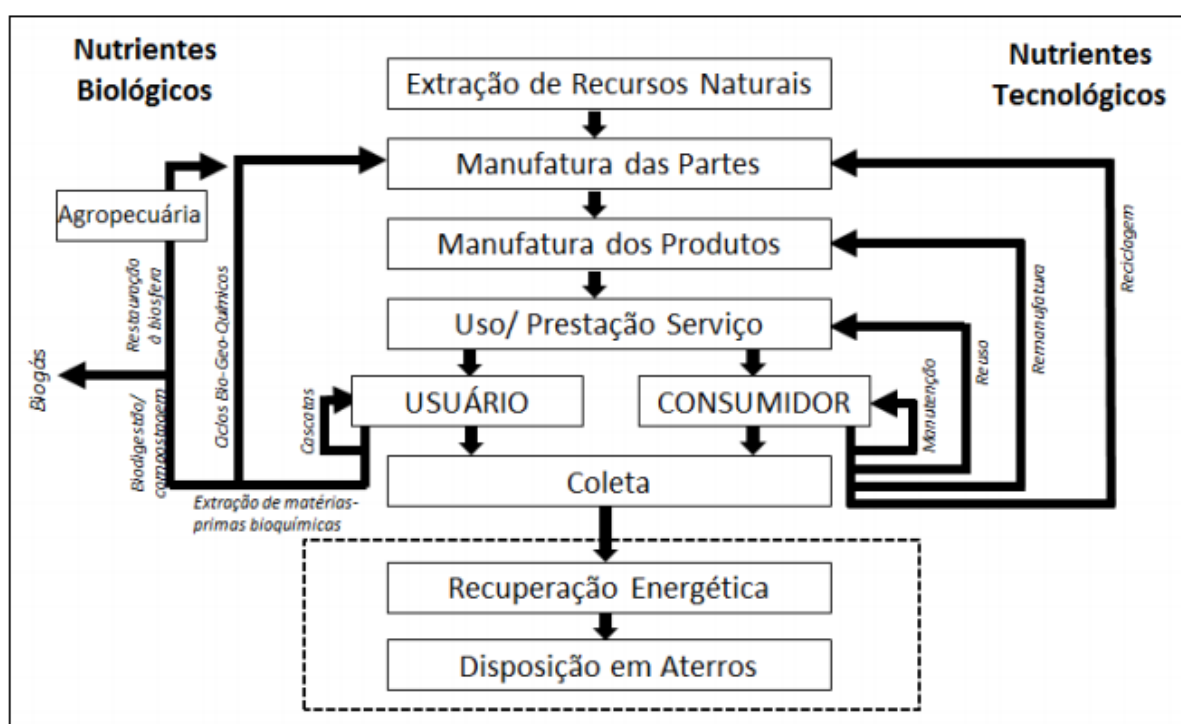


Fonte: CNI (2019, p. 27-28).

Em março de 2020 a Comissão Nacional da Indústria adotou uma estratégia industrial da União Europeia para abordar o desafio duplo do verde e da transformação digital. A Europa deve alavancar o potencial da transformação digital, que é um capacitador fundamental para alcançar o Acordo Verde Objetivos. Junto com a estratégia industrial, um novo plano de ação da economia circular ajudará a modernizar a economia da União Europeia e a tirar partido das oportunidades da economia circular interna e globalmente. Um dos principais objetivos do novo quadro político será seja estimular o desenvolvimento de mercados líderes para produtos circulares e neutros para o clima, na União Europeia e fora dela.

Mas e o que existe de definição sobre a Economia Circular? Segundo a Fundação Ellen MacArthur, trata-se de um modelo de economia industrial intencionalmente “restaurador”, projetado para recuperar de forma circular o produto de suas atividades (RIBEIRO; KRUGLIANSKASA , 2014), ilustrado na Figura 63 a seguir exposta:

Figura 63 - Definição economia circular



Fonte: Ribeiro e Kruglianskasa (2014, p. 4).

Conforme ilustra a Figura 63, a economia circular trabalha dividindo o uso dos materiais na economia em dois tipos de fluxos: o de nutrientes biológicos, cujo destino deve ser a reincorporação nos ciclos bio-geo-químicos e constituição de novo capital

natural; e o de nutrientes tecnológicos, que devem ser projetados para circular com o máximo de agregação de valor em ciclos sucessivos, evitando o retorno à biosfera na forma de disposição em aterros. Desde um ponto de vista macroeconômico, o que a EC propõe é que os materiais sejam utilizados de modo a maximizar seu valor, reduzindo a geração de resíduos e gerando benefícios econômicos, concomitante aos benefícios ambientais (RIBEIRO; KRUGLIANSKASA, 2014).

Quando se aborda a economia circular, importante relacionar tais medidas aos resultados do estudo de avaliação do ciclo de vida, os quais 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 avaliação do ciclo de vida 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 EPA, dos EUA, define a avaliação do ciclo de vida como uma ferramenta para avaliar, de forma holística, um produto ou uma atividade durante todo seu ciclo de vida (EPA, 2023).

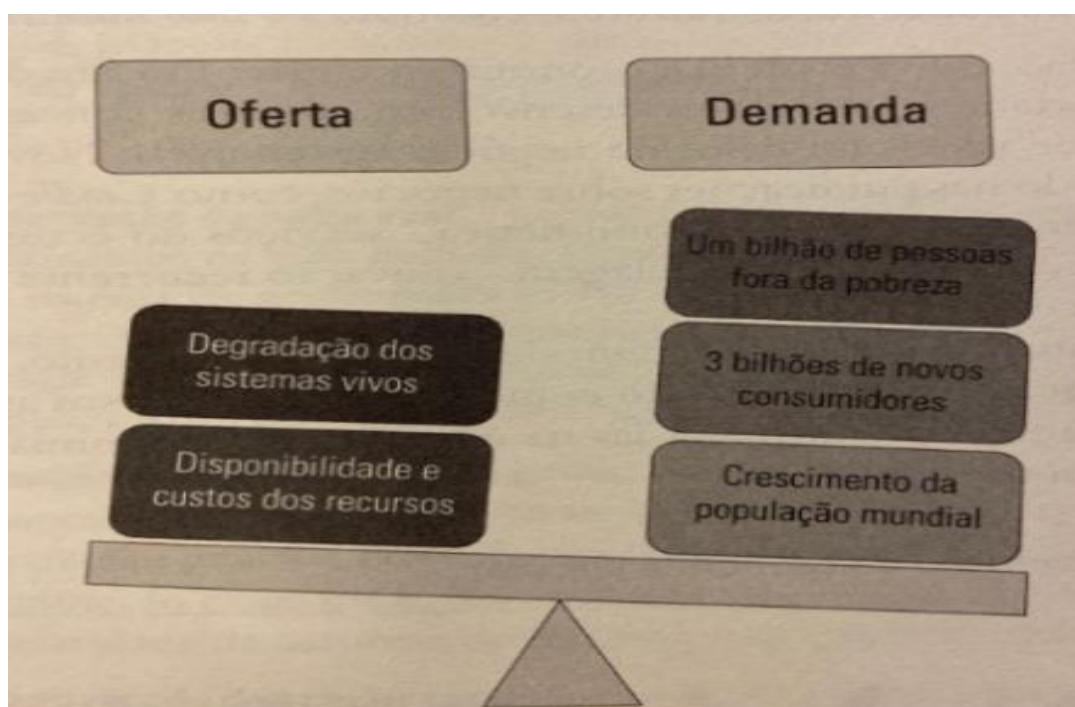
Idealmente, convém que o sistema de produto seja modelado de tal maneira que as entradas e saídas em sua fronteira sejam fluxos elementares e de produtos. A identificação das entradas e saídas que deveriam ser rastreadas ao meio ambiente, isto é, a identificação de quais processos elementares que produzem 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 CE100 Brasil e Ellen MacArthur Foundation (2017), 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 transição para uma economia circular não se limita a ajustes visando a 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 (PRADO FILHO, 2018).

Diante de um cenário global com projeção de 3 bilhões de novos consumidores até 2030, tendo renda suficiente para aquisição de mais eletroeletrônicos, mais alimentos, maior consumo, observa-se um aumento exponencial de demanda, mas com dificuldades no que diz às fontes. Ou seja, não há harmonia ou proporcionalidade entre oferta e demanda, como apresenta a Figura 64 abaixo:

Figura 64 - Cenário “oferta” e “demanda”

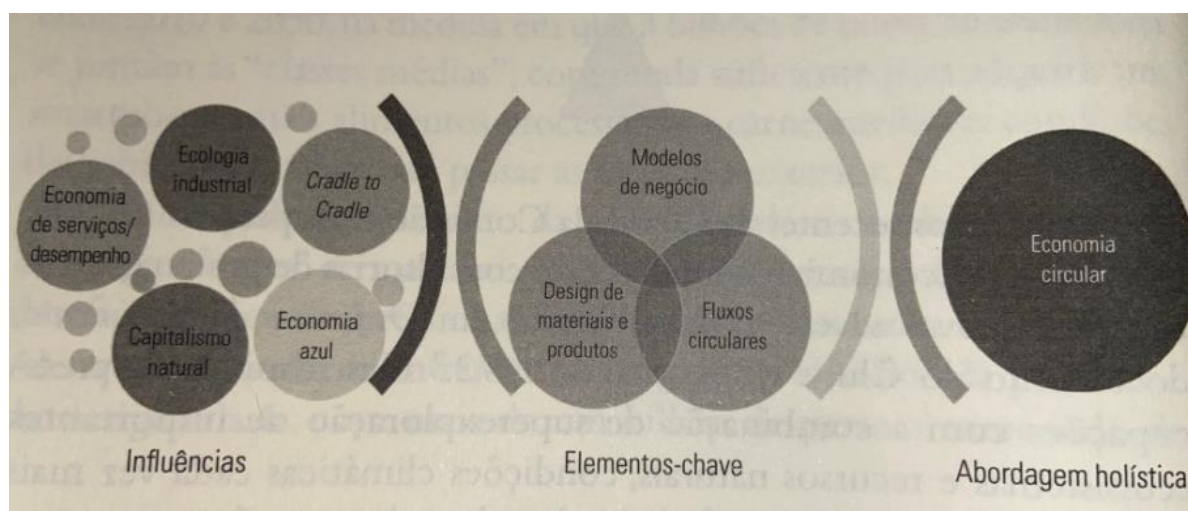


Fonte: Weetman (2019, p. 43).

Pela conjuntura acima demonstrada, enfrenta-se a combinação entre super exploração de importantes ecossistemas e recursos naturais, condições climáticas cada vez mais instáveis, e poluição de todos os gêneros, como ar, água, solo e atmosfera (WEETMAN, 2019).

A evolução da economia circular se deu em fins do século XX, com criação de novos conceitos para criação de novos modelos de negócios sustentáveis. Expressões como “*Cradle to cradle*” (do berço ao berço), serviços de ecossistemas, ecologia industrial e sobreciclagem surgem, até se chegar à inovação da economia circular. De acordo com Figura 65, combinam-se novas influências com prioridades diferentes e uma abordagem mais inovadora e sustentável:

Figura 65 - Evolução da economia circular



Fonte: Weetman (2019, p. 44).

O cerne da ideia é tornar uma economia de desempenho de serviços e não de bens, internalizando os custos e fechando os “loops”, tendo como premissa de o que objetivo será alcançado mediante a combinação de design sistêmico, inovação técnica e comercial, com base em negócios de reutilização de bens e ampliação do ciclo de vida de bens e componentes, evitando assim resíduos. Possui cinco pilares: a) conservação da natureza; b) limitação da toxicidade; c) produtividade de recursos; d) ecologia social; e) ecologia cultural (WEETMAN, 2019).

Tal modelo se apresenta, assim, 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 valor de produtos, componentes e materiais. Estudos preliminares da CE100 Brasil e Ellen MacArthur Foundation (2017) mostraram que seria possível gerar mais oportunidades de inovação e 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 (CNI, 2018). Fundado na (nano)sustentabilidade, desenvolvendo a chamada economia circular, possibilitar-se-ia inclusive a proposta de “rastreadibilidade de resíduos nanotecnológicos”, ou numa escala maior de todos nanoprodutos, fazendo correlação com o Projeto de Lei nº 7.088 de 2017 (BRASIL, [2017]) (que altera a Lei nº 12.305, de 2010 (BRASIL, 2010), que institui a PNRS, para dispor sobre o rastreamento de resíduos perigosos).

A Economia Circular também é entendida como o oposto da Economia Linear. Na economia linear, modelo este utilizado 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 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).

Segundo Herrero (2019), a economia circular hoje em dia goza de grande popularidade e está se destacando nas agendas políticas e empresariais, e até com frequência se apresenta com uma mensagem revolucionária, um tanto visionário ou provocativo. As bases e conceitos da economia com fluxos circulares não são próprias de uma nova disciplina, sendo que está bem definida em princípios teóricos aportados por várias disciplinas e enfoques econômicos-ambientais anteriores que, em sua maioria, agora integram o paradigma da sustentabilidade.

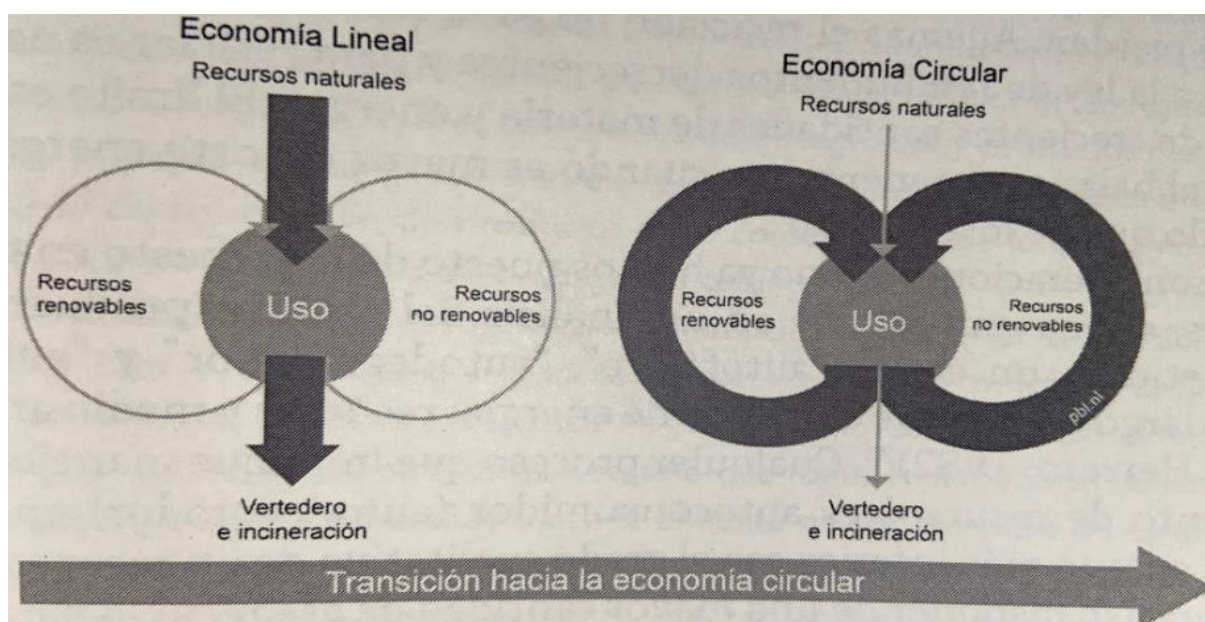
Na literatura estrangeira não há um consenso acerca do conceito de economia circular, e suas origens não se remontam a uma única data ou único autor. Inclusive o próprio termo específico de “economia circular” pode utilizar-se de forma genérica como a “economia do ciclo fechado” e equiparar-se com conceitos similares, mais intuitivos e menos rigorosos, como a “economia de resíduo zero”.

Assim, princípio genérico se resume em “fechar o ciclo de vida” dos produtos, serviços, resíduos, materiais, da água e de energia (HERRERO, 2019).

Em todo desenvolvimento conceitual tem tido uma influência a implantação de métodos e estratégias para reduzir o impacto ambiental e marcar um caminho da circularidade econômica sustentável, a qual se adequaria ao cenário nanotecnológico, que demanda uma alternativa para minimização do *nanowaste* bem como da gestão do risco.

Novamente de forma ilustrativa, Herrero (2019) aponta pela Figura 66 a diferença entre economia linear e a circular e sua interação:

Figura 66 - Da economia linear à economia circular



Fonte: Herrero (2019, p. 53).

Este é o modelo da Economia Circular: 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 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 (BUSINESS EUROPE, 2015).

Tal modelo constitui uma nova forma de observar as relações entre mercados, clientes e recursos naturais. Movendo-se a uma economia circular as empresas podem conseguir benefícios significativos, tais como maior crescimento, vantagem competitiva, impulso à inovação, redução de custos, menor consumo de energia e menor emissão de gases. Apontam-se assim nessa transição o respeito a 3 princípios básicos: a) Princípio 1: preservar e melhorar o capital natural; b) Princípio 2: otimizar o uso dos recursos, circulando sempre produtos, componentes e materiais em seu nível mais alto de utilidade em todo momento, em todos ciclos técnicos, desenhar para reelaborar, renovar e reciclar para manter circulando na economia os materiais e componentes (estendendo mais a vida do produto e otimizando sua reutilização); c) Princípio 3: Fomentar a eficácia do sistema, revelando e eliminando externalidades negativas, incluindo neste reduzir o dano causado a sistemas e áreas que afetam as pessoas, tais como alimentos, casas, educação, segurança, e realizar a gestão de externalidades tais como a contaminação do ar, água, terra, emissões de substâncias tóxicas (TENA, 2019). Numa análise inicial possível enquadrar os nanoprodutos e resíduos nanotecnológicos nas finalidades dos princípios 2 e 3.

De outro modo, na Economia Circular 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 isto 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).

O modelo de economia circular caminha para um novo paradigma, implica uma nova forma de fazer produtos desde a sua origem, desde o seu design, e permite fazer negócios em resposta ao crescimento econômico da sociedade, sustentabilidade ambiental e a diminuição riscos. Para o ano de 2030, é calculado um aumento de três bilhões de consumidores que irá gerar uma demanda significativa por energia, ou seja, é fundamental reverter a lógica do descarte de resíduos para um modelo onde estes são reaproveitados e valorizados. Como

exemplo, podemos citar o caso da empresa Renault automotivo com sua planta industrial em Choisy-le Roi, França (LETT, 2014).

Atualmente, a abordagem do modelo de economia circular é implementada por muitos países e empresas. As vantagens de sua aplicação são óbvias, pois formula o crescimento da economia com sustentabilidade ambiental. Para transformar os postulados do sistema em ações e alcançar eficiência na reciclagem, reaproveitamento e valorização dos resíduos requer motivação, conhecimento e capacidade de inovação. Projetos de sucesso são apoiar a pesquisa e envolver profissionais experientes em diversos temas, engenheiros, tecnólogos, microbiologistas, arquitetos, ecologistas, sociólogos e educadores, entre outros. Além do exposto, o Estado deve adquirir um papel significativo por meio da implementação e a auditoria de normas e legislações, visando motivar a população a aderir aos processos de reciclagem, bem como gerar incentivos para o envolvimento das empresas nas políticas ambientais. Resumindo, somente uma sociedade responsável e comprometida com o cuidado com o meio ambiente evitará o caos e fará com que o futuro possível (LETT, 2014).

Uma vez que a abordagem da tese é implementar a economia circular em nanoproductos e *nanowaste*, de modo a estender sua circulação na economia, para mitigar a gestão do risco, obviamente que não seria possível deixar de explicar as novas incertezas que o contexto global enfrenta. Quais são os debates atuais em nível global sobre este modelo? Ele vem sendo adotado? Seria de fato uma alternativa viável de implementação nas nanotecnologias, que proporcionaria condutas sustentáveis? Estes aspectos serão analisados no próximo tópico do estudo.

3.2 O debate transnacional acerca da economia circular: o enfoque global e políticas públicas adotadas mundialmente

Durante a era das revoluções industriais, e de forma mais acentuada a partir do século XIX, acompanhamos a crescente oferta de produtos e bens de consumo, debruçados sobre o conceito da obsolescência programada. Essa ideia, criada pelo presidente da General Motors, Alfred P. Sloan, durante a década de 20, fala sobre o fabricante planejar o exato momento em que seus produtos se tornem obsoletos ou não funcionais, com o único propósito de forçar o consumidor a comprar uma nova

geração de itens. Assim, presenciamos o mundo criar muitas riquezas, mas executar uma péssima distribuição. O que o senhor Sloan não se atentou é que em 2050 seremos aproximadamente 10 bilhões de pessoas no planeta e estamos consumindo de forma linear, cada vez mais acelerada pela aplicação lucrativa, mas gananciosa obsolescência programada. Souza (2020) afirma estarmos consumindo recursos naturais finitos e gerando um desgaste ao meio ambiente, nosso fornecedor primário de tudo.

Reforçando o alerta do esgotamento dos recursos naturais, o autor explica o problema da economia linear e suas repercussões, que levam a uma necessária transição para o modelo circular:

Esse modelo linear, base da nossa economia atual, é pautado em extração, produção, uso e descarte. Com o crescimento populacional, e naturalmente esse tipo de molde precisando ser cada vez mais eficaz para o atendimento da crescente demanda, o colapso do sistema fica mais evidente. O dia da sobrecarga da Terra trata-se da data em que consumimos todos os recursos naturais disponíveis para o ano, e a cada ano que passa batemos nossos recordes. Se comparado com uma conta bancária, por exemplo, seria o dia em que se entra no vermelho. Em 2019 o dia da sobrecarga da Terra no Brasil foi em 31 de julho e nos EUA, 15 de março, ou seja, utilizamos todos os recursos naturais disponíveis até 31 de julho e os americanos meses antes. Para ter parâmetro de comparação, o mesmo marco, na década de 70, acontecia no dia 29 de dezembro. O surgimento da 4.^a Revolução Industrial, que chamo de 'Tsunami da Economia Circular', é algo que precisa acontecer, e graças a bilhões de pessoas conectadas, isso é possível (SOUZA, 2020).

Países de vanguarda na aplicação dos fundamentos da economia circular possuem políticas públicas mais estruturadas, definidas em programas, planos ou leis. O precursor na implantação do conceito de economia circular foi a Alemanha, no ano de 1996, mediante a aprovação de uma lei de gestão das substâncias tóxicas e a gestão de resíduos em ciclo fechado. Em seguida, o Japão promulgou uma lei, no ano de 2000, para promover a economia circular ao nível nacional. O governo japonês estimulou o surgimento de uma sociedade de alta produção, de alto consumo e desperdício para desenvolver um projeto-piloto voltado à economia circular (HESHMATI, 2015).

Na União Europeia, a economia circular é uma tendência bem consolidada, que permite reduzir custos com materiais em até US\$ 630 bilhões por ano. Estimativas produzidas na região indicam que, para o setor de mobilidade, práticas de economia circular podem reduzir os custos entre 60% e 80%. Já o setor de

alimentos pode se beneficiar com 25% a 50% de economia proporcionada pela redução de desperdício (ECONOMIA..., 2019).

Em termos de gestão ambiental e de ações voltadas à economia circular, as primeiras iniciativas foram desenvolvidas na Alemanha, com a introdução do princípio da responsabilidade alargada do produtor, em 1991, e, posteriormente, com a adoção de uma lei sobre gestão de resíduos, em 1994, com a ideia de ciclo fechado de substâncias. Posteriormente, a China, em 1999 com vários projetos-piloto, criou uma lei em 2002 e, em 2008, formalizou a economia circular (ASSUNÇÃO, 2019). O Japão seguiu nessa linha, criando sua lei de base em 2000. A Escócia é considerada uma referência no setor da economia circular; em 2010 apresentou o plano estratégico “Scotland Zero Waste Plan”. O Reino Unido aprovou, em 2012, o “Resource Security Action Plan” e, em seguida, a Holanda, em 2016, marca posição com a introdução da metodologia “*Cradle to Cradle*” na sua economia e na promoção da simbiose industrial (LEMOS, 2018).

Interessante vincular a economia circular com uma série de outros movimentos globais (que até mesmo o precedem) os quais buscam restabelecer o equilíbrio dos recursos naturais, como manejo de resíduos e redução da emissão de gases:

Podemos escolher uma lista de 15 movimentos que apresentam características semelhantes à economia circular. Eles frequentemente têm campos comuns, então para defini-los vamos descrevê-los brevemente, para ter uma compreensão. Na lista abaixo (Figura 1) usamos a definição mais difundida e um parágrafo descrição do movimento, se não estiver disponível em fonte secundária, produzimos um breve resumo. Em alguns casos colocamos o símbolo mais conhecido ou ‘pai fundador’ (nomeadamente 1. Logótipo da reciclagem, 3. Produção mais Limpa – logotipo da ONU, 10. Gráfico explicativo de Responsabilidade Social Corporativa, 11. Günther Pauli com Economia Azul, 12. Michael Porter com Criação de valor compartilhado, e 15. Economia circular explicando gráfico, referindo-se ao início da lista: ciclo de vida do produto). Essa lista pode ser estendida com frases como ecoeficiência ou ecodesign, mas uma lista de 15 movimentos significativos é forte o suficiente para ver diferenças, semelhanças e, acima de tudo, atendem ao nosso objetivo principal: retratar os ciclos de vida (TÓTH, 2019, p. 2).

Auxiliando na compreensão, segue a Figura 67 que exemplifica o enunciado acima:

Figura 67 - Os 15 movimentos sustentáveis



Fonte: Tóth (2019, p. 3).

A Economia Circular passou a ganhar representatividade no cenário europeu com o apoio de instituições como a Fundação Ellen MacArthur, BSI, Circle Economy, entre outras, que iniciaram programas e parcerias com organizações públicas e privadas para acelerar a transição da economia linear para o modelo circular. Desde a sua criação em 2012, a Fundação Ellen MacArthur tem buscado a disseminação da Economia Circular, tendo se tornado referência global no tema. Como uma forma de classificar as ações circulares, criou 4 tipos de Building Blocks: Design Circular, Novos Modelos de Negócios, Ciclo Reverso e Fatores Viabilizadores e Condições Sistêmicas favoráveis (BORSCHIVER; TAVARES, 2018).

Adotar o novo modelo não só garante a preservação dos recursos, como traz resultados financeiros. De acordo com um levantamento europeu produzido pelo McKinsey Global Institute e divulgado em 2017, empresas que agregam os princípios da economia circular, como visão de longo prazo, foco na inovação e na geração de valor, apresentam receita 47% superior e lucro 81% maior (ECONOMIA..., 2019).

A OECD (2020b) afirma a importância da implementação da economia circular, atentando sempre a questão dos resíduos e sustentabilidade, e atrelando a esta proposta de tese, estariam em consonância. Explica a organização, exemplos

que incluem políticas 3R (reduzir, reutilizar, reciclar), gestão sustentável de materiais, manufatura sustentável, eficiência dos recursos e políticas de economia circular. A prevenção de resíduos pode ser incentivada por meio do projeto ecológico, reutilização, reparo, esquemas de renovação, refabricação e responsabilidade estendida do produtor (este é uma das abordagens apresentada mais adiante, sobre a responsabilidade social e da empresa ética-cidadã). Mover-se em direção a uma economia circular e eficiente em termos de recursos é fundamental para a segurança do abastecimento e meio ambiente perspectivas e fundamenta uma economia sustentável e competitiva.

É a forma de garantir suprimentos adequados de materiais, assevera a OECD (2020b), bem como gerir os impactos ambientais associados ao seu ciclo de vida e cadeia de abastecimento. Essencial ter certeza de que os recursos naturais não são degradados e permanecem disponíveis para as gerações futuras. Estabelecendo uma economia circular com a melhoria da gestão de resíduos e materiais ajuda ainda mais a resolver a questão dos microplásticos no meio ambiente e lixo marinho (observa-se aqui novamente o destaque o (nano)plástico). Recuperar materiais de fluxos de resíduos para reciclagem ou reutilização, usando produtos por mais tempo e aumentando o uso intensidade de bens por meio de abordagens de economia de compartilhamento, como o compartilhamento de carros, são algumas das áreas em que o negócio circular modelos estão operando. Assim, segundo a organização, uma economia circular busca:

a) maximizar o valor dos materiais que circulam na economia; b) minimizar o consumo de material, prestando atenção especial aos materiais virgens, substâncias perigosas e resíduos; c) fluxos que levantam preocupações específicas (como plásticos, alimentos, produtos elétricos e eletrônicos); d) evitar a geração de resíduos; e) reduzir componentes perigosos em resíduos e produto (OECD, 2020b).

A economia da União Europeia está a acumular grandes estoques de metais e plásticos, e até 2050 poderá atender grande parte de sua necessidade desses materiais por meio da recirculação do que já foi produzido: 75% de aço, 50% de alumínio e 56% de plásticos (o cimento é menos passível de reciclagem, embora seja possível reutilizar algum cimento não reagido). Recirculação de materiais gera cortes na emissão de CO₂ e requer muito menos energia do que a nova produção faz, alerta SITRA (2018), fundamentando a implementação da economia circular.

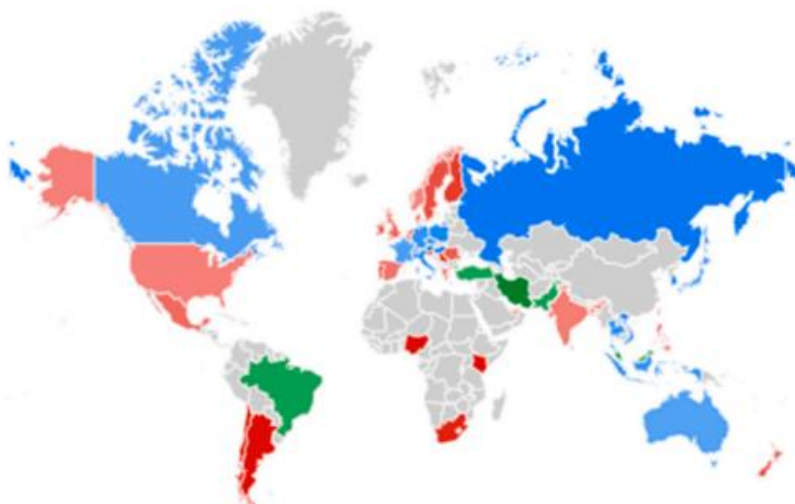
No entanto, a prática atual não está configurada para facilitar essas altas taxas de reciclagem ou recirculação pela Economia circular. Um influxo de novos materiais é necessário tanto para substituir metais e plásticos que são perdidos quanto para compensar a degradação de qualidade. O mesmo estudo ressalta uma preocupação maior com o plástico. A análise mostra como 56% dos plásticos podem ser mecanicamente reciclados através da economia circular, com foco nos cinco principais tipos de plástico, que representam 70% dos volumes. Por isso, como acontece com o aço e o alumínio, o design do produto e a desmontagem no fim da vida útil precisa ser alterada para permitir a recuperação de alto valor desse material (SITRA, 2018). Com base nessa proposta, mostra-se possível proporcionar às nanotecnologias condutas sustentáveis, pois tem base científica que comprova a diminuição do resíduo plástico pela Economia Circular. Consequentemente, não só os nanoplásticos teriam controle e gestão adequada, mas todo o *nanowaste*.

Importante ressaltar ainda que na Europa existem diversas políticas públicas que implementam a transição, e inclusive o Plano de ação de economia circular de 2015 da União Europeia inclui 54 ações para um novo impulso ao emprego, crescimento e desenvolvimento sem emissões de carbono, apoiando ainda a pesquisa e investigação de setores prioritários, como os plásticos, resíduos de alimentos, resíduos de construção e demolição, e bioprodutos. Cabe ressaltar o caráter sistêmico e todas as cadeias valorativas, integrando os princípios circulares na produção e consumo de plástico, gestão de água, gestão de resíduos específicos (aqui poderia enquadrar o *nanowaste*), assim como demais seguimento da economia circular na União europeia, que também foi constituído para avançar na consecução dos objetivos da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável (HERRERO, 2019).

Tóth (2019) afirma que a economia circular é a mais forte nos países escandinavos, Sul América, África do Sul, e economia compartilhada é mais forte na Rússia, EUA, núcleo da União Europeia, Austrália. No entanto, uma nova constatação é que a produção mais limpa tem um apoio muito forte e lidera a pesquisa em Brasil e Irã. Se analisarmos os cinco mapas do mundo individuais, um grande aprendizado é que os EUA são mais fortes em todos os aspectos. A Figura 68 traz a representação geográfica de pesquisas normais do Google pelos termos economia circular, compartilhamento economia, minimização de resíduos, produção mais limpa e emissão zero:

Figura 68 - Representação geográfica dos movimentos

● sharing economy ● circular economy ● waste minimization
 ● cleaner production ● zero emission



Fonte: Tóth (2019, p. 14).

Por todo exposto, a União Europeia colocou à disposição do programa um apoio financeiro dos Fundos Estruturais e de Investimento, de 650 milhões de euros do Horizonte 2020, bem como 5,5 bilhões dos Fundos Estruturais para a gestão de resíduos. Isso denota a importância e necessidade em torno deste assunto (GARCÍA, 2016).

Na área de energias limpas e modelo circular, possível citar as empresas dinamarquesas Ørsted, Bigadan, Novo Nordisk e Novozymes desenvolveram em conjunto uma nova planta de biogás a partir de resíduos de produção de insulina e enzimas, com capacidade de 8 milhões de m³ de biometano por ano (BORSCHIVER; TAVARES, 2018).

A União Europeia lançou, em 2018, um Plano de Ação para a Economia Circular com metas e propostas legislativas a serem atingidas pelos Estados-Membros até 2020, 2030 e 2050. Essas medidas têm como foco a melhoria na gestão de resíduos, o consumo responsável de matérias-primas primárias e mobilização de fundos de investimento público e privado (EUROPEAN COMMISSION, 2020). Em 2020 iniciou-se a implementação do novo plano:

A Comissão Europeia adotou o novo plano de ação para a economia circular (PAEC) em março de 2020. É um dos principais alicerces do Pacto Ecológico Europeu, a nova agenda da Europa para o crescimento

sustentável. A transição da UE para uma economia circular reduzirá a pressão sobre os recursos naturais e criará crescimento sustentável e empregos. É também um pré-requisito para atingir a meta de neutralidade climática da UE para 2050 e travar a perda de biodiversidade. O novo plano de ação anuncia iniciativas ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos. Visa a forma como os produtos são concebidos, promove processos de economia circular, incentiva o consumo sustentável e visa garantir que os resíduos sejam evitados e os recursos utilizados sejam mantidos na economia da UE pelo maior tempo possível (EUROPEAN COMMISSION, 2020).

Ainda neste documento, possível analisar quais as medidas adotadas para alcançar um desenvolvimento sustentável que leve ao modelo circular:

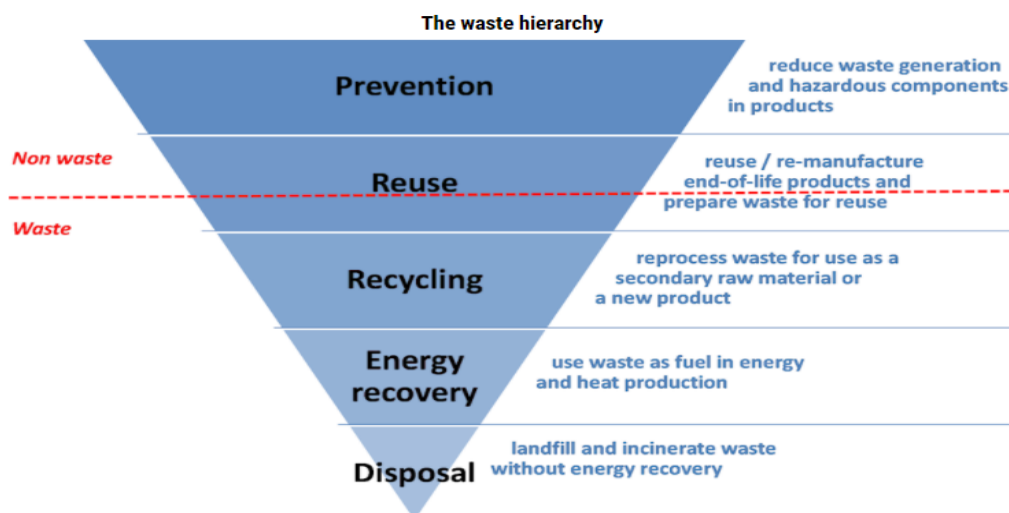
O plano de ação para a economia circular estabelece uma estratégia orientada para o futuro, no intuito de criar uma Europa mais limpa e mais competitiva em associação com os agentes económicos, os consumidores, os cidadãos e as organizações da sociedade civil. Visa acelerar a mudança transformadora requerida pelo Pacto Ecológico Europeu, tendo por base as ações desenvolvidas no domínio da economia circular desde 2015. O presente plano assegurará um quadro regulamentar flexibilizado e adaptado a um futuro sustentável, permitindo retirar o máximo proveito das novas oportunidades decorrentes da transição e minimizando os encargos para os cidadãos e as empresas. O plano inclui um conjunto de iniciativas relacionadas entre si por forma a estabelecer um quadro estratégico sólido e coerente, em que os produtos, serviços e modelos de negócio sustentáveis sejam a norma e haja uma transformação dos padrões de consumo no sentido da prevenção de resíduos. O desenvolvimento deste quadro estratégico será gradual, sendo dada prioridade às principais cadeias de valor dos produtos. Serão tomadas novas medidas para reduzir a produção de resíduos e garantir o bom funcionamento do mercado interno da UE para as matérias-primas secundárias de alta qualidade. A capacidade de a UE se responsabilizar pelos seus resíduos será igualmente reforçada (EUROPEAN COMMISSION, 2020, p. 4).

Na França pode-se citar o caso da empresa automotiva Renault, com sua planta industrial em Choisy-le-Roi, onde os princípios da economia circular são praticados na reengenharia de autopeças usadas, com custo de 50% a 70% do valor original. A planta de processamento emprega 325 pessoas, muito mais do que o necessário para a fabricação online de autopeças para as maiores empresas. Para outras usinas, no entanto, a equação econômica ainda é favorável, devido ao menor impacto da matéria-prima sobre o custo final. Com esta modalidade, a Renault conseguiu uma redução de 80% no consumo de energia, de 88% no consumo de água e 77% na geração de desperdício em relação ao modelo tradicional de produção (LETT, 2014).

Importante o destaque dado pela OCED quando demonstra a minimização dos resíduos com implementação da economia circular, a partir do fluxo de

hierarquia apresentado na Figura 69, o qual fundamenta sua adoção como aliado na gestão do risco nanotecnológico e minimização do *nanowaste*:

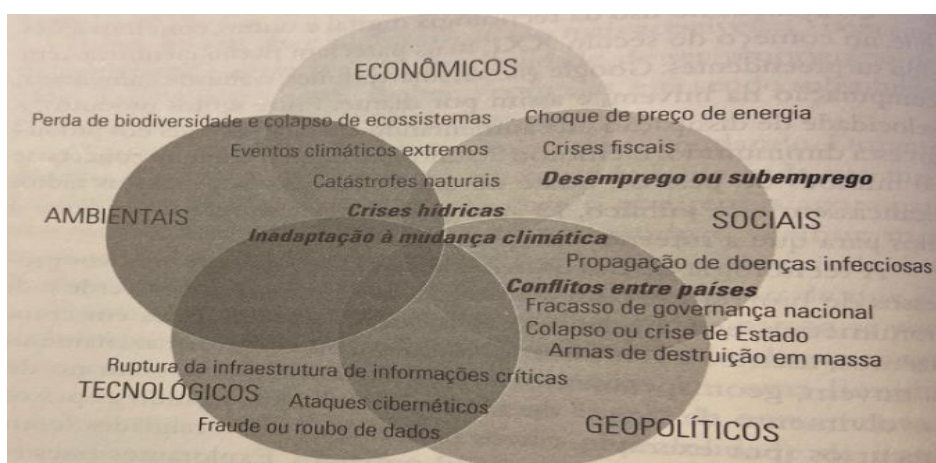
Figura 69 - Hierarquia de resíduos e economia circular



Fonte: OECD (2020b).

De acordo com Weetman (2019), empresas e governos estão enfrentando problemas completamente desafiadores de risco e incertezas. O Fórum Econômico Mundial publicou relatório em 2015 de riscos globais (MARSH & McLENNAN; ZURICH INSURANCE GROUP, 2015), e nesse ano destacou situações como crise de água, propagação de doenças, armas de destruição em massa, crises e conflitos geopolíticos, catástrofes naturais e outros entre os 10 maiores riscos, em termos de probabilidade ou impacto, estando as nanotecnologias inseridas no aspecto ambiental e das tecnologias, ilustrados na Figura 70 abaixo:

Figura 70 - Riscos e incertezas



Fonte: Adaptada do Fórum Econômico Mundial (WEETMAN, 2019, p. 106).

Uma economia mais circular é indispensável para atender necessidades globais de materiais sem exceder o orçamento de carbono. O Painel Intergovernamental sobre as mudanças climáticas estimou um “orçamento de carbono” restante para neste século de cerca de 800 bilhões de toneladas (Gt) CO₂. Isto é a quantidade de emissões que podem ser emitidas até 2100 para uma boa chance de manter o aquecimento abaixo de 2°C – com ainda menos para a meta “bem abaixo de 2°C” estabelecida pelo Acordo de Paris. Este estudo estima que, nas tendências atuais, a produção de materiais por si só resultaria em mais de 900 Gt de emissões, portanto, mais que urgente a implementação da economia circular (SITRA, 2018).

Na Austrália o modelo da economia circular também se faz presente:

Elementos da economia circular estão em jogo há muitos anos na Austrália. Esses elementos incluem programas de produção mais limpa, taxas de resíduos para aterros (imposto sobre descarte em aterros), coleta e reciclagem de embalagens e papéis domésticos, reciclagem de metais, estratégias regionais de resíduos, planejamento e investimento em infraestrutura, legislação sobre resíduos e reciclagem e outras intervenções regulatórias baseadas sob o estado atos de proteção ao meio ambiente (LEVITZKE, 2020, p. 25).

Nos EUA os metais reciclados tornaram-se uma importante fonte de abastecimento, com menor impacto ambiental do que os metais primários. Fatores como geografia, regulamentos comerciais e economia sobre reciclagem doméstica e comércio internacional de sucata influenciam a extensão da reciclagem. Discute-se o papel da reciclagem de sucata nos EUA e sua contribuição para a Economia Circular em relação aos metais. Ao mesmo tempo, quase toda a sucata metálica que surgia nos EUA era reciclada e tratada dentro do país. Desde o início da década de 1980, houve um declínio na proporção de sucata reciclada e tratada nos EUA em favor, devido aos aparentes benefícios de custo, de exportar para outros países, como a China, para tratamento. Verificou-se que o consumo de energia na reciclagem de sucata de cobre é muito menor do que o necessário para produzir cobre a partir do minério extraído, ao mesmo tempo em que é bastante dependente do teor da sucata tratada. Conclui-se assim que a reciclagem aprimorada de cobre a partir de materiais secundários, seguindo o modelo da economia circular é benéfica para os EUA, impulsionada por tecnologias modernas, além de incentivar políticas dos reguladores (MACKEY; CARDONA; REEMEYER, 2019).

No Canadá o modelo já foi implementado há anos, inclusive através de legislação. Especificamente Ontário tornou-se a primeira jurisdição nas Américas a promulgar uma lei abrangente de economia circular, a Lei de Recuperação de Recursos e Economia Circular de 2016. Anteriormente, o desvio de resíduos existia em Ontário sob a Lei de Desvio de Resíduos, um esquema administrado pelo governo que visava supervisionar o desvio de fluxos de resíduos alvo dos aterros. A WDA encarregou a Waste Diversion Ontario (WDO) de ser o regulador da indústria, e a província designou organizações financiadas pela indústria (“IFOs”) como prestadoras de serviços para coordenar as atividades de gestão de resíduos para suas respectivas indústrias. A falha sistêmica fatal dessa estrutura, no entanto, foi que esses dois corpos foram colocados entre os “Produtores” (ou seja, os fabricantes, primeiros importadores e proprietários de marcas) e a cadeia de suprimentos em fim de vida. O RRCEA permitirá que a província preserve e recupere recursos de forma mais eficaz, desvie materiais de aterros sanitários e reduza as emissões de gases de efeito estufa dos resíduos, com o objetivo geral de implementar uma “economia circular”. De acordo com o RRCEA, os Produtores serão a principal parte de recuperação de recursos, sendo o único responsável pelo cumprimento das obrigações ditadas pelo Ministério para a recuperação de recursos, com responsabilidades intransferíveis. Ao nomear o Produtor como o operador da cadeia de suprimentos de fim de vida (ou “reversa”) do produto, suas decisões quanto à composição, conteúdo e atributos de desconstrução de um produto agora são relevantes para o processo de gerenciamento de resíduos – dando origem a um mercado integrado de economia circular. O tratamento de plásticos no Canadá oferece uma visão interessante de como uma economia circular pode ser implementada. Além disso, para abordar esses requisitos e questões de responsabilidade, os Produtores estão procurando Organizações de Responsabilidade do Produtor como terceiros de gerenciamento de resíduos para ajudar a lidar com as novas e muitas vezes assustadoras obrigações. Para ajudar a implementar o RRCEA, Ontário identificou nada menos que 15 ações para ajudar a facilitar a transição suave para uma economia circular, com o interesse expresso de criar soluções escaláveis que possam ser produzidas em massa na América do Norte (COCKER; GRAHAM, 2020).

A Itália está localizada na parte sudoeste da Europa com uma população de cerca de 60,6 milhões de habitantes e um produto interno bruto de cerca de

1.934.798 milhões de dólares em 2017. O país opera no quadro legal mais amplo da legislação da União Europeia que é reconhecido internacionalmente como uma das abordagens mais avançadas nos setores de proteção ambiental, desenvolvimento sustentável e gestão de resíduos. Neste contexto surge o conceito de economia circular baseado no uso circular de recursos. Um setor importante em que o uso de recursos circulares foi implementado com sucesso desde 1991 foi o de gestão de resíduos. A Directiva 91/156/CEE (CONSELHO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 1991) introduziu formalmente no quadro legal da gestão de resíduos o conceito de hierarquia de gestão de resíduos estabelecendo os objetivos prioritários a perseguir com uma ordem hierárquica na gestão de resíduos: Prevenção, Reutilização, Reciclagem, Recuperação e Descarte. A mesma diretiva introduziu também o conceito de responsabilidade expandida do produtor que é outro pilar fundamental para melhorar a reciclagem de resíduos. Esses conceitos básicos ao longo dos anos foram atualizados e aprimorados na Itália. O suporte jurídico e econômico resultou em fatores-chave para uma implementação bem-sucedida da economia circular mesmo que seja necessário dimensionar essas atividades em cada mercado específico. Esforços de longo prazo que visaram a implementação do enquadramento legal no setor conduziram em cerca de 8 anos a uma redução da quantidade de resíduos eliminados em cerca de 33%. Os indicadores socioeconômicos mostraram que há uma diminuição geral dos resíduos gerados e que o paradigma entre o aumento do produto interno bruto (PIB) e os gastos das famílias e a geração de resíduos começa a ser virado. Diferentes resultados foram detectados para os resíduos gerados nos setores industrial e comercial. Portanto, Itália há muitos anos implementa mecanismos e o modelo de economia circular, dando destaque à gestão de resíduos (DI MARIA, 2020).

Diante dessa conjuntura, percebe-se que são diversos os novos riscos em interação entre sistemas, trazendo níveis de incertezas jamais enfrentados. E como reduzir essa exposição aos riscos? Assim, organizações voltadas ao futuro precisam desenvolver estratégias para eliminar ou minimizar os riscos, eliminando resíduos, desenvolvendo ainda empresas mais sustentáveis (WEETMAN, 2019). Fica evidente não só a discussão em nível global sobre a economia circular, mas principalmente a adoção do modelo por diversas nações.

É possível dizer o mesmo no cenário brasileiro ou da América Latina? Verificar-se-a na sequência em que medida tal discussão se faz presente no debate nacional.

3.3 A discussão nacional sobre a economia circular: vislumbrando um cenário não tão distante para a sustentabilidade e redução dos (nano)resíduos

As questões ambientais são temas amplamente discutidas em todos os setores econômicos e as ações para reduzir os impactos da degradação ao meio ambiente ainda são insuficientes, mas que, ao longo do tempo, vêm sendo difundidas maciçamente, sendo essa abordagem estendida às questões sociais relacionadas aos impactos gerados pelas empresas, inclusive no Brasil. Localizar no cenário nacional quais são as ações para a mudança nos padrões de produção e consumo atreladas à economia circular apresentam-se com a proposta de oposição ao modelo linear “extrair, transformar, descartar”, ainda fortemente utilizado na atualidade, e que depende de grandes quantidades de materiais. O Brasil apresenta avanços nesse sentido, constata Assunção (2019), verificadas por meio das ações que já estão sendo realizadas, tendo por base a pesquisa bibliográfica e documental através das publicações da Fundação Ellen MacArthur, o relatório da Comissão Europeia para o Desenvolvimento Sustentável e documentos de palestras realizadas no cenário nacional.

Afirmam Silva *et al.* (2021) que a economia circular tem sido objeto de atenção nos principais fóruns de governança global. Entretanto, na contramão do desenvolvimento global, o Brasil enfrenta desafios institucionais para incentivar a inclusão dos elementos circulares nos novos modelos de negócio. Aponta ainda que um dos principais desafios seria a formulação de instrumentos que podem servir como catalisadores da mudança produtiva e de consumo. No contexto brasileiro, as políticas públicas podem figurar como integradoras de sociedade, governo, academia e mercado, com o objetivo de proporcionar infraestrutura econômica, legal e social para a adoção de modelos circulares pela sociedade. Destaca a falta de conhecimento sobre o modelo circular, muito embora diversas empresas apliquem algum tipo de iniciativa circular:

No país ainda são poucas as empresas com iniciativas de sucesso na área de economia circular. Segundo pesquisa realizada pela Confederação

Nacional da Indústria – CNI no ano de 2019, cerca de 75% das empresas sediadas no Brasil adotam alguma iniciativa voltada para economia circular, entretanto, a maior parte não sabe que as iniciativas se enquadram nesse conceito, isso se explica porque cerca de 70% das pessoas entrevistadas nunca ouviram falar no termo economia circular (SILVA *et al.*, 2021, p. 953).

Em outro aspecto, percebe-se que movimento circular, dentro da sustentabilidade, abrange um processo de inovação, o qual deve ser voltado ao desenvolvimento de processos e produtos menos poluentes. Insere-se, nesse contexto, os princípios de ecodesign regulamentados pela Norma Internacional ISO 14006, de 2011, utilizada no Brasil, que define os critérios de produção com uso de matéria-prima e produção de produtos que gere menos impactos ao meio ambiente (ASSUNÇÃO, 2019). A Organización Internacional de Normalización (ISO), ISO 14006: Sistema de Gestão Ambiental (SGA) é a norma para “ecodesign”, que consiste em “[...] proporcionar diretrizes para ajudar as organizações estabelecer um enfoque sistêmico e estruturado para incorporar e implementar um processo de ecodesign dentro de um sistema de gestão ambiental” (ISO, 2011, p. 9). A proposta de ecodesign concentra-se também no controle da geração e destinação final de resíduos gerados na produção, culminando no reaproveitamento desses, seja na produção de energia ou como subprodutos. Apesar de o Brasil adotar algumas iniciativas, estas ainda se apresentam de forma inconsistente e constante (ASSUNÇÃO, 2019).

Karl, J. e Karl, A. (2022) fazendo um contraponto ao cenário brasileiro, explicam que a União Europeia, como já mencionado anteriormente neste estudo, está muito avante, apresentando ações sustentáveis a fim de mitigar os resíduos gerados no seu plano de ação. Com base em Ellen McArthur Foundation sinalizam a indicação do mapeamento de 54 ações, assim como quatro propostas legislativas sobre resíduos a serem cumpridas até 2030 e 2035, introduzindo novas obrigações, tais metas para aterro, reutilização e reciclagem. Assim, de um lado observa-se que a China e a União Europeia já aplicaram os princípios legislativos e/ou normativos da economia circular em suas políticas públicas, destacando esforços da União Europeia, centrados em medidas legislativas para fomentar o ecodesign, enquanto na China o foco é a produção limpa. Enquanto no Brasil é observado um movimento importante, mas incipiente.

No contexto brasileiro a economia circular deu seus primeiros passos com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/10

(BRASIL, 2010), que se constitui como um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações para o desenvolvimento da gestão e do gerenciamento de resíduos de forma integrada (ASSUNÇÃO, 2019). Essa integração visa a cooperação entre os governos federal, estaduais e municipais, o setor privado e a sociedade civil. Entre os princípios que fundamentam a PNRS estão: a visão sistêmica na gestão de resíduos sólidos que considere as variáveis social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública; o desenvolvimento sustentável, a ecoeficiência e o reconhecimento do resíduo como reutilizável ou reciclável e, ainda, a responsabilidade compartilhada (BRASIL, 2010). A ecoeficiência é apresentada na PNRS, e se fundamenta mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e reduzam o impacto ambiental e o consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta. A dimensão social da política pode ser entendida como o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania (BRASIL, 2010).

Ressalta-se a importância da logística reversa tratada no Artigo 33 da PNRS, que regulamenta o retorno das embalagens dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, sendo responsáveis por esse retorno os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos (ASSUNÇÃO, 2019).

A PNRS prevê, ainda, além da redução na geração de resíduos, a proposta de práticas de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010). Portanto, a partir da ventilada lei o Brasil iniciou um processo de transição, muito embora não tenha tido essa fundamentação de abordar a economia circular.

O grau de aderência das normas brasileiras de gestão de resíduos às ações para a economia circular foi determinado com base em sete indicadores identificados na dimensão “converter resíduos em um recurso”. Três deles estão relacionados à reciclagem, incluídos no padrão brasileiro de logística reversa, o que

demonstra que a legislação brasileira, ao especificar o aprofundamento da questão da gestão de resíduos, é bastante aderente ao conceito de economia circular. Após sete anos de promulgação desta lei federal no Brasil, aumentaram as pesquisas sobre o assunto (resíduos sólidos), mas o escopo desta norma ainda não foi efetivamente aplicado em todas as regiões do país, onde ainda há muito por fazer para garantir que a realidade local seja consistente com a legislação vigente (COSENZA; ANDRADE; ASSUNÇÃO, 2020).

Cosenza, Andrade e Assunção (2020, p. 25-26) concordam com a aderência da PNRS à economia circular no Brasil:

Verificou-se que o Brasil avançou na questão da gestão de resíduos, embora, como já apontado, lentamente, se analisado o impacto que os resíduos causam no meio ambiente, nas pessoas e também no campo econômico. Na prática, é possível identificar ações que estão sendo consolidadas, como no caso do acordo setorial para logística reversa e de iniciativas que abordam as propostas da PNRS para o uso e transformação de resíduos em energia, como no caso do biogás. Embora parcialmente aderente à economia circular, essa diretriz é apresentada como um processo importante para o fechamento do ciclo produtivo, uma vez que todos os resíduos serão reutilizados, mostrando que o país está no caminho certo para a economia circular e apresenta aspectos de similaridade com os fundamentos que regem esse conceito.

Assim, os avanços rumo à economia circular no Brasil foram apresentados no *Seminário FIRJAN Ação Ambiental*, realizado em 2016. Com o painel “Caminhos possíveis”, o SEBRAE apresentou ações que já estão sendo desenvolvidas para implementar a economia circular em indústrias fluminenses, com investimento em diversas cadeias produtivas, tais como: turismo, moda, economia criativa, alimentos, base tecnológica, construção civil, petróleo, naval e *off Shore* (energias limpas) (LAS HERAS, 2016).

Outras iniciativas como a da Companhia Energética de Minas Gerais S.A (CEMIG) e a do Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE) foram apresentadas no seminário internacional “Economia Circular e sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos urbanos”, que também aconteceu em 2016 no Rio de Janeiro (SANTOS, 2018).

Além da inclusão da temática de circularidade na agenda governamental, faz-se necessário internalizar na gestão pública brasileira mecanismos econômicos como instrumentos complementares à gestão ambiental de comando-controle. No Brasil, grande parte dos incentivos está associada à estrutura fiscal do governo

federal, ficando os governos estaduais com limitações no emprego de tais instrumentos (SILVA *et al.*, 2021).

Abordar como a utilização do modelo de economia circular vem ocorrendo mostra-se fundamental. Neste sentido, destaca-se o estudo de uma das mais importantes instituições precursoras da economia circular no mundo, Ellen MacArthur Foundation, que realizou pesquisa de campo em solo brasileiro. Tal documento é do estudo: *Uma Economia Circular no Brasil: Uma Abordagem Exploratória Inicial*, produzido com base na expertise coletiva dos membros da rede CE100 Brasil e da equipe de apoio da Ellen MacArthur Foundation. O estudo foi apresentado no 2º Workshop de Aceleração da rede CE100 Brasil, em São Paulo, em 25 de outubro de 2016. O trabalho oferecendo uma visão inicial de atividades de economia circular já existentes no Brasil, e identifica possíveis oportunidades de escalar estas atividades. O estudo trata de três setores importantes para a economia brasileira: agricultura e ativos da biodiversidade, edifícios e construção e equipamentos eletroeletrônicos (CE100 BRASIL; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

Um dos estudos de caso foi do Grupo Balbo, que apresentou agricultura regenerativa em larga escala na produção de cana-de-açúcar, que de maneira positiva implementaram a economia circular:

Essencialmente, os canaviais da Native, do Grupo Balbo, passaram de um modelo tradicional e linear para um modelo orgânico e regenerativo, que é altamente produtivo e lucrativo. A abordagem também gera várias externalidades positivas que fortalecem os sistemas naturais e passa a ser altamente conceituada no setor. A abordagem do Projeto Cana Verde exerceu, e continua a exercer, grande influência sobre toda a cadeia de suprimento de cana-de-açúcar no Brasil. O Grupo Balbo agora pretende aplicar essa biointeligência e a metodologia regenerativa a outras culturas em seus sistemas produtivos, além de influenciar outros produtores agrícolas em todo o mundo (CE100 BRASIL; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017, p .8).

Outro case de destaque é a Natura, com criação de uma economia regenerativa na Amazônia. Apresentando uma receita líquida consolidada de R\$ 7,9 bilhões em 2015, a Natura é amplamente reconhecida como uma das empresas de cosméticos mais inovadoras e sustentáveis do mundo. Com sede no Brasil, a Natura tem mais de 7.000 funcionários e é líder no mercado de venda direta, com 1,9 milhão de consultores no mundo. Em dezembro de 2014, a Natura se tornou a primeira empresa de capital aberto a obter a certificação B Corp³ um reflexo de sua

abordagem transparente e sustentável do desempenho social, ambiental e econômico. Tal projeto levou a:

Desenvolver cadeias produtivas sustentáveis em parceria com comunidades tradicionais da Amazônia. Trabalhar com 30 comunidades fornecedoras, o que, até o momento, já resultou no desenvolvimento de mais de 25 ingredientes naturais; Desenvolver novos processos e sistemas para proporcionar rastreabilidade em cadeias de produção e comércio justo para comunidades; Apoiar projetos sociais comunitários, como a instalação de micromoinhos para aumentar o valor agregado da produção das comunidades; Investir em sistemas de produção e manejo sustentável, como agricultura orgânica, sistemas agroflorestais e manejo de populações de flora e fauna locais para garantir sua viabilidade; Fomentar a inovação na oferta de produtos aos consumidores (CE100 BRASIL; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017, p.10).

No setor de edifícios e construção, a PRECON Engenharia conseguiu a redução de perdas estruturais na construção através da inovação circular, alcançando ainda uma redução de resíduos de 85% em relação à média do setor de construção brasileiro. A Tarkett é líder global em soluções inovadoras para pisos e superfícies esportivas, além de ser uma empresa que busca demonstrar formas positivas de resposta aos principais desafios de longo prazo que o mundo enfrenta atualmente, desde o envelhecimento e a urbanização da população, à escassez de recursos e mudanças climáticas. A fábrica é localizada em Jacareí, São Paulo, unidade que fabrica pisos vinílicos seguindo uma abordagem circular, e dentre os impactos positivos específicos- dando destaque aos materiais plásticos - incluem:

[...] 65% do cloreto de polivinila (PVC) utilizado é material reciclado (pós-consumo e pós-industrial), o que equivale a aproximadamente 100 toneladas por ano; todos os ftalatos, que são amplamente usados pelo setor de plásticos como plastificantes, foram substituídos por bioplastificantes derivados de óleos e alcoóis vegetais.

• Toda a sucata gerada no processo de fabricação é reciclada internamente. A Tarkett está lançando um programa de coleta de pisos pós-instalação e pós-consumo. O projeto inicialmente se concentrará em grandes clientes da região sul do Brasil, e a Tarkett assumirá os custos de transporte (CE100 BRASIL; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017, p. 12).

Importante ressaltar os impactos positivos gerados no impulsionamento ao mercado global, os quais se apresentaram desta forma:

Do ponto de vista da aplicação da estratégia em nível global, a incorporação da abordagem circular pela Tarkett também teve impacto significativo sobre suas operações internacionais. Alguns resultados globais: 80% da matéria-prima utilizada pela empresa foi avaliada conforme os princípios Cradle to Cradle®; 67% dos materiais usados não contribuem para a escassez de

recursos; 92% dos pisos da Tarkett (em m²) têm baixa emissão de compostos orgânicos voláteis; 9.900 toneladas de pisos pós-instalação e pós-consumo foram coletadas; 57% das unidades produtivas implementaram ciclos fechados de água (ou não usam água em seus processos) (CE100 BRASIL; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017, p. 13).

No cenário atual menciona-se o Sistema S como um dos grandes percussores no debate e compromisso em adotar posturas mais sustentáveis não apenas por questão de competitividade, mas por conta do futuro do Planeta Terra (SKAF *apud* BORGES, 2020). São promovidos estudos e exposições com o tema sustentabilidade além de prêmios que reconhecem e estimulam os esforços neste sentido. No caso da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de São Paulo (SENAI-SP), promovem apoio técnico às empresas na busca por eficiência na redução de emissão de gases e ainda no descarte de resíduos, aliado ainda à melhoria dos processos produtivos. Segundo a instituição, a construção da economia circular é colaborativa e envolve o esforço da sociedade como um todo, de modo que a Centro das Indústrias do Estado de São Paulo (CIESP), FIESP e SENAI-SP promoveram debate específico sobre as oportunidades e os desafios para implementar a Economia Circular na América Latina (SKAF *apud* BORGES, 2020).

Reforçam a importância da transição para a economia circular – discutida inclusive por fórum sul-americano –, diferenciando o modelo linear, ressaltando seus aspectos mais importantes, como sendo o modelo linear – aquele que começa pela extração da matéria-prima, passa por transformação e seu uso, e se encerra com o descarte de resíduos – está esgotado. De outro modo, a economia circular é alternativa para esse modelo, pois se inspira naquilo que sempre prevaleceu na natureza, em que nada se perde, tudo se transforma. Assim, dessa perspectiva, a escolha da matéria prima, o processo produtivo, as embalagens, o transporte, o reaproveitamento do que seria descarte, enfim, todo o ciclo é revisto para não apenas preservar o meio ambiente como também buscar regenerá-lo. Por entender a urgência disso, a FIESP e o SENAI-SP organizaram o Fórum Sul-americano de Economia Circular 2020, seção regional do World Circular Economy Forum (WCEF) (BORGES, 2020).

Percebe-se desta maneira que o país vem discutindo o enfrentamento para alcançar 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 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 (CEBDS, 2018).

Como veremos adiante, o modelo principal atrelado à sustentabilidade e minimização de resíduos (neste projeto delimitando aos nanoprodutos e resíduos) é o da economia circular, princípios e políticas estas que a Europa vem implementando em grande escala. Contudo, no próprio contexto brasileiro é possível observar números significativos de empresas que adotam esse modelo.

Na conjuntura brasileira, a pesquisa da CNI “[...] mostra que 76,4% das indústrias do país desenvolvem algum tipo de economia circular, modalidade que engloba ações que visam o aumento da vida útil de produtos e materiais a partir do uso mais eficiente de recursos naturais” (BOCCHINI, 2019). “Segundo o presidente da CNI, Robson Braga de Andrade, parte da indústria brasileira já tem adotado práticas como o reúso de água, a reciclagem de materiais e a logística reversa” (BOCCHINI, 2019).

De acordo com 75,9% dos entrevistados pela pesquisa, a razão para adotar a economia circular foi a redução de custos; já 47,3% disseram que foram motivados pela busca por maior eficiência operacional. Em seguida, aparece como razão a oportunidade de novos negócios (22,6%).

Segundo o estudo, 60% das indústrias entendem que as práticas de economia circular podem contribuir para a geração de empregos na própria empresa ou na cadeia produtiva do setor. No entanto, 73% consideram que a transição para a economia circular deve ser uma responsabilidade compartilhada entre governo, consumidores e iniciativa privada.

‘No Brasil, para que lógica circular se realize será necessário maior investimento em educação e inovação. Em um primeiro momento, as empresas terão de investir, mas, em uma etapa seguinte, será possível diminuir custos operacionais por meio de processos mais eficientes e voltados para o reaproveitamento de resíduos e utilização de bens reciclados’, disse o presidente do Conselho de Meio Ambiente e Sustentabilidade da CNI, Marcelo Thomé (BOCCHINI, 2019).

A CNI (2019) ressalta ainda a importância dessa transição em estudo específico sobre o tema lançado em 2019. O setor produtivo vem investindo em novos modelos de negócio, na utilização cíclica de produtos e materiais (sem formação de resíduos), e no redesenho de processos e produtos. Essas são atitudes típicas da economia circular, que favorecem a redução do desperdício e do consumo de matéria-prima, gerando ganhos ambientais e econômicos para o país. Para seguir avançando, a indústria vê a transição para a economia circular também como uma oportunidade de negócio. Esse modelo contribui para que o aumento da competitividade seja alcançado de forma sustentável, por meio do uso racional dos recursos naturais e do desenvolvimento de novas cadeias produtivas, com geração de emprego e renda. No entanto, ainda existem barreiras regulatórias e tecnológicas a serem superadas por intermédio de uma ação articulada entre os diversos setores da sociedade – governo, empresas, academia e consumidores. A economia circular precisa fazer parte da agenda nacional (CNI, 2019).

De acordo com a Revista *Época*, atentos a esse cenário, Messemberg diretora das relações institucionais da CNI, no Brasil, afirma que se percebe que a economia circular muda a forma de extrair matéria-prima, que se torna mais criteriosa e consciente – e estimula, inclusive, a reciclagem e o uso de resíduos como fonte de novos produtos e o desenvolvimento de formas de produzir utilizando menos água, por exemplo, e gerando uma menor quantidade de substâncias poluentes, tudo em contato com a comunidade do entorno. A nova economia também envolve o consumo consciente e o descarte adequado, de forma a completar o circuito de forma eficiente e produtiva (ECONOMIA..., 2019).

A economia circular consiste na criação de processos que permitam o reaproveitamento não só dos produtos, como dos insumos agregados à produção. É preciso acabar com o que chamamos de lixo, considerando todo material inserido em nossa sociedade como recurso útil e reutilizável (ECONOMIA..., 2019).

Mas no campo do Direito, de maneira objetiva, constata-se alguma outra legislação? Merece destaque a única iniciativa estatal que dispõe sobre a economia circular, atrelada à PNRS. Recentemente, o estado do Paraná estabeleceu, por meio da Lei nº 20.607, de 10 de junho de 2021, o seu Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Paraná (PERS/PR) (PARANÁ, 2021), o qual segue as diretrizes da PNRS (Lei nº 12.305/2010) (BRASIL, 2010). Além da gestão de resíduos, o PERS/

PR disciplina a logística reversa dentro do estado, impondo o plano de logística reversa de produtos pós-consumo nos procedimentos de licenciamento ambiental para obtenção da licença de operação e sua renovação (PARANÁ, 2021).

Faz-se assim a leitura da legislação, indicando a economia circular em seu inciso V:

Art. 7º São estratégias do PERS/PR:

[...];

IV – a promoção:

[...];

b) da adequada segregação, máximo aproveitamento e redução da quantidade de resíduos sólidos destinada a aterros sanitários;

c) da educação ambiental, considerando os princípios da não-geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos, e disposição ambientalmente adequada dos rejeitos;

[...];

V – a adoção, o fortalecimento e a expansão da logística reversa de resíduos pós-consumo e a economia circular [...] (PARANÁ, 2021).

Ao inserir as premissas de não geração, prevenção e a minimização da geração de resíduos sólidos, a PERS/PR abre espaço normativo para as práticas da economia circular, especialmente a inovação e o design do produto voltados à circularidade (KARL, J.; KARL, A., 2022).

Complementando a legislação, ganhando mais reforço ao movimento e consciência circular, recentemente a Assembleia Legislativa do Paraná apresentou no dia 27 de julho o Projeto de Lei nº 278/2022 (PARANÁ, [2022]),¹³ que visa instituir a Política Estadual de Economia Circular e o Selo de Produto Economicamente Circular. Possível extrair do documento forte influência de políticas europeias em especial francesas. Exemplo disso é o acréscimo de informação no produto (selo), apresentando ao cliente mais informações referentes a circularidade do produto. (SOUZA, 2022).

Portanto, destaca-se a proposta por ser a única iniciativa estatal que dispõe sobre a economia circular, estando um passo à frente pela ótica da regulamentação, uma vez que não há legislação em nível federal vinculante, conforme Karl, J. e Karl, A. (2022, p. 49) afirmam:

De modo geral, é de se elogiar as premissas sustentáveis do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do estado do Paraná e os princípios orientados à educação ambiental, considerando a ideia de não-geração de resíduos sólidos, caminhando em sintonia com a perspectiva internacional

¹³ Íntegra do Projeto de Lei nº 278/2022 em anexo.

de transição para uma economia circular. Todavia, não obstante a legislação do estado do Paraná ser um passo à frente na busca pela recepção normativa da economia circular, o Brasil ainda não possui uma legislação vinculante a nível federal que imponha ou conceda benefícios àqueles que incorporem princípios circulares em seus processos produtivos.

Vista essa iniciativa precursora, pode-se afirmar que a economia circular já é uma realidade no Brasil. Está presente também, por exemplo, no Centro de Reciclagem Nespresso, instalado na Grande São Paulo e que se dedica a reciclar as cápsulas de alumínio típicas do produto. A reciclagem, que teve início em 2011, tem investimentos da ordem de R\$ 5 milhões anuais e, atualmente, recebe 22% de todas as cápsulas comercializadas. A Nestlé disponibiliza carros elétricos para os clientes de São Paulo e do Rio de Janeiro entregarem suas cápsulas para reciclagem. E os clientes das duas cidades que compram produtos da linha residencial podem recebê-los em casa, das mãos de entregadores utilizando bicicletas (ECONOMIA..., 2019).

Muitas vezes, o negócio já nasce circular. É o caso da companhia brasileira CBPak, que produz copos, potes e bandejas a partir de fécula de mandioca. Quando descartados, eles seguem para um centro de compostagem e se tornam adubo. Afirma Claudio Bastos, fundador da CBPak, que a economia circular é um conceito ligado a três palavras-chave: educação, compromisso e respeito, e que agora está envolvido com a TOPO, uma empresa que desenvolve tubetes biodegradáveis para abrigar mudas de plantas. Em geral, os produtores usam tubetes de plástico, que são descartados depois que a muda se desenvolve. Esse novo produto abriga a muda e depois funciona como adubo (ECONOMIA..., 2019).

Esclarece a CNI sobre as medidas mais sustentáveis que impactam, especialmente, na gestão de resíduos, ressaltando sobre a PNRS seria um instrumento legal brasileiro que se associa aos princípios de circularidade. Por fim, alertam que tal transição demanda de políticas públicas até incentivos estatais (como a União Europeia fez em junho de 2020):

A transição do atual modelo econômico linear para o circular exige, principalmente, políticas públicas, linhas de financiamento e novos modelos de negócio. A indústria tem papel fundamental nessa transição ao inserir em seus processos o uso de matéria-prima secundária, tecnologias que reduzem gasto de energia, produtos com maior durabilidade e/ou facilidade de manutenção, ou seja, dando maior valor aos recursos utilizados e aos produtos. São desenvolvidas no mundo inteiro políticas públicas para promover a economia circular. Elas envolvem o estabelecimento de indicadores e metas para a redução de descartes, incentivos para a logística reversa e a reciclagem, estruturação de coleta seletiva e triagem de materiais etc. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

é a que está mais associada aos conceitos de circularidade, estimulando a redução da geração de resíduos, a logística reversa e a reciclagem, compartilhando as responsabilidades pela gestão e destinação de resíduos etc. Além da PNRS, temos mais políticas que contém preceitos da economia circular, como a Política Nacional Sobre Mudança do Clima e a Política Energética, entre outras (CNI, 2019, p. 13).

Almejando uma competitividade transnacional, a transição para a economia circular pode colocar o Brasil em melhores condições globais:

Esse novo modelo também posiciona o país em condições de ampliar sua base de negócios no exterior. A transição para a economia circular permitirá que a indústria brasileira esteja à frente das legislações e das normas nacionais e internacionais, colaborando para a construção de políticas públicas facilitadoras às mudanças sistêmicas (ECONOMIA..., 2019).

Silva *et al.* (2021) explicam que as políticas públicas são essenciais para o seu desenvolvimento, e o Brasil não possui políticas públicas ou legislação específica para a promoção da economia circular, salvo a mais recente do Paraná, apresentada anteriormente (PARANÁ, 2022). As iniciativas incipientes são promovidas por ONG's ou empresas privadas com projetos realizados de formas isoladas. Portanto, é necessário o fortalecimento das capacidades das organizações na sociedade civil e de pequenos municípios e disseminação do pensamento circular.

Contudo, apesar de movimentos estarem sendo impulsionados no Brasil, seguindo o exemplo muito mais avançado em nível global, apresentam-se diversos entraves a serem observados. A implementação da economia circular apresenta algumas barreiras no processo de transição, entre as quais os autores citam: financeira, operacional, estrutural, atitudinal e tecnológica. Nas análises apresentadas, os autores identificaram que possível identificar as barreiras que estão relacionadas à falta ou ao pouco conhecimento da economia circular e à aversão a riscos por parte das empresas. No nível estrutural foram identificadas questões relacionadas às responsabilidades e atribuições de tarefas. A tecnológica foi vista como responsável por grandes transformações, o que consequentemente implica em reorganização dos processos de gestão e produção. No entanto, são barreiras que se constituem como desafios por não ser uma questão de escolha entre mudar ou não para adoção de processos produtivos eficientes e ambientalmente sustentáveis. É uma questão de necessidade imposta pelas condições atuais dos problemas ambientais (ASSUNÇÃO, 2019). Pontualmente

algumas barreiras a serem superadas e que se constituem como desafios estão relacionados aos seguintes aspectos: a) insuficiência na separação dos resíduos na fonte; b) pouca aceitação dos produtos reciclados por consumidores e empresas; falta de investimentos e incentivos políticos e dispersão geográfica para empresas do mesmo ciclo.

Por fim, Assunção (2019, p. 7) destaca:

Entretanto, a superação desses desafios envolve um conjunto de ações que desenvolvam uma conscientização da necessidade de mudanças para uma economia ecológica de forma sistêmica. Isso implica em fortalecer as políticas ambientais, mais especificamente a PNRS. O incentivo à superação dos desafios, como a insuficiência na separação dos resíduos e pouca aceitação dos produtos reciclados, deve ser guiado por ações de educação ambiental em todos os níveis.

No mesmo viés Silva *et al.* (2021) reforçam que o caminho é árduo, principalmente se comparar com nações pertencentes à OECD (abordado anteriormente). Destaca também o papel da sociedade civil para cobrar das autoridades iniciativas públicas:

Ainda há muito por fazer na utilização de instrumentos econômicos para a gestão ambiental, especialmente ao se comparar a experiência brasileira com a de países desenvolvidos, particularmente aqueles que se encontram no âmbito da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Um dos obstáculos a serem superados na formulação destes instrumentos é o de diminuir a distância que ainda separa as autoridades econômicas e fiscais brasileiras dos gestores ambientais. A sociedade civil organizada no Brasil desempenha um papel fundamental na discussão sobre desenvolvimento sustentável, principalmente através da participação nas políticas ambientais e por pressão junto aos órgãos responsáveis (SILVA *et al.*, 2021, p. 958).

Apesar de um movimento existente no cenário brasileiro, mostra-se incipiente, com diversos entraves e dificuldades. Entretanto,

[...] o País mostra sinais de que essa realidade é possível, mas desafiadora. Os desafios podem ser entendidos pela necessidade de mudança nos processos produtivos, isso implica ampliar o uso da tecnologia, o que vai exigir investimentos em pesquisa visando encontrar alternativas sustentáveis rumo à economia circular. Outro desafio é a conscientização para o consumo consciente, o qual exige que as empresas invistam em formas de chamar as pessoas para essa realidade. Em um ambiente altamente consumista, esse pode ser um desafio crucial (ASSUNÇÃO, 2019, p. 230).

Contudo, ao considerar a economia circular balizada pelos princípios que regem o desenvolvimento sustentável, tem-se que a realidade atual das questões socioambientais direciona para o entendimento da necessidade de ações que visem a implementação e o fortalecimento de uma economia ecológica, centrada em processos produtivos que objetivem integrar os ciclos biológicos e técnicos. Com as propostas do conjunto de ações de economia circular para os três importantes setores da economia brasileira, agricultura e ativos da biodiversidade, edifícios e construção e equipamentos eletroeletrônicos, o Brasil dá seus primeiros passos nessa direção, tendo um importante instrumento normativo e regulatório, a PNRS; ainda assim, é importante empreender esforços para o fortalecimento da política e sua efetividade (ASSUNÇÃO, 2019).

O contexto que se apresenta evidência que é premente que o País necessita incentivar a ampliação de ações voltadas ao uso mais eficiente dos recursos. No cenário que se desdobra, o papel das políticas públicas, enquanto instrumento para fomento, financiamento e participação popular, é de suma importância para que mudanças efetivas tornem-se possíveis, apresentando um papel impulsionador e viabilizador do cumprimento de agendas globais, proporcionando recursos e infraestrutura necessárias às transformações, tanto da sociedade quanto da economia (SILVA *et al.*, 2021).

Na mesma senda, Karl, J. e Karl, A. (2022) concluem que no cenário brasileiro foi identificado um grande potencial, mas há uma falha em sua regulamentação normativa. Contudo, deve-se observar e elogiar a PNRS, mas não há, atualmente, uma norma jurídica impositiva para a transição de um modelo linear para um modelo circular de produção, mas de outro modo percebe-se como meios de incentivo à institucionalização da economia circular no Brasil as certificações, órgãos de controle, barreiras comerciais e as próprias exigências do mercado externo. No Brasil, quando se busca artigos científicos para embasamento da economia circular, estes se limitam à PNRS e não abordaram práticas legislativas da economia circular, analisando os desafios da institucionalização da economia circular.

Com o intuito de fomentar a economia circular, possível notar que a necessidade de implementação de uma série de práticas, tais como a melhoria da reutilização e reciclagem dos resíduos, as quais são apenas atividades de transição dos modelos de negócio (KARL, J.; KARL, A., 2022). Para ajudar na evolução dessa

implementação, deve-se ainda analisar e aperfeiçoar todas as etapas do ciclo de vida dos produtos, desde o projeto, produção, uso e reutilização, reduzindo materiais primários e influenciando o consumo global ao realizar que a utilização de um produto ou serviço seja uma prática ecologicamente superior à obtenção e manutenção (KARL, J.; KARL, A., 2022).

Percebe-se que o fomento às práticas circulares deve ser incentivado, não somente na esfera federal, mas no âmbito de cada estado, dadas as peculiaridades em relação aos recursos naturais e bioma brasileiros, assim como os encargos tributários e fiscais (KARL, J.; KARL, A., 2022). O estado do Paraná, como visto, se destaca entre os demais da federação brasileira por ter sido o primeiro a incorporar a expressão “economia circular” no âmbito legislativo, inclusive disciplinando o princípio da não-geração de resíduos e a educação ambiental a partir das premissas da economia circular.

3.4 Fundamentando a (nano)sustentabilidade e disposições da Organização das Nações Unidas: objetivos sustentáveis do milênio (ODS 9 e 12) como base para gestão (e redução) do *nanowaste* através da economia circular

A fim de buscar embasamento para a gestão do *nanowaste* através da economia circular, importante que se apresente e vincule às iniciativas das Nações Unidas, em especial os objetivos de desenvolvimento sustentáveis do Milênio (Agenda 2030), dos quais os que mais tem aderência à tese seriam os ODS 9 e 12.

Pois então, e o que são os 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável? Em setembro de 2015, 193 países da Cúpula das Nações Unidas adotaram o que ficou mundialmente conhecido como a *Agenda 2030*, um plano de ação com 17 objetivos globais, os ODS envolvendo diversos temas, como sustentabilidade, educação e direitos humanos – para serem desenvolvidos ao longo de 15 anos, para erradicar a pobreza, promover a paz e igualdade, alavancar o crescimento inclusivo e proteger o meio ambiente (BRASIL, 2016; UNITED NATIONS, 2017).

Os ODS e metas são integrados e indivisíveis, globais por natureza e universalmente aplicáveis, levando em conta as diferentes realidades, capacidades e níveis de desenvolvimento nacionais e respeitando as políticas e prioridades nacionais. As metas são definidas como ideais e globais, com cada governo definindo suas próprias metas nacionais, guiados pelo nível global de ambição, mas levando em conta

as circunstâncias nacionais. Cada governo também vai decidir como essas metas ideais e globais devem ser incorporadas aos processos, nas políticas e estratégias nacionais de planejamento (BRASIL, 2016; UNITED NATIONS, 2017).

Os 17 ODS da Agenda 2030 são:

Objetivo 1. Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares

Objetivo 2. Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável

Objetivo 3. Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades

Objetivo 4. Assegurar a educação inclusiva e equitativa de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos

Objetivo 5. Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas

Objetivo 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e o saneamento para todos

Objetivo 7. Assegurar a todos o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia

Objetivo 8. Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos

Objetivo 9. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação

Objetivo 10. Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles

Objetivo 11. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis

Objetivo 12. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis

Objetivo 13. Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e os seus impactos

Objetivo 14. Conservar e usar sustentavelmente os oceanos, os mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável

Objetivo 15. Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade

Objetivo 16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis.

Objetivo 17. Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável (NAÇÕES UNIDAS, 2015, p. 18-19, grifo nosso).

De uma forma visual também é possível identificar a divulgação dos ODS pela ONU, a partir da Figura 71 a seguir apresentada:

Figura 71 - Apresentação geral dos ODS



Fonte: Business Council For Sustainable Development (BCSD) (c2022).

Os ODS se baseiam em décadas de trabalho dos países e da ONU, incluindo o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais da ONU. Para melhor entender todo trabalho desenvolvido há anos, vejamos o lapso temporal de desenvolvimento:

Em junho de 1992, na Cúpula da Terra no Rio de Janeiro, Brasil, mais de 178 países adotaram a Agenda 21, um plano de ação abrangente para construir uma parceria global para o desenvolvimento sustentável para melhorar a vida humana e proteger o meio ambiente. Os Estados Membros adotaram por unanimidade a Declaração do Milênio na Cúpula do Milênio em setembro de 2000 na sede da ONU em Nova York. A Cúpula levou à elaboração de oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) para reduzir a pobreza extrema até 2015. A Declaração de Joanesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável e Plano de Implementação, adotada na Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável na África do Sul em 2002, reafirmou os compromissos da comunidade global com a erradicação da pobreza e o meio ambiente, e baseou-se na Agenda 21 e na Declaração do Milênio, incluindo mais ênfase em parcerias multilaterais. Na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20) no Rio de Janeiro, Brasil, em junho de 2012, os Estados Membros adotaram o documento final 'O Futuro que Queremos', no qual decidiram lançar um processo para desenvolver um conjunto de ODS para construir sobre os ODM e estabelecer o Fórum Político de Alto Nível da ONU sobre Desenvolvimento Sustentável. O resultado da Rio +20 também continha outras medidas para implementar o desenvolvimento sustentável, incluindo mandatos para futuros programas de trabalho em financiamento do desenvolvimento, pequenos estados insulares em desenvolvimento e muito mais. Em 2013, a Assembleia Geral criou um Grupo de Trabalho Aberto de 30 membros para desenvolver uma proposta sobre os ODS. Em janeiro de 2015, a Assembleia Geral iniciou o processo de negociação da agenda de desenvolvimento pós-2015. O processo culminou na adoção subsequente da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, com 17 ODS em seu núcleo, na Cúpula de Desenvolvimento Sustentável da ONU em setembro de 2015. 2015 foi um ano marcante para o multilateralismo e a formulação

de políticas internacionais, com a adoção de vários acordos importantes: Estrutura de Sendai para Redução de Risco de Desastres (março de 2015); Agenda de Ação de Adis Abeba sobre Financiamento para o Desenvolvimento (julho de 2015); Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável com seus 17 ODS foi adotada na Cúpula de Desenvolvimento Sustentável da ONU em Nova York em setembro de 2015; Acordo de Paris sobre Mudanças Climáticas (dezembro de 2015). Agora, o Fórum Político de Alto Nível anual sobre Desenvolvimento Sustentável serve como plataforma central da ONU para o acompanhamento e revisão dos ODS (UNITED NATIONS, 2017).

A Agenda 2030 é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade, que busca fortalecer a paz universal com mais liberdade, reconhecendo 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. Governos, organizações internacionais, setor empresarial e outros atores não estatais e indivíduos devem contribuir para a mudança de consumo e produção não sustentáveis, inclusive via mobilização, de todas as fontes, de assistência financeira e técnica para fortalecer as capacidades científicas, tecnológicas e de inovação dos países em desenvolvimento para avançar rumo a padrões mais sustentáveis de consumo e produção (NAÇÕES UNIDAS, 2015). A partir desses planos de ações e princípios, é possível vincular a Agenda 2030 e os ODS como fundamentação para a transição do desenvolvimento nanotecnológico para a economia circular, atrelado ainda à rastreabilidade dos produtos, perfazendo a gestão do risco e minimização do *nanowaste*.

Após sua implementação houve uma aderência muito grande dos países, os quais passaram a de fato adotar medidas sustentáveis para atingir os objetivos da ONU:

Desde a adoção da Política dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, houve muitos desenvolvimentos positivos. Os países começaram a incorporar os Objetivos em planos e estratégias nacionais, e muitos estabeleceram estruturas de coordenação para uma implementação coerente. Das 110 revisões nacionais voluntárias submetidas durante as sessões de 2016, 2017 e 2018 do alto nível fórum político, 35 mencionaram medidas explícitas para vincular os Objetivos aos seus orçamentos nacionais ou estavam considerando tal ação. Também houve iniciativas voltadas na salvaguarda do ambiente, nomeadamente no que respeita mudanças climáticas, uso da terra e oceanos. e importante partes do setor privado começaram a se afastar de modelos de negócios como sempre, por exemplo, por adotar e relatar padrões de sustentabilidade. Enquanto isso, a mobilização da sociedade civil e de organizações não-governamentais em prol do desenvolvimento sustentável desenvolvimento está aumentando (UNITED NATIONS, 2019, p. 20).

Inclusive o *report* mais atual da ONU, de julho de 2022, acabou contribuindo com as constatações do avanço de implementação de ações sustentáveis no período da pandemia do COVID-19:

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são nossos modelos para pessoas, planeta e prosperidade até 2030, bem como um símbolo das aspirações de pessoas em todo o mundo para um futuro melhor. O Relatório de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2022 rastreia progresso para alcançar os ODS em nível global e regional. Os números globais e regionais apresentados no relatório representam a vida de milhões de pessoas. Mas atrás desses números agregados são histórias da vida real de pessoas que estão lutando para sair da pobreza, lutando contra os efeitos das mudanças climáticas em suas vidas diárias e lidar com os impactos da COVID-19, entre outros desafios. Atingindo os ODS significa colocá-los em primeiro lugar e transformar palavras em ação no local comunidades em todo o mundo (UNITED NATION, 2022).

Desta forma, os ODS definem as prioridades e aspirações de desenvolvimento sustentável global para 2030, e buscam mobilizar os esforços globais ao redor de uma série comum de objetivos e metas. Os ODS exigem uma ação mundial entre os governos, as organizações e a sociedade civil para acabar com a pobreza e criar uma vida com dignidade e oportunidades para todos considerando os limites do planeta (HOHENDORFF, 2018).

Diferentemente dos seus antecessores, os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, os ODS explicitamente convocam todas as organizações a utilizar sua criatividade e inovação para resolver os desafios de desenvolvimento sustentável. Podem ser compreendidos como uma oportunidade para que as soluções e tecnologias empresariais sejam desenvolvidas e implementadas para tratar dos maiores desafios mundiais de desenvolvimento sustentável. Na medida em que os ODS formam a agenda global para o desenvolvimento da sociedade, eles permitirão que as organizações líderes demonstrem como os seus negócios ajudam no avanço do desenvolvimento sustentável, tanto minimizando os impactos negativos quanto maximizando os impactos positivos nas pessoas e no planeta (GLOBAL REPORTING INITIATIVE (GRI); UNITED NATIONS GLOBAL COMPACT; WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD), 2016).

Faltam pouco mais de 7 anos para alcançar a meta da Agenda 2030, mas nenhum país ainda é convincentemente capaz de cumprir um conjunto de necessidades humanas básicas em um ambiente globalmente sustentável no nível de uso de recursos. Todos estão distantes em graus variados do objetivo

abrangente de equilibrar o bem-estar humano com um ambiente saudável. Cada país deve responder às suas próprias condições e prioridades, enquanto rompendo com as práticas atuais de crescer primeiro e limpar depois. A transformação universal rumo ao desenvolvimento sustentável na próxima década depende da realização simultânea de caminhos inovadores específicos de cada país (UNITED NATION, 2022).

Destaca-se ainda o próprio papel das tecnologias aliadas à ciência para atingir os objetivos da Agenda 2030:

Para o bem ou para o mal, a ciência e a tecnologia são poderosos agentes de mudança, dependendo de como eles são dirigidos. Guiados pela Agenda 2030, aumentaram a cooperação ciência-política-sociedade pode aproveitar avanços em nossa compreensão do acoplamento sistemas homem-ambiente e a formação de caminhos inovadores para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. O fato de um grande número de países estarem agora incorporando ciência, tecnologia e inovação em sua agenda de desenvolvimento nacional é um sinal promissor (UNITED NATIONS, 2022, p. 31).

Explica Hohendorff (2018) que embora os atores globais na indústria avancem de forma acelerada para aproveitar as novas oportunidades e perspectivas oferecidas pelas nanotecnologias, mostra-se essencial que tais desenvolvimentos ocorram de forma segura e sustentável cumprindo com os objetivos do ODS.

Como exemplo de caso prático, na Suíça, governos e as administrações desenvolveram ao longo das últimas décadas arranjos diferenciados de governança de sustentabilidade que agora são confrontados com os novos desafios que a implementação dos ODS impõe. Abordando a análise de implementação no contexto da atual pandemia de COVID-19, constata-se a exploração das potencialidades e as contradições na implementação do ODS 11 (“cidades e comunidades sustentáveis”) que resultam das múltiplas tarefas, atores envolvidos e complexidade das transformações da sustentabilidade. Argumenta-se que as ações de sustentabilidade estão inseridas em interações complexas entre atores públicos e privados, e em diferentes níveis de governança. Uma abordagem de governança multinível é, portanto, necessária, reconhecendo a interconectividade dos setores, o que implica potencialidades e limitações para governar e implementar o Agenda 2030 em nível local (WEILAND *et al.*, 2021).

Dos 17 ODS o de número 9 e 12 são mais diretamente relacionados ao tema desta tese. As nanotecnologias podem fazer parte de vários deles, mas o número 9

que versa sobre indústria, inovação e infraestrutura e o número 12 que trata de consumo e produção responsáveis são diretamente relacionados com a ideia de nano, responsabilidade e sustentabilidade (HOHENDORFF, 2018).

A ideia é que, até 2030, seja possível modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente corretos; com todos os países atuando de acordo com suas respectivas capacidades (HOHENDORFF, 2018). E aqui se percebe uma excelente oportunidade para implementação da economia circular aos nanoprodutos, em especial vinculando-os a rastreabilidade (que posteriormente será abordada), preocupando-se desta maneira desde o desenvolvimento do produto até o destinatário final.

Quanto ao objetivo número 12, que trata de assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis, se verifica que também se acopla no modelo circular e de rastreabilidade, eis que através dele todo o ciclo de vida dos produtos com nanotecnologia será monitorado, de forma a ser o mais sustentável possível, influenciando os padrões de produção¹⁴ e as escolhas do mercado consumidor.

Nesse sentido espera-se que até 2030, seja possível reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso. A ideia é incentivar as organizações, especialmente as empresas grandes e transnacionais, a adotar práticas sustentáveis e a integrar informações de sustentabilidade em seu ciclo de relatórios (BRASIL, 2016). Este padrão está em consonância ao modelo da economia circular, aliando ainda a rastreabilidade.

Conforme explicado anteriormente, o ODS 9 é essencial para fundamentação desta tese. Através desse objetivo é possível promover o desenvolvimento das nanotecnologias de forma sustentável, no sentido de idealizar desde sua produção (do berço ao túmulo) até o uso uma forma de aumentar seu ciclo de vida, buscando reinseri-lo na sociedade, minimizando o descarte e redução de resíduos. Além disso, com a rastreabilidade, viabiliza-se um controle maior do destino desse *nanowaste*,

¹⁴ Cabe lembrar da lição de Freitas (2012, p. 52, grifo nosso): “Sustentabilidade é o princípio constitucional que determina, com eficácia direta e imediata, a responsabilidade do Estado e da sociedade pela concretização solidária do desenvolvimento material e imaterial, socialmente inclusivo, durável e equânime, ambientalmente *limpo, inovador*, ético e eficiente, no intuito de assegurar, preferencialmente de modo preventivo e precavido, no presente e no futuro, o direito ao bem-estar”.

efetivando de forma responsável a gestão do risco. Portanto, esta é a essência do ODS 9, segundo a ONU:

Objetivo 9. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação

9.1 Desenvolver infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e resiliente, incluindo infraestrutura regional e transfronteiriça, para apoiar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano, com foco no acesso equitativo e a preços acessíveis para todos

9.2 Promover a industrialização inclusiva e sustentável e, até 2030, aumentar significativamente a participação da indústria no setor de emprego e no PIB, de acordo com as circunstâncias nacionais, e dobrar sua participação nos países menos desenvolvidos

9.3 Aumentar o acesso das pequenas indústrias e outras empresas, particularmente em países em desenvolvimento, aos serviços financeiros, incluindo crédito acessível e sua integração em cadeias de valor e mercados

9.4 Até 2030, modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente corretos; com todos os países atuando de acordo com suas respectivas capacidades (NAÇÕES UNIDAS, 2015, p. 28).

Além disso, tem por finalidade fortalecer a pesquisa científica, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais em todos os países, particularmente os países em desenvolvimento, inclusive, até 2030, incentivando a inovação e aumentando substancialmente o número de trabalhadores de pesquisa e desenvolvimento por milhão de pessoas e os gastos público e privado em pesquisa e desenvolvimento. Também busca a facilitação do desenvolvimento de infraestrutura sustentável e resiliente em países em desenvolvimento, por meio de maior apoio financeiro, tecnológico e técnico aos países africanos, aos países menos desenvolvidos, aos países em desenvolvimento sem litoral e aos pequenos Estados insulares em desenvolvimento. Apoiar o desenvolvimento tecnológico está no objetivo, bem como apoiar a pesquisa e a inovação nacionais nos países em desenvolvimento, inclusive garantindo um ambiente político propício para, entre outras coisas, a diversificação industrial e a agregação de valor às commodities. Por fim, aumentar significativamente o acesso às tecnologias de informação e comunicação e se empenhar para oferecer acesso universal e a preços acessíveis à internet nos países menos desenvolvidos, com prazo até 2020 (NAÇÕES UNIDAS, 2015).

Ganha importância o conceito ou percepção acerca da própria sustentabilidade. Para essa pesquisa, o conceito de desenvolvimento sustentável nesta pesquisa é uma tentativa de integrar o desenvolvimento econômico com

considerações ambientais e sociais que podem contribuir para aumentar a produtividade sem diminuir os recursos naturais utilizados na o processo e reduzindo os efeitos negativos que caracterizaram o setor das nanotecnologias. A incapacidade do sistema avaliar o impacto das tecnologias emergentes, como a biotecnologia e a nanotecnologia, aumentou as críticas de cientistas sociais e organizações sociais a respeito dos reais benefícios que essas tecnologias têm contribuído positivamente para o sistema, com uma constante ausência de capacidade para estimar e reduzir os riscos associados à utilização de novas tecnologias (CORTES-LOBOS, 2013).

O objetivo 9 dispõe sobre construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação. Quanto a este, pode-se mencionar que as tecnologias ambientalmente adequadas protegem o meio ambiente, são menos poluentes, usam todos os recursos de forma mais sustentável, reciclam uma maior parte de seus resíduos e produtos e gerem seus resíduos de forma mais aceitável (HOHENDORF, 2018).

Mostra-se essencial a utilização positiva do meio ambiente e seus recursos no processo de desenvolvimento vislumbrando garantir a sustentabilidade da inovação tecnológica e industrial do país. Essa perspectiva valoriza os recursos que ainda não haviam sido incorporados à atividade econômica (NAÇÕES UNIDAS, 2016).

Interessante trazer a mandala do ODS número 9, apresentada na Figura 72, a qual traz diferentes desenhos, representando as diferentes áreas do conhecimento envolvidas neste objetivo, como a química, a biologia, as comunicações, a física, engenharias, geometria, logística, entre outras. Importante visualizar também, na parte inferior direita da mandala uma imagem de duas mãos unidas, representando a necessidade de trabalho coletivo, possibilitando, apenas assim, a concretização deste e dos demais ODS da Agenda 2030 (HOHENDORFF, 2018). O foco desta tese é aliar o desenvolvimento nanotecnológico à sustentabilidade, através do modelo circular, e acoplar ainda a rastreabilidade a fim de efetivar a real gestão do risco. Tudo isto pensando na atual e futuras gerações, do Princípio Responsabilidade (JONAS, 2006):

Figura 72 - Mandala representativa do ODS 9

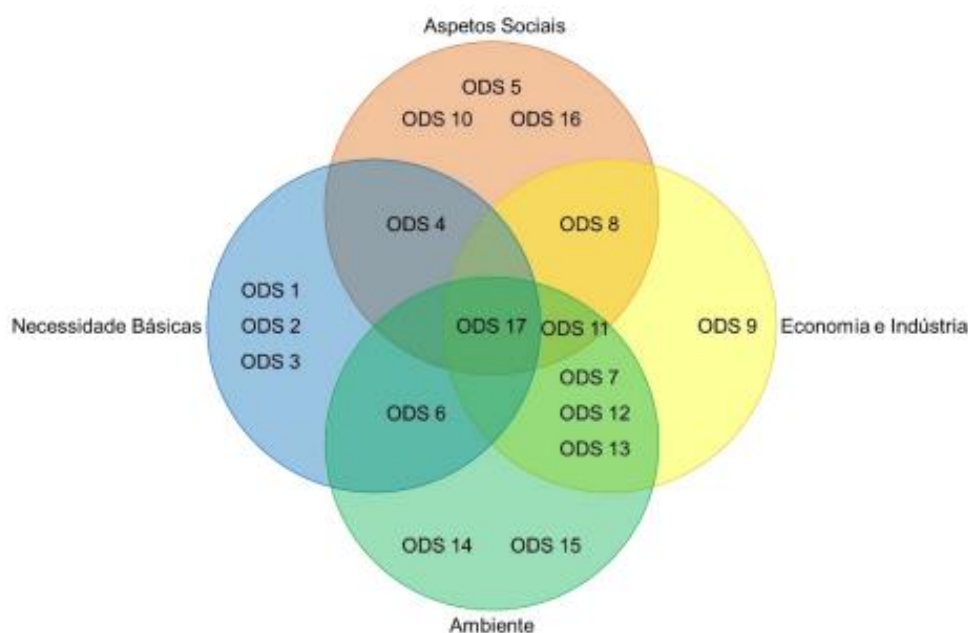


Fonte: Nações Unidas (2016, p. 1).

Haverá um grupo de trabalho sobre o tema política ambiental, gestão de risco e comunicação e, dentro dele alguns trabalhos podem ser destacados, como por exemplo, *Nanomaterial Risk From Research to Management: a Concerted Action Among Academia, Research, Industry and Policy Makers Towards a Global Approach*, que trata da abordagem dos riscos dos nanomateriais e da necessária ação coordenada entre academia, pesquisa, indústria e decisores políticos para uma abordagem global, a qual iria dialogar bem com os fundamentos do ODS 09, acima representado pela mandala. Neste sentido, Scalbi *et al.* (2018) expõem que um dos desafios significativos para assegurar a produção e o uso sustentáveis da nanotecnologia e dos nanomateriais de engenharia é implementar estratégias práticas para gerenciar os riscos associados. Diante do exposto, o debate e mitigação dos riscos nanotecnológicos estão ligados ao ODS 9, de modo que a implementação de ações circulares permitirá p desenvolvimento mais sustentável e seguro.

Interessante vincular cada ODS a área que acaba impactando, conforme diagrama apresentado abaixo (Figura 73), sendo que os abordados na tese, ODS 9 e 12, possuem aderência tanto na parte da indústria, economia, bem como no meio ambiente:

Figura 73 - Intersecções das ODS'S



Fonte: Marques (2019, p. 18).

Analisando especificamente o ODS 12, Marques explica que cada vez existem mais pessoas a se juntarem à classe média, e conseqüentemente, esta prosperidade irá aumentar a procura de recursos naturais. Caso os padrões de consumo e produção de recursos naturais estagnem no que existe atualmente, vão traduzir-se em danos irreversíveis ao meio ambiente. Um exemplo claro de desperdício, é o fato de um terço de todos os alimentos produzidos anualmente (o equivalente a 1,3 mil milhões de toneladas) acabarem por se deteriorar tornando-se impróprios para consumo, devido a maus serviços de transporte e práticas de produção. No que toca ao consumidor final, a elevada procura de energia e água potável, origina graves problemas de poluição. Neste momento a população polui mais água do que a capacidade de regeneração e purificação natural, resultando, portanto, na sua escassez. É neste contexto que surge a economia e design circulares (conforme Figura 74). Através da recirculação de produtos, em vez de descartá-los, é possível reter mais valor acrescentado por produto, minimizando

assim a geração de resíduos, promovendo a redução de emissões para o meio ambiente (MARQUES, 2019).

Figura 74 - ODS 12 e economia circular



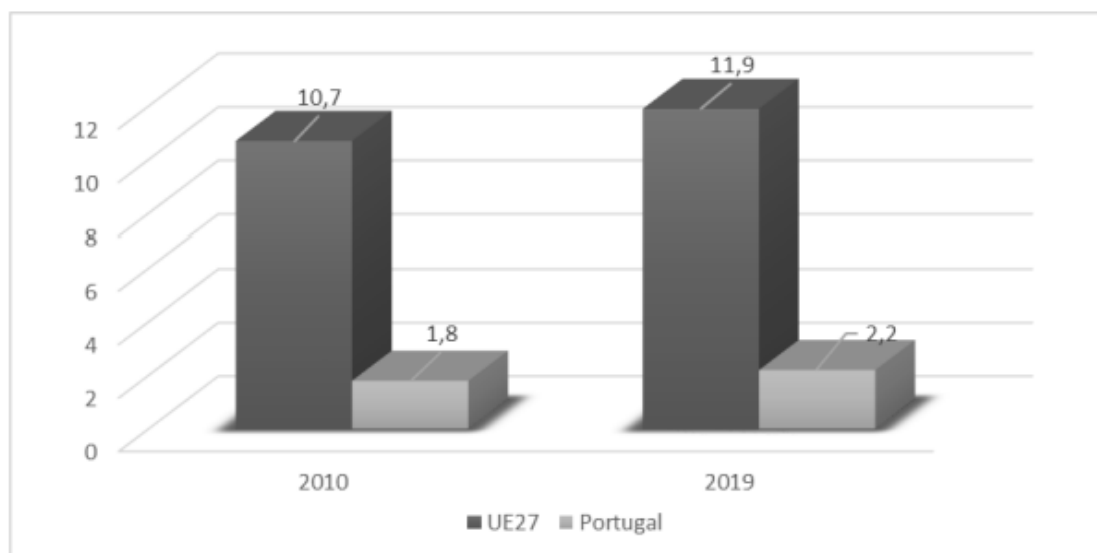
Fonte: Marques (2019, p. 27).

Os produtos são elementos chave de uma economia, já que satisfazem as necessidades da sociedade e contribuem para a identidade do indivíduo. Como tal, de modo que implementar uma economia circular é fundamental recriar e redesenhar estes produtos de modo a aumentar a sua vida útil, a sua reparabilidade, reciclabilidade e a proporção de elementos reciclados na sua composição. Desta forma, pode-se melhorar substancialmente a sustentabilidade de uma economia (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA); GILLABEL; DE SCHOENMAKERE, 2017).

Vinculado ao contexto do ODS 12, Pereira (2021) traz o cenário em Portugal, explicando que a reciclagem e reutilização de materiais constituem um elemento fundamental para a proteção do ambiente e preservação dos recursos, e este ODS e as suas metas estão diretamente relacionadas e dependentes da implementação de sistemas da economia circular. Apresenta ainda indicadores nas taxas de utilização de material circular, que dá a proporção de materiais reciclados incorporados nos novos produtos no Gráfico 8 abaixo. Portugal, com uma taxa de 2.2% (2019) de

incorporação de material reciclado nos novos produtos, encontra-se muito abaixo da média europeia (com uma taxa de 11.9%). Apresenta, contudo, uma ligeira tendência de subida no indicador:

Gráfico 8 - Utilização de material circular



Fonte: Pereira (2021, p. 115).

A ONU, em sua mais recente publicação, *Bringing Data to Life: SDG human impact stories from across the globe* (UNITED NATIONS INFORMATION CENTRES (UNICs) (2022) acerca das aplicabilidades dos objetivos e metas da Agenda 2030.

O *Relatório de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2022* rastreia progresso para alcançar os ODS em nível global e regional. Os números globais e regionais apresentados no relatório representam a vida de milhões de pessoas, mas atrás desses números agregados são histórias da vida real de pessoas que estão lutando para sair da pobreza, lutando contra os efeitos das mudanças climáticas em suas vidas diárias e lidar com os impactos da COVID-19, entre outros desafios. Atingir os ODS significa colocá-los em primeiro lugar e transformar palavras em ação no local comunidades em todo o mundo. Através do *report* mostram-se rostos e histórias por trás dos ODS ao redor do globo. Eles são fornecidos pelos UNICs e outras agências e organizações das Nações Unidas, que respondem a necessidades e prioridades dos países para ajudá-los a superar as crises atuais que estão impedindo o progresso na Agenda 2030. Essas histórias selecionadas destacam indivíduos e iniciativas comunitárias, intervenções e assistência nos países,

bem como parcerias com o sistema das Nações Unidas que traduzem as aspirações dos ODS em ação. Passando por essas histórias, está em jogo a natureza interligada e inter-relacionada dos ODS. Estas histórias relatadas no estudo ilustram como a intervenção numa ou em algumas áreas pode ter efeitos positivos ou impactos negativos em outras áreas, tornando importante que seja explorada pela ONU sinergias e minimizar as compensações para a implementação eficaz dos ODS (UNICs, 2022).

Também faz uma abordagem específica do ODS 12, explicando de que forma a adoção do ODS está sendo efetivamente ocorrendo no mundo. Aponta como destaque o Centro de Comércio Internacional que apoia a Juventude Rural com triciclos de coleta de lixo para melhorar o desperdício nos Sistemas de Coleta, com adoção da economia circular, em Gâmbia:

A Gâmbia é um dos poucos países que estão a caminho de cumprir o Acordo de Paris. No entanto, também está sentindo os impactos negativos da crise do clima global. Chuvas erráticas, aumento do nível do mar e fortes vendavais continuam a ameaçar a vidas e meios de subsistência dos agricultores na Gâmbia. Para proteger o meio ambiente e mitigar os impactos das mudanças climáticas, através desse projeto, a Green-up Gâmbia, está a promover uma economia circular como estratégia para reduzir as emissões dos gases com efeito de estufa. No início de 2022, o Green-up Gâmbia reuniu quarenta jovens da região do Rio Central, Região do Baixo Rio e Região da Margem Norte. Através deste projeto, Green-up Gâmbia está treinando e treinando em gestão sustentável de resíduos e reciclagem, incentivando assim os beneficiários a serem campeões na liderança de um estilo de vida sustentável. Além disso, representantes de cada uma das regiões receberam triciclos de coleta de lixo que ajudarão a melhorar os sistemas de coleta de lixo nas regiões selecionadas (UNICs, 2022, p. 50).

Outra ação apresentada pela ONU é o Projeto *Women Waste Warriors (3Ws)*, em Manila (relembrando que no capítulo anterior, do nanoplástico, apresentou-se que a maior parte de plástico no oceano vem da Ásia), que está transformando o plástico em lucro para a comunidade, realizando a correta gestão dos resíduos, com consequente redução dos mesmos:

A 3Ws é uma organização comunitária que promove o descarte adequado e gestão dentro de suas casas e comunidade para explorar alternativas de redução, reutilizar, reciclar (3Rs) e projetos de subsistência relacionados. Jade costuma trabalhar com outras mulheres, passando a maior parte do dia na creche Barangay. Em uma semana movimentada, eles reaproveitariam garrafas PET em 5.000 vasos de jardinagem urbana para serem fornecidos ao Conselho Filipino para Pesquisa Agrícola, Aquática e de Recursos Naturais e Desenvolvimento. Para apoiar seu trabalho, outro grupo de guerreiros percorrem diferentes barangays adquirir garrafas PET usadas em lojas de sucata. Estima-se que 50kg a 100kg de plástico são desviados dos aterros sanitários toda semana (UNICs, 2022, p. 52).

Diante o cenário apresentado, nas mais diversas posturas sustentáveis adotadas, conclui-se que o movimento é fundamentado e inclusive incentivado pelos ODS da ONU. Este mesmo fundamento traz o balizador na implementação da economia circular.

Interessante demonstrar a aplicação dos 2 ODS específicos abordados nessa tese, que tem estão em consonância com a proposta da implementação da economia circular em nanoproductos e resíduos. Empresas na Europa (Portugal), Navigator, Delta Cafés e EDP já fazem uso da economia circular em suas produções, e possível constar o investimento para exploração mais sustentável, bem como um próprio retorno positivo para as empresas, bem como redução de resíduos em 32%, apresentado na Figura 75:

Figura 75 - Empresas europeias com produção circular

	Navigator	Delta Cafés	EDP
ODS 9 Indústria, inovação e infraestruturas	O projeto RAIZ tem como um dos principais investidores a Navigator. Este projeto visa melhorar a qualidade das culturas desenvolvidas pela empresa, assim como formas mais sustentáveis para a sua exploração.	Em 2016 foi a empresa nacional com o maior pedido de patentes. Possui um centro de investigação desde 2010, que além de investigação aplicada, desenvolve projetos de teor científico.	Em 2018, a EDP acumulou €212M em investimento em investigação, desenvolvimento e inovação.
ODS 12 Produção e consumo responsáveis	Através da exploração e gestão sustentável das florestas, assim como adoção de práticas da economia circular, procura enquadrar-se com este objetivo.	Existe um forte investimento da Delta na economia circular, através de várias ações, tais como a valorização de cápsulas de café usadas. A biodiversidade também é uma preocupação da empresa.	A EDP reduziu os materiais residuais específicos em 2018 na ordem dos 32%, face a 2015.

Fonte: Adaptada de Marques (2019, p. 45).

Contudo, na área das nanotecnologias verifica-se uma série de outras proposições específicas de sustentabilidade que dialogam com a Agenda 2030. A Comissão Europeia financiou recentemente um projeto sobre nanotecnologias sustentáveis – Sustainable Nanotechnologies (SUN) que visa a criação de ferramentas nestas áreas, que serão integradas num quadro de decisão global e sistema de apoio à decisão de *software* para nanotecnologias sustentáveis – Software Sustainable Nanotechnologies (SUNDS). Os principais objetivos do SUN foram: a) estabelecer novos métodos e ferramentas para prever a exposição, efeitos e riscos em longo prazo de nanomateriais para humanos e ecossistemas; b) propor práticas implementáveis para prevenção e controle de riscos aplicáveis às configurações industriais, de consumo e ambientais; c) criar orientação para uma

produção, tratamento e tratamento de fim de vida mais seguro de produtos nano-habilitados; e d) desenvolver um Sistema de Apoio à Decisão de Gerenciamento de Riscos para uso prático por indústrias e reguladores (sistema de *software* SUNDS). O projeto iniciou-se em 2013 com a duração de 42 meses (EUROPEAN COMMISSION, 2017c).

A atual compreensão dos riscos ambientais e de saúde das nanotecnologias ainda é limitada, o que pode resultar em estagnação da inovação e crescimento econômico. Produtos nano-habilitados que mostram efeitos sobre a saúde humana e ambiental após a sua introdução no mercado podem causar custos significativos para a sociedade e as organizações sob a forma de regulações de equilíbrio excessivo e demolição da confiança dos consumidores. Assim, o SUN baseou-se na ideia de que o conhecimento atual sobre os riscos ambientais e de saúde dos nanomateriais – embora limitados – poderia, no entanto, orientar a fabricação de nanoprodutos através da aplicação de uma abordagem integrada, avaliando o ciclo de vida completo do produto (EUROPEAN COMMISSION, 2017c).

O documento *Guidance to Facilitate Decisions for Sustainable Nanotechnology*, produzido pela Agência Norte Americana de Meio Ambiente, destina-se a oferecer um ponto de partida para avaliar a sustentabilidade dos nanoprodutos e fornece um resumo dos métodos existentes para avaliar vários aspectos da sustentabilidade, além disso, destaca os elementos críticos necessários para apoiar a tomada de decisão baseada na sustentabilidade. Ainda, os comentários recolhidos a partir deste relatório serão utilizados para aprimorar o trabalho, clarificação da abordagem e priorização de pesquisas futuras e, como a área da nanotecnologia e as abordagens do ciclo de vida estão mudando rapidamente, este documento deverá ser revisado e atualizado à medida que as informações adicionais estiverem disponíveis (EASON *et al.*, 2011).

Portanto, de acordo com a fundamentação da sustentabilidade, aplicada pela ONU na Agenda 2030 em seus ODS, dando ênfase aos ODS 9 e 12, demonstra-se que quando atrelada à nanotecnologia, as ações destas agendas devem ser implementadas, conforme Cortes-Lobos (2013):

O desenvolvimento sustentável deve ser levado em consideração quando na agenda da pesquisa são implementadas inovações radicais como a nanotecnologia. Sustentável desenvolvimento que inclui três domínios, o econômico, o ambiental e o social, no mesmo nível de relevância compartilham os princípios da Organização Mundial da Saúde, Relatório do

Ecosistema do Milênio, 2005, que incentiva os formuladores de políticas a integrar princípios de desenvolvimento sustentável em políticas de países para preservar e restaurar recursos ambientais, para reduzir a pobreza e aumentar o bem-estar humano e desenvolvimento (CORTES-LOBOS, 2013, p. 40).

Segundo Cortes-Lobos (2013), é essencial atrelar o conceito de sustentabilidade na pesquisa em nanotecnologia, pois tem articulação em dois meios opostos. Por um lado, a pesquisa em nanotecnologia promete contribuir para a mitigação dos efeitos negativos sobre o meio ambiente e a saúde humana, por exemplo, reduzindo o uso de agroquímicos. Mas, por outro lado, a nanotecnologia enfrenta um aumento potencial de riscos ambientais e de saúde devido ao uso de nanopartículas.

Desta forma, é necessário realçar que os ODS, e as suas metas, só poderão ser alcançados substituindo o atual paradigma de produção linear por um sistema de organização económica assente nos pressupostos da Economia Circular, as práticas e princípios deste modelo contribuem diretamente para alcançar vários ODS (PEREIRA, 2021).

Para sintetizar então os reflexos da economia circular na efetivação das ODS, apresenta-se o Quadro 4:

Quadro 4 - Relação entre práticas da EC e os ODS

Tipo/categoria de relação entre a EC e ODS	Significado	ODS incluídos nessa relação
1. Contribuição direta/forte	O cumprimento das metas e dos ODS depende diretamente das práticas de EC. Neste tipo de categoria de relação, é praticamente impossível alcançar os ODS e suas metas sem as práticas e princípios de EC.	ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ODS 7 (Energias renováveis e Acessíveis), ODS 8 (Trabalho Digno e Crescimento Económico); ODS 12 (Produção e Consumo Sustentáveis) e ODS 15 (Proteger a Vida Terrestre).
2. Contribuição indireta (através de outros ODS e suas metas)	A contribuição da EC para atingir estes ODS ocorre indiretamente através de outros ODS indicando sinergias que podem ser estabelecidas entre diferentes ODS através das práticas de EC.	
3. O progresso nos ODS potencia as práticas de EC	Esta categoria indica uma relação de causalidade reversa indicando que se houver progresso nos ODS isso potenciará a aceitação e implementação das práticas de EC.	ODS 4 (Educação de Qualidade), ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestruturas), ODS 10 (Reduzir as Desigualdades), ODS 13 (Ação Climática), ODS 16 (Paz, Justiça e Instituições Eficazes); ODS 17 (Parcerias para a Implementação dos Objetivos)
4. Sem relação ou relação fraca	Esta categoria de relação aplica-se às metas e ODS para as quais não se encontra relação com as práticas de EC.	35 metas incluídas nos ODS 3 (Saúde de Qualidade), ODS 5 (Igualdade de Género), ODS 10 (Reduzir as Desigualdades), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e ODS 16 (Paz, Justiça e Instituições Eficazes)
5. Oportunidades de cooperação para promover práticas de EC	Esta categoria de relação foi considerada nas metas e ODS que ofereceriam oportunidades para serem estabelecidas iniciativas concretas de cooperação entre práticas de EC e os ODS	Todos os ODS, à exceção do ODS 9 e o ODS 16, incluem metas onde poderão ser estabelecidas iniciativas concretas de cooperação entre práticas de EC e os ODS.

Fonte: Pereira (2021, p. 106).

Atrelada à proposta do projeto, vislumbra-se o acoplamento das proposições, como conciliar o desenvolvimento (nano)sustentável com viés ético das empresas, que ao optarem pela autorregulação na adoção de medidas da economia circular e nanorastreabilidade, encontram harmonia necessária e um movimento global já instaurado. E ligando com a questão ecológica (onde podemos incluir as nanos) conclui Castells (2007) afirmando que a expansão acelerada de um sistema mais ágil, dinâmico, de produção em nível global cria uma tensão demasiada sobre os recursos naturais e no sistema ecológico. Assim, de um lado temos a ciência de quais são os limites ecológicos no crescimento econômico, bem como uma maior consciência ecológica, graças à ciência e tecnologia. Contudo o dinamismo produtivo do sistema é tamanho que qualquer coisa que se possa explorar, será explorado, e diante disso, sabe-se dos efeitos negativos mas, ao mesmo tempo, abandonando o sistema à sua própria lógica, a devastação ambiental se acrescenta. Verifica-se assim um controle local, porém se deteriora globalmente

Exatamente neste sentido que o projeto se adequa, pois a ideia de transição a um novo paradigma empresarial, objetivando uma empresa ética-cidadã, fundada pela adoção de medidas sustentáveis como a economia circular e nanorastreabilidade, fazem frente ao cenário de incertezas nanotecnológicas. Mitiga-se assim o risco nanotecnológico, como princípio ético dentro da indústria, pela internalização da consciência ambiental:

Debate-se na empresa também a aplicação da consciência no processo do negócio, passando por todo processo de produção. Esse é o problema de consciência, não de dificuldade técnica. E nesse sentido, em última análise, é uma questão ética. [...]. Eu diria, portanto, que a responsabilidade social das empresas é, ao mesmo tempo, um melhor negócio e cria um mundo melhor (CASTELLS, 2007, p. 73-74).

Compartilhando dos mesmos ideais, Cortina (2005) identifica que a empresa necessita forjar o caráter ético das organizações, de modo que se vislumbra nesse contexto até mesmo uma teoria evolutiva da ética nas empresas, que vai da era industrial, perpassa a era pós-industrial e chega na era da informação. Deveria assim existir dentro da empresa (ou desta nova empresa ética-cidadã nanotecnológica) um conjunto de dimensões éticas, algumas delas insofismáveis, que compõem o caráter da organização, de seu ethos, como cultura da empresa, necessidade de antecipar o futuro, auditorias éticas. A questão de ética na tomada de decisão é levada a sério pela autora, que inclusive assevera que organismos políticos

e internacionais precisam articular mecanismos necessários para abordar as questões propostas pela atividade empresarial em âmbito global com estatura ética.

Incentivando essa mudança de paradigma, a conclusão mais evidente que chegam os estudiosos da ética empresarial é que, curiosamente, as empresas que adotam certos valores éticos como guia de seus comportamentos, tanto no interior da empresa como em relação ao exterior, são as que melhor sobrevivem nestes tempos de dura competição.

Comprovando a necessária confiabilidade e legitimidade no cenário ambiental:

Há um sentimento de confiança entre as pessoas que se relacionam com a empresa, desde fornecedores à consumidores, de que ela se comporta de maneira responsável com as pessoas e com o meio ambiente. A empresa é uma parte da sociedade que precisa legitimar sua existência e seus comportamentos tanto quanto os governos, e não pode obter essa legitimação hoje em dia a não ser dessa confiança que infunde no público e em seus próprios membros (CORTINA; MARTÍNEZ, 2005, p. 166).

Adentrando a questão ecológica-ambiental, oportuno apresentar a noção de ética ecológica que contribui para a tese. Tal ética ecológica afirma que existe um consenso em relação a necessidade de adotar urgentemente um modelo de desenvolvimento sustentável e todo tipo de medidas eficazes para fazer frente a problemas tão graves como o tratamento de resíduos, contaminação dos mares, contudo, as medidas de caráter jurídico possuem eficácia muito limitada,

Ao menos enquanto as empresas contaminadoras possam ir embora para continuar a contaminar em outros países mais permissivos (geralmente mais pobres, e portanto mais necessitados de instalação de novas indústrias, mesmo que contaminadoras) (CORTINA; MARTÍNEZ, 2005, p. 169).

Ademais, vinculando as certificações ambientais, e vinculando-as à ODS 12, destaca-se que é proposto:

[...] para gestão e uso eficiente de recursos naturais e também para a redução da geração de resíduos, estratégias como o uso de materiais com conteúdo reciclado, recicláveis, de rápida renovação ou reutilizáveis. Propõem também revisão de sistemas construtivos e utilização de sistemas modulares em projetos para reduzir perda de materiais. Têm como pré-requisitos apenas o uso de madeiras certificadas, promovendo o manejo sustentável em toda a cadeia produtiva. A Caixa propõe a redução da pressão sobre recursos naturais não renováveis optando por pavimentação feita com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. A análise do ciclo de vida de um produto é um ponto muito abordado nas

certificações como forma de entendimento dos impactos ambientais desde sua extração até sua disposição no lixo (KITA, 2018, [p. 42]).

Considerando cenário de risco e complexidade do desenvolvimento das nanotecnologias, não é possível afirmar com certeza absoluta de que podem causar danos e riscos ao ecossistema, por conta da toxicidade. Contudo, pesquisas indicam para o potencial risco, que se agrava com determinados materiais, como o nanoplástico. Por essa razão é que as empresas, a fim de respeitarem orientações de desenvolvimento sustentável (como ODS 9 e 12), devem rever sua postura enquanto empresa, efetuando então a transição para o modelo circular, que além de auxiliarem na manutenção do meio ambiente, ainda ganham maior credibilidade ou confiabilidade.

Vislumbrando alcançar respostas aptas para tais incertezas na era nano, necessário por parte do Direito que participe mais ativamente das discussões acerca do uso criativo de novas possibilidades de regulações das nanotecnologias, que hoje vem ocorrendo apenas nas áreas das ciências duras, sem a devida contribuição das ciências sociais (brandas) (HOHENDORFF, 2018). Shulz (2017) sobre esta dificuldade de comunicação entre as diferentes ciências, especificamente no caso das nanotecnologias, menciona que: “[...] as lacunas que persistem entre os discursos das diferentes ciências (e entre os diferentes públicos) frente a questões comuns. É frequente ainda a desconfiança mútua entre cientistas das áreas de exatas e sociais”.

Portanto, o modelo circular apresenta-se como alternativa à mitigação do risco nanotecnológico. Diversas são as ações adotadas neste sentido, de transição à economia circular, de maneira mais concreta em nível internacional, com inclusive planos de trabalho neste sentido, como da União Europeia. Esta postura acaba por respeitar os ODS, que fundamentam a adoção da economia circular.

O Brasil demonstra uma atenção a este novo modelo, promovendo debates em nível nacional, impulsionados por organizações privadas, como se verificou neste capítulo. A adoção da circularidade é incipiente, mas se faz presente em diversas empresas brasileiras. Já no campo normativo encontra-se somente a PNRS, Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), e bem recentemente, a Lei do Paraná nº 20.607/2021 (PARANÁ, 2021), com complementação do Projeto de Lei nº 278/2022 (PARANÁ, [2022]).

Conforme apresentado na tese, a ideia da economia circular conseguiria operacionalizar um controle maior de toda cadeia de produção e uso de

nanoprodutos, mas em especial do *nanowaste*. Por esta razão é que se vincularia a esta transição a implementação da rastreabilidade, que perfectibilizaria a gestão do risco, com minimização dos resíduos nanotecnológicos. Este ponto será estudado no próximo capítulo.

4 (NANO)RASTREABILIDADE FUNDADA NA AUTORREGULAÇÃO E FRAGMENTOS CONSTITUCIONAIS (TEUBNER): CAMINHO ANÁLOGO AO PROJETO DE LEI Nº 7.088/2017, SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS PERIGOSOS FOMENTADO PELA ECONOMIA CIRCULAR COMO CONDIÇÃO DE POSSIBILIDADE PARA GESTÃO DE RISCOS NANOTECNOLÓGICOS

Ao estudar nos capítulos anteriores a disrupção tecnológica causada pelas nanos, percebe-se uma alteração significativa no caminho da humanidade, seja para o lado positivo de seu desenvolvimento, seja para o viés negativo, no caso, dos riscos.

Entretanto, impossível desconsiderar a conjuntura das nanotecnologias presente na sociedade, com a utilização de vários produtos com nano, desde shampoos, cremes anti-idade, cosméticos diversos, eletrônicos, materiais da construção civil, engenharia, medicamentos, todos eles acessíveis ao homem. Ao mesmo tempo, vislumbra-se a questão do risco, com danos em potenciais a saúde humana e meio ambiente. Quanto maior a produção e consumo, maior a geração de resíduos, no caso, o *nanowaste*. A questão dos resíduos há tempos se apresenta como um problema ambiental, que ao ser transformado na escala nano, potencializa o risco. Do mesmo modo, estende-se aos nanoplásticos o mesmo alerta. Desta forma, é preciso implementar em conjunto à economia circular a rastreabilidade dos nanoprodutos, como condição de possibilidade para gestão do risco, o que é favorecido pelo maior controle oriundo da circularidade, e viabilizado a partir de uma série de ações de rastreamento que ocorrem em outros setores produtivos, como de alimentos, engenharia, conforme será avaliado neste capítulo.

O desenvolvimento sócioeconômico que ocorre com o advento das nanotecnologias nos mais variados processos produtivos não pode deixar de considerar a sustentabilidade e a justiça ambiental, promovendo sempre os ideais de uma responsabilidade planetária e de um não retrocesso ambiental (HOHENDORFF, 2018). Face esse objetivo, importa que além da transição para uma economia circular, seja implementado ainda a (nano)rastreabilidade, que é facilitada dentro de uma circularidade de logística e controle muito maior do ciclo de vida dos produtos.

Com a nova realidade trazida pelos avanços das nanotecnologias, o Direito precisa modificar-se, agindo preventivamente, não mais apenas após o fato – como elemento corretivo – mas deve ser um elemento integrativo da gestão dos riscos,

atuando de modo a impedir o retrocesso ambiental (HOHENDORFF, 2018). Inclusive a proposta da tese não versa sobre uma legislação estatal, mas sim baseado na autorregulação, medidas estas já adotadas em nível global, e de forma incipiente no Brasil.

Para a ciência do Direito resta sair do castelo da certeza, que não possibilita a visualização completa da realidade que se apresenta ao jurista e ao Direito, para um espaço de incerteza, em um cenário novo e desafiador que a criatividade humana está desenhando por meio das nanotecnologias e que precisará ser albergado pelo Direito (ENGELMANN, 2013a, v. 1).

A obrigação e responsabilidade com o dever de cuidado para com o Planeta, objetivando o bem-estar das atuais e futuras gerações tornam-se imprescindíveis para a gestão dos riscos nanotecnológicos, que se comportam como um paradigma para a sociedade atual, eis que contém em sua estrutura os papéis de herói e vilão de uma das tecnologias da Quarta Revolução Industrial, carregando dentro de si tanto possíveis soluções quanto inevitáveis riscos (HOHENDORFF, 2018).

Neste capítulo serão abordadas as características da rastreabilidade, definição e contexto histórico de aplicabilidade nos setores produtivos, buscando como fundamento análogo o Projeto de Lei nº de rastreabilidade de resíduos perigosos, nº 7.088/2017 (BRASIL, [2017]). Ademais, analisar-se-á o diálogo entre os princípios do ESG e à revolução nanotecnológica. Ao final, será apresentada a questão da autorregulação como base para transições sustentáveis, fundamentando o ponto nas conexões do Direito através dos Fragmentos Constitucionais de Teubner como condição de possibilidade à nanorastreabilidade.

4.1 Caracterizando a rastreabilidade de produtos: cenário global acerca da rastreabilidade e o panorama do Brasil

Como visto nos capítulos anteriores, o risco na evolução da era nanotecnológica é uma realidade a ser enfrentada. Especialmente quando se dá o enfoque em resíduos nanotecnológicos – observando o recorte da tese em nanoplásticos – precaução e empenho em desenvolver uma nova política mais sustentável, que realize a gestão do risco, é a medida que se impõe. Diante deste cenário, a proposta já apresentada é a transição para economia circular, a qual

poderá ainda ser mais efetiva se vinculada a outro mecanismo de minimização do risco, neste caso, a rastreabilidade.

No caso do *nanowaste*, o risco em potencial pode ser considerado similar aos resíduos sólidos perigosos. Por essa razão é que este estudo demonstrará que implementar a rastreabilidade em produtos nanotecnológicos e resíduos, nos moldes propostos pelo Projeto de Lei nº 7.088/2017, poderia ser uma alternativa eficiente para a mitigação do risco (BRASIL, [2017]). Para tanto, faz-se necessário abordar inicialmente quais são as questões mais conceituais e de definição sobre a rastreabilidade, como ocorreu seu início, e de que maneira é implementada em outras áreas.

Pode-se afirmar que um grande passo para a rastreabilidade se deu na área alimentícia. Um novo enfoque sobre a segurança alimentar passou a ser uma atenção mundial no início do século XXI, um legado do século XX. Contaminações de alimentos por crises sanitárias, resíduos tóxicos, e até mesmo a manipulação genética trouxeram a necessidade, por parte do consumidor final, de conhecer desde a origem até a forma que os alimentos consumidos foram produzidos, bem como saber quais os possíveis riscos que podem apresentar à saúde. Assim, os mercados tornam-se cada vez mais exigentes no que se refere às informações que devem acompanhar o alimento desde sua produção até chegar ao consumidor final. No que se refere à carne bovina, ocorrências de crises sanitárias como a da febre aftosa, Bovine Spongiforme Encephalopathy (BSE), ou Encefalopatia Espongiforme Bovina ou Doença da Vaca Louca, e contaminações por dioxina levaram à necessidade de conhecer sua origem e procedimentos de produção (NICOLOSO; SILVEIRA, 2013).

Por conta desta atenção, foi implementado a rastreabilidade alimentícia, em destaque a da carne bovina. Atrelando esse aspecto ao da presente tese, possível concluir que se está em discussão saúde pública, pensando no consumidor de toda ordem, ou melhor, seres humanos que a cada dia consomem mais nanoprodutos, por que não implementar a rastreabilidade em algo tão inovador, que poderá causar danos futuros ao meio ambiente? Percebe-se que a implementação da rastreabilidade no âmbito alimentício, no Brasil, no que tange à carne, foi feita através de sistema de certificação por demanda europeia, ou seja, imposição comercial e mercadológica. Contudo, uma vez que o alerta global acerca das nanotecnologias nos conduz ao potencial dano, deveriam esses produtos e também

resíduos merecer o mesmo tratamento, incluída então a rastreabilidade no modelo circular.

Silva (2005) reafirma sobre o surgimento e necessidade da rastreabilidade no ramo de alimentos, explicando o seguinte:

Rastreabilidade surgiu como consequência da preocupação dos consumidores com a sanidade dos produtos, gerada após vários fatos que afetaram a saúde das pessoas em diversos países. Em decorrência desta conscientização, os supermercados, como principais representantes das cadeias distribuidoras, passaram a pressionar os demais agentes da cadeia de produção, exigindo maior controle sobre a qualidade e a sanidade dos alimentos, para não correrem o risco de serem acionados pelos sistemas de fiscalização e de defesa dos consumidores. Episódios como a encefalopatia espongiforme bovina (BSE), conhecida como doença da vaca louca, nos bovinos da Inglaterra, surtos de febre aftosa em vários países, contaminação com dioxina em frangos e suínos na Bélgica e, mais recentemente, a gripe aviária nos países orientais, levaram a um aumento da preocupação em relação à qualidade dos alimentos comercializados. Somado a isso, a expansão do comércio mundial de alimentos, mudanças nos hábitos alimentares, maior demanda por produtos altamente processados e contaminações de alimentos e bebidas resultaram em mudanças no setor produtivo de alimentos. Os países onde ocorreram casos das doenças tiveram de sacrificar os animais, com conseqüente queda do consumo interno e cortes nas exportações. Os problemas econômicos advindos do fato levaram vários países a aprovar leis mais rigorosas com o objetivo de normatizar o processo de produção nas fazendas e criar novas barreiras sanitárias, além das instituídas pelos órgãos internacionais, que praticamente substituíram as barreiras tarifárias. A segurança do alimento passou a ser um tema relevante na pauta de discussões e a preocupação dos consumidores a respeito do produto consumido levou à visão da necessidade de se garantir a sanidade, a qualidade e a procedência do produto, assim como a idoneidade de quem o produz. Isto só é possível com a garantia de todo processo produtivo e para isso é preciso ter todas as informações a respeito do produto. No caso das carnes, a garantia é o controle total do desenvolvimento dos animais, tendo um enfoque especial na questão da sanidade, o que exige uma intensificação do manejo nas propriedades rurais e um rígido controle da produção. Esse processo, que inclui identificação e certificação de origem, é a rastreabilidade.

Por conta do aumento significativo da demanda por alimentos, levou-se à criação de métodos e condições intensivas de produção, entretanto, ao mesmo tempo, surgiram conseqüências indesejáveis, como queijos contaminados, aumento de micotoxinas, adulteração de leite, gripe suína, entre outros problemas. Vale ressaltar que a implantação da rastreabilidade, mais do que uma exigência mercadológica, é uma exigência sanitária e de saúde pública. Essa certificação de qualidade é um meio para garantir a saúde e a segurança do consumidor, coisa que falamos a todo o tempo dentro de unidade de alimentação e nutrição (UAN), restaurantes, indústrias, entre outros locais que trabalham e vivem para alimentar e nutrir (NUTRI MIX ASSESSORIA E CONSULTORIA NUTRICIONAL, c2022).

De acordo com Sonda (2018), a rastreabilidade seria definida como a capacidade de visualização dos acontecimentos ao longo da história de determinado produto desde sua origem até o final de sua vida útil. O conhecimento de seu uso teve início na década de 1960, após a publicação de um artigo que se referia ao controle de qualidade de sistemas espaciais da National Aeronautics and Space Administration (NASA),¹⁵ e tem sido frequente a sua aplicação em setores como a indústria alimentícia e farmacêutica, também sendo identificada sua utilização em outros setores como o de tecnologia de informação. Estendendo às nanos, tal aptidão de visualização da rota dos produtos e *nanowaste* proporcionaria uma segurança maior, controle do risco e efetivação da gestão.

Mundialmente, até a metade do século XX, a segurança alimentar era entendida, basicamente, como a capacidade de produzir alimentos e tal convicção era fortalecida pelos baixos estoques mundiais de alimentos. Este cenário proporcionou um fortalecimento da indústria química (fertilizantes e agrotóxicos) no que foi de encontro à chamada Revolução Verde. O argumento deste segmento estava baseado na tese de que o problema da fome no mundo seria resolvido com um grande crescimento na produção de alimentos e que o emprego de novas técnicas de produção, fertilização massiva e utilização de defensivos químicos dariam conta da questão. Embora tenha ocorrido uma recuperação nos níveis de estoques de alimentos e crescimento da produção agrícola, a Revolução Verde, com todos seus pacotes tecnológicos, não pode solucionar a mazela da desnutrição e fome que continuou a atingir, ainda nos dias de hoje, parcela considerável da população mundial (NICOLOSO; SILVEIRA, 2013).

Por conta da expansão da importação e exportação de alimentos no comércio mundial, atrelado às crises sanitárias, surgiram assim exigências também por parte do consumidor no que tange à segurança, bem como acesso à informação:

A expansão do comércio mundial de alimentos e mudanças nos hábitos alimentares, associados às grandes crises sanitárias na última década foram os propulsores de novas exigências por parte dos mercados consumidores em relação à segurança e à qualidade dos alimentos. O aumento nas negociações do tipo exportação e importações dificultam o acesso a informações, tornando o produto final desvinculado do seu processo de produção e origem. Desta forma, passou-se a buscar e desenvolver, mundialmente, sistemas de certificação que garantam a

¹⁵ Em português, Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço. É uma agência do governo federal dos EUA responsável pela pesquisa e desenvolvimento de tecnologias e programas de exploração espacial (NASA, 2023).

qualidade e sanidade, assim como o fluxo de informações referentes a todos os processos de produção e origem dos produtos (NICOLOSO; SILVEIRA, 2013, p. 82).

O Regulamento nº 178/2002, da Comunidade Europeia, define rastreabilidade como:

[...] a capacidade de detectar a origem e de seguir o rastro de um gênero alimentício, de um alimento para animais, de um animal ou de uma substância, destinados a ser incorporados em alimentos para animais, ou com probabilidade de o ser, ao longo de toda fase de produção, transformação e distribuição (PARLAMENTO EUROPEU; CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2002, p. 8).

Importante destacar que as principais certificações em sistemas de gestão de segurança dos alimentos, a exemplo da FSSC 22000, IFS e BRCS, possuem dentre os seus requisitos obrigatórios a rastreabilidade (OLIVEIRA FILHO, 2020).

Rastreabilidade é definida na RDC nº 24/2015 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (2015) como um conjunto de procedimentos que permite detectar a origem e acompanhar a movimentação de um produto ao longo das etapas da cadeia produtiva, mediante dados e registros de informações. Já recolhimento trata-se de uma ação a ser adotada pela empresa interessada e demais empresas da cadeia produtiva, que visa à imediata e eficiente retirada de lote(s) de produto(s) do mercado de consumo (OLIVEIRA FILHO, 2020). A FAO em 2017, desenvolveu um guia, de rastreabilidade para orientar as indústrias de alimentos. Rastreabilidade é definida como a capacidade de discernir, identificar e acompanhar o movimento de um alimento ou substância que se pretende ou se espera que seja incorporada a um alimento, em todas as etapas de produção, processamento e distribuição. Já recall é definida como a ação de retirar alimentos do mercado em qualquer etapa da cadeia alimentar, inclusive aquela possuída pelos consumidores (FOOD SAFETY BRAZIL, 2019).

Já a International Organization for Standardization (ISO), em 2000, por meio da ISO 9000, definiu rastreabilidade como “habilidade de rastrear a história, uso ou destino de algo”. Com a ISO 22005, de 2007, surgiram novidades: o tracking, que é a capacidade de seguir o caminho de um produto por meio da cadeia de alimentos, e o tracing, que identifica a origem de uma unidade de produto ou lote (ISO, 2007). De uma forma resumida, a rastreabilidade compreende a capacidade de seguir ou

rastrear um alimento desde a sua produção ou colheita até o consumidor final, conforme apresenta a Figura 76:

Figura 76 - Rastreabilidade alimentos



Fonte: Nutri Mix Assessoria e Consultoria Nutricional (c2022).

Um caso de destaque no Brasil, conforme mencionado anteriormente, é o da carne bovina. Assim, o novo cenário na comercialização mundial de alimentos exigiu novos sistemas de certificações, com capacidade de manterem a equidade de processos e normas de produção, além de garantirem a origem do produto. No comércio internacional de carne bovina, cada país passou a desenvolver seu sistema de rastreabilidade, capaz de resgatar informações sobre a vida dos animais, formas de produção e origem. Estes sistemas, denominados de “sistemas de rastreabilidade bovina”, embora apresentem particularidades em cada país, devem apresentar determinado nível de garantia e confiabilidade para que seja aceito mundialmente, em qualquer tipo de transação. Embora os sistemas de rastreabilidade bovina historicamente apresentem conotação voltada à segurança alimentar, é possível perceber que sua atuação no campo comercial se tornou de suma importância. Assim, os sistemas de rastreabilidade bovina, anteriormente desenvolvidos para apresentarem segurança quanto a processos, sanidade e origem, passaram a ser estruturados para fins comerciais (NICOLOSO; SILVEIRA, 2013).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) ([2022?]) destaca a importância e esclarece sobre a rastreabilidade no caso dos bovinos:

Desde a virada do século, a Embrapa trabalha com o tema ‘Conhecendo a carne que você consome’, coincidindo com a introdução do conceito ‘rastreabilidade’ na bovinocultura brasileira. O objetivo é fazer com que a informação do processo produtivo chegue ao consumidor, para que ele seja capaz de identificar as diferenças no produto final e passe a valorizar aquele que mais lhe agrada. Desde então, uma série de progressos técnico-científicos foram obtidos. Para as fazendas, estão disponíveis sistemas eletrônicos de identificação animal (bolus, brincos e bottons) e programas computacionais que registram o desempenho zootécnico e as ocorrências

sanitárias ao longo da vida do animal. Para os frigoríficos, sistemas de leitura de dispositivos de identificação nos animais e geração de etiquetas para identificação das carcaças, que, posteriormente, podem ser lidas para gerar etiquetas para os cortes, contendo a conexão com as informações dos animais. Para os consumidores, o acesso às informações sobre a rastreabilidade do produto que ele quer adquirir poderá ser feito usando celulares. Algumas iniciativas comerciais já estão disponíveis e o consumidor já consegue saber a fazenda na qual o animal foi criado. A rastreabilidade dentro das indústrias frigoríficas caminha a passos largos e começa a contribuir para a melhora da cadeia. Afinal, só se pode evoluir quando se conhece o produto gerado ao final do processo

A rastreabilidade surgiu da necessidade de identificar em que ponto da cadeia um alimento está e se tornou uma ferramenta importante para a segurança dos alimentos, apesar de não garantir por si só que o alimento seja 100% seguro. Quando há, por exemplo, um surto de doença transmitida por alimentos, com a rastreabilidade, é possível identificar o lote contaminado e retirá-lo do mercado, assim como responsabilizar os culpados. Sem a rastreabilidade, não há como tomar medidas preventivas e corretivas nos casos de contaminação alimentar. No caso da carne, a rastreabilidade traz uma maior interação entre o setor público e o privado da cadeia de produção, gerando benefícios para gestão e produtividade do setor. Para o consumidor, podemos citar outros benefícios como: permitir a escolha de produtos que conversem com seus ideais, a exemplo que causem menor impacto ambiental, possibilitar a escolha por atributos específicos de qualidade do produto e estimular a concorrência por meio da diferenciação da qualidade. Para o setor privado, é possível diagnosticar problemas na produção, cumprir com a legislação vigente, agilizar os procedimentos de recall, proteger a reputação da marca, minimizar custos associados a uma retirada de produto do mercado, possibilitar a identificação de produtos diferenciados, valorizar atributos do processo de produção, estreitar a relação com fornecedores, entre outros benefícios. Por fim, para o governo, a rastreabilidade protege a saúde do consumidor, possibilita o controle e proteção de humanos e animais em emergências e ajuda a prevenir fraudes, como nos casos dos alimentos orgânicos, que dependem exclusivamente da sua origem (NUTRI MIX ASSESSORIA E CONSULTORIA NUTRICIONAL, c2022).

No aspecto das áreas em que são aplicadas a rastreabilidade, interessante a pesquisa de campo de Sonda (2018), a qual indicou através de revisão da literatura o número de artigos publicados por setor de aplicação da rastreabilidade:

Tabela 6 - Indicação de percentual de artigos publicados por setor de aplicação da rastreabilidade

Classes	n° de artigos	%
Alimentação	7	30,43%
Produção e manufatura	5	21,74%
<i>Software</i> , computação e tecnologia	3	13,04%
Híbrido (alimentação e tecnologia)	2	8,70%
Outros	6	26,09%
Total de artigos analisados	23	100%

Fonte: Sonda (2018, p. 40).

A rastreabilidade (no caso dos bovinos) é o controle de animais que possibilita a identificação individual ou em lotes. É possível, a partir deste controle, ter-se um histórico desde o nascimento até o abate, com o registro de fatos importantes como doenças, vacinas, remédios tomados e peso, assim como o controle de todas as fases de produção, industrialização, transporte, distribuição e comercialização, possibilitando um rastreamento do produto até sua origem. Simplificando, rastreabilidade é um mecanismo que permite identificar a origem do produto desde o campo até o consumidor, podendo este ter sido, ou não, transformado ou processado. É um conjunto de medidas que possibilita controlar e monitorar todas as movimentações nas unidades, de entrada e de saída, com o objetivo de produzir com qualidade e com origem garantida (SILVA, 2005).

Wisnieski (2017) aborda em trabalho a aplicabilidade de uma solução tecnológica de rastreabilidade na cadeia produtiva metal mecânica e fala de algumas tecnologias que são aliadas da rastreabilidade nesse contexto. Conclui que a rastreabilidade é aplicável pois auxilia a cumprir alguns requisitos de clientes, como por exemplo rastreabilidade da matéria-prima, rastreabilidade dos componentes e registro de passagem nos postos/ centros de trabalho. Afirma também que o comprometimento de todos os níveis hierárquicos da empresa é essencial para que o sucesso da implantação da rastreabilidade seja alcançado.

Bento e Paulillo (2010) mostram o benefício do uso da tecnologia aliada a rastreabilidade para redução de custos e aumento da qualidade em uma indústria automobilística. Por meio de uma comparação entre o método de identificação por código de barras e Data Matrix, o artigo tem o objetivo de apresentar os benefícios

do uso da codificação por Data Matrix no que se refere aos termos de custo, qualidade, agilidade e aplicabilidade. Dessa forma, consegue mostrar a importância da tecnologia como aliada no processo de rastreabilidade de produtos manufaturados.

Cordeiro (2019) objetivou analisar o impacto do uso do código de rastreabilidade na percepção do consumidor de produtos vegetais da cidade de Florianópolis/SC. Ela concluiu que a presença do código de rastreabilidade nos produtos vegetais frescos naturais e processados provoca uma certa segurança para os consumidores, de modo que eles terão maiores informações sobre aquele produto, mas a grande maioria não está disposta a pagar um pouco mais por um alimento só pela presença do código de rastreabilidade.

Porto, Lopes e Zambalde (2007) apresentam em seu estudo que desenvolveu um sistema eletrônico de rastreabilidade da cadeia de produção de vinho, desde o plantio das uvas até o consumo, garantindo mais segurança e transparência para o consumidor. Possui um foco maior na parte informacional e tecnológica, onde os consumidores podem acessar um portal eletrônico e consultar todas as informações sobre o vinho que estão consumindo.

E afinal, como funciona o rastreamento do aspecto prático? Identificar não é rastrear um produto. Colocar uma etiqueta não é o suficiente e, por isso, as empresas devem contar com um sistema de rastreabilidade (NUTRI MIX ASSESSORIA E CONSULTORIA NUTRICIONAL, c2022).

Encontra-se como exemplos:

- Código de barras: a leitura é feita por scanners que transformam em número e letras as impressões de barras em preto e branco;
- QR code: é um código de barra em formato 2D que ganhou destaque por permitir a leitura em dispositivos móveis;
- Softwares de leitura: empresas de programação de aplicativos para o mobile investem em softwares de leitura de QR code e código de barras;
- RFID: utiliza a radiofrequência para obtenção de dados e tem a vantagem de conseguir rastrear em tempo real os produtos (NUTRI MIX ASSESSORIA E CONSULTORIA NUTRICIONAL, c2022).

No caso da cadeia produtiva da carne bovina, a adoção da visão sistêmica tem possibilitado a incorporação de novas tecnologias na produção, destacando-se o uso da informação na gestão do empreendimento. A amortização dos custos disso pode vir de duas maneiras: por meio da melhor remuneração do produto, de acordo

com a qualidade desejada pela indústria, ou na forma de ganhos na eficiência produtiva, o que ainda não acontece no Brasil (SILVA, 2005). O Brasil é grande exportador de carne bovina e apenas a exigência de rastreabilidade por parte da União Europeia, que estipulou prazos para o País implantar este sistema se quisesse continuar a vender carne bovina para lá, levou o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a publicar, em 2002, a Instrução Normativa nº 1, instituindo o Sistema Brasileiro de Identificação e Certificação de Origem Bovina e Bubalina (SISBOV) (BRASIL, 2002). Vale lembrar que o Japão, seguindo caminho análogo, passou a requerer os mesmos cuidados.

O SISBOV define o conjunto de ações, medidas e procedimentos adotados para caracterizar a origem, o estado sanitário, a produção e a produtividade da pecuária nacional e a segurança dos alimentos provenientes dessa exploração econômica. Seu objetivo é identificar, registrar e monitorar, individualmente, todos os bovinos e bubalinos nascidos no Brasil ou importados (BRASIL, 2002).

O sistema se aplica a todas as propriedades rurais e indústrias frigoríficas, que processam produtos e subprodutos e resíduos de valor econômico em todo território nacional, e às entidades credenciadas pelo MAPA como certificadoras. E exige o registro de animais e propriedades que caracterizarão os bovinos, bubalinos e as propriedades rurais no interesse da certificação de origem, do controle do trânsito interno/externo, dos programas sanitários e dos sistemas produtivos (SILVA, 2005).

O processo de identificação prevê a marcação permanente no corpo do animal ou a aplicação de dispositivos internos ou externos, que permitam a identificação e o monitoramento individual dos animais, aprovados e autorizados pela Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) do MAPA. Um documento de identificação individual deverá acompanhar o animal durante toda sua vida, do nascimento ao abate, morte natural ou acidental, registrando as movimentações ocorridas, resultantes de transferências ou sacrifício emergencial. Atualmente, a discussão sobre a necessidade de se fazer a rastreabilidade por animal foi retomada com a finalidade de se rever a questão, já que a União Europeia, que é o mercado mais exigente para onde o Brasil exporta, o faz por lotes ou propriedade. Por enquanto, no Brasil, a legislação só trata da rastreabilidade da carne bovina, mas tanto a avicultura quanto a suinocultura devem trazer à pauta de discussão o assunto, pois a preocupação com a sanidade não se restringe apenas aos bovinos. As

aves e os suínos também pertencem ao grupo de proteínas de origem animal, que para serem exportadas, até 2005 deverão também ser rastreados (SILVA, 2005).

Mas a questão da rastreabilidade acaba aumentando sua abrangência, como por exemplo para a questão de agrotóxicos. Ribeiro *et al.* (2020) explicam que na década de 1960, a escritora Rachel Carson, em sua obra *Primavera Silenciosa*, publicada nos EUA, trouxe à tona a discussão sobre os perigos que o uso indiscriminado de agrotóxicos organoclorados promovia ao ambiente e aos seres vivos, despertando a humanidade para a necessidade de seu controle, até chamado de “círculo de envenenamento”, sendo o processo no qual as indústrias químicas situadas em países desenvolvidos, produzem agrotóxicos não permitidos em seus territórios e exportam para outros países, especialmente àqueles em desenvolvimento, onde o controle sanitário é mais frágil.

Uma pesquisa recente que avaliou os riscos em produtos importados notificados pelos países membros da Comissão Europeia, com dados do período de 1979 a 2017, evidenciou que 8,7% desses riscos estavam relacionados à presença irregular de resíduos de agrotóxicos em vegetais, o que representou a terceira maior causa de notificações, atrás apenas das relacionadas à presença de microrganismos patogênicos (18,2%) e microtoxinas (23,0%) (PIGLOWSKI, 2020).

Além disso, os riscos relacionados aos surtos de doenças comuns em animais que podem ser transmitidas aos seres humanos e a presença de produtos químicos acima dos limites aceitáveis nos alimentos ameaçam a qualidade e a segurança dos produtos agrícolas no mundo contemporâneo. Para proteger as pessoas das doenças de origem alimentar, além de identificar é essencial retirar do mercado ou fazer o recall de produtos considerados inseguros (INTERNATIONAL TRADE CENTRE (ITC), 2015).

Partindo do pressuposto que existem deficiências no compartilhamento de informações ao longo da cadeia produtiva de alimentos e dos crescentes desafios a serem superados para mitigação de riscos associados aos agrotóxicos, pesquisas que envolvem a otimização de sistemas de rastreabilidade sobre a presença de resíduos de agrotóxicos assumem relevância para o controle da qualidade de alimentos (QIAN *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2020)

Portanto, conforme constatação de Ribeiro *et al.* (2020) a rastreabilidade faz-se necessária por conta de exigência legal e questão logística. Afirmam que os sistemas de rastreamento passam a agregar valor principalmente pela segurança

sanitária, e que a logística da rastreabilidade vem modernizando-se inclusive com inteligência artificial:

Perante os achados da literatura, a adoção de sistemas de rastreabilidade por parte dos entes envolvidos na cadeia de produção de alimentos está associada, principalmente às exigências legais e aos aspectos logísticos. Embora esses sistemas ainda sejam vistos como complexos e de alto custo, passaram a agregar valores não somente à eficiência de processos de logística, mas à segurança sanitária e às características do mercado consumidor. A revisão evidenciou o surgimento e o aprimoramento de tecnologias voltadas para sistemas de rastreabilidade de alimentos. Mecanismos que utilizam dispositivos móveis, armazenam dados em nuvem, que usam inteligência artificial para análise dos dados e que transmitem informações em tempo real usando a internet, já são uma realidade. Com essas tecnologias é possível estabelecer um fluxo seguro e possibilitar autenticidade, precisão, eficiência e transparência aos sistemas de rastreabilidade de alimentos (RIBEIRO *et al.*, 2020, p. 20).

Desta maneira, uma vez que se percebe até mesmo o emprego de inteligência artificial na rastreabilidade de alimentos, mecanismos como análise de dados compartilhados em nuvens, por que não implementar a rastreabilidade num nicho tão desenvolvido em termos de tecnologia, como as nanos? Possível lembrar que atualmente existem alimentos já embalados com nanotecnologia (ALFEI; MARENGO; ZUCCARI, 2020; MIHINDUKULASURIYA; LIM, 2014), ou seja, o alimento em si é rastreável, mas se falamos somente em nanoproduto, mesmo passível de causar danos futuros, este não precisa ser rastreável?

O êxito da rastreabilidade sustenta-se na informação. A integridade dos dados – sejam estes físicos ou eletrônicos – é fator essencial para uma rastreabilidade eficaz, uma vez que os mesmos necessitam ser transportados ao longo de todo o ciclo de vida do produto. Dessa forma, a rastreabilidade assume um papel de extrema relevância para a geração de informações acerca das causas raízes de problemas. Deve-se considerar o modo de armazenamento dos dados, evitando a ocorrência de problemas como roubo, furto, incêndio ou outras causas naturais que comprometam a integridade dos mesmos. Nesse sentido, deve-se atentar para a importância da realização de *backup* (se for utilizado *software*) e da digitalização (se for utilizado meio físico). O receio de perda de informação e/ou a negligência no estudo de estruturação de sistemas de rastreabilidade gera, algumas vezes, redundância de informações, as quais necessitam ser minimizadas ou anuladas. Analisando-se a identificação sob a ótica operacional, deve-se garanti-la ao longo de

todo o ciclo de vida do produto; porém, a flexibilidade às particularidades de cada processo e produto também necessitam ser consideradas (SONDA, 2018).

Diante o exposto, assim como a rastreabilidade pode ser feita de várias formas, seja física ou digital, não há obstáculo a não ser o desinteresse público para efetivar sua implementação no caso de nanoprodutos e *nanowaste*. Ressalta-se ainda que, uma vez inseridos ainda na economia circular, o controle destas nanotecnologias ficaria ainda mais seguro e sendo viável os ajustes necessários para uma melhor efetivação, levando em conta o controle no acesso aos dados e informações.

O maior equívoco parte da ausência de conhecimento dos gestores acerca do tema rastreabilidade, que leva à erro no âmbito dos custos, uma vez que estes são considerados como custos adicionais. A implementação de sistemas de rastreabilidade requer estudos e análises para determinar, dentre as inúmeras alternativas existentes, a mais adequada às necessidades de cada organização (SONDA, 2018).

Inúmeros são os benefícios obtidos pela rastreabilidade como, por exemplo, i) maior assertividade das ações junto às causas raízes; ii) possibilidade de correlação de fatos quando ocorrem problemas de qualidade; iii) contribuição ao combate à falsificação e à contaminação; iv) melhor controle interorganizacional; e v) geração de dados estatísticos passíveis de serem analisados, orientando o processo de tomada de decisão (ALFARO; RÁBADE, 2009; GUERCINI; RUNFOLA, 2009; GALVÃO *et al.*, 2010; MARUCHECK *et al.*, 2011; BERGQUIST, 2012; SALTINI; AKKERMAN, 2012; STOROY; THAKUR; OLSEN, 2013; TEKIN, 2014; GOSSEN; ABELE; RAUSCHER, 2016 *apud* SONDA, 2018, p. 48).

Tratando-se de rastreabilidade, cita-se, como um de seus objetivos, a capacidade de retorno à origem de um produto durante seu processo ou quando acabado. Nesse sentido, o modo de identificação é crucial para o êxito da rastreabilidade. Possível ainda elencar-se possíveis alternativas de identificação:

RFID¹⁶; ii) QR code; iii) código de barras; iv) fita adesiva alto relevo; v) saco plástico impresso; vi) laser; e vii) carimbo de gravação - e então aplicou-se um modelo multicriterial para auxiliar na escolha da melhor alternativa através da ferramenta AHP. Consideraram-se como critérios para tal análise: i) o menor custo de implementação; ii) o menor custo operacional; iii) a maior durabilidade de identificação; e iv) o menor comprometimento do produto. Dentre as alternativas de identificação comparadas sob os critérios utilizados, o melhor resultado final normalizado deu-se no carimbo de gravação (22,5%) (SONDA, 2018, p. 81).

¹⁶ Etiqueta adesiva de rastreabilidade.

Para ilustrar um exemplo do RFID, que seria a etiqueta de identificação, segue abaixo a Figura 77:

Figura 77 - Etiqueta de identificação



Fonte: Sonda (2018, p. 63).

Desta forma, a partir da análise de Sonda (2018), da área de engenharia de produção, chega-se a seguinte conclusão no aspecto de melhor escolha de rastreabilidade de acordo com o menor custo de implementação, menor custo operacional e ainda durabilidade na identificação:

Analisando-se a Tabela 9, observa-se que o 'saco plástico impresso', a fita adesiva alto relevo e o 'carimbo de gravação' são as alternativas preferidas no que se refere ao 'menor custo de implementação'. Já no que diz respeito ao 'menor custo operacional', destaca-se como melhor opção o carimbo de gravação, com 45,5% da preferência atribuída. Tratando-se da 'maior durabilidade da identificação', observam-se as alternativas de marcação física nas peças como sendo as mais adequadas, com destaque para o 'carimbo de gravação' (33,6%); laser (25,0%); e QR code (22,4%), os quais somados representam 81% da preferência atribuída pelos decisores. Cenário inverso ao da durabilidade da identificação é visualizado no 'menor comprometimento do produto', em que o destaque é a identificação através do 'saco plástico impresso' (30,6%), seguido pela fita adesiva alto relevo (27,7%) e pela identificação por meio de 'código de barras' (23,1%), os quais somados representam 81,4% da preferência atribuída pelos decisores (SONDA, 2018, p. 66-67, grifo do autor).

Abaixo a Tabela 7 (que consta como Tabela 9 na dissertação do autor): referenciada por Sonda (2018), onde demonstra a percentual de preferência atribuída a cada alternativa de rastreabilidade, relacionando-se a determinados critérios, como menor custo de implementação, menor custo, etc:

Tabela 7 - Graus de preferência atribuídas às alternativas

Tabela 9 - Graus de preferência atribuídos às alternativas em cada critério

Alternativas	Preferência atribuída (valores normalizados)			
	Menor custo de implementação	Menor custo operacional	Maior durabilidade da identificação	Menor comprometimento do produto
RFID	2,5%	3,3%	9,4%	8,8%
QR Code	3,6%	4,6%	22,4%	3,2%
Código de barras	12,7%	13,3%	3,2%	23,1%
Fita adesiva alto relevo	25,8%	11,8%	4,1%	27,7%
Saco plástico impresso	26,8%	19,4%	2,2%	30,6%
Laser	3,7%	2,2%	25,0%	2,2%
Carimbo de gravação	24,9%	45,5%	33,6%	4,4%

Fonte: Sonda (2018, p. 66).

Desta forma, após pesquisa realizada, chegou-se a conclusão que o carimbo de marcação foi, dentre as sete alternativas avaliadas, a melhor opção pela ótica dos decisores, correspondendo a 22,5% da preferência global atribuída. Um aspecto importante a ser considerado na viabilidade dessa alternativa é a garantia de que não sejam comprometidos os produtos, uma vez que o carimbo de gravação apresentou baixo grau de preferência nesse critério. Nesse sentido, os resultados dos testes laboratoriais apresentados anteriormente proveem evidências de que essa alternativa de marcação de produtos pode ser utilizada (SONDA, 2018):

Tabela 8 - Valor global normalizado por alternativa

Alternativas	Resultados finais normalizados
RFID	8,1%
QR Code	11,4%
Laser	11,8%
Código de barras	13,1%
Fita adesiva alto relevo	15,8%
Saco plástico impresso	17,3%
Carimbo de gravação	22,5%

Fonte: Sonda (2018, p. 67).

Portanto, não se pretende nesta tese esgotar a questão sobre qual o meio de rastreabilidade seria o melhor, ou mais adequado, mas somente apontar que existem diversas alternativas, as quais são possíveis de serem encaixadas em cada

realidade do desenvolvimento nanotecnológico. Falamos em um tipo de tecnologia que para sua produção demanda um grande investimento, trazendo de dado o orçamento em pesquisa nanotecnológica nos EUA, o NNI (2022), que em março deste ano orçou o montante de US\$ 1.98 bilhão de dólares, totalizando um investimento contínuo no projeto que totaliza cumulativamente mais de \$ 38 bilhões.

Neste cenário, a implementação de rastreabilidade em nanoprodutos, seja qual for o meio, não seria um obstáculo, até mesmo porque como já falado anteriormente, há desde opções mais baratas até mais dispendiosas. Levando em consideração a necessária gestão do risco, a rastreabilidade em nanoprodutos dentro da economia circular, e quando inevitável ao final de vida (que por conta do modelo circular acaba sendo retardado e evitado ao máximo) seria um grande investimento na nanosegurança e também na atenção à presente e futuras gerações.

Weber (2021) ao analisar a gestão de resíduos eletrônicos (lembrando que neste setor há utilização das nanos), ponderando todas as iniciativas internacionais que fomentam o destino adequada destes resíduos, propôs então a rastreabilidade no lixo eletrônico, fundamentando ainda na Lei de PNRS. A necessidade de rastreabilidade neste segmento é uma importante ação para garantir que a destinação desse resíduo seja executada de forma correta. Com a finalidade de adequarem-se às leis e diretivas criadas, todas as pessoas físicas ou jurídicas têm a obrigação de contribuir na busca de soluções que garantam essa prática sustentável da correta destinação dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), assevera Weber (2021).

Seguindo a preocupação com a sustentabilidade e atenção às gerações futuras é que se sustenta esta tese. Uma vez que vários tipos de resíduos, como o eletrônico (que por sua vez também são compostos por nanotecnologia), possuem uma legislação especial, a qual determina a gestão adequada, com destino adequado para preservar a vida humana e meio ambiente, por que não estender, que seja de forma autorregulatória, a rastreabilidade dos nanoprodutos e *nanowaste* inseridos na economia circular? Não se vislumbra uma resposta negativa plausível.

No caso dos eletrônicos, Weber (2021) afirma que a necessidade de rastreabilidade no segmento de REEE é uma importante ação para garantir que a destinação desse resíduo seja executada de forma correta. Com a finalidade de adequarem-se às leis e diretivas criadas, todas as pessoas físicas ou jurídicas têm a

obrigação de contribuírem na busca de soluções que garantam essa prática sustentável da correta destinação dos REEE. E ainda fundamenta:

O fato de que com o aumento na quantidade de REEE existe o crescimento do acúmulo de materiais que podem ser nocivos à saúde humana e prejudiciais ao meio ambiente, também gera uma motivação para o desenvolvimento deste trabalho. A rastreabilidade de objetos aplicada a REEE é uma forma de atender às necessidades das partes envolvidas na cadeia de produção, comercialização, consumo, coleta, tratamento e descarte de EEE, além de contribuir para o setor de REEE e para a qualidade de vida do homem e da natureza.

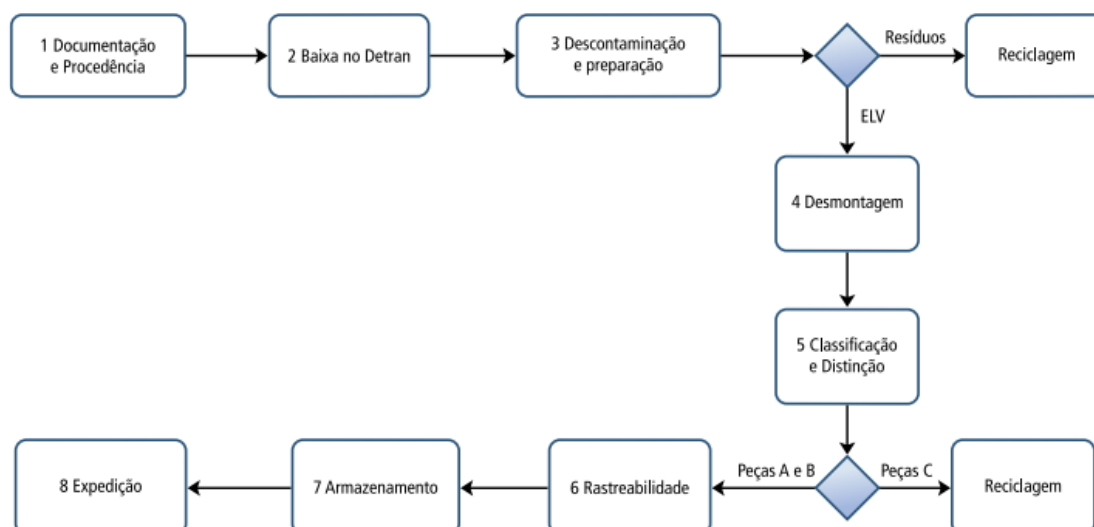
Por fim, mas não exaurindo todas as áreas que tendem a aplicar a rastreabilidade, indica-se a pesquisa de Leite *et al.* (2020), a qual trata do controle do final de vida dos veículos e suas peças através da nanotecnologia. Explica que na literatura encontram-se estudos recentes sobre tratamentos de End of Life Vehicles (ELV) tanto em países desenvolvidos, tais como Coreia do Sul e Japão, quanto em países em desenvolvimento, tais como Argentina, México, Colômbia, Brasil e China. No entanto, explica que os processos de tratamento desses veículos no Brasil ainda não são satisfatórios, causando problemas à sociedade diante da impossibilidade de diferenciar peças remanufaturadas de boa procedência das peças provenientes dos desmanches ilegais, em razão de problemas de rastreabilidade, além dos impactos gerados ao meio ambiente, pois os resíduos não são destinados corretamente à disposição final.

Inclusive, esclarece de que modo a nanotecnologia auxilia na rastreabilidade de veículos e peças, pelos *microdots*:

Nas aplicações referentes à rastreabilidade de peças, a nanotecnologia é utilizada para realizar uma marcação única, inviolável por meio de chapas metálicas nanométricas com códigos identificadores, chamados de *microdots*. Essa tecnologia é utilizada em várias partes do mundo por empresas especializadas em segurança patrimonial e por empresas que necessitam de selos de garantia que assegurem suas marcas. Os produtos marcados geralmente são bens de alto valor agregado, tais como automóveis, peça de automóveis, documentos e itens de consumo de alto valor como os utensílios de luxo (LEITE *et al.*, 2020, p. 93, grifo nosso).

Para exemplificar a ideia acima, apresenta-se o fluxograma (Figura 78) que traz o passo-a-passo da rastreabilidade e destino final das peças de automóveis, através deste método:

Figura 78 - Fluxo processo operacional



Fonte: Leite *et al.* (2020, p. 97).

A partir da ideia acima, percebe-se ser ainda mais viável conciliar a rastreabilidade de nanoprodutos e nanoresíduos, através de sua própria tecnologia. Ou seja, a questão de rastreabilidade das nanotecnologias resolve-se através de suas próprias propriedades de manipulação em marcação única, com código, chamado *microdots*.

O propósito não é definir nesta pesquisa qual seria o mecanismo de rastreio, até porque se verificam inúmeras possibilidades. A intenção é demonstrar a viabilidade e plausibilidade na implementação da rastreabilidade, que há anos se faz presente em outros setores de produção. Fica a inquietação: se a rastreabilidade foi idealizada em virtude dos riscos específicos de cada setor, seja ele alimentício, eletrônico, ou outro, como não afirmar que na área das nanotecnologias ela seria essencial? Resta evidente a capacidade dos danos atuais e futuros, até então incalculáveis ante o cenário nebuloso da nanosegurança.

Face a plausibilidade de implementar a nanorastreabilidade, cumpre que se apresente projeto de lei brasileiro, que regula a mesma ideia mas nos resíduos sólidos perigosos, que poderia ser utilizado de forma análoga nas nanotecnologias, o qual será explorado no próximo subcapítulo.

4.2 Análise do Projeto de Lei de Rastreabilidade de Resíduos Sólidos Perigosos nº 7.088/2017 e contribuições da Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei nº 12.305/2010 – para a rastreabilidade de nanoproductos e controle adequado do *nanowaste*

Da imensa gama de atividades humanas, algumas originam rejeitos como produto final e outras geram resíduos em alguma fase de sua cadeia produtiva. Quando esses resíduos são classificados na categoria de perigosos, devem ser controlados de forma mais rigorosa, tendo em vista serem danosos à saúde pública e comprometerem a preservação do meio ambiente.

Sem dúvida, esse monitoramento mostra-se como enorme desafio, com destaque para o transporte, seja ele feito ao longo das etapas produtivas ou durante a disposição final dos rejeitos. Vale lembrar que o Art. 13, II, a, da Lei nº 12.305, de 2010 (BRASIL, 2010), que institui a PNRS, define resíduos perigosos como

[...] aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica.

Para assegurar o controle do transporte mencionado, o Projeto de Lei nº 7.088, de 2017 (BRASIL, [2017]), introduz o Art. 37-A na lei referida, obrigando à implantação, pelo operador dos resíduos em foco, de dispositivo móvel e remoto de rastreamento dos veículos e embarcações usados no transporte dos resíduos referidos. Vislumbra-se então a necessidade de monitoramento remoto de veículos e embarcações em movimento abrange emissor, receptor, equipamentos afins e meios de comunicação, sejam eles mediados por telefone ou satélite, os quais transportam esses resíduos. A partir desta deste cenário de risco, o ventilado projeto de lei foi analisado na câmara, o qual será explicado a partir de suas particularidades, a fim de dialogar com a conjuntura do risco nanotecnológico, para que possa ser utilizado de forma análoga.

Primeiro cumpre explicar que a questão dos resíduos sólidos é regulada pela Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que dispõe sobre a PNRS, a qual será abordada em seus principais aspectos, até mesmo para viabilizar o cotejo com os nanoproductos e resíduos.

A Lei de PNRS, Lei nº 12.305, foi criada em 2 de agosto de 2010, em seu Art. 1º regulamenta sobre as concepções, finalidades, ferramentas e procedimentos referentes ao gerenciamento de resíduos sólidos, abrangendo os materiais insalubres, a responsabilização dos produtores desses resíduos e do governo, e trata os instrumentos econômicos aplicáveis. Ainda no Art. 1º, § 1º estabelece a responsabilidade direta ou indireta às instituições públicas ou privadas e às pessoas físicas pela produção dos resíduos, além das que possuam envolvimento com a gestão dessa espécie de rejeito (BRASIL, 2010). Dessa forma, institui um apoio fundamental para a questão de preservação ambiental no país no que diz respeito aos resíduos sólidos (WEBER, 2021).

Cabe mencionar os princípios referidos na PNRS:

- I - a prevenção e a precaução;
- II - o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;
- III - a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;
- IV - o desenvolvimento sustentável;
- V - a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;
- VI - a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;
- VII - a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- VIII - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;
- IX - o respeito às diversidades locais e regionais;
- X - o direito da sociedade à informação e ao controle social;
- XI - a razoabilidade e a proporcionalidade (BRASIL, 2010).

Apesar da ventilada lei ter sido promulgada há doze anos, o modelo vigente de gestão de resíduos sólidos no Brasil ainda “[...] é o que preza pelo aterramento dos resíduos sólidos e pelo desperdício de matéria-prima [...]”, segundo o biólogo Viana (2015) em entrevista à IHU On-Line.

Não basta a gestão dos resíduos sólidos ser integrada. Ela precisa ser sustentável, envolvendo o conceito de integração entre as etapas do fluxo dos resíduos e ainda os aspectos ambientais, sociais, políticos, econômicos, diz o biólogo (VIANA, 2015).

Viana (2015, grifo do autor) ainda menciona que a situação parece mais grave ainda quando se percebe que:

O nosso modelo ainda vigente é o que preza pelo **aterramento dos resíduos sólidos** e pelo desperdício de matéria-prima. Este modelo é responsável pelo esgotamento rápido dos aterros sanitários e por contribuir para agravar os **impactos** negativos ao meio ambiente e à saúde pública pelo uso alargado de lixões e aterros controlados, que são métodos de disposição dos resíduos sólidos inadequados no solo e sem a proteção devida. Por isso, é preciso dar um basta nesta situação e progredirmos para uma outra realidade.

Weber (2021) explica sobre a PNRS, afirmando que suas concepções estão descritas no Art. 6º (BRASIL, 2010) como sendo a precaução e a prevenção dos impactos sobre o meio ambiente; a relação entre o agente responsável pela poluição e aquele que se preocupa com a proteção do meio ambiente; o desenvolvimento sustentável; o gerenciamento dos elementos residuais, abrangendo questões sobre as implicações sociais, tecnológicas, econômicas, de cultura e saúde; a parceria entre as várias esferas sociais, públicas ou privadas; o compartilhamento de responsabilidades pela vida útil de cada elemento produzido; a eficiência ecológica, considerando os riscos ao meio ambiente, o uso racional e equilibrado do consumo de recursos naturais em relação à sustentabilidade mundial; os aspectos econômicos e sociais do material reutilizável e reciclável como criador de empregos, de renda e para a promoção da cidadania; questões de diferenças regionais e locais; o direito de acesso à informação por parte da sociedade.

É salutar deixar mencionado aqui a questão do resíduo e a responsabilidade civil dos diversos integrantes da cadeia consumerista, já consagrados nos princípios da PNRS (Lei nº 12.305/10) (BRASIL, 2010), no Art. 3º, XVII¹⁷ que menciona a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, ou seja, o conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos

¹⁷ Art. 3º: “XVII: responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos: conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei” (BRASIL, 2010).

causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos da referida lei. Importante pensar que com a reciclagem pode-se estar perpetuando o ciclo de vida de um nanomaterial, que entrará novamente em um novo ciclo, do berço ao túmulo.

As finalidades da PNRS estão presentes no Art. 7º (BRASIL, 2010) e são a preservação qualitativa do círculo ambiental e da saúde social, a não produção, a diminuição, a reutilização, a reconversão e o tratamento dos rejeitos sólidos, o adequado descarte dos resíduos; a utilização, o avanço e o aperfeiçoamento de métodos tecnológicos sustentáveis a fim de atenuar os problemas no meio ambiente; a diminuição da quantidade e da periculosidade dos resíduos nocivos à saúde dos seres vivos; o incentivo às práticas produtivas sustentáveis de bens e serviços; o estímulo ao setor industrial da reciclagem, a fim de criar condições para facilitar o uso de materiais que possam ser reutilizados; a relação entre o poder público e o privado, visando à cooperação em relação ao mercado de resíduos sólidos; a divulgação e o acultramento no segmento de resíduos sólidos; a prestação eficiente dos serviços de limpeza pública e de manipulação de resíduos sólidos de forma contínua, regular, funcional e ampla, com a inclusão de práticas gerenciais e econômicas que garantam o retorno dos investimentos e custos financeiros e operacionais, devendo ser acatada a Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007), de 5 de janeiro de 2007 (WEBER, 2021). Cita-se ainda a priorização do governo para produtos, bens, serviços e obras compatíveis às características ambientais e sociais sustentáveis de consumo; a integração da comunidade nas atividades de reciclagem e no compartilhamento de responsabilidade pelo ciclo do tempo de utilidade de cada produto inserido no mercado; o estímulo à implementação, desenvolvimento, gerenciamento e análise do ciclo de vida de produtos e serviços; o incentivo ao consumo consciente e sustentável (BRASIL, 2010).

Já o Art. 8º da PNRS descreve seus instrumentos onde nos incisos VI, VII e VIII relacionam respectivamente: a colaboração financeira e técnica e entre as instituições públicas e privadas para o apoio a pesquisas tecnológicas e científicas que desenvolvam novos métodos, processos e produtos para o correto tratamento e técnicas de manipulação que possibilitem a reutilização ou o descarte adequado dos resíduos (BRASIL, 2010). Com a implementação dessas regulamentações, leis e atribuições, surge a responsabilidade das partes envolvidas sobre a destinação correta dos produtos e resíduos, com a finalidade de gestionar esse material e evitar

implicações legais (WEBER, 2021). E é nesta responsabilidade compartilhada que se vislumbra um aporte para implementação da rastreabilidade dentro do modelo circular para os nanoproductos e *nanowaste*.

Posteriormente, o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, complementa o Art. 33 e, em seu Art. 1º, estabelece normas visando garantir a igualdade de direitos em relação ao ato de fiscalizar e verificar se foram cumpridos os deveres atribuídos para os responsáveis pela importação, distribuição, fabricação e comercialização de produtos, seus resíduos e suas embalagens com adoção obrigatória da logística reversa (BRASIL, 2017).

Aduzem Moura e Pereira (2016) que a Lei nº 12.305/10, instituidora da PNRS, é bastante atual e contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao País no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos, os quais poderiam ser aproveitados no recorte das nanotecnologias, ao *nanowaste*. Tal normativa prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos. Explicam Moura e Pereira (2016, p. 152-153) sobre a PNRS, a qual seria uma possibilidade de acoplamento da seara dos nanoproductos e *nanowaste*:

Institui a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos: dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, o cidadão e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos e urbanos na Logística Reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo e pós-consumo. Cria metas importantes que irão contribuir para a eliminação dos lixões e institui instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microregional, intermunicipal e metropolitano e municipal; além de impor que os particulares elaborem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. [...]. Os resíduos das atividades relacionadas à nanotecnologia poderão ser regulamentados com base nos princípios e nos instrumentos da Lei da Política Nacional de Resíduos sólidos, desde que, é claro, sejam consideradas as peculiaridades dos resíduos desta nova tecnologia.

Melhorar a gestão de materiais e reduzindo drasticamente o impacto dos resíduos são elementos-chave em qualquer estratégia para travar a erosão contínua da resiliência ambiental. Isso significa políticas e abordagens que estimulem o uso sustentável dos materiais e procurem garantir saúde humana e proteção ambiental. Todas essas políticas têm de se adaptar às rápidas mudanças no ambiente de

produção associada a inovações tecnológicas. Uma dessas inovações é o uso cada vez mais generalizado de nanomateriais (OECD, 2016).

Os nanomateriais são cada vez mais usados numa variedade de produtos, amplamente disponíveis, tais como protetor solar, cosméticos, têxteis antibacterianos, as baterias de lítio, revestimento de vidro e raquetes de tênis. Os nanomateriais são utilizados numa variedade de aplicações, devido às suas significativas propriedades melhoradas, ativadas por sua estrutura nano-escala. No entanto, estas especiais características químicas e físicas também estão associadas a possíveis riscos para a saúde ambiental e segurança. Um ponto em branco em relação na compreensão científica encontra-se na área de gestão de resíduos nanotecnológicos. Resíduos que contenham esses materiais são atualmente geridos junto com o lixo convencional sem conhecimento suficiente dos riscos associados e dos possíveis impactos sobre o meio ambiente (OECD, 2016). É a partir dessa inquietação e incerteza científica que se propõe o problema central desta tese, implementar a economia circular ao desenvolvimento nanotecnológico, e a fim de minimizar o risco, adotar a rastreabilidade dos nanoprodutos por conta do *nanowaste*.

No contexto internacional percebe-se mais a preocupação com gestão de resíduos, em especial o *nanowaste*. Em 13 de abril de 2016 o Centro de Direito Ambiental Internacional (CIEL), a Organização de Cidadãos Europeus pelo Meio Ambiente, a Organização para Standarts, e o Instituto Oeko efetuaram a Publicação de uma Declaração das Organizações Europeias sobre resíduos que contenham nanomateriais, que inclusive dialoga com a PNRS e o Projeto de Lei n.º 7.088/2017, como a questão da responsabilidade do produtor quanto os resíduos, gestão dos movimentos e logística dos resíduos em escala transnacional, criação de fluxo dos resíduos, dentre outros. Entre os principais aspectos abordados estão:

- a) a implementação de plena responsabilidade do produtor para garantir uma gestão segura de resíduos contendo nanomateriais manufaturados;
- b) a restrição dos movimentos transfronteiriços de resíduos que contenham certos nanomateriais manufaturados;
- c) a possibilidade de quantificação transparente e caracterização dos fluxos de resíduos que contêm nanomateriais fabricados através de registro público dos produtos nanos na União Europeia;

- d) o estímulo a inovação em matéria de prevenção de resíduos;
- e) a promoção do desenvolvimento de tecnologias de reciclagem e descarte seguras e eficazes para os produtos que contêm nanomateriais manufaturados;
- f) o desenvolvimento e estabelecimento de critérios verificáveis de fim de resíduos para materiais recicláveis que contêm nanomateriais manufaturados;
- g) os inovadores devem explorar como as propriedades avançadas de nanomateriais fabricados podem ser utilizados em apoio da economia sem a introdução de novos riscos ambientais ou agravar os já existentes (BERGESON; HUTTON, 2016).

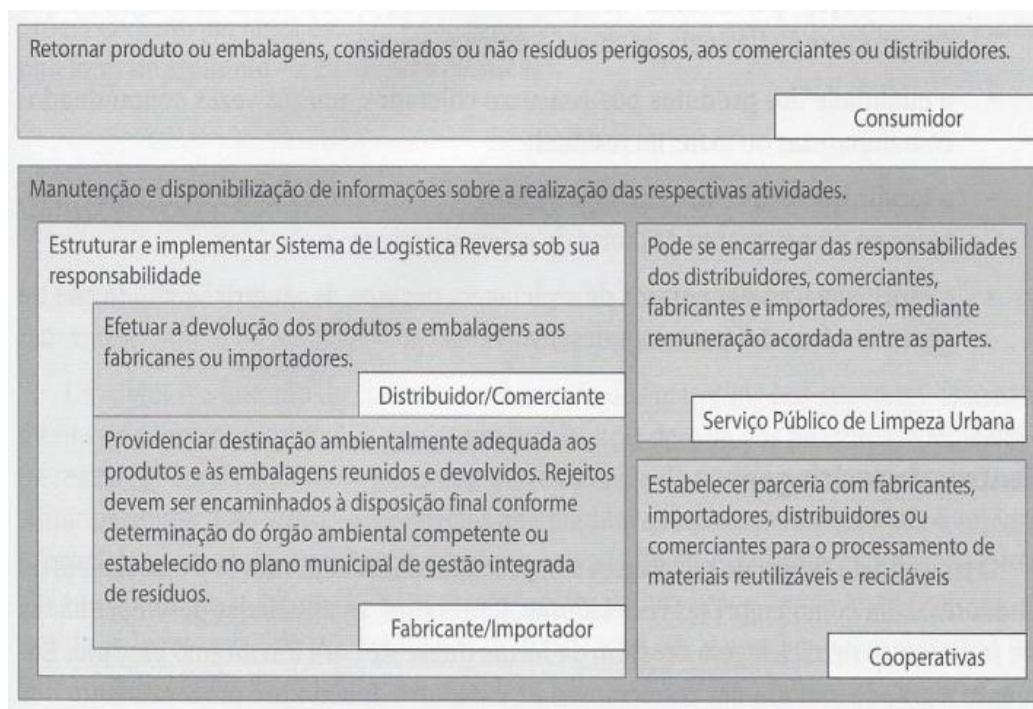
Discorrendo sobre o ponto da responsabilidade na cadeia produtiva, dentro da PNRS, em entrevista ao IHU On-Line, Viana (2015) esclarece sobre a **responsabilidade compartilhada** pela gestão dos resíduos sólidos entre fabricantes, importadores, comerciantes e consumidor (logística reversa). O entrevistado Viana (2015) menciona que:

A experiência internacional mostra claramente que a responsabilidade deve ser estendida ao produtor, onde o fabricante, por exemplo, tem a responsabilidade de cuidar dos resíduos gerados a partir do momento em que lança um produto no mercado. É claro que ele vai cobrar do consumidor a conta, mas, por outro lado, se garante a gestão adequada destes resíduos no seu fluxo, não provocando 'nós' como vemos hoje para diversos setores no Brasil. Por exemplo, pensando na **logística reversa** versus a **responsabilidade compartilhada** dos resíduos no Brasil, há embalagens que são constituídas por diversos materiais, provenientes de diversas fontes geradoras. Neste caso, todos se perguntam: como conduzir cada um dos componentes daquela embalagem ou resíduo para os seus respectivos fabricantes? Há casos como o de medicamentos em que o consumidor teria que comprovar a compra do medicamento em uma determinada farmácia para poder descartar ali os resíduos gerados pelo medicamento adquirido. A farmácia, por sua vez, tem que identificar os laboratórios fabricantes (se for um medicamento) e separar as embalagens para serem conduzidas para os fabricantes. Já imaginou quantos laboratórios farmacêuticos existem e como seria esta dinâmica e logística de retorno da embalagem pela farmácia? Temos que encarar as dificuldades de frente e não ficar tentando 'desnovelar' o que não tem como ser feito. Precisamos avançar a passos largos e partir para o que é funcional de fato (VIANA, 2015, grifo do autor).

Para que seja possível uma abordagem sustentável dos resíduos nanotecnológicos deve-se contemplar as decisões com foco na "[...] eliminação de resíduos que afetam negativamente o meio ambiente, o desenvolvimento

sustentável traduz-se frequentemente pelo emprego de métodos como a reciclagem, o reuso, a recuperação e o gerenciamento de resíduos” (MENDONÇA; PONTES; SOUZA, 2014, p. 8), e a partir dos princípios e objetivos traçados pela PNRS (BRASIL, 2010) seria viável, dentre eles, destacadamente, a obrigação da implantação do sistema de logística reversa (Art. 33, Lei nº 12.305/2010), por conseguinte, a responsabilidade compartilhada (Figura 79) pelo ciclo de vida dos produtos (Art. 6º, VII, Lei nº 12.305/2010).

Figura 79 - Responsabilidades das partes na logística reversa (Art. 33 PNRS)



Fonte: Xavier e Correa (2013, p. 83).

Pelo exposto, a partir da proposta de operacionalização ou gestão de resíduos sólidos, mas também destacando os guias europeus quanto ao *nanowaste*, verifica-se a necessidade de implementação de medidas de manejo e acompanhamento do ciclo de vida dos nanomateriais, que, a partir da proposta deste estudo, dar-se-ia com a implementação de uma “rastreadabilidade de produtos e resíduos nanotecnológicos”, com aplicação pelas empresas (a contar da produção), fazendo o cotejo com o Projeto de Lei nº 7.088 de 2017 (BRASIL, [2017]), o qual pretende alterar a ventitada lei de resíduos sólidos, justamente adotando a rastreadabilidade dos resíduos perigosos.

Tal proposta de rastreabilidade tem base na sustentabilidade e na precaução exigida neste contexto, e que ainda vai ao encontro dos princípios da Economia Circular (MASSULO, 2017), apresentada anteriormente.

Desta maneira, é preciso dar a devida atenção ao *nanowaste*, implementando um procedimento de controle destes resíduos, o que coincide com o projeto de lei acima mencionado. O resíduo nanoparticulado demanda maior cuidado dadas suas particularidades. As ligações complexas destes parâmetros são suscetíveis de desencadear quantidades crescentes de liberações destes resíduos para o ambiente, com diversas vias de exposição, como ilustrado na Figura 80:

Figura 80 - Geração de *nanowastes* e vias de exposição em sistemas ecológicos

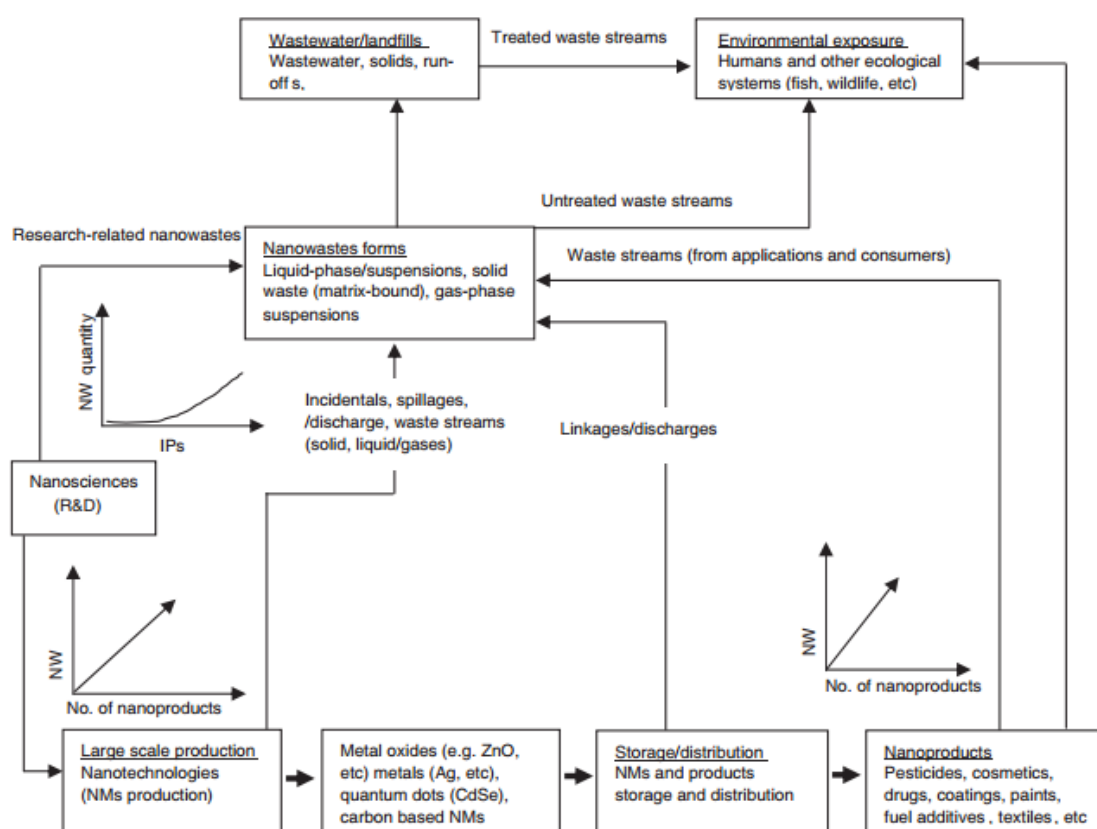


Fig. 1. Nanowastes generation and exposure pathways into ecological systems. NM: nanowastes, IP: intellectual property, R&D: research and development.

Fonte: Musee (2011, p. 115).

Ante a ausência de estudos específicos e regulação sobre os resíduos nanotecnológicos, sua dispersão no meio ambiente torna-se cada mais inseguro e potencializa o risco, pois são diversos os canais de introdução do *nanowaste* no ecossistema:

Nanowastes são potencialmente a via mais particular e única de introdução de NMs nos sistemas ambientais. A falta de resposta a estas preocupações continua a descontrolar a liberação de NMs no ambiente (por exemplo, água, ar e solo) – que pode causar contaminação dos solos, bem como da superfície e do subsolo recursos hídricos. A longo prazo, isso não só ameaça a segurança dos recursos hídricos, mas pode ser impossível remediar devido ao: o tamanho de cisalhamento dos problemas devidos à dispersão dos NMs no ambiente, altos custos de limpeza, falta de tecnologias adequadas para remediação e ausência de ferramentas de monitoramento para identificar as áreas contaminadas. Por exemplo, há uma demanda global crescente em aditivos para combustíveis, lubrificantes e catalisadores, devido ao desempenho através da infusão de partículas em nanoescala de óxido de cério. Geralmente, estes combustíveis aditivos, lubrificantes e catalisadores nanotecnológicos são suscetíveis de emissão através de vários resíduos, fluídos para o ar, para a água ou para o solo. Em última análise, eles terão seu fim em ambientes aquático e terrestre através de escoamento superficial, derramamentos durante o uso e vazamentos de veículos, ou através de da drenagem do esgoto. Isto levanta sérias preocupações de lidar com *Nanowastes*, de fontes pontuais e não pontuais. Ademais, importante ressaltar que a nanotecnologia e seus produtos estão presentes em diversas áreas da indústria. Por isto, existem estudos relacionados a este tema, o que nos traz notícias relevantes mais frequentemente (MUSEE, 2011, p. 113, grifo nosso).

Diante desta situação de risco nanotecnológico, oportuna a adoção e fomento da sustentabilidade por parte das empresas, para transição à economia circular, atrelado à ideia de rastreabilidade de nanoprodutos, e gerando mais enfoque no que diz respeito aos resíduos. Para tal proposta, importante conhecer emtão o Projeto de Lei nº 7.088/2017, que busca a alteração da Política de Resíduos Sólidos para rastrear os resíduos perigosos (BRASIL, [2017]).

O primeiro enfoque dado anteriormente foi sobre a Política de Resíduos Sólidos. Nesta seara, a geração de resíduos sólidos perigosos é considerada uma realidade da sociedade moderna. 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 PNRS 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.

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).

Nesta tese o foco é o *nanowaste* ou resíduo nanotecnológico. Entretanto, importante trazer a definição exata de resíduo, até para alcançar a comparação com os resíduos sólidos da PNRS e posteriormente resíduos perigosos, a qual poderá promover a rastreabilidade.

A palavra resíduo deriva do latim *residuu*, é um adjetivo e significa o que resta, restante, remanescente. Assim, resíduo é tudo aquilo que não tem mais utilidade, o que resta, o que sobrou, tanto do processo produtivo, como no consumo, ou seja, o que não tem mais utilidade e não foi aproveitado. Tem como sinônimos: despejo, detrito e lixo (RESÍDUO..., c2022). Podendo apresentar-se sob as seguintes formas: sólida, líquida e gasosa.

A PNRS conceitua resíduo sólido no Art. 3º, XVI como:

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

Pela disposição legal acima, a grande maioria dos resíduos nanotecnológicos acabam por se inserir na forma de resíduo sólido, até mesmo naqueles que lançam emissões no ar (gases) e líquidos deles provenientes (lixiviação), os quais podem através entram em contato com o meio ambiente.

Como ensina Russo (2003, p. 47), “Os resíduos sólidos incluem materiais sólidos ou semissólidos provenientes das atividades humanas e que são rejeitados pelos seus produtores”.

Os 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 para resíduos perigosos, que perfeitamente podem ser estendidos ao *nanowaste* face a toxicidade amplamente divulgada pela comunidade científica, bem como os riscos ao meio ambiente, 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.

Fiorillo (2013, p. 397) conceitua resíduo sólido perigoso de outra forma:

Aqueles que em razão de suas quantidades, concentrações, características físicas, químicas ou biológicas, podem causar ou contribuir, de forma significativa, para a mortalidade ou incidência de doenças irreversíveis, ou impedir a reversibilidade de outras, ou apresentar perigo imediato ou potencial à saúde pública ou ao ambiente, quando transportados, armazenados, tratados ou dispostos de forma inadequada.

Já A PNRS no Art. 13º, II, alínea “a” conceitua resíduos sólidos perigosos como:

[...] aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica (BRASIL, 2010).

No Art. 37º, a PNRS (BRASIL, 2010) estabelece que somente podem ser autorizados ou licenciados pelas autoridades competentes, a instalação e o funcionamento de empreendimento ou atividade que gere ou opere com resíduos perigosos, se o responsável comprovar, no mínimo, capacidade técnica e econômica, além de condições para prover os cuidados necessários ao gerenciamento desses resíduos. Estabelece no Art. 38º a criação do Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos (CNORP), obrigando as pessoas jurídicas que operam com resíduos perigosos, em qual quer fase do seu gerenciamento a cadastrar-se no CNORP. O CNORP é parte integrante do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de

Recursos Ambientais e do Sistema de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SNIRS), cuja implantação foi prevista no Art. 12º da PNRS. A PNRS obriga ainda, conforme estabelece o Art. 39º as pessoas jurídicas as pessoas jurídicas que operam com resíduos perigosos, em qualquer fase do seu gerenciamento a elaborar plano de gerenciamento de resíduos perigosos e submetê-lo ao órgão competente. Cabe esclarecer que o plano de gerenciamento de resíduos perigosos poderá estar inserido no plano de gerenciamento de resíduos, previsto no Art. 20º da PNRS (BRASIL, 2010; MATOS; SILVA, 2017).

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 nanotecnológicos, 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 *nanowaste*.

Contudo a PNRS não faz nenhuma referência a nenhum a rastreabilidade dos resíduos sólidos perigosos, alteração esta proposta em Projeto de Lei nº 7.088 de 2017 (BRASIL, [2017]). Além da PNRS existem uma gama de instrumentos legais e normativos que regulam as questões dos resíduos sólidos, e principalmente dos resíduos sólidos perigosos, inclusive alguns destes anteriores a própria PNRS. Cabe esclarecer que serão somente apresentadas (e não referenciadas) as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) – que indica as cores a serem utilizadas em diferentes tipos de resíduos (o que poderia ser utilizado na questão do resíduo nanoparticulado), órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), que foi instituído pela Lei nº 6.938/81 (Política Nacional do Meio Ambiente) (BRASIL, 1981). As Normas da ABNT e as Instruções Normativas e Resoluções dos Ministérios pertinentes, e ainda importante citar as instruções Normativas expedidas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instrução Normativa nº 13, de 18 de dezembro de 2012 (IBAMA, 2012) contendo a lista brasileira de resíduos sólidos, um

importante instrumento de auxílio a gestão dos resíduos sólidos no Brasil (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS (SINIR), [2012]).

Desta maneira, dada a importância da gestão dos resíduos sólidos perigosos, foi proposta a alteração na Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 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. 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.

Dessa forma, entende-se 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 a saúde humana e ao ambiente devido as suas características (MATOS; SILVA, 2017).

No Art. 8º, XI, a PNRS (BRASIL, 2010), com o intuito de viabilizar a gestão de resíduos sólidos estabelece o SINIR. O SINIR é coordenado e articulado pelo IBAMA. Assim, a Lei de Resíduos Sólidos já possui grande controle sobre a gestão, elaborando o cadastro e registro de informações sobre tais materiais.

A preocupação com tais resíduos já levanta grandes esforços no que tange ao procedimento, registro em cadastros, adequação à logística estabelecida. Tal movimento seria de extrema importância se implementado na questão dos nanomateriais, principalmente no *nanowaste*, principalmente que não existe ainda nenhuma regulação específica.

O Brasil não possui uma legislação federal específica que preveja nenhum mecanismo de rastreabilidade de resíduos sólidos perigosos, bem como nenhuma Política Pública Federal específica nesse sentido (MATOS; SILVA, 2017). O que se

tem é o Termo de Referência para elaboração do Manifesto de Resíduos estabelecido pelo Ministério do Meio Ambiente, através do IBAMA, que contém o objetivo de:

Estabelecer a metodologia do SISTEMA DE MANIFESTO DE RESÍDUOS, de forma a subsidiar o controle dos resíduos gerados em determinado empreendimento, desde sua origem até a destinação final, evitando seu encaminhamento para locais não licenciados, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Ambiental Federal (IBAMA, 2020).

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 ementa altera a Lei nº 12.305, de 2010, que institui a PNRS, para dispor sobre o rastreamento de resíduos perigosos.

O Projeto de Lei nº 7.088/2017 estabelece no Art. 1º que seja acrescentado na PNRS 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, [2017]).

E, o Art. 2º estabelece o acréscimo no Art. 38º, da PNRS, um § 4º, com a seguinte redação:

§ 4º O Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos deve incluir sistema de rastreamento desses resíduos, nas fases de geração, recolhimento, transporte, armazenamento temporário e disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, [2017]).

Portanto, com tal alteração, adequada a 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 ao concretamente ao encontro das urgentes e necessárias propostas de regulação para as nanotecnologias, principalmente quando se foca ao *nanowaste*, este que vem sendo descartado no meio ambiente sem qualquer cuidado ou protocolo.

O Projeto de Lei nº 7.088/2017 (BRASIL, [2017]) abre caminho para discussão legislativa e é uma esperança de trazer a reflexão a sociedade brasileira

sobre a importância da rastreabilidade dos resíduos sólidos perigosos. Uma vez que tais resíduos devido as suas características geram maiores danos à saúde humana e ao ambiente, quando gerenciados de forma incorreta (MATOS; SILVA, 2017).

Na última data de consulta, realizado para esta tese (10.03.2023) ao referido projeto de lei, obteve-se a seguinte situação: o material foi apreciado pela Comissão de Viação e Transporte (CVT) e a Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (CMADS), entre os anos de 2017 e 2018, e em 2019 teve somente 2 andamentos, sendo o projeto devolvido à Coordenação de Comissão Permanente, para apreciação final (BRASIL, [2017]). O projeto foi aprovado com emendas, a fim de alterar o termo “dispositivo” para “meios de comunicação”, que fariam o rastreamento.

Desde então o andamento do projeto de lei encontra-se parado, desde seu arquivamento em 31.01.2019, conforme Art. 105 do Regimento interno da Câmara de Deputados.

Desta maneira, é adequada a proposta de rastreabilidade dos resíduos nanotecnológicos, que para que fosse efetivada teria de dar uma amplitude maior, de berço ao berço, pois trazem maior risco e potencial dano ao meio ambiente e vida humana do que os resíduos perigosos. Prepondera o princípio da Sustentabilidade, bem como da Precaução, a fim de preservar os recursos ambientais, e para promover o desenvolvimento e descarte adequado dos nanomateriais.

A partir da implementação de instrumento (auto)regulatório, com modelo nesta tese, de rastreabilidade dos nanoproductos e *nanowaste*, 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*.

Neste cenário de metamorfose Beck (2018) envolvendo o desenvolvimento nanotecnológico, onde se percebe movimentos disruptivos, produtos inovadores e riscos incalculáveis, importa que essa alteração de postura, tanto da cadeia produtiva quanto de seus consumidores perpassa princípios que vão além da preocupação individual. Urge que essa transição sustentável esteja calcada em princípios de ordem pública, dando resguardo e proteção as gerações atuais e futuras. Reflexo disso é o contexto defendido pela ESG, que será abordado na sequência, dialogando com a chamada nanorrevolução.

4.3 Diálogos entre ESG e a nanorrevolução: intersecções da (nano)rastreabilidade, economia circular e comunicação com fundamentos do ESG

A fim de entender o diálogo entre a nanorrevolução com os princípios da ESG, o qual denota-se necessário para alcançar uma alternativa sustentável para o destino destes resíduos, primeiro cumpre esclarecer e apresentar este novo termo, sua definição e adequação ao cenário tecnológico.

A evolução e desenvolvimento global está num patamar tão disruptivo que vários “novos” desafios foram enfrentados nos últimos anos, os quais nos faz refletir acerca da necessária mudança de paradigma, a fim de alcançar a sustentabilidade, conforma afirmam Li *et al.* (2021):

A sociedade humana nunca cessa em sua busca pelo progresso. Hoje, com o desenvolvimento da economia e da sociedade, o mundo se depara não apenas com muitas oportunidades, mas também desafios. Em 2020, os eventos ‘Cisne Negro’ ocorreram com frequência. Com a disseminação global de COVID-19, quatro colapsos no mercado de ações dos EUA em quinze dias, a praga de gafanhotos em África, Luckin Coffee sendo excluído após fraude, etc., ambiental (E), social (S) e questões de governança (G) despertaram preocupação global. O tema do desenvolvimento sustentável e abrangente tornou-se, mais uma vez, um tema quente de discussão em todo o mundo. Dentro resposta aos problemas cada vez mais graves de desenvolvimento sustentável no meio ambiente, sociedade, e o mercado financeiro, organizações internacionais e países do mundo apresentaram planos de ação de desenvolvimento sustentável, como o ESG, para construir um e quadro de desenvolvimento abrangente da sociedade humana (LI *et al.*, 2021, p. 1).

Para fins de percepção cronológica, se pode destacar que o termo “ESG” nasceu em 2004, a partir de uma publicação do Pacto Global das Nações Unidas, em parceria com o Banco Mundial, intitulada *Who Cares Wins*, ou seja, “*Quem se importa (ou cuida), ganha*” (THE GLOBAL COMPACT, 2004). Desde essa iniciativa, o movimento tem evoluído significativamente, em especial pela integração do tema na agenda do Fórum Econômico Mundial, ampliando o segmento das organizações que passaram a orientar as suas operações pelo conteúdo do ESG (ENGELMANN, 2022a).

Neste sentido, percebe-se que

O desenvolvimento sustentável da economia e da sociedade globais exige a prática do princípio ambiental, social e de governança (ESG). O princípio ESG foi desenvolvido por 17 anos após sua proposta formal em 2004. Países ao redor do mundo continuam a promover o desenvolvimento coordenado do meio ambiente, da sociedade e da governança de acordo com os Princípio ESG (LI *et al.*, 2021, p. 1).

Desde que o princípio ESG foi formalmente proposto em 2004, ele tem sido ativamente praticado na Europa, América e outros países desenvolvidos. Uma série de conquistas promovem a desenvolvimento e maturidade dos fatores ambientais, sociais e de governança, bem como ESG como um todo, como o estabelecimento do sistema de avaliação ESG, a divulgação ESG padrões e o sistema de índice ESG. Esses fatores estão constantemente construindo um novo padrão de desenvolvimento sustentável. Com o conceito de ESG gradualmente se tornando mainstream, A ESG tem sido amplamente examinada, praticada e popularizada no campo prático, e tem despertou o interesse de estudiosos de todo o mundo. Atualmente, existem poucas literaturas comentários sobre a pesquisa ESG (DAUGAARD, 2020; WIDYAWATI, 2020).

Um dos maiores desenvolvimentos nos mercados financeiros, nos últimos anos, tem sido a integração de informações ambientais, sociais e de governança (ESG) nas decisões de investimento. De acordo com estimativas recentes, mais de US\$ 30 trilhões em ativos sob gestão são investidos usando estratégias sustentáveis que aplicam critérios ESG na análise de investimentos e seleção de portfólio (GLOBAL SUSTAINABLE INVESTMENT ALLIANCE (GSIA), 2018). Buscando capturar informações sobre ESG que milhares de empresas de capital aberto divulgam cada vez mais, os gastos dos investidores em classificações ESG de provedores de dados (ou seja, classificação ESG agências) aumentou de US\$ 200 milhões para US\$ 500 milhões entre 2014 e 2018 (GILBERT, 2019).

A percepção de desenvolver seguindo os princípios da ESG estão alinhadas com a concepção de um investimento responsável. Ainda, a própria European Banking Authority (EBA) (2021) compreende o ESG uma filosofia de investimento que compreende desenvolvimento econômico coordenado com aspectos sociais e ambientais, repensando inclusive o desempenho financeiro futuro, que se baseará na sustentabilidade para tomada de decisões. Consoante Li *et al.* (2021, p. 1-2):

O ESG decorre do investimento responsável. Os princípios para o investimento responsável (PRI) definem o investimento responsável como 'uma estratégia e prática para incorporar fatores ambientais, sociais e de governança (ESG) no investimento decisões e propriedade ativa'. Portanto, ESG geralmente é um padrão e uma estratégia usado pelos investidores para avaliar o comportamento corporativo e o desempenho financeiro futuro. Como um conceito de investimento para avaliar o desenvolvimento sustentável das empresas, os três fatores básicos de ESG são os pontos-chave a serem considerados no processo de análise de investimentos e tomada de decisão. Além disso, fatores ambientais, sociais e de governança

(ESG) ajudam a medir a sustentabilidade e o impacto social das atividades empresariais. Como a EBA (Autoridade Bancária Europeia) afirma que os fatores ESG são ambientais, sociais ou de governança assuntos que possam ter um impacto positivo ou negativo no desempenho financeiro ou solvência de uma entidade, soberana ou individual. Portanto, como um valor de sustentabilidade e desenvolvimento coordenado que leve em conta os aspectos econômicos, ambientais, sociais, e benefícios de governança, o ESG é uma filosofia de investimento que busca valor de longo prazo crescimento, e é um método de governança abrangente, concreto e realista.

O tema traduzido pela sigla ESG, procura conectar preocupações e ações relacionadas ao meio ambiente, em sentido amplo – como *environmental*, evidenciando questões sobre o impacto ambiental da empresa, uso eficiente de recursos ambientais, eficiência energética, descarte de lixo, emissões de gases de efeito estufa, dentre outros contextos. Direciona ainda às questões sociais – do inglês *social*, destacando o tema dos direitos humanos, em sentido amplo, nas cadeias produtivas das organizações, e por fim à governança corporativa – o *governance*, aqui abrangendo as políticas e compromissos das organizações com questões éticas (ARMSTRONG, 2020), bem como práticas que regulam o modo como a organização é dirigida, seja nas suas relações internas, quanto nas suas redes estruturais e negociais externas (ARBEX, 2021; SILVA; GOMES, 2020).

O conteúdo que está sob a sigla “ESG” sempre deveria estar na atividade cotidiana de qualquer ser humano, além de representar a linha mestra de operação de qualquer organização. Lamentavelmente, não é assim. Por isso, é preciso que, de tempos em tempos, emergjam acrônimos para destacar algo que já deveria ter sido compreendido e colocado em prática (ENGELMANN, 2022a).

Importante destacar que as bases da ESG estão diretamente conectadas às ODS da ONU, conforme explica Cerrone (2022, cap. 2):

Os princípios ESG estão vinculados à agenda dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas para 2030, que considera os desafios ambientais, incluindo as mudanças climáticas, como uma grande preocupação para a estabilidade da economia global. O passo mais importante para o controle do risco climático foi o Acordo de Paris, adotado em 2015 para fortalecer a resposta global à ameaça das mudanças climáticas. A política e a regulamentação financeira são cada vez mais reconhecidas como importantes para gerenciar a transição para uma economia ambientalmente mais sustentável.

Para melhor compreensão dos fundamentos, apresentam-se as estruturas da ESG dentre elas os fatores de impacto e definições, na Figura 81:

Figura 81 - Estruturas internacionais ESG

Dimension	Factors	Definition
Environmental (E)	<ul style="list-style-type: none"> • GHG emissions • Energy consumption and efficiency • Air pollutants • Water usage and recycling • Waste production and management (water, solid, hazardous) • Impact and dependence on biodiversity • Impact and dependence on ecosystems • Innovation in environmentally friendly products and services 	Environmental matters that may have a positive or negative impact on the financial performance or solvency of an entity, sovereign, or individual.
Social (S)	<ul style="list-style-type: none"> • Workforce freedom of association • Child labor • Forced and compulsory labor • Workplace health and safety • Customer health and safety • Discrimination, diversity, and equal opportunity • Poverty and community impact • Supply chain management • Training and education • Customer privacy • Community impacts 	Social matters that may have a positive or negative impact on the financial performance or solvency of an entity, sovereign, or individual.
Governance (G)	<ul style="list-style-type: none"> • Codes of conduct and business principles • Accountability • Transparency and disclosure • Executive pay • Board diversity and structure • Bribery and corruption • Stakeholder engagement • Shareholder rights 	Governance matters that may have a positive or negative impact on the financial performance or solvency of an entity, sovereign, or individual.

Fonte: Li *et al.* (2021, p. 2).

A partir da estrutura arquitetada pelos entes privados e públicos, possível entender os fatores que impactam em cada viés do ESG, como por exemplo na Governança (G), imperativo a implementação de códigos de conduta, transparência e divulgação. No aspecto social (S), percebe-se os fatores de análise de impactos, treinamento e educação, segurança e saúde no local de trabalho, discriminação, diversidade e equidade, todas questões sociais que podem impactar tanto positivamente quanto negativamente na performance da empresa; E no Ambiental (E) o que mais se destaca, por conta do recorte dessa tese, é a preocupação com os resíduos, especialmente produção e manejo destes (LI *et al.*, 2021). Com tais constatações do ESG é possível o alinhamento com a tese, acerca da gestão dos resíduos nanotecnológicos, tendo em vista que tais resíduos geram o risco muito mais elevado do que os comuns, demandando, portanto, uma postura sustentável. Postura esta que se acopla e fica adequada com a proposta de economia circular nos nanomateriais, atentando mais para os nanoplásticos.

O enfrentamento dos desafios das nanotecnologias, tanto da complexidade e risco quanto do seu desenvolvimento disruptivo proporciona espaço para que as

empresas voltem seus olhares à sustentabilidade, considerada nas diversas dimensões trazidas pelo “ESG”, iniciando a jornada para a sua real implantação, pois há evidências de que a sustentabilidade já começa a transformar o cenário competitivo, o que obrigará as empresas a mudar a forma de pensar sobre produtos, tecnologias, processos e modelos de negócios.

Conforme estas empresas passem a integrar a sustentabilidade como uma meta imediata, surgirão os pioneiros no desenvolvimento dessas competências que os rivais terão dificuldade de igualar. Essa vantagem competitiva os manterá em boa posição, porque a sustentabilidade sempre será parte integrante do desenvolvimento (NIDUMOLU; PRAHALAD; RANGASWAMI, 2009).

Enfrenta-se atualmente demandas tão dinâmicas, numa velocidade disruptiva não alcançada antes, dentro da chamada Quarta Revolução Industrial (SCHWAB, 2018), que o foco é responder de forma cada vez mais adequada às novas complexidades apresentadas, como no caso das nanotecnologias. Verifica-se a existência de diferentes atores sociais que participam ativamente nessas elaborações, adotando ações sustentáveis de maneira espontânea, e até mesmo implementando autorregulações a fim de participar da maneira responsável no desenvolvimento tecnológico, protegendo a sociedade dos riscos.

Isso acontece de forma muito sensível nas áreas das tecnologias, pois interfere no meio ambiente, especialmente porque a temática vem ganhando espaço progressivo nas discussões socioeconômicas, atentando-se para a indispensável garantia da sustentabilidade multidimensional. Portanto, a adoção de ações sustentáveis dialoga com os fundamentos da ESG, impactando na tomada de decisões de empresas globais, levando em consideração a preocupação com as gerações atuais e futuras. Inclusive tal postura acaba gerando uma imagem mais confiável e de competitividade no mercado, noção esta que traz efeitos positivos de empresas mais cidadãs e éticas.

Mas e de que maneira essas ações e transições sustentáveis estão ocorrendo? Novas posturas dentro da sociedade e do desenvolvimento tecnológico, que reflete nas empresas, estão acontecendo por imposições legais, de ordem impositiva do Direito, seja em contexto nacional ou transnacional? É sabido que no geral não existem regulamentações que implicam na adoção obrigatória de medidas sustentáveis, mas outra forma de regulação, a chamada autorregulação, vem

ganhando destaque, principalmente na área das nanotecnologias, conforme se analisará na sequência.

4.4 (Auto)Regulação 4.0: autorregulação como base para adoção das medidas sustentáveis

Nota-se atualmente uma mudança na perspectiva regulatória principalmente no que tange às novas tecnologias. De fato, fala-se em complexidades jamais enfrentadas anteriormente. O Estado-nação por si só não dá conta das demandas atuais da sociedade. Surgem novas demandas, tão complexas, como no caso das nanotecnologias, que de maneira isolada tornase inviável solucionar a complexidade que gera novos direitos dentro da sociedade, o que demonstra um movimento cada vez mais global, com a comunicação entre Estados, bem como predispõe a comunicação entre os sistemas (LEAL; ENGELMANN, 2018, v. 1).

Tem-se assim a fragilização do Estado – em suas diversas expressões, quando perde a concorrência para outros setores, como semipúblicos, privados, marginais, nacionais, locais, regionais, internacionais, sendo que a crise funcional do mesmo afeta a centralidade e a exclusividade do seu poder. Ademais, relacionase à fragmentação do espaço de decisão estatal que passa a ser compartilhado com outros atores, acima mencionados (MORAIS, 2005). É neste viés que se sustenta a atual demanda da era nanotecnológica, que fomenta a adoção de institutos com potencial autorregulatório, a fim de elaborar a efetiva gestão do risco dos nanomateriais e do *nanowaste* (LEAL; ENGELMANN, 2018, v. 1).

E, para o Direito, resta a questão: é preciso sair do castelo da certeza, que não possibilita a visualização completa da realidade que se apresenta ao jurista e ao Direito, para um espaço de incerteza, em um cenário novo e desafiador que a criatividade humana está desenhando por meio das nanotecnologias e que precisará ser albergado pelo Direito (ENGELMANN, 2013a, v. 1).

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 redonda 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).

As discussões sobre a regulamentação das nanotecnologias é assunto recente na maioria dos países que desenvolvem produtos e aplicações com nanopartículas. A intenção é trazer à discussão como o Brasil está buscando regular a nanotecnologia, razão pela qual não será dado ênfase às iniciativas de regulamentação em outros países. Entende-se que é necessária uma coordenação internacional para discutir os riscos das nanotecnologias e sua regulamentação (LAZZARETTI; HUPFFER, 2019).

Consoante a explicação de Kempfer (2018, p. 83), desde o final do Séx XX ocorre um novo movimento de desregulação da atividade econômica, com finalidade de impulso à globalização, o que leva assim a atividade privada se autorregular através de, por exemplo, códigos de ética e até mesmo fundamentos do Compliance:

No final do último século o desenvolvimento tecnológico faz crescer a integração e a velocidade da circulação de informações pelo planeta, dando impulso ao processo de globalização, o que gera pressão sobre a necessidade de desregulamentação da atividade econômica, em busca da livre circulação de recursos e mercadorias. Com isso a atividade privada passa a se autorregular. Criam-se os códigos de ética e conduta de submissão e confecção voluntária pelas empresas que podem contes, simplesmente, uma enumeração de valores. Neste caso, a empresa manifesta seu compromisso com um conjunto de princípio aceitos com caráter geral, como por exemplo, a proteção dos trabalhadores

A era nanotecnológica enquadra-se nesse cenário, de impulsionamento pela inovação, demandas não antes pensadas e problemas tão complexos que a ciência do Direito não tem dado conta de respostas regulatórias, abrindo, desta forma, margem ao desenvolvimento autorregulatório por outras ciências. Diante da conjuntura, necessário apropriar-se de outras áreas da ciência a fim de elaborar alguma alternativa de regulamentação, alternativa esta que vem ocorrendo a partir de atores privados e organizações internacionais que vem (auto)regulando a temática.

Conforme Lazzaretti e Hupffer (2019, p. 13), não existe regulação específica, sendo este aspecto o mais desafiador nos sistemas econômicos, político e claro, político, conforme afirmam as referidas autoras:

Não há uma regulação específica para as nanotecnologias no Brasil, a exemplo da maioria dos países. Regular as nanotecnologias é um dos maiores desafios do sistema político, jurídico e econômico, considerando as peculiaridades das características físico-química dos nanomateriais, seus potenciais riscos e seu interesse comercial. A nível mundial, observa-se que organizações internacionais privadas implementaram estratégias de autorregulação mais voltadas para boas práticas e que desempenham uma função importante na regulação das nanotecnologias, as quais, mesmo tendo aplicações volitivas pelas empresas e pelos governos, são bem aceitas por eles e bem vistas pelos consumidores.

Percebe-se a ligação entre a complexidade do estado da arte dos riscos dos nanos e a regulamentação, que atualmente depende de sistemas da ciência externos ao Direito, mas mesmo desta forma a autorregulação seria uma boa alternativa para minimizar a questão do risco, consoante Pereira, Percio e Sacomori (2019, p. 47-48) discorrem:

Em atividades envolvendo a nanotecnologia, a propriedade equivalente entre materiais de diversas escalas não é, necessariamente, uma medida adequada ao estabelecimento de políticas de governança estatais de precaução, posto que as características físico-químicas das nanopartículas não equivalem às apresentadas pelo mesmo material em escala macro. A grande dificuldade em atualizar o estado da arte dos riscos da nanotecnologia faz que a atividade reguladora do Estado dependa cada vez mais de sistemas de peritos e de parâmetros técnicos e científicos, o que acaba esvaziando o Direito – a manifestação, por excelência, da soberania dos Estados. Acrescendo-se a esse cenário o caráter global dos principais agentes econômicos, que detêm interesses óbvios sobre a nanotecnologia, e a não delimitação geográfica de seus riscos, verifica-se que a autorregulação tem potencialidades de estabelecer, com maior facilidade, padrões técnicos aplicáveis à governança dos riscos da nanotecnologia, que atuam como elementos transnormativos de regulação das novas tecnologias.

A grande dificuldade por parte do mundo jurídico, portanto, está em prestar respostas aptas às novas demandas da sociedade – enfrentadas em face de novos direitos que surgem no contexto da sociedade global e do risco –, e também justamente utilizar-se de modelos lineares, não sistêmicos, totalmente impróprios para a complexidade a ser enfrentada (LEAL; ENGELMANN, 2018, v. 1).

De outra maneira, advertem Lazzaretti e Hupffer (2019) que regular a nanotecnologia frente ao cenário mundial de desenvolvimento exponencial de nanoprodutos é um grande desafio para as organizações internacionais constituídas com a finalidade de proteger a preservação das futuras gerações e os próprios governos. Explicam sobre a autorregulamentação e nano como uma possível alternativa:

A autorregulamentação da nanotecnologia juntamente com os meios legislativos tradicionais baseados nas normas de comando e controle não

acompanha o paradigma técnico e científico nanotecnológico, bem como não garante segurança de seu uso. Diante dessas dificuldades, sugere-se uma governança antecipatória, multidisciplinar e mundial, estruturada no controle dos riscos e no diálogo com os principais agentes responsáveis pela construção dos marcos regulatórios. Uma medida inicial seria a elaboração de diretrizes regulatórias entre os países da ONU para posteriormente estabelecer conjuntamente diretivas para nanoprodutos e aplicações nanotecnológicas mais seguras, inclusivas e sustentáveis ambientalmente (LAZZARETTI; HUPFFER, 2019, p. 18-19).

A questão é: ficar inerte e permitir que outras áreas da ciência cumpram o papel de regulamentação? Ou poderia a ciência do Direito aproveitar outros instrumentos que dipõem sobre as nanotecnologias na gestão do risco. Neste sentido aduzem Leal e Engelmann (2018, v. 1, p. 171) acerca de instrumentos estranhos ao Direito que perfazem o cenário autorregulatório:

Assim, observa-se a existência de instrumentos com potencial regulatório internacionais que auxiliariam tanto no resguardo do meio ambiente quanto na produção e desenvolvimento de nanoprodutos, principalmente sua utilização e posterior descarte ao final de vida útil. Esses mecanismos servem de diretrizes, protocolos ou regulamentos internos que podem ser tomados como marcos regulatórios, que de fato supririam (mesmo que momentaneamente) a inércia estatal em regular as nanotecnologias. Este movimento autorregulatório efetua uma comunicação entre sistemas diversos, sendo inevitável tal interação no cenário das nanotecnologias, que nesse sentido propõe ainda a interdisciplinaridade. Seriam sistemas diferentes trabalhando em sintonia, unindo esforços onde é possível a consonância de informações e estudos.

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 da proposta desta tese, a qual concorda que se impõe ao Estado assimilar as inovações em termos de 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 (FEIGELSON; SILVA, 2019, p. 76, grifo dos autores).

Voltando à conjuntura nano-regulatória, impõe-se buscar alternativa à lacuna legislativa das nanotecnologias, vivenciado hoje nacionalmente e até mesmo em nível internacional, não sendo possível afastar-se da noção de *open regulation*. Ficar inerte, aguardando o dano se concretizar para adotar qualquer medida (auto)regulatória, não se mostra adequado e pertinente no cenário de complexidades enfrentado nesta relação entre sociedade, meio ambiente e as nanotecnologias. Desejável que se tome o caminho inverso ordinariamente adotado no Sistema do Direito (quando se fala em preenchimento do suporte fático e previsão legal), vislumbrando adoção de uma (auto)regulação apta, atualizada e adequada às demandas e dinamicidade das nanotecnologias e suas características, antes mesmo de se ter certeza científica quanto seu risco ou não ao ecossistema. Na proposta desta tese é adoção de economia circular, com base na (nano)sustentabilidade, com criação de projeto de rastreabilidade dos nanoprodutos e resíduos nanoparticulados.

Outro aspecto interessante que perpassa o tema da autorregulação, inserindo-se ainda no possível alcance estatal em questões relevantes, é a chamada autorregulação regulada. Segundo Kempfer (2018), autorregulação regulada se apresenta como uma forma de autorregulação associa tanto a autorregulação (privada) e a regulação (pública), onde os entes privados no processo de regulação ficariam subordinados aos interesses públicos estabelecidos pelo Estado.

Na era nano constata-se que cada vez mais as empresas privadas vêm, progressivamente, substituindo o Estado como ator principal, criando algo diferenciado em termos de ordenação socioeconômica e regulação político-administrativa, até pois existe uma maior mobilidade geográfica e descentralizada da produção econômica, as empresas antes multinacionais passam a ser transnacionais, que se desvinculam cada vez mais de seu país de origem. Os atores privados expandem sua atuação pelo cenário internacional e desconhecem as tradicionais fronteiras estatais, chamam para si um protagonismo que antes era exercido pelos Estados. Estes atores que interagem através das fronteiras nacionais, em um tipo de vinculação extra-estatais, são tratados como atores

transnacionais. Eles atuam em um ambiente onde a política estatal exerce pouca ou nenhuma capacidade regulatória (KEMPFER, 2018).

Chamar de autorregulação regulada é aquela caracterizada pela intervenção dos entes privados no processo de regulação, de forma subordinada aos fins de interesse público estabelecidos pelo Estado. Este novo ator, ente privado, titular do direito de regular, recorre às empresas para que colaborem com a elaboração de normas estatal na economia. Essa forma de autorregulação responde a uma nova estratégia reguladora do Estado que vai de encontro frontalmente com as técnicas convencionais, na medida em que seu trunfo é encontrar analogias e pontos de contato entre a autorregulação (privada) e a regulação (pública). Seria ainda uma atividade privada de produção e controle de normas que se encontra condicionada por uma atividade pública tendente ao estabelecimento dos canais e dos controles aos quais se deve submeter a autorregulação (GARDELLA, 2005).

Ela abrange uma diversidade de manifestações que se localizam em um ponto intermediário entre a regulação pública, tradicional, e autorregulação livre. Seria uma realidade situada na conexão entre dois círculos: o público e o privado que, aos poucos acabam aumentando seus pontos de contato (KEMPFER, 2018).

As diversas manifestações da autorregulação regulada compreendem ainda uma ampla gama de medidas que vão desde o controle das normas por parte de seus destinatários até as ações que se confundem com o exercício privado das funções de regulamentação e controles. Assim, a autorregulação, por um lado, se caracteriza pela atividade dos organismos de normatização e a atividade dos organismos de certificação e, por outro lado, o cumprimento voluntário por parte das empresas das normas técnicas e a autocertificação empresarial do cumprimento de tais normas (GARDELLA, 2005).

A produção normativa se redimensiona, em aspectos de regulação e produção, viabilizando oferecer respostas mais rápidas do que àquelas que o Estado apresentaria. Um exercício passa a ser exercido, de poder hegemônico das mais diversas naturezas, a qual institui instrumentos de governança global em virtude da redução do Estado (STAFFEN, 2015).

Segundo Kempfer (2018, p. 77), o Estado enfraquecido possibilita a ascensão de novos espaços e atores transnacionais, sendo estas instituições as condutoras à alteração de autoridade, do público ao privado:

O ponto fundamental nessa configuração é o enfraquecimento da autoridade formal exclusiva dos Estados sobre o território nacional. Isso facilita a ascensão de espaços e atores subnacionais e transnacionais e gera a possibilidade de novas formas de poder e política em diversos níveis. As instituições transnacionais apontam uma mudança de autoridade do público para o privado quando se trata de comandar e economia global. Elas também modificam a capacidade normativa do Estado a este respeito, levantando questões sobre a soberania do Estado e a governança dos processos econômicos globais.

A autorregulação é aquela passível de acobertar espaços onde há a necessidade de intervenção pública, mas não acontece, como o caso das nanotecnologias. Trata-se de uma autorregulação que aparece como contrapartida à desregulação. Controles privados e as normas substituem a regulação estatal, como também completam as diversas técnicas de regulação de polícia (GARDELLA, 2005).

Desde modo expõe Gardella (2005, p. 78):

Lo relevante de este fenómeno es pues que, em la actualidad, la desintervención pública viene acompañada, significativamente, por la complementariedad o la sustitución, em primer lugar, de reglamentaciones públicas por reglamentaciones privadas – códigos de conducta, normas técnicas, protocolos y buenas prácticas –, que nos permitirían hablar de una autorregulación de carácter normativo, y em segundo lugar, de controles públicos por controles realizados por sujetos privados. [...] En primer lugar, la instrumentalización pública de la autorregulación permite superar el déficit de ejecución de la legislación estatal –y comunitaria- y el déficit de ejecución de las decisiones de la Administración pública. En segundo lugar, y como consecuencia de este déficit de ejecución de las decisiones públicas, la autorregulación aparece como la técnica más efectiva de la que dispone el Estado, em la actualidad, para cumplir su función como garante de algunos de los bienes más valiosos para la sociedad – el medio ambiente, la salud, la seguridad, la dignidad humana y el desarrollo de los menores-. En tercer lugar, el fomento y la imposición pública de la autorregulación permite establecer una correspondencia adecuada entre los responsables directos de las agresiones contra tales bienes – las empresas, la ciencia, la técnica o los medios de comunicación- y las medidas concretas para garantizar su protección. Y, em cuarto lugar, se evidencia también que los instrumentos de autorregulación poseen un nivel de armonización a nivel internacional que no es predicable de las normas y de los controles públicos.

Deste modo, a autorregulação regulada se apresenta como uma estratégia estatal que daria efeitos e contrornos público e uma vinculação da autorregulação de uma forma que diminuiria a afetação dos bens coletivos por alguns agentes transnacionais. Ficaria assegurado ao Estado a capacidade de sancionar condutas desviadas das normas objeto da autorregulação, garantindo aos membros da empresa, aos funcionários e ao coletivo, bem como uma atuação de acordo com a ética empresarial e proteção dos direitos humanos. Por outro lado, caberia ao poder estatal regular o contexto da autorregulação, estabelecendo requisitos e

procedimentos pelos quais deve se desenvolver a autorregulação para gerar efeitos públicos, tomando como exemplo a adoção de procedimentos transparentes pelos agentes privados (KEMPFER 2018).

Conforme aventado anteriormente, as diretrizes, protocolos ou normativas internas de agências (auto)regulatórias ao redor do mundo já elaboram uma comunicação com outros sistemas, como o social, econômico, da ciência e até mesmo do Direito. A comunidade europeia e EUA utilizam-se de autorregulações (elaboradas por institutos de pesquisas ou organizações privadas) para guiar o desenvolvimento das nanos, sua manipulação e comércio. Observa-se que a autorregulação dentro das organizações é praticada, importando analisar se a prática está devidamente acoplada com os princípios de direito (MARTINS, 2016). Tal acoplamento faz referência com a lição de Luhmann (2005), que defende a circularidade dos sistemas como igualmente os fundamentos da economia circular funcionam.

Relacionada regulação na economia circular, percebe-se que estão em constante evolução, mas ainda não dão o suporte adequado, de maneira que precisam ser reformuladas, conforme demonstra a Figura 82:

Figura 82 - Regulação em torno da economia circular

Regulations around circular economy are evolving but do not give aspired level of support

7. Be aware of framework conditions and actively engage to shape them

Type of regulatory barrier	Effect for business	Example case
Missing regulations	<ul style="list-style-type: none"> Uncertainty about legal status of operations or requirements to pursue the business Risk of engaging in new model that then is prohibited by new regulations 	<ul style="list-style-type: none"> Sharing platforms such as Airbnb and Uber face difficulties of missing framework that provide required flexibility – e.g. missing appropriate tax collection laws
Current regulations promoting linear models	<ul style="list-style-type: none"> Distortion of competition for circular businesses due to prices from linear models that do not show true costs (neglecting environmental costs/externalities) 	<ul style="list-style-type: none"> 6.5% of global GDP went to subsidising fossil fuels in 2013 Tax payers pay more than 90% of the cost of recycling plastic
Current regulations hindering circular models	<ul style="list-style-type: none"> Costs from increased administration Hindrance to harness circular value opportunities 	<ul style="list-style-type: none"> Definition of material classifications (e.g. "secondary material" status vs. "waste" status) WEEE is the only category where hazardous substances have been comprehensively restricted for by legislation

Engage in shaping regulations through

- Partnering with larger players
- Seeking for legal assistance
- Participating in political discourse

Fonte: SITRA (2018, p. 101).

Analisando a compilação da Figura 82, possível extrair a seguinte análise do Quadro 5 abaixo:

Quadro 5 - Análise de regulações acerca da economia circular

Tipos de barreiras de regulação	Efeitos nos negócios	Caso de exemplo
Ausência de regulação	<ul style="list-style-type: none"> • Incerteza sobre o status legal das operações ou requisitos para prosseguir o negócio • Risco de se engajar em novo modelo que então é proibido por novos regulamentos 	<ul style="list-style-type: none"> • Plataformas de compartilhamento como Airbnb e Uber enfrenta dificuldades de ausência de estrutura que fornece a flexibilidade necessária - por exemplo: falta de cobrança de impostos e adequada lei
Regulamentos atuais promovendo o modelo linear	Distorção da concorrência para negócios circulares devido a preços de modelos lineares que não mostram custos reais (desconsiderando custos ambientais/externalidades)	<ul style="list-style-type: none"> 6,5% do PIB global foi para subsidiar combustíveis fósseis em 2013 • Os contribuintes pagam mais de 90% do custo de reciclagem de plástico
Regulações atuais dificultando os modelos circulares	<ul style="list-style-type: none"> Custos do aumento da administração • Impedimento para aproveitar as oportunidades do valor circular 	<ul style="list-style-type: none"> • Definição de classificações de materiais (por exemplo, status de “material secundário” vs. “resíduo” status) • REEE é a única categoria onde substâncias perigosas foram amplamente restrito por legislação

CONCLUSÃO



Envolve-se na construção de regulamentos através de

- Parceria com maiores parceiros
- Busque por assistência legal
- Participar e tentar inserir nos discursos políticos

Fonte: Adaptado de SITRA (2018, p. 101).

Portanto, a partir dessa conclusão, é perceptível a ausência de regulamentação aos modelos circulares, bem como a necessária construção de *frameworks*, a qual pode ser estendida às nanotecnologias, dificultando ainda mais a implementação. O que conduz a uma alternativa, que no escopo desta tese seria a autorregulação.

Para fins de esclarecimento, a distinção entre regulamentar e regular leva a campos distintos de observação e de tratamento do assunto objetivado. Apoiando-se

em Supiot (2007, p. 159) é que se defende que: “[...] regulamentar é ditar regras do exterior, ao passo que regular é fazer que se observem as regras necessárias ao funcionamento homeostático de uma organização”. Assim, pode-se concluir que regulamentar significa forçar unilateralmente aos demais a seguirem aquelas determinações. Já regular é uma alternativa pela busca de cooperação e sinergia entre os interessados a partir de métodos e instrumentos de acoplamento estrutural que permitam processos sistêmicos de provocação (ou irritação – em termos sistêmicos), mútua permitindo a dinamicidade necessária para organização das expectativas sociais (WITTMANN, 2016). Desta forma, trabalha-se com a ideia de regular, também como forma a controlar a entropia a partir da tríplice da informação (HOHENDORFF, 2018), procedimento e negociação frutos da sociedade da comunicação (SUPIOT, 2007).

Dito isso, para enfrentar esse complexo desafio da sociedade em Metamorfose (BECK, 2018), o objeto deste estudo também demanda uma análise interdisciplinar, envolvendo o mundo jurídico e outras áreas da ciência, apropriando-se de pesquisas específicas sobre nano, para então construir estruturas regulatórias adequadas a este contexto de risco. O trabalho é árduo, principalmente se for tomado em conta que o Direito ainda caminha no sentido do positivismo fechado. Trazendo a transdisciplinaridade e a sociedade complexa, Rocha (2006, p. 181) afirma:

‘Não é nada fácil analisar o Direito de um ponto de vista transdisciplinar. O Direito parece ser algo muito diferente da física, da Biologia, estando distante destas questões mais voltadas à Terra, à natureza’ de forma que tal análise permita abertura transdisciplinar tendo em vista a sociedade complexa.

Pensando além de uma simples regulação local, seguindo o fluxo da globalização, encontram-se autores que defendem uma espécie de regulação transnacional ou global para as nanos, pois se utilizam modelos internacionais de agências reguladoras neste contexto de regulação. Conforme observa-se no artigo intitulado *Transnational Models for Regulation of Nanotechnology*, o Direito e a lei vêm brigando pelo espaço já delineado de autorregulações, adotadas pelas indústrias, principalmente pela questão do risco. O marco regulatório é necessário; assim migra-se para um modelo transnacional e afirma-se a adoção de regulações internacionais, de agências reguladoras, que já vem fazendo as vezes da lei estatal Marchant e Sylvester (2006, p. 714):

Apesar dessas incertezas, podemos ter total confiança em um aspecto do futuro da nanotecnologia - que estará sujeito a uma série de regulações. De certa forma, a indústria já está regulada. Alguns aspectos da nanotecnologia podem cair em regulamentos ou supervisão preexistentes. Decisões de financiamento também funcionam como sistemas ad hoc regulatórios, permitindo que algumas áreas de pesquisa floresçam, deixando outros murcharem. Regulação informal e extensões de regimes regulatórios serão eventualmente substituídos por mais quadros regulatórios formais e direcionados que buscam a cabine de riscos de nanotecnologia, promovem seus benefícios e temperam seus distúrbios sociais e econômicos. A regulação final será necessariamente promulgada através da lei. Assim, apesar da nanotecnologia geralmente ter um passado irrestrito, seu futuro será, em grande parte, determinado pelas escolhas legais feitas nos próximos anos. Não obstante este fato inegável, os estudiosos do direito de longe se juntam à briga.

O Direito, através do movimento estatal e legislativo, mostra-se insuficiente, deixando esta área tão complexa numa espécie de limbo, onde na verdade a seara jurídica, da maneira que vem sendo conduzida pelos estudiosos, não alcança a dinâmica e mecanismos necessários para prover uma lei adequada e apta a esta nova realidade. Novamente, deve o mundo jurídico apropriar-se de instrumentos com potencial autorregulatórios, que no mínimo apresentam-se em um estágio muito mais avançado na seara das nanotecnologias. Neste sentido observa-se a afirmação de Marchant e Sylvester (2006, p. 715):

A quietude da academia jurídica é, cremos, um erro. Compreender a interação da regulação e a tecnologia é uma área onde os juristas e os profissionais têm muito a oferecer. Na verdade, acreditamos que a lei e, em particular, os quadros legais (frameworks) e princípios aplicados em outras áreas do desenvolvimento tecnológico, podem destacar os riscos e benefícios de regulações da nanotecnologia. Em particular, acreditamos que a experiência de agências reguladoras internacionais, estruturas e arranjos provarão áreas frutíferas de pesquisa na exploração de nanotecnologias para uma regulação futura.

O Estado-nação por si só não dá conta das demandas atuais da sociedade. Surgem novas demandas, tão complexas, como no caso das nanotecnologias, que de maneira isolada torna-se inviável solucionar a complexidade que gera novos direitos dentro da sociedade, o que demonstra um movimento cada vez mais global, com a comunicação entre Estados, bem como predispõe a comunicação entre os sistemas (LEAL; ENGELMANN, 2018, v. 1). Com maior aprofundamento quanto à insuficiência estatal, desvelando as interfaces entre regulação e globalização, desenvolve Teubner sua obra *Fragmentos Constitucionais*, que será a base uma das bases teóricas desta tese.

A cooperação entre as autoridades nacionais é um elemento essencial do sistema transnacional. As manifestações concretas deste componente são os comitês deliberativos e consultivos de organizações internacionais e acordos de reconhecimento mútuo (KEMPFER 2018).

Esse pluralismo jurídico, ocorrido com o surgimento de novos agentes supraestatais, acaba seguindo uma lógica de mercado: do máximo benefício em menos tempo. Daí que a fusão do poder econômico e político permite às empresas transnacionais influenciar diretamente estruturas e organismos estatais, o que vem gerando uma série de violações dos direitos humanos e laborais (KEMPFER, 2018).

Ademais, segundo Fornasier e Ferreira (2015, p. 309), as ordens jurídicas de autorregulação global não estão totalmente alheias à regulamentação estatal, e seu bom desempenho depende de eficiência estrutural conjunta entre a ordem jurídica estatal e a ordem jurídica não estatal de autorregulação:

[...] há regramentos para além daqueles positivados pelo Estado-nação que se efetivam no tocante a estes assuntos, e que não estão, necessariamente, em desenvolvimento paralelo ao regramento estatal: pode haver uma confluência entre o Direito de cada Estado-nação, entre o Direito Internacional e o Direito que nasce em âmbitos transnacionais, que 'transbordam' a ideia de estatalidade e dela não são dependentes.

Apresenta-se claros sinais de insuficiência no Estado em sua conformação clássica, moderna, levando em consideração a nova realidade social. Não mais se adapta mais a tradicional noção de poder e soberania à realidade complexa e globalizada da chamada *pós-modernidade*.¹⁸ A questão ambiental é um tema de especial relevância num contexto de grande complexidade e riscos, produzido pelas decisões civilizatórias tomadas hoje e cujos efeitos não se pode antever. A imprevisibilidade do futuro, a importância das decisões é própria da Sociedade de Risco, a gestão dos danos ambientais, precisam ser compreendidos para melhor

¹⁸ A pós-modernidade erigiu um cenário composto por diversos paradoxos, na mesma medida em que surgiram e se aprofundaram conceitos de sustentabilidade, desenvolvimento e responsabilidade social e na mesma proporção violação de direitos humanos e crises, ambientais, econômicas, social, laboral e tantas outras. As empresas se autorregulam com normativas próprias apartadas do Estado. Segundo Bauman (2001), a sociedade que entra no século XXI não é menos “moderna” que a que entrou no século XX; o máximo que se pode dizer é que ela é moderna de um modo diferente. O que a faz tão moderna como era mais ou menos há um século é o que distingue a modernidade de todas as outras formas históricas do convívio humano: a compulsiva e obsessiva, contínua, irrefreável e sempre incompleta modernização; a opressiva e inerradicável, insaciável sede de destruição criativa. Ainda entende ser um período em que a modernidade está voltando-se sobre si mesma ou seja, a era da assim chamada “modernização da modernidade”.

equacionar essa relação complexa existente entre Estado, economia e sociedade (WEYERMÜLLER, 2011).

Atentos a esse contexto de ausência regulatória na era nano e insuficiência estatal, Pereira, Percio e Sacamori (2019) orientam que a autorregulação passa a ser um elemento transnormativo como um novo instrumento jurídico da regulação das novas tecnologias, tendo em vista que novos atores globais impõem seus padrões. Presencia-se a possibilidade de regulação internacional das novas tecnologias unindo-a à padrões técnicos que são observados por agentes econômicos e Estados em âmbito transnacional. Mesmo que a autorregulação possa trazer como consequência uma redução da regulação estatal, ganha destaque os fatores positivos dela advindos que são sua efetividade, uma vez que pode ser realizada pelos próprios agentes, com capacidade e conhecimento técnico específico sobre o tema, dando como exemplo o caso da ISO/TC 229. A área das nanotecnologias é um exemplo latente, pois, embora já não mais se discuta sua importância, melhoria na qualidade de vida das pessoas bem como seu valor econômico, seu uso e sua produção em grande escala para o mercado consumidor pode trazer consigo possíveis riscos socioambientais. Fica claro que normas autorregulatórias por vezes cobrem eventuais lacunas estatais, de caráter legal interno dos países, e buscam qualidade na regulação, com vistas às diferentes demandas do mercado (PEREIRA; PERCIO; SACAMORI, 2019).

Rocha, King e Schwartz (2009) discorrem sobre a lição de Luhmann (1997), no que tange a existência de uma sociedade global e a necessária inserção do Direito na busca por estruturas autorregulatórias diversas às puramente normativistas:

A globalização vai forçar a um outro tipo de observação que antes não havia. Não é que as coisas não existiam, elas não eram observadas. Então, o Direito, hoje, necessariamente, deve ser observado de forma diferente, não normativista (ROCHA; KING; SCHWARTZ, 2009, p. 34).

Nessa busca por uma regulação apta, é possível considerar outros aspectos de modelos existentes em regulação transnacional de tecnologias, como o fato de ser provável que qualquer instrumento regulatório possa impor algum fardo sobre os usos benéficos da tecnologia, tentando restringir aplicativos potencialmente prejudiciais. Outro prisma é que os fatores de regulação podem pesar diversamente em cada nação, pois estas enfrentam diferentes níveis de desenvolvimento e interesses em

uma tecnologia específica. Ademais, outra questão crítica e controversa em qualquer regime de regulação que está decidindo o âmbito da tecnologia a ser regulada, inclui quais aplicativos devem ser restritos e quais devem ser proibidos, e quão clara esta linha pode ser desenhada (MARCHANT; SYLVESTER, 2006).

Fato é que, face o novo contexto tecnológico e de Inovação 4.0, vislumbram-se novos modelos regulatórios, como o caso do “SANDBOX”. O *Sandbox* é um termo apropriado da computação. A ideia, em tal contexto, é bem semelhante ao de criar uma máquina virtual (virtualização), e assim proteger o restante do sistema de potenciais danos causados em decorrência da execução de determinadas aplicações no ambiente do *Sandbox*. Ou seja, trata-se de forma bastante eficaz de testar sistemas considerados não seguros, mas sem isso comprometer o sistema operacional da máquina (GUILHERME, 2012).

Sandbox é um ambiente que vai permitir que *startups de fintech*, ou até mesmo instituições financeiras, possam oferecer seus produtos e serviços ao público, por um período limitado, sem as restrições impostas pela regulamentação vigente. A ideia é estimular a experimentação, para que o regulador possa acompanhar de perto as inovações e avaliar o impacto que elas terão na experiência do usuário, o quanto isto facilita a vida das pessoas e, em contrapartida, os riscos reais decorrentes de sua implementação. Ou seja, trata-se de forma bastante astuta de buscar regular a inovação de maneira provisória, sem, com isso: a) inviabilizar novas práticas benéficas para a sociedade e o mercado; b) perder o timing das mudanças disruptivas (fato que tende a ocorrer, visto que muitas vezes os novos modelos se estabelecem em zonas normativas cinzentas); e c) correr o risco de criar uma norma estanque sem passar por um processo de aprendizado que permita a elaboração dos melhores parâmetros a serem impostos (FEIGELSON, 2018).

Tal modelo vem sendo utilizado com frequência crescente em outros países, especialmente nos anglo-saxões. No Reino Unido, por exemplo, o regime regulatório de *Sandbox* foi proposto em novembro de 2015. Oportunizando, desta forma, a criação de ambientes para o estabelecimento de testes de novos produtos, sem o risco de serem punidos pelo regulador. Em contrapartida, o regulador, no âmbito do Reino Unido, exige o cumprimento de alguns requisitos para que tais testes de modelos ocorram de forma mais segura, quais sejam: a) consentimento prévio dos usuários dos novos produtos; b) limites financeiros das operações; e c) controle de riscos, tal como dinâmicas que detectem possíveis fraudes. Na Austrália, por sua vez,

os requerentes do regime *Sandbox* devem preencher alguns critérios mínimos, tais como: a) possuírem produtos inovadores; b) demonstrarem que o produto irá beneficiar os usuários; e c) considerarem em seus produtos formas de gerenciar riscos e protegerem os consumidores (FREEHILLS, 2018).

Em outras palavras, além da cultura regulatória, a ausência de instrumentos regulatórios dinâmicos, que tornem possível acompanhar a evolução dos participantes do mercado, é um fator que dificulta a aproximação entre o regulador e as novas práticas. A função de regulamentação é um bom exemplo dessa rigidez dos processos regulatórios. A maior parte das normas expedidas no âmbito do mercado financeiro, das *Fintechs*, por exemplo, tratam os participantes desse mercado de modo transversal, instituindo deveres e obrigações de acordo com o serviço típico desenvolvido por eles (corretagem, gestão de recursos, análise de investimentos etc.), independentemente das especificidades de cada negócio. Essa lógica não se coaduna com aquela aplicável às empresas de inovação tecnológica que ingressam, já que elas muitas vezes não se enquadram nas “caixas” pré-determinadas pelos reguladores. Diante da necessidade de endereçar essa falha regulatória, tem surgido no âmbito das jurisdições estrangeiras um novo instrumento de regulação, utilizado com a finalidade de promover a evolução de novas tecnologias no mercado financeiro. Em outros termos, trata-se da regulação “*sandbox*” (ou caixa-de-areia, numa tradução literal) (COUTINHO FILHO, 2018).

O conceito se assemelha ao de crianças brincando dentro de um parque: elas estão autorizadas a fazer o que quiserem dentro daquele espaço, desde que respeitem as regras e os limites estabelecidos para sua atuação. Esse regime consiste em uma autorização temporária dada pelos reguladores financeiros ou de outras áreas reguladoras, para que empresas inovadoras (selecionadas por meio de um processo seletivo) sejam autorizadas a conduzir seus negócios dentro de um regime regulatório mais flexível, desde que obedeçam a parâmetros previamente acordados junto ao regulador (COUTINHO FILHO, 2018). A partir dessa breve análise poderia ser transposto ao cenário nanotecnológico e do Direito esses princípios básicos, principalmente porque as agências ou órgãos estatais poderiam acompanhar a complexidade desta nova tecnologia, e avaliar de perto quais os procedimentos necessários que contribuam para gestão do risco, e conseqüentemente, um desenvolvimento mais sustentável, ondo ao encontro dos ODS da ONU (ENGELMANN; HOHENDORFF, 2021).

Portanto, pela ideia do *Sandbox* (igualmente de demais novos modelos regulatórios no contexto de inovação e Direito disruptivo), nada mais seria do que um espaço experimental da atividade, que permitam às empresas inovadoras operar temporariamente com desconto regulatório com relação à existente, possibilitando uma atuação mais controlada de novos produtos e serviços, sob olhar atento do supervisor. Garante-se um ambiente favorável ao desenvolvimento das tecnologias, ao mesmo tempo que assegura aos órgãos reguladores uma melhor compreensão da complexidade e dinamicidade dessas tecnologias disruptivas (FEIGELSON; SILVA, 2019), como é o caso dos nanoprodutos e sua indústria. É uma via de mão dupla aos reguladores e regulados, num espaço mais seguro para observação da inovação, e assim avaliar os impactos em todos os fluxos de desenvolvimento. Contudo, esse modelo regulatório para a área das *nanos* terá de ser devidamente aprofundado a fim de extrair quais fundamentos aproveitar, ou por quais descartá-lo (ENGELMANN, 2022b).

Na sequência, dando foco aos resíduos e necessidade de regulação, presencia-se um movimento de aproximação global no que se isso, fomentando a multidisciplinaridade, aproximando diversas ciências e o Direito, principalmente no debate dos resíduos nanoparticulados Cassota (2012, p. 218-219, grifo nosso):

Há necessidade de uma aproximação global fundado numa quadro multidisciplinar regulatório, combinando Direito, ciência política, economia, ética, aplicando à regulação do *nanowaste* e levando em consideração um 'contexto global multinível' envolvendo diferentes níveis de pesquisas do Direito e política (internacional, União europeia e nacional) que se sobrepõe, bem como o envolvimento de atores oficiais e atores não oficiais - partes interessadas, atores privados, ONGs, etc - e organizações internacionais todas envolvidas num processo de criação de uma futura regulação efetiva para o *nanowaste*.

Inegável que se presencia a implementação de novos modelos (auto)regulatórios, especialmente no meio tecnológico e de inovação. O Estado e o Direito estão sendo exposto ao desafio de conseguir acompanhar a velocidade das transformações econômicas e sociais provocadas pela tecnologia. Em obra recente, Mason (2017) expressa que quase sem serem notados, territórios inteiros da vida econômica estão começando a se mover num ritmo diferente. Destaca ainda a proliferação das moedas paralelas, de bancos de tempo, de coletivos e espaços autogeridos. Além disso, notam-se novas formas de propriedade, diferentes mecanismos de empréstimo e novos contratos legais: toda uma subcultura de

negócios emergiu nos últimos dez anos, chamadas pela mídia de “economia de compartilhamento” (FEIGELSON, 2018).

Existem novos modelos regulatórios, em nível internacional, que devem ser levados em consideração como modelo transnacional para as nanotecnologias. Podem até mesmo não se encaixarem perfeitamente em todas as demandas nanotecnológicas, mas que certamente auxiliam na tomada de decisões em casos de extrema complexidade, demandando compromissos internacionais, como neste caso Marchant e Sylvester (2006, p. 722):

Existem muitos modelos existentes para regulação transnacionais de nanotecnologia que podem ser lições úteis sobre a desejabilidade, viabilidade, design e implementação de quaisquer esforços futuros para regular a nanotecnologia no nível internacional. Nenhum desses modelos existentes provavelmente se encaixam exatamente às necessidades de regulação da nanotecnologia, mas podemos aprender com o Esforços passados para regular outras tecnologias, como lições importantes sobre os prováveis obstáculos, desafios, oportunidades e rotas para o sucesso que provavelmente enfrentarão qualquer esforço na regulação transnacional da nanotecnologia. Uma lição importante que pode ser extraída de modelos são que os acordos internacionais para regular as tecnologias em geral levam considerável esforço, tempo, capital político e recursos, e, portanto, são susceptíveis de apenas serem realizados para os mais sérios e iminentes problemas. Não está claro se e quando a regulação da nanotecnologia se tornará uma prioridade suficiente para justificar tal compromisso internacional.

Nota-se uma interface regulatória através de um nível nacional e internacional, onde ocorre a comunicação entre diversos instrumentos de agências reguladoras e até mesmo organismos estatais, promovendo a circulação das normas estatais ou não ao redor do globo, fazendo jus ao importante movimento da transnacionalização vivenciada (SHAFFER, 2010).

Propõe neste sentido Shaffer (2010, p. 3):

Mais recentemente, eles provêm da intensificação da interação econômica e cultural transnacional, catalisando a proliferação de acordos internacionais, regionais e bilaterais, redes reguladoras e instituições que fomentam e promovem mudanças legais e institucionais. Nós inconscientemente experimentamos esse transnacionalismo em nossas vidas diárias, e às vezes nos abraçamos. No entanto, também podemos estar preocupados com seus efeitos em nossa ordem social e identidades. Nossas leis e sistemas legais refletem a forma como nos vemos a nós mesmos e às nossas comunidades. À medida que a migração da lei através das fronteiras se intensifica, podemos nos preocupar com isso, conforme refletido no clamor sobre citações para leis estrangeiras e internacionais, decisões legais em leis federais nos Tribunais dos EUA. As normas jurídicas em quase todos os domínios do direito circulam em todo o mundo. As normas não viajam sozinhas. Elas são transmitidas por atores, seja de forma

instrumental ou reflexivamente. Às vezes, eles são codificados em tratados internacionais, seja de natureza não-vinculativa. Outras vezes, são difundidas através de processos informais envolvendo redes burocráticas de funcionários públicos, redes transnacionais de atores como representantes empresariais, ativistas e profissionais não-governamentais, e combinações híbridas. Ao longo do tempo, podem surgir diferentes ordens jurídicas transnacionais que impõem ou conferem normas legais que regulam determinadas áreas do direito.

Concluindo essa etapa, percebe-se a análise sobre autorregulação e a governança das nanotecnologias, onde nos diferentes países não há interesse governamental em regulamentar as nanotecnologias e direcionar essa regulamentação para uma governança responsável. Presencia-se sim grande parte da legislação que procura regulamentar essa tecnologia de caráter privado, reproduzindo o interesse de grupos privados movidos pelas boas práticas de manipulação e inovação científica e que podem refletir na decisão de consumidores mais conscientes. Assim Lazzaretti e Hupffer (2019) esclarecem a questão da regulamentação e autorregulamentação das nanotecnologias, onde em diferentes países pode ser explicada por ser um mercado altamente promissor que segue crescendo de forma exponencial, vendo que nenhum país quer tomar a iniciativa de impor restrições legislativas para não perder espaço no mercado. Entretanto, existem os riscos, que são globais, intergeracionais, transterritoriais, ao importar produtos com nanotecnologia de outros países, também se está importando os riscos e contribuindo para o desenvolvimento econômico destes países.

Discorrem, por fim, Lazzaretti e Hupffer (2019, p. 20) sobre ausência de regulamentação e sua complexidade, observando que quando ocorre essa implementação, é pela via privada, por autorregulação:

Acerca da regulamentação nanotecnológica brasileira, pode-se observar que a prioridade ainda é arrecadar fundos de investimento para desenvolvimento da pesquisa e da indústria técnica nessa área. Alguns autores destacaram que o Brasil não é um exemplo de preocupação com responsabilidade na política dessa tecnologia. Ao pesquisar-se sobre projetos de lei que visam regulamentar a nanotecnologia no Brasil, constatou-se que foram três projetos de lei, sendo o primeiro de 2005, que foi arquivado, pois havia o entendimento de que o controle de risco nanotecnológico poderia impactar negativamente nos investimentos de projetos e pesquisa nessa área. Já os outros dois projetos de lei propostos em 2013 continuam em tramitação na câmara dos Deputados. Por fim, verificou-se que a regulamentação da nanotecnologia é um dos maiores desafios a serem debatidos entre o governo e os diversos grupos de interesses brasileiros, considerando as particularidades das características físico-química dos nanomateriais, seus potenciais riscos e seu interesse comercial. Assim como ocorre a nível mundial, observou-se que, mesmo com o crescimento do comércio de nanoprodutos, a regulamentação desses

produtos é praticamente inexistente, centrada mais na regulação de organismos privados.

O cenário regulatório das nanotecnológicas se apresenta da seguinte forma: observa-se uma tendência no Direito Público – que é o Direito de decisão e regulação das autoridades públicas – de se render aos ditames de disciplinas que podem conhecer os assuntos em questão. O sistema do Direito precisa se movimentar frente ao desconhecimento de muitas matérias. É necessário remeter-se às referências que lhe são oferecidas pelos outros sistemas, como no caso dos riscos nanotecnológicos, o sistema da Ciência. A partir desses setores, elaboram-se normas técnicas, protocolos e referências que acabam ocupando os espaços sem regulação (HOHENDORFF, 2018).

Conforme Weyermüller, Silva e Figueiredo (2017), nesse cenário é indiscutível a presença do Direito, uma vez que é ele quem deverá regular e fomentar o uso dessas novas tecnologias e, por isso, se faz necessário um diálogo com os demais sistemas, a fim de compreender a totalidade de complexidades e interesses envolvidos, promovendo o desenvolvimento tecnológico e ao mesmo tempo garantir a saúde humana e a proteção ambiental.

Apresentada a conjuntura autorregulatória das nanotecnologias, urge que se fundamente na lição de Teuber (2016) que afirma estes novos cenários de regulação transnacional, descobrindo novos atores globais em novos espaços de criação, como os espaços sociais parciais e a fragmentação constitucional, o qual permitiria a validação das autorregulações nanotecnológicas e implementação espontânea da economia circular e rastreabilidade.

4.5 A conexão do sistema do direito através dos fragmentos constitucionais (Teubner) como condição de possibilidade à (nano)rastreabilidade vinculada à economia circular

Inexiste no momento qualquer legislação específica sobre nanotecnologias, tampouco sobre resíduos nanotecnológicos. Mesmo que fosse elaborada uma norma originária do Poder Estatal, ela apresentaria eficácia dada a dinâmica e complexidade das nanotecnologias?

Em relação às nanotecnologias e seus riscos, existe um *déficit* legislativo que, segundo Engelmann, oportuniza “[...] outros atores de produção do jurídico e Fontes

do Direito que até então sempre estiveram à sombra do texto da lei, mormente na estrutura normativista do Direito, consolidada a partir de Hans Kelsen” (ENGELMANN, 2012, p. 321).

Quanto a efetividade de legislação estatal, acredita-se que não estaria apta para dar respostas adequadas, pois o lapso temporal entre a elaboração de projeto de lei, promulgação da norma, e vigência, seria grande, e tratando-se da rapidez das descobertas científicas desta nova tecnologia, provavelmente no momento de aplicação da lei, esta já estaria obsoleta. O movimento da nanotecnologia é muito dinâmico, as descobertas sobre elas são diárias, e o que hoje pode ser utilizado como constatação sobre algum aspecto específico dela (como análise de risco ou comportamento de material), em momento curto posterior já não mais pode se confirmar. Contrariando a inércia estatal, existem outros inúmeros instrumentos com potencial para regulação. Tais documentos são fruto de extensos e profundos estudos relacionados à nanotecnologia, segurança e nanoresíduos (que será o foco desta investigação). Estes mecanismos autorregulatórios são a alternativa jurídica viável a este nanomundo, que faz vinculação com a tendência de regulação transnacional.

Inevitável o questionamento acerca da destinação final dos nanomateriais, ante o risco e (potencial) dano futuro ao meio ambiente e vida humana. A partir dos fundamentos da (nano)sustentabilidade, adotando-se princípios da economia circular e criação de rastreabilidade dos nanoprodutos (de berço ao berço), observaríamos medidas acautelatórias e o impulso à autorregulação. Urge que a pesquisa jurídica se insira neste contexto. Esta é a missão do Direito, que precisa inserir-se no contexto de risco e lacuna estatal e legislativa, procurando um meio autorregulatório apropriado para o cenário, provendo respostas aptas a esta nova realidade.

Urge que seja criado um balizador teórico que permita a implementação dessas autorregulações, validando os novos atores e instrumentos com potencial regulatório por eles elaborados, criando um ambiente propício ao desenvolvimento além do Estado. A partir dessa fundamentação, percebe-se que os Fragmentos Constitucionais de Teuber (2016) dariam conta desta tarefa, perfazendo uma base teórica válida para constituir respostas autorregulatórias.

No contexto de autorregulação, leva-se em consideração diversos novos atores de produção normativa, que atuam nos chamados “espaços sociais parciais”, denominados por Teubner. Corroborando com tal percepção, Frydman (2018) identifica os “Objetivos normativos não identificados”, que seriam parte de uma nova

dimensão do Direito, não oriundos de legisladores, que se impõe pela força de fatos derivados de campos “[...] muito específicos do mundo globalizado, como da internet, meio ambiente, da propriedade industrial, dos contratos internacionais e dos investimentos, das patentes e do mercado de carbono” (FRYDMAN, 2018, p. 12).

Teubner (2016, p. 59-61) refere em Fragmentos Constitucionais que há um

[...] ‘corporativismo estatal’ ou ‘cooperativismo autoritário’ que irá designar a forma de constituição estatal das organizações sociais, na qual a limitação numérica, monopólio da defesa e o caráter compulsório de coletividades sociais são atingidos através das restrições estatalmente orientadas, da eliminação política do pluralismo e da regulação por meios jurídicos coercitivos.

Entretanto ressalta que o potencial reflexivo social não mantém sua concentração nas organizações formais, organizações científicas, corporações empresariais, tribunais ou órgãos em massa, mas sim presencia-se a atuação de forma simultânea nos chamados âmbitos sociais espontâneos (TEUBNER, 2016).

O constitucionalismo social é o processo pelo qual se dá ênfase a teoria sociológica do “private government” que de maneira pioneira passa a transferir a esfera privada, os princípios políticos, o que demanda uma análise sobre a atuação de entidades privadas, empreendimentos parapolíticos, como sistemas de poder com poder organizado para produção de decisões vinculantes para a coletividade, pertinentes a esses sistemas organizados (empresas, organizações etc) (TEUBNER, 2016).

Para Teubner (2016, p. 67), de forma análoga à constituição da soberania político-estatal, os private governments precisam (e parecem ter logrado êxito) construir uma legitimidade através de uma formatação política de suas regras organizacionais, bem como: “[...] assegurar espaços de liberdade a seus membros por meio de mecanismos equivalentes à direitos fundamentais”.

Observa-se a partir da atuação desses múltiplos órgãos privados de produção normativa metaestatal (MARTINS, 2021). Há superação no sentido quantitativo e de abrangência, não qualitativo, a produção normativa estatal. Não se trata de aferir a qualidade de uma norma ou de um sistema de normas, mas sim o objeto e se está em consonância com princípios enunciados pelo sistema normativo estatal. Martins (2021) afirma o reconhecimento quanto à legitimidade do sistema normativo a partir da sua autoconstituição e quanto à legitimidade em face da observância dos princípios protetivos já expostos pelo Direito.

Urge destacar a crítica ao atual modelo que se apresenta na pós-modernidade como Estado em rede. Segundo Teubner (2020), seria a possibilidade de sua autodestruição futura: conflitos permanentes de tomada de decisão (existência de muitos “nós” na rede), relações de poder assimétricas (entre Estados e organizações privadas, por exemplo), comportamento oportunista de Estados e regimes, externalidades negativas das atividades em rede e, especialmente, no Estado em rede que está comprometido com o interesse público de “captura” hegemônica pelos interesses dos atores coletivos privados. Tal observação corrobora às possíveis razões pela dificuldade de implementação de autorregulações, principalmente o que tange a sua validação pelo Sistema do Direito.

Abordando autorregulações que priorizem a proteção do meio ambiente, como é a proposta da tese, observa-se uma nova constituição empresarial, com alterações internas nas suas estruturas que limitem o crescimento desmedido, em favor de posturas sustentáveis, conforme expõe Teubner (2016, p. 175, grifo do autor):

Na economia, isso significa uma ‘ecologização’ da constituição empresarial, ou seja, sua orientação para o ambiente em sentido lato. Não é pretendida, aqui, uma nova ética de management (*Managerethik*), mas uma mudança da estrutura interna das empresas forçada externamente por parlamentos, governos, sindicatos, movimentos sociais, ONGs, profissões e meios de comunicação em massa, algo que limita as compulsões de crescimento excessivas e os danos ao ambiente das empresas vinculadas necessariamente às tendências especulativas da sociedade anônima. Uma tal constituição empresarial sustentável exigiria da política empresarial uma consideração de necessidades de seu ambiente – ou seja, da natureza, da sociedade e dos seres humanos – que seja acompanhada de implementações internas e controle externos.

Importante a conclusão publicada pela German Chemical Industry Association (2019), na Orientação para a Recuperação e Descarte Seguros de Resíduos contendo nanomateriais, que reforçou a importância e essencialidade da regulação para nanossecurança. Afirma que o quadro jurídico delineado deixa bem claro que o REACH e outros elementos da legislação sobre produto químicos têm um papel essencial, tanto na determinação da periculosidade dos resíduos quanto no seu manuseio. Isso se refere a impactos sobre o meio ambiente e sobre os seres humanos. A legislação de produtos químicos avalia substâncias de acordo com suas propriedades perigosas e à luz da exposição de humanos e o meio ambiente. No campo jurídico, essa abordagem é transferida para os resíduos. Pelos estudos de

segurança realizados até o momento mostram que no manuseio de nanomateriais não tem nenhum risco basicamente estruturado de forma diferente, em comparação com o manuseio de outros produtos químicos, mas precisa ser considerado. Se o tamanho das partículas influencia as propriedades das substâncias e resulta em propriedades perigosas de uma substância em nanoescala, o produto concreto precisa ser classificado e rotulado de acordo, e informações relevantes sobre os perigos e medidas de gestão de risco devem ser fornecidas na ficha de dados de segurança (GERMAN CHEMICAL INDUSTRY ASSOCIATION, 2019). Portanto, evidente que a questão da nanosseguurança requer uma autorregulação, até mesmo uma identificação ao produto, que demanda inclusive informações sobre risco e medidas de gestão.

Necessário se faz, para tanto, que o Direito participe mais ativamente das discussões acerca do uso criativo de novas possibilidades de regulações das nanotecnologias, que hoje vem ocorrendo apenas nas áreas das ciências duras, sem a devida contribuição das ciências sociais (brandas). Shulz (2017) sobre esta dificuldade de comunicação entre as diferentes ciências, especificamente no caso das nanotecnologias, menciona que: “[...] as lacunas que persistem entre os discursos das diferentes ciências (e entre os diferentes públicos) frente a questões comuns. É frequente ainda a desconfiança mútua entre cientistas das áreas de exatas e sociais”.

Este é o impasse que se constroi para o Direito e as demais áreas do conhecimento envolvidas com a Revolução Nanotecnocientífica, afirma Hohendorff (2018), encontrar alternativas seguras e responsáveis para lidar com o presente-futuro da vida da sociedade, permitindo o aproveitamento saudável das contribuições científicas produzidas pela inteligência humana. O desafio das nanotecnologias não é o desafio de como conquistar e manter uma fatia de um mercado emergente, mas sim, simplesmente, como se pode, enquanto sociedade, colher muitos benefícios possíveis a partir da nano escala mas também evitar, limitar, ou pelo menos estar preparados a reparação dos danos associados aos riscos ambientais e com a saúde humana que esta nova tecnologia poderá criar. Embora não se possa *conhecer* todos os resultados possíveis associados aos nanomateriais e nanotecnologias, é importante que as decisões sobre o desenvolvimento da nanotecnologia sejam orientadas para a redução do risco (DANA, 2012).

Como exemplo desta constatação pode-se verificar em publicação de 2017, da EMBRAPA, um trabalho desenvolvido por pesquisadores das ciências duras, sobre regulação nanotecnológica.

O trabalho intitulado *Subsídios Técnicos para Formulação do Processo Regulatório das Nanotecnologias no Brasil: Consulta a Especialistas como uma Abordagem Preliminar* (JESUS; MASSINI, 2017), objetiva auxiliar os legisladores quanto ao processo regulatório das nanotecnologias inseridas no mercado. A ideia inicial surgiu a partir de workshop realizado em 2013, *Workshop Painel de Especialistas: Prospecção e Difusão das Informações para Avaliação e Regulamentação das Nanotecnologias Aplicadas à Agricultura – Tema Ecotoxicologia*, realizado pela EMBRAPA Meio Ambiente, em Jaguariúna, São Paulo. O evento foi realizado para conduzir a discussão que contribuísse com a *regulamentação* do tema no Brasil, com a presença de especialistas da comunidade científica e legisladores. Aqui já se verifica uma questão relevante: os termos *regulação* e *regulamentação* se confundem e são utilizados como sinônimos. Ainda, neste evento, que, no trabalho há menção de presença de especialistas da comunidade científica e legisladores, não havia nenhum legislado. Da área do Direito, estavam presentes apenas o Professor Doutor Wilson Engelmann e Professora Doutora, Raquel von Hohendorff.¹⁹

Abordando Teubner (2016) e a fundamentação nos *Fragmentos Constitucionais*, constata-se um sistema de ordens constitucionais que conseguem englobar, ao mesmo tempo, um constitucionalismo supranacional e nacional. Nesse contexto chama ao debate as constituições internas de atores privados, ou organizações privadas, como fontes de autodeterminação, os quais defendem interesses de determinadas categorias, o que por consequência, trazem autorregulamentações que colaboram com o sistema político:

A constitucionalização interna desses sistemas parciais objetiva, primariamente, que esses sistemas tornem-se capazes de atuar politicamente, de negociar e de assumir compromissos, transformando-se com isso em parceiros adequados para os esforços de coordenação política (TEUBNER, 2016, p. 89).

A partir da sociedade mundial, Teubner (2016) dá uma delimitação maior de foco em que fará sua análise de um dos pontos atuais do constitucionalismo: a

¹⁹ Ver também a tese de Hohendorff (2018).

fragmentação constitucional. Fala-se de comunicação e não mais de indivíduos enquanto contexto social, portanto, Teubner (2016), a exemplo de Luhmann (2005) justifica sua proposta fundada em uma matriz “[...] complexa, não naturalizada e pós-ontológica da sociedade e de suas normas” (COSTA; ROCHA, 2018, p. 9).

Nota-se ainda uma diferença da sociedade, a qual demanda a autorregulação em novos espaços, como os chamados espaços sociais parciais, pelo seu próprio processo evolutivo:

A diferenciação funcional da sociedade não é uma questão de decisão política fundamental, mas sim um processo evolutivo complicado, no qual distinções diretivas fundamentais se cristalizam gradualmente e instituições especializadas se formam de acordo com sua lógica própria (TEUBNER, 2016, p. 70).

A partir dessa consideração, surge a problemática abordada por Teubner (2016, p. 92): “[...] como os sistemas parciais podem adquirir maior grau de autonomia no plano global, caso não haja instituições político-jurídicas que apoiem esse processo?”.

Respondendo a este questionamento, Costa e Rocha (2018) explicam que levando-se em conta a função específica de cada sistema e a capacidade de selecionar os elementos (comunicação) que formam o seu interior, o próprio Luhmann (2005) considera que os diferentes sistemas sociais são “autopoiéticos”, isto é, possuem capacidade de produzir/selecionar os elementos que o compõem por meio da uma autonomia que lhes é própria.

Conforme lição de Costa e Rocha (2018, p. 11):

Nesse cenário, é possível elucidar a problemática proposta por Teubner. Se, por um lado, os sistemas sociais com maior capacidade de reprodução a nível mundial são dotados de autonomia (religião, ciência e economia) e, portanto, capazes de selecionar seus próprios elementos e exercerem sua função específica a nível global, por outro lado, sistemas como Direito e política encontram-se majoritariamente limitados ao âmbito de atuação dos Estados Nacionais, fato que lhes impede o exercício pleno das funções que os caracterizam.

Dentro desta conjuntura, uma vez que o sistema da política, que possui função de tomar decisões coletivamente vinculantes, utilizando-se de um meio de comunicação simbolicamente generalizado e o Direito, o qual tem a função de estabilizar expectativas em relação a decepções possíveis, estão limitados ao âmbito dos Estados Nacionais, os demais sistemas citados por Teubner (2016) –

religião, ciência e economia- possuem maior capacidade de expansão (COSTA; ROCHA, 2018).

Nesta nova realidade, povoada por organizações exponenciais, ou seja, empresas inovadoras que crescem em velocidades antes inconcebíveis, muitas vezes fundadas em ideologias já denominadas de datistas, – que preconizam o fluxo de informação como valor máximo da existência –, não é mais possível conceber que o Direito se mantenha estático diante de mudanças tão profundas. As expressões “tecnologia disruptiva” e “inovação disruptiva” são, por natureza, inconclusivas, visto que estamos vivendo o fenômeno neste momento histórico. Visualiza-se novos modelos de negócios, em geral baseados em plataforma tecnológicas, que vêm alterando de maneira profunda a vida humana e, por consequência, gerando reflexos do ponto de vista do Estado, da regulação e do Direito. A proposta de compreender as consequências de uma mudança em tempo real, – ou seja, de comentar o presente tentando visualizar o futuro –, é uma tarefa que implica em potenciais equívocos (FEIGELSON, 2018).

Visualizando essa tarefa complexa e percebendo a inexistência de qualquer legislação específica sobre resíduos nanotecnológicos e destinação final adequada, foco da tese, pertinente que se adeque à nova realidade autorregulatória. E mesmo que fosse elaborada uma norma originária do Poder Estatal, ela apresentaria eficácia dada a dinâmica e complexidade das nanotecnologias? O movimento da nanotecnologia é muito rápido, com descobertas diárias, e o que hoje pode ser utilizado como constatação sobre algum aspecto específico dela (como análise de risco ou comportamento de material), em momento curto posterior já não mais pode se confirmar. Contudo, contrariando a inércia estatal, existem outros inúmeros instrumentos com potencial para regulação, de organismos internacionais, tanto governamentais como privados, que auxiliariam no fornecimento de protocolos e regulações específicas. Tais documentos são fruto de extensos e profundos estudos relacionados à nanotecnologia, segurança e nanoresíduos (que será o foco desta investigação). Estes mecanismos autorregulatórios são a alternativa jurídica viável a este nanomundo, que faz vinculação com a tendência de regulação transnacional (LEAL, 2020).

De outra maneira, Rocha e Costa (2021) alertam que frente ao papel insuficiente da teoria tradicional do constitucionalismo moderno para a constatação da existência de novos atores no contexto mundial, bem como para o deslocamento

dos centros de tomada de decisão do âmbito limitado dos Estados Nacionais, é de suma importância o estudo da sociologia das constituições, ramo de intersecção entre sociologia sistêmica e teoria constitucional. Portanto, reafirmam a fragmentação constitucional e a insuficiência teórica de se pensar o Direito Constitucional como ramo atrelado somente à separação dos poderes e garantia de direitos, sem conceber o modo como o fenômeno da globalização impacta diretamente as relações entre Direito e Política, não estando mais restritas aos territórios dos Estados nacionais. O que leva ao acoplamento dos sistemas e comunicação para finalmente alcançar uma resposta às lacunas jurídicas inerentes às novas complexidades enfrentadas, onde a era nano acaba se enquadrando.

Com base nesses fatos, a lição de Teubner (2016) se acopla ao recorte da tese, até porque destaca o surgimento de regimes transnacionais, e a partir desse movimento os processos políticos de poder (código de sistema da política) deslocaram-se para as mãos de atores coletivos privados. Assim, o contexto de análise constitucional não pode mais ser calcado na centralidade de Estado e política. Tal perspectiva justifica o âmbito de estudos da sociologia das constituições, constituições estas idealizadas em um ambiente novo, dos espaços sociais parciais.

Paralelamente aos sistemas reconhecidos por Teubner, com tendência de expansão, outros sistemas dotados de autonomia própria desenvolvem o que o autor chama de constituições. Cita-se como exemplo a constituição da internet, desenvolvida a partir da elaboração de normas da Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN), que se socorre em legislações de vários países para propor normas de direitos fundamentais com vinculação transnacional. Com base nos detalhes do mundo da internet, surgem os denominados “*direitos fundamentais da internet*”, conforme Teubner (2016).

A partir dessa fundamentação teórica do autor, torna-se compreensível a aceitação e validação de normas elaboradas em outros sistemas, e dos sistemas parciais sociais cunhado por Teubner (2016), os quais se acoplam à realidade da era nanotecnológica. O seu desenvolvimento, em virtude das particularidades do risco, vem demandando de organismos internacionais a pesquisa de protocolos e elaboração de guias para alcançarem uma certeza segurança, dentro de um mar de incertezas. Com base nestes instrumentos com potencial regulatório, idealizados fora do controle estatal, através da autorregulação, vislumbram respeitar o meio ambiente e proteger a saúde humana, que vão ao encontro inclusive das ODS.

Em um ambiente de modernidade líquida Bauman (2001), em que as certezas se esvaziam com uma velocidade cada vez maior, o Direito, – que é uma linguagem, um mecanismo, uma ciência, que se adaptou e sobreviveu aos diferentes momentos da sociedade humana –, terá que ampliar substancialmente sua flexibilidade nos próximos anos. Os debates legislativos e as decisões judiciais, por exemplo, nunca tiveram prazos de validade tão curtos na sociedade contemporânea. E a tendência é apenas de aceleração de tal movimento. Neste cenário, a segurança jurídica, paradigma essencial para a pacificação social, torna-se vulnerável, assim como toda a humanidade, inserida em uma vida líquida, permeada por incertezas. Para compreender a disrupção no campo do Direito ou, em outras palavras, o Direito Disruptivo, fundamental é observar que a expressão se refere aos reflexos jurídicos de um período de mudanças muito intensas nas sociedades. De modo que se a revolução industrial foi um marco para o fim do feudalismo e início da primeira era industrial, a criação da Internet é um marco do fim das primeiras eras industriais e início da era da informação ou da era industrial 4.0. Tais transformações impactam a sociedade humana em termos econômicos, sociais e até biopsicológicos e, por consequência, ensejam profundas reflexões em todas as áreas do Direito (FEIGELSON, 2018).

Outra perspectiva é a verificação da transnacionalidade como fenômeno e o direito transnacional como sua dimensão jurídica, ante a característica de ausência de subordinação a um espaço jurídico pré-estabelecido, a qual se constitui como importante alicerce da consolidação de um pluralismo jurídico que muito se difere do pluralismo clássico: o pluralismo jurídico transnacional. Portanto, a diversidade jurídica que hoje se constata nos obriga a afrontar a convergência, coordenação e integração entre sistemas jurídicos e não jurídicos, afasta qualquer tentativa de manter as ordens jurídicas apartadas ante o argumento arcaico de centralização das decisões, ações e procedimentos, unicamente no Estado Nacional. Assim, mais do que suplantar as teorias monistas e dualistas, mostra-se imprescindível afrontar qualquer tentativa de pluralismo adstrito a atos jurídicos, de modo que a teoria do direito transnacional permite, portanto, elevar o desafio que enfrentam fenômenos jurídicos que transcendem fronteiras do Estado, superando modelos categorizados em local, internacional, supranacional ou global, e enfatizando a interdependência entre eles (PIFFER; CRUZ, 2019) como no caso das nanotecnologias ocorre.

Diante deste novo contexto autorregulatório, compila-se contribuições de Teubner, ilustradas na Figura 83, que há anos vem embasando a validação de normas estranhas ao direito, de outros sistemas. A fim de ilustração, apresenta-se na sequência a linha temporal das lições de Teubner:

Figura 83 - Publicações Teubner em linha cronológica



Fonte: Elaborada pela autora, com base na obra de Teubner.

Por Fragmentos constitucionais, a partir da lição de Teubner, é possível compreender esse novo espaço global, onde presenciam-se processos de decisão transnacionais, "fragmentados" nas diversas esferas sociais, com suas constituições parciais sociais. A globalização pode ser lida como fenômeno de constante e cada vez maior fragmentação do todo social.

Também utiliza o autor o termo "sistemas sociais parciais", os quais acabam por regular áreas as quais o Estado não alcança. A partir dos sistemas sociais parciais, citando sistema da economia, sistema da saúde, dentre outros, são geradas tomadas de decisões baseadas nestas constituições parciais sociais, sem interferência direta estatal. Nesse contexto transnacional, de globalização, ocorrem violações aos direitos ocorrem nas instâncias privadas de decisões de empresas trans e multinacionais que ameaçam a saúde coletiva e o meio ambiente, bem como em corrupções na área da saúde e da pesquisa científica, ataques incisivos à liberdade de acesso à internet entre diversas outras catástrofes possíveis liberadas das dinâmicas sociais. Não se trata da falta de empenho para regulamentação por

parte dos Estados, mas sim, o fato de que estes problemas se localizam em um espaço novo, transnacional, além das fronteiras dos Estados, processos decisórios nestes, longe do poder político institucionalizado (TEUBNER, 2016).

Acrescenta-se a expressão usada pelo autor, “*No mar da globalidade, formam-se apenas ilhas de constitucionalidade*”, e embora não se encontre o acoplamento estrutural entre política e Direito no plano mundial, apresentam-se normatizações e constitucionalizações internas aos sistemas funcionais. Autofundação, autorregulação, autoconstituição são as palavras utilizadas para descrever a nova realidade do Direito global (ACOSTA JUNIOR, 2017).

Desta maneira, não cabe aqui ao sistema do Direito buscar a elaboração de leis específicas na tentativa de controle das nanotecnologias. A dinâmica legislativa é infinitamente mais lenta que o movimento disruptivo das nanotecnologias. Entretanto, não deve o Direito ficar inerte, mas sim se apropriar de autorregulações amplamente adotadas em nível global. Tais regulamentos são originários de novos atores, pertencentes aos chamados sistemas sociais parciais de Teubner (2016).

Diante da existência de instrumentos com potencial regulatório, deverá o Direito ampliar seus horizontes, levando em conta o mar de incertezas e riscos incalculáveis da revolução nanotecnológica, para assim reconhecer tais normativas. É baseado nessa proposta que o recorte da tese acontece, viabilizar através da autorregulação, validada pelo Direito aos sistemas sociais parciais, que seja adotada a economia circular e nanorastreabilidade, com o fito de alcançar a minimização e gestão do risco, em especial do *nanowaste*.

Ao Sistema do Direito apresenta-se o desafio de lidar com o futuro, com risco e a imprevisibilidade, eis que, sempre, a certeza foi um dos elementos estruturantes do jurídico. A projeção temporal do jurídico sempre foi a partir do passado, sendo que no presente se identificam as consequências do passado, atribuindo-se o efeito jurídico. Contudo, com as nanotecnologias e seus riscos, percebe-se um outro presente, que se conecta ao futuro, onde as decisões geram riscos, dada a improbabilidade e a indefinição de se efetuar a comunicação acerca dos danos (ENGELMANN, 2017).

O cenário das nanotecnologias exigirá a tomada de decisão focada na preocupação, isto é, ocupar previamente a ação com as consequências dos riscos sobre a saúde humana e ambiental. Não deverá ser uma ação perspectivada no

imediate, mas no presente e futuro, não somente no futuro (ENGELMANN, 2011). Desta forma, a lição de Teubner nos permite antecipar a proteção aos danos em potencial das nanos, validando mecanismos autorregulatórios na medida em que são implementadas pelas organizações privadas.

5 CONCLUSÃO

Atualmente acompanha-se um cenário revolucionário dentro do mundo nanotecnológico. Uma “*nanoera*” disruptiva, acelerada, com potenciais inimagináveis para a manipulação de novos produtos e materiais, os quais além de promessas, já tornam uma realidade bem promissora. Nanoprodutos mais eficientes nos campos dos cosméticos, medicina, engenharias, veterinária, eletrônicos, dentre diversos outros campos, conforme amplamente apresentado nesta investigação.

São descobertas inseridas na Quarta Revolução Industrial (SCHWAB, 2018), com o potencial de benefícios grande, contudo, ao passo de seu desenvolvimento, verifica-se o risco nanotecnológico. É uma conjuntura permeada por incertezas científicas que questionam a interação das nanopartículas com o meio ambiente e saúde humana, de maneira que deixar de lado uma postura acautelatória e precaucional poderia levar a danos incalculáveis. Mesmo num cenário de incerteza científica, o que se sabe é a respeito da toxicidade das nanopartículas no ecossistema, a depender da interação de cada tipo de material, a depender do ambiente e do grau de contato.

O século XXI se caracteriza, portanto, pela emergência de uma revolução tecnocientífica sem precedentes, impulsionada pelos avanços de novos produtos, dispositivos e processos com nanotecnologias. 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, enquanto as indústrias promovem a criação de produtos, a partir deste primeiro estágio. Já 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. 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 (ENGELMANN, 2018).

O cenário de nanoprodutos vem obtendo destaque como área inovadora, demonstrando inúmeros potenciais, inclusive para contribuir positivamente para a busca da sustentabilidade. Atraem assim cada vez mais investimentos, mas, em paralelo, as dúvidas e incertezas acerca dos riscos nanotecnológicos permanecem. São promessas benéficas de avanço na medicina, na remediação ambiental, e

tantas outras áreas. Os benefícios são elevados, porém, possível acompanhar diversos resultados de pesquisas divulgados pelo Sistema da Ciência que acendem um sinal de atenção no que se refere à saúde humana e ao meio ambiente. Na contramão deste viés positivo, observa-se o cenário de risco, com alertas da comunidade científica que discutem e difundem o risco de danos jamais vistos na interação das nanopartículas com o ecossistema. Faz-se assim necessária a imposição de certo grau de precaução, e estabelecer diretrizes mínimas de segurança, a fim de proteger as presentes e futuras gerações. O cenário das nanotecnologias exigirá a tomada de decisão perspectivada no presente e futuro (HOHENDORFF, 2018).

Levando este aspecto em consideração, a presente tese demonstrou quais são os resultados acerca dos riscos até então analisados, originários do Sistema da Ciência, observando que organizações internacionais como OECD, União Europeia em geral, BSI, dentre tantas outras, estão inseridas em movimento de autorregulação, elaborando *guidelines* e protocolos internos a fim de minimizar a questão do risco, com posturas precaucionais.

Ainda sobre o risco, de acordo com o relatório mais atual da Allianz (AGCS, 2023), *Allianz Risk Barometer*, o qual traz as preocupações corporativas mais importantes para o próximo ano, classificado por 2.712 especialistas em gerenciamento de risco de um recorde de 94 países e territórios, encontra-se no 5.º lugar o aspecto da mudança de regulação e legislação, em 6.º as catástrofes naturais, e em 7.º as alterações climáticas, todos eles tendo algum tipo de ligação com a era nanotecnológica e o risco. Inclusive, a questão das mudanças em legislação e regulação no cenário nano é o maior desafio para o Sistema do Direito, de maneira que se verifica ausência regulatória estatal, mas em contrapartida existem novos espaços de regulação e novos atores, que estão autorregulando as nanotecnologias face o risco. A partir dessa situação verificam-se possíveis conflitos, sendo que o Direito não regula, mas não valida outras normas externas, deixando descoberta a sociedade no aspecto da nanosegurança.

O risco de cada nanoforma não pode ser assumido como o mesmo, pois podem variar em suas características físico-químicas, exposição e perigo. Portanto, para fins regulatórios, avaliação da matriz de dados, de propriedade por propriedade específica é recomendada para fundamentação. Isso significa que os riscos precisam ser analisados individualmente usando a avaliação de propriedade por

propriedade. Observam-se assim ferramentas na ciência que podem apoiar decisões durante o desenvolvimento industrial de nanoproductos inovadores (JELIAZKOVA *et al.*, 2022). Deste modo, muitos são os alertas da ciência quanto ao risco nanotecnológico, onde a composição química está levando à toxicidade e isso se deve principalmente a impactos no destino das nanopartículas (SONG *et al.*, 2022). Muito pouco hoje é conhecido acerca do comportamento ambiental e os efeitos da liberação de nanopartículas, embora estes sejam materiais que já se encontram efetivamente presentes no ambiente. Mais pesquisas são necessárias para determinar se a liberação e os processos de transformação resultam em um conjunto de nanopartículas similar ou mais diversificada e, finalmente, como isso afeta o comportamento ambiental (NOWACK *et al.*, 2012).

Se mostra essencial a procura por alternativas que, além de sustentáveis, apresentem mecanismos para o enfrentamento do risco, promovendo respostas adequadas à sociedade, de modo que se preserve a saúde humana e degradação do meio ambiente. Este é o desafio do Sistema do Direito. Não se pretende com a proposta da tese fomentar a paralisação desta tecnologia, até mesmo porque ela está tão difundida no cotidiano industrial e da sociedade, que não se alcançaria êxito. O que se apresenta é um viés mais sustentável para o desenvolvimento das nanotecnologias, de modo a adotar posturas precaucionais, que consigam equilibrar a produção, uso e saúde coletiva, bem como minimizar os impactos nocivos. A economia circular, assim, apresentasse como uma alternativa plausível, alinhada aos Objetivos de desenvolvimento sustentáveis da ONU, atrelada ainda a rastreabilidade dos nanoproductos e *nanowaste*, fundamentados na autorregulamentação validada nos Fragmentos Constitucionais de Teubner.

Por isso, ao invés daquelas características do positivismo jurídico, busca-se ampliar a efetividade, a adequação das respostas às perguntas formuladas pelas nanotecnologias (ENGELMANN, 2013b, v. 1). São alterações profundas no Sistema do Direito se fazem urgentes e necessárias, a fim de viabilizar a comunicação com os demais Sistemas, especialmente o Sistema da Ciência, com o foco no equacionamento dos eventuais riscos que poderão vir junto com o aprofundamento da Revolução Nanotecnológica (HOHENDORFF, 2018).

Desta forma, foi demonstrado que a percepção dos riscos nanotecnológicos ingressaram num cenário de alteração profunda na sociedade, sendo necessário seu desenvolvimento atrelado ao ESG, aliados ainda a propostas como da

Economia circular e rastreabilidade. Isto pois enquadram-se na “metamorfose do mundo” cunhada por Beck (2018). E por quê? Pois não se trata somente de mudanças, evolução, revolução e transformação, se trata do mundo “metamorfoseando” (BECK, 2018), implicando uma alteração muito mais radical, em que as velhas certezas da sociedade atual desaparecem e algo inteiramente novo emerge (BECK, 2018). O risco nanotecnológico enquadra-se aos contextos mais complexos com os quais a própria comunidade científica tenta lidar para criar mecanismos e alcançar soluções não antes pensadas, e deste modo fica adequado à percepção de metamorfose de Beck (2018).

Mostra-se essencial aprofundar as pesquisas na área das nanotecnologias, a fim de viabilizar a minimização da ocorrência destes danos em potencial, perfazendo a gestão do risco. Para isso, outro aspecto indispensável é avaliar a gestão dos resíduos nanotecnológicos, ou *nanowaste*, que demandam atenção ainda maior da comunidade científica. Para isso, a abordagem na análise do ciclo de vida destes materiais precisa ser feita conjuntamente, conforme demonstrado no primeiro capítulo, a fim de identificar qual o comportamento dos nanoprodutos em cada etapa do ciclo, desde a produção, enquanto seu consumo, e especialmente na etapa final, quando do seu descarte no meio ambiente.

Esse tema deverá ingressar na seara jurídica, buscando-se a aprendizagem já gerada na área da Administração, devendo iniciar no laboratório, onde as pesquisas são especificadas, passar pelo setor industrial, e, finalmente, chegar ao mercado consumidor, ao uso e descarte, ou seja, atingindo a integralidade do ciclo de vida de um nano material., sob pena de destruição do ecossistema na gestão incorreta do risco (EMBED TELLO, 2015).

A avaliação do ciclo de vida oferece uma solução para a questão de validação de atividades sustentáveis, fazendo uma conexão também com os princípios da ESG, examinando os impactos ambientais de um produto, contabilizando todos os processos, desde insumos até saídas ao longo do ciclo de vida do produto. Usando dados relacionados a ESG de indivíduos empresas dentro de uma cadeia de valor, a avaliação do ciclo de vida pode integrá-las e avaliar o ESG desempenho de toda a cadeia (JIANG *et al.*, 2022).

Há uma necessidade de um conhecimento coletado e melhor dos impactos ambientais dos nanoprodutos. O acesso a informações confiáveis sobre ciclo de vida é uma questão fundamental para que se possa decidir como os produtos devem ser

concebidos, utilizados e manipulados quando se tornarem lixo. As informações relevantes também são importantes para os profissionais que lidam com estes materiais e os consumidores, bem como para aqueles que lidam com os resíduos. De igual forma, uma avaliação dos resíduos gerados pelos processos de produção de nanotecnologia é necessária e deve incluir a atenção aos de resíduos provenientes de instalações de produção de nanomateriais que podem impor novas pressões sobre os sistemas ambientais (NEL *et al.*, 2011).

Para tanto, a geração de dados é crucial, mas também se faz necessária uma visão mais holística a fim de melhorar o conhecimento do impacto ambiental a partir destes produtos, e melhorar a difusão deste conhecimento para todos os diferentes atores envolvidos ao longo de todo o ciclo de vida dos nanoproductos (FLEMSTRÖM; CARLSON; ERIXON, 2004). Até mesmo pois os benefícios potenciais das nanotecnologias ainda não foram devidamente avaliados em relação ao potencial de riscos à saúde humana e ecológica. A análise do ciclo de vida dos produtos já tem sido reconhecida como uma ferramenta capaz de realizar uma avaliação ambiental, holística e assim, a pesquisa realizada por Gavankar e colaboradores demonstra que o número de estudos sobre o ciclo de vida de nanoproductos vem aumentando, embora um olhar mais atento revele que muitos desses estudos não cobrem todo o ciclo de vida dos nanomateriais ou nanoproductos (GAVANKAR; SUH; KELLER, 2012).

Segundo Part *et al.* (2015), o comportamento dos nanomateriais e acompanhamento do destino final é fundamental para o desenvolvimento mais sustentável das nanos. A gestão do risco nos resíduos se verifica desde as alterações das substâncias nos processos de tratamento. Assim, a questão do *nanowaste* vem causando alerta nas pesquisas, já que o risco das nanopartículas fica ainda maior, conforme discorrido na primeira parte da tese. Resíduos contendo nanomateriais podem ser gerados na produção de substâncias, misturas ou produtos, no processamento e reparo de produtos, ou no descarte de produtos no final de seu ciclo de vida.

Conforme demonstrado no capítulo primeiro, o *nanowaste* possui diversas fontes possíveis e a partir desta compreensão se faz viável encontrar as alternativas para sua gestão adequada e tratamento, caso ele exista. Assim, o *nanowaste* pode ser gerado como um subproduto durante a fabricação de produtos baseados em nanopartículas; pode ser liberado de emissões automotivas e industriais ou durante o uso e transporte de nanoproductos. Pode ser produzido de várias maneiras, algumas

das principais indústrias que usam nanotecnologia são têxteis, impressão, produtos farmacêuticos, construção, esportes, fitness e a indústria de cuidados com a pele e beleza. Produtos contendo nanomateriais que estão disponíveis nos mercados incluem cosméticos (gel protetor solar, produtos capilares e agentes de distribuição de cosméticos), tintas e revestimentos (antiestáticos, antiembaçantes, anticorrosivos, filtros UV), têxteis (repelentes de água e agentes antibacterianos) e materiais de construção (resistentes ao fogo e materiais autolimpantes) (GEORGE *et al.*, 2022).

A partir dos estudos apresentados na tese, paralelo ao desenvolvimento disruptivo das nanos, encontra-se a maior geração de resíduos como consequência lógica. Percebeu-se que face a situação ainda mais peculiar do *nanowaste* no cenário do risco, impõe-se a adoção de medidas precaucionais e sustentáveis, a fim de minimizar os riscos a saúde humana e meio ambiente. A partir desta necessidade é que o problema da tese se desenvolve, aplicar uma alternativa para o desenvolvimento mais sustentável, seguro, para era nanotecnológica, com atenção a questão dos resíduos, dando destaque ainda a um resíduo específico, o nanoplástico.

Isto porque a liberação de plásticos no meio ambiente é identificada como uma questão importante por muito tempo, e publicações recentes vêm sugerindo que a degradação de materiais plásticos resultará na liberação de partículas de plástico de tamanho nano para o meio ambiente. A partir da inserção de nanoprodutos no meio ambiente, os quais possuem plástico em sua composição, observa-se claramente um aumento na formação de nanoplásticos ao longo do tempo (LAMBERT; WAGNER, 2016). O alerta sobre o nanoplástico no meio ambiente apresentam quadros ainda mais preocupantes, como por exemplo os estudos confirmando que a exposição pulmonar materna ao nanopoliestireno resulta na translocação de partículas plásticas aos tecidos placentários e fetais e torna a unidade fetoplacentária vulnerável a efeitos adversos. Esses dados são vitais para a compreensão da toxicologia de partículas plásticas e as origens do desenvolvimento da saúde e doença (FOURNIER *et al.*, 2020).

Mostram-se presentes evidências dos impactos negativos do plástico e seus detritos microplásticos e nanoplástico ingeridos pelos organismos de diversos ecossistemas, fornecidas constantemente pela comunidade científica. Os efeitos negativos da ingestão de micro e nanoplásticos pelos peixes são diversos, tanto que análises mostraram que a carga total desses poluentes no trato gastrointestinal de

um peixe durante a sua vida é alta, afetando sua saúde. Como efeitos foram observados o bloqueio intestinal, o dano físico, as alterações histopatológicas no intestino, as mudanças de comportamento e do metabolismo lipídico e sua transferência para o fígado (GIRALDEZ ALVAREZ *et al.*, 2020).

O Banco Mundial realizou um levantamento sobre resíduos sólidos, em especial os plásticos, apresentando o grave panorama global, buscando de forma urgente qual a medida exigida para minimizar os danos até 2050:

Você verá neste relatório, que o mundo está em uma trajetória onde o desperdício desta geração ultrapassará drasticamente o crescimento populacional e dobrará até 2050. Embora estejamos vendo melhorias e inovações em gestão de resíduos sólidos em todo o mundo, é uma questão complexa e necessária para tomar medidas urgentes. A gestão de resíduos sólidos afeta a todos; no entanto, aqueles mais afetados pelos impactos negativos de resíduos mal geridos são em grande parte os mais vulneráveis – perdendo suas vidas e casas em deslizamentos de depósitos de lixo, trabalhando em condições inseguras de coleta de lixo e sofrendo de profunda saúde repercussões. Muitas vezes, o meio ambiente também paga um preço alto. Em 2016, o mundo gerou **242 milhões de toneladas de lixo plástico - 12 por cento de todo o lixo sólido**. Resíduos de plástico estão sufocando nossos oceanos, mas nosso consumo de plásticos só está aumentando. Cidades e países estão se desenvolvendo rapidamente sem sistemas adequados implantados para gerenciar os resíduos em constante mudança composição dos cidadãos (KAZA *et al.*, 2018, p. xi, grifo nosso).

Diante da complexidade potencializada à escala nano, um olhar precaucional mostra-se essencial para implementação de ações que possam atacar e resolver a gestão do risco, observando o *nanowaste* e em especial nanoplásticos. Conforme apresentado na tese, organizações como a OECD (2016), que tem destaque na comunidade científica, alcançaram pesquisas em patamares significativos para autorregulação dos resíduos nanotecnológicos, adotando instrumentos com potencial regulatório que minimizam os danos em potencial.

Retoma-se assim o problema de pesquisa desta investigação: levando-se em consideração este cenário de ausência regulatória, de contato com nanopartículas, da produção ao final de consumo, com consequência de descarte do resíduos nanotecnológicos no meio ambiente, o problema desta tese versa sobre a ausência regulatória específica para os resíduos nanotecnológicos, e de que forma a adoção da Economia circular pelas empresas, fundadas na (nano)sustentabilidade poderá efetivar a implementação da rastreabilidade dos nanoprodutos (de berço ao berço), e dos resíduos nanotecnológicos, que conseqüentemente, conduzirá à gestão do risco e autorregulação, num espaço iluminado pela sustentabilidade exigida neste

cenário permeado por incertezas e riscos nanotecnológicos, em respeito ao objetivo maior das ODS 9 e 12 da ONU. Neste contexto, como a estruturação dos elementos dos Fragmentos Constitucionais propostos por Gunther 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 (nano)sustentabilidade (fundamentada pelos Objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU, especificamente o 9 e 12), implementando também a *rastreabilidade dos resíduos nanotecnológicos* (tomando como norte o Projeto de Lei nº 7.088/2017 (BRASIL, [2017]), que pretende alterar a lei de resíduos sólidos com rastreabilidade dos resíduos perigosos), na busca da compatibilização da atuação local e transnacional das organizações de base nanotecnológica?

Como resposta à pergunta norteadora, confirmando a hipótese da tese, vislumbra-se a possibilidade de uma transição ao desenvolvimento sustentável, com a economia circular apresentando-se como alternativa viável. Inclusive em nível global várias nações estão a desenvolver essa transição, da economia linear para a circular, evitando a geração de mais resíduos, minimizando o risco. Este seria o problema a enfrentar: diante da lacuna regulatória, quais medidas auxiliariam na gestão dos riscos nanotecnológicos, em especial *nanowaste* e nanoplásticos? Certamente a adoção de posturas sustentáveis favoreceriam um ambiente mais seguro, bem como respeitariam os fundamentos dos Objetivos de Sustentabilidade do Milênio da ONU. A transição para a economia circular torna-se essencial neste enfrentamento, inclusive favoreceria também a um controle ainda maior dos resíduos, na implementação da rastreabilidade, que adiante será apresentada.

A economia circular e (nano)sustentabilidade são temas há muito discutidos no cenário europeu, como demonstrado no relatório *Environment at a Glance 2020* publicado pela OECD (2020a), 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.

As últimas décadas testemunharam crescimento sem precedentes na demanda por matérias-primas materiais em todo o mundo, impulsionado pela rápida industrialização das economias emergentes e altos níveis contínuos de consumo de material em países desenvolvidos. Internacional os mercados de commodities se expandiram, com aumento dos fluxos de comércio internacional, e aumentando a mobilidade e fragmentação de produção (OECD, 2020a). Isso foi acompanhado por aumentos e volatilidade de commodities preços e pela crescente competição por matérias-primas selecionadas. E quais são os impactos ambientais face esse crescimento? As atividades econômicas que impulsionam o uso de materiais afetam o meio ambiente de várias maneiras. As consequências ambientais decorrem da obtenção dos materiais (por exemplo, gás de efeito estufa emissões de extração e processamento de matérias-primas primárias), de seu uso (por exemplo, ar poluição causada pela queima de combustíveis fósseis) e de seu descarte (por exemplo, poluição do ar, solo e água de aterros). Análise do ciclo de vida da extração e produção global de sete metais (ferro, alumínio, cobre, zinco, chumbo, níquel e manganês) e dois materiais de construção (concreto e areia e cascalho) pela OCDE mostra uma ampla gama de consequências ambientais, incluindo impactos na acidificação, mudanças climáticas, demanda cumulativa de energia, eutrofização, humanos toxicidade, uso da terra, destruição da camada de ozônio, oxidação fotoquímica e toxicidade dos ecossistemas (OECD, 2020a).

A percepção de que as atividades humanas causaram degradação, destruição de habitats e alterações de ecossistemas que pôr em perigo o bem-estar humano, levou à busca de estratégias, como a economia circular. O entendimento comum de uma cadeia de suprimentos de produtos em a economia é linear, segundo Foster (2020). Uma cadeia de suprimentos linear processa recursos naturais em produtos que apoiam o bem-estar humano. Os consumidores usam esses produtos e, posteriormente, são descartados como resíduos. O modelo de uma cadeia de suprimentos circular contrasta com um modelo de economia linear. Existem muitas definições de economia circular em uso com diferentes fundamentos teóricos (FOSTER, 2020). Portanto, os alertas científicos sobre preservar os recursos do planeta finalmente foram ouvidos na segunda metade do Século XX, quando cada vez mais a indústria abraçou a sustentabilidade. A sustentabilidade além de ser melhor ao meio ambiente, também é aos negócios, pois percebe-se que reduz custos, gerando eficiência de recursos, possibilidade de usar descartes como

insumo. Ainda reduz os riscos legais e sociais ou de reputação. E por fim, acaba gerando um retorno positivo na forma de acesso ao mercado, diferenciação e inovação (SENAI, 2020).

A economia industrial circular gerencia estoques de ativos manufaturados, como infraestrutura, edifícios, veículos, equipamentos e bens de consumo, para manter seu valor e utilidade o mais alto possível pelo maior tempo possível; e estoques de recursos em sua mais alta pureza e valor. Este modelo contrasta com a economia industrial linear na medida em que seus objetivos são manter o valor (não criar valor agregado), otimizar a gestão de estoques (não fluxos) e aumentar a eficiência do uso de bens (não de produção de bens) Stahel (2019). Ganha destaque na economia circular o papel protagonista do “consumidor-proprietário”, que será quem tem controle do fluxo, enquanto na linear o controle é feito pelo produtor.

Países de vanguarda na aplicação dos fundamentos da economia circular possuem políticas públicas mais estruturadas, definidas em programas, planos ou leis. O precursor na implantação do conceito de economia circular foi a Alemanha, no ano de 1996, mediante a aprovação de uma lei de gestão das substâncias tóxicas e a gestão de resíduos em ciclo fechado. Em seguida, o Japão promulgou uma lei, no ano de 2000, para promover a economia circular ao nível nacional. O governo japonês estimulou o surgimento de uma sociedade de alta produção, de alto consumo e desperdício para desenvolver um projeto-piloto voltado à economia circular (HESHMATI, 2015). Na União Europeia, a economia circular é uma tendência bem consolidada, que permite reduzir custos com materiais em até US\$ 630 bilhões por ano. Estimativas produzidas na região indicam que, para o setor de mobilidade, práticas de economia circular podem reduzir os custos entre 60% e 80%. Já o setor de alimentos pode se beneficiar com 25% a 50% de economia proporcionada pela redução de desperdício (ECONOMIA..., 2019). No Brasil também é possível encontrar movimentos de economia circular, de forma incipiente, dentro da esfera privada, em empresas.

Portanto, a economia circular tem sido objeto de atenção nos principais fóruns de governança global. Entretanto, na contramão do desenvolvimento global, o Brasil enfrenta desafios institucionais para incentivar a inclusão dos elementos circulares nos novos modelos de negócio. Um dos principais desafios seria a formulação de instrumentos que podem servir como catalisadores da mudança produtiva e de

consumo. No contexto brasileiro, as políticas públicas podem figurar como integradoras de sociedade, governo, academia e mercado, com o objetivo de proporcionar infraestrutura econômica, legal e social para a adoção de modelos circulares pela sociedade. A falta de conhecimento sobre o modelo circular é outro desafio, muito embora diversas empresas apliquem algum tipo de iniciativa circular (SILVA *et al.*,2021).

No contexto brasileiro a economia circular deu seus primeiros passos com a PNRS, instituída pela Lei nº 12.305/10 (BRASIL, 2010), que se constitui como um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações para o desenvolvimento da gestão e do gerenciamento de resíduos de forma integrada (ASSUNÇÃO, 2019). Essa integração visa a cooperação entre os governos federal, estaduais e municipais, o setor privado e a sociedade civil. Entre os princípios que fundamentam a PNRS estão: a visão sistêmica na gestão de resíduos sólidos que considere as variáveis social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública; o desenvolvimento sustentável, a ecoeficiência e o reconhecimento do resíduo como reutilizável ou reciclável e, ainda, a responsabilidade compartilhada (BRASIL, 2010). A ecoeficiência é apresentada na PNRS, e se fundamenta mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e reduzam o impacto ambiental e o consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta. A dimensão social da política pode ser entendida como o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania (BRASIL, 2010).

E no campo do Direito, de maneira objetiva, constata-se alguma outra legislação sobre economia circular? Conforme demonstrado no capítulo 3, merece destaque a única iniciativa estatal que dispõe sobre a economia circular, atrelada à PNRS. Recentemente, o estado do Paraná estabeleceu, por meio da Lei nº 20.607, de 10 de junho de 2021, o seu PERS/PR (PARANÁ, 2021) o qual segue as diretrizes da PNRS – Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010). Além da gestão de resíduos, o PERS/PR disciplina a logística reversa dentro do estado, impondo o plano de logística reversa de produtos pós-consumo nos procedimentos de licenciamento ambiental para obtenção da licença de operação e sua renovação (PARANÁ, 2021).

Ao inserir as premissas de não geração, prevenção e a minimização da geração de resíduos sólidos, a PERS/PR abre espaço normativo para as práticas da economia circular, especialmente a inovação e o design do produto voltados à circularidade (KARL, J.; KARL, A., 2022). Complementando a legislação, ganhando mais reforço ao movimento e consciência circular, recentemente a Assembleia Legislativa do Paraná apresentou no dia 27 de julho o Projeto de Lei nº 278/2022 (PARANÁ, [2022]), que visa instituir a Política Estadual de Economia Circular e o Selo de Produto Economicamente Circular. Possível extrair do documento forte influência de políticas europeias em especial francesas. Exemplo disso é o acréscimo de informação no produto (selo), apresentando ao cliente mais informações referentes a circularidade do produto (SOUZA, 2022).

Presencia-se uma necessidade muito maior de mudança. É necessária alteração substancial no modo de desenvolvimento das nanotecnologias, onde o início dá-se pelas 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 a presente e futuras gerações, calcadas na sustentabilidade, como a transição a economia circular possibilita. Assim mostra-se indispensável que o desenvolvimento das nanotecnologias tome um rumo mais seguro e confiável do ponto de vista científico, sendo que uma mudança sustentável dar-se-ia através da implementação da economia circular, a qual possibilitaria a mitigação do *nanowaste*, dialogando às iniciativas das Nações Unidas, em especial o respeito e fundamentada pelos objetivos de desenvolvimento sustentáveis do Milênio (Agenda 2030), dos quais os que mais tem aderência à tese seriam os ODS 9 e 12.

Conforme demonstrado na tese, a mudança para economia circular conseguiria operacionalizar um controle maior de toda cadeia de produção e uso de nanoproductos, mas em especial do *nanowaste*. Por esta razão é que se vincularia a esta transição a implementação da rastreabilidade, que perfectibilizaria a gestão do risco, com minimização dos resíduos nanotecnológicos. A rastreabilidade é implementada em diversos setores de produção, como alimentos, eletrônicos dentre outros.

No caso do *nanowaste*, o risco em potencial pode ser considerado similar aos resíduos sólidos perigosos, consoante a demonstração dos riscos em diversas publicações inseridas na tese, bem como a explicação sobre resíduos perigosos

com base no projeto de lei. Por essa razão é que esta investigação demonstrou que implementar a rastreabilidade em produtos nanotecnológicos e resíduos, nos moldes propostos pelo Projeto de Lei nº 7.088/2017 (BRASIL, [2017]), poderia ser uma alternativa eficiente para a mitigação do risco.

De acordo com doutrina apresentada no capítulo 4, pode-se afirmar que um grande passo para a rastreabilidade se deu na área alimentícia. Um novo enfoque sobre a segurança alimentar passou a ser uma atenção mundial no início do século XXI, um legado do século XX. Contaminações de alimentos por crises sanitárias, resíduos tóxicos, e até mesmo a manipulação genética trouxeram a necessidade, por parte do consumidor final, de conhecer desde a origem até a forma que os alimentos consumidos foram produzidos, bem como saber quais os possíveis riscos que podem apresentar à saúde. Assim, os mercados tornam-se cada vez mais exigentes no que se refere às informações que devem acompanhar o alimento desde sua produção até chegar ao consumidor final. No que se refere à carne bovina, ocorrências de crises sanitárias como a da febre aftosa, BSE, ou Encefalopatia Espongiforme Bovina ou Doença da Vaca Louca, e contaminações por dioxina levaram à necessidade de conhecer sua origem e procedimentos de produção (NICOLOSO; SILVEIRA, 2013). A rastreabilidade é da mesma forma aplicada no setor automotivo, de eletrônicos, apresentando diversas alternativas neste controle de rota, como etiquetas, chips, código de barras, softwares, QRCODE, inteligência artificial, dentre outras (CORDEIRO, 2019; SONDA, 2018; WEBER, 2021; WISNIESKI, 2017). Como não se utilizar deste aporte para aplicar às nanotecnologias, uma vez que são as mesmas altas tecnologias suas principais desenvolvedoras? Ou ainda, como não ventilar a necessidade da rastreabilidade dos nanoprodutos, de modo que seus impactos no meio ambiente e saúde humana podem causar danos incalculáveis, de acordo com as pesquisas difundidas no Sistema da Ciência?

O Regulamento nº 178/2002, da Comunidade Europeia (PARLAMENTO EUROPEU; CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2002), assim como a ANVISA na RDC nº 24/2015 (ANVISA, 2015), e ISO 9000 (ISO, 2007) trazem definições sobre a rastreabilidade, que corroboram com a fundamentação da tese.

Atrelando esse aspecto ao da tese, possível concluir que se está em discussão saúde pública, pensando no consumidor de toda ordem, ou melhor, seres humanos que a cada dia consomem mais nanoprodutos. Assim, por que não

implementar a rastreabilidade em algo tão inovador, que poderá causar danos futuros ao meio ambiente? Percebe-se que a implementação da rastreabilidade no âmbito alimentício, no Brasil, no que tange à carne, foi feita através de sistema de certificação por demanda europeia, ou seja, imposição comercial e mercadológica. Contudo, uma vez que o alerta global acerca das nanotecnologias nos conduz ao potencial dano, deveriam esses produtos e também resíduos merecerem o mesmo tratamento, incluída então a rastreabilidade no modelo circular. A fim de embasar a ideia, citou-se o Projeto de Lei nº 7.088/2017 (BRASIL, [2017]) que serviria como um modelo de base legislativa.

O Projeto de Lei nº 7.088, de 2017 (BRASIL, [2017]), introduz o Art. 37-A na Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que instituiu a PNRS, obrigando à implantação, pelo operador dos resíduos em foco, de dispositivo móvel e remoto de rastreamento dos veículos e embarcações usados no transporte dos resíduos referidos. Vislumbra-se então a necessidade de monitoramento remoto de veículos e embarcações em movimento abrange emissor, receptor, equipamentos afins e meios de comunicação, sejam eles mediados por telefone ou satélite, os quais transportam esses resíduos.

A Lei nº 12.305/2010, instituidora da PNRS (BRASIL, 2010), é bastante atual e contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao País no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos (MOURA; PEREIRA, 2016), os quais poderiam ser aproveitados no recorte das nanotecnologias, ao *nanowaste*, ainda mais aliada ao projeto de lei acima ventilado. Tal normativa prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos. Portanto, apresenta-se viável o acoplamento dos dois instrumentos regulatórios para gestão do risco na seara de nanoprodutos e *nanowaste*.

Portanto, partir da proposta de operacionalização ou gestão de resíduos sólidos perigosos, mas também destacando os guias europeus quanto ao *nanowaste*, verifica-se a necessidade de implementação de medidas de manejo e acompanhamento do ciclo de vida dos nanomateriais, que, a partir da proposta deste estudo, dar-se-ia com a implementação de uma “rastreabilidade de produtos e resíduos nanotecnológicos”, com aplicação pelas empresas (a contar da produção),

fazendo o cotejo com o Projeto de Lei nº 7.088 de 2017 (BRASIL, [2017]), o qual pretende alterar a ventilada lei de resíduos sólidos, justamente adotando a rastreabilidade dos resíduos perigosos.

Tal proposta de rastreabilidade tem base na sustentabilidade e na precaução exigida neste contexto, e que ainda vai ao encontro dos princípios da Economia Circular (MASSULO, 2017), apresentada anteriormente.

Por fim, sobre o projeto de lei em questão, na última data de consulta realizada para esta tese (10.03.2023), obteve-se a seguinte situação: o material foi apreciado pela CVT e a CMADS, entre os anos de 2017 e 2018, e em 2019 teve somente 2 andamentos, sendo o projeto devolvido à Coordenação de Comissão Permanente, para apreciação final (BRASIL, [2017]). O projeto foi aprovado com emendas, a fim de alterar o termo “dispositivo” para “meios de comunicação”, que fariam o rastreamento. O projeto de lei encontra-se parado, desde seu arquivamento em 31.01.2019, conforme Art. 105 do Regimento interno da Câmara de Deputados. Desta maneira, mostra-se adequada a proposta de rastreabilidade dos resíduos nanotecnológicos. Para que fosse perfectibilizada, teria de dar uma amplitude maior, de berço ao berço, pois trazem maior risco e potencial dano ao meio ambiente e vida humana do que os resíduos perigosos. Prepondera o princípio da Sustentabilidade, bem como da Precaução, a fim de preservar os recursos ambientais, e para promover o desenvolvimento e descarte adequado dos nanomateriais. A partir da implementação de instrumento (auto)regulatório, com modelo neste projeto, de rastreabilidade dos nanoprodutos e *nanowaste*, 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*.

Importante destacar o diálogo da proposta da tese com os princípios da ESG, que tem ainda concepção de investimento sustentável pelas empresas, sendo o ESG uma filosofia de investimento que compreende desenvolvimento econômico coordenado com aspectos sociais e ambientais, repensando inclusive o desempenho financeiro futuro, que se baseará na sustentabilidade para tomada de decisões (LI *et al.*, 2021). Pela sigla ESG, procura-se conectar preocupações e ações relacionadas ao meio ambiente, em sentido amplo – como *environmental*, evidenciando questões sobre o impacto ambiental da empresa, uso eficiente de recursos ambientais, eficiência energética, descarte de lixo, emissões de gases de

efeito estufa, dentre outros contextos. Direciona ainda às questões sociais – do inglês *social*, destacando o tema dos direitos humanos, em sentido amplo, nas cadeias produtivas das organizações, e por fim à governança corporativa – o *governance*, aqui abrangendo as políticas e compromissos das organizações com questões éticas (ARMSTRONG, 2020), bem como práticas que regulam o modo como a organização é dirigida, seja nas suas relações internas, quanto nas suas redes estruturais e negociais externas (ARBEX, 2021; SILVA; GOMES, 2020).

Presencia-se novas posturas dentro da sociedade e do desenvolvimento tecnológico, refletidos na esfera privada, mas que não estão acontecendo por imposições legais, de ordem impositiva do Direito, seja em contexto nacional ou transnacional. É sabido que no geral não existem regulamentações que implicam na adoção obrigatória de medidas sustentáveis na área das nanotecnologias. Contudo outra forma de regulação, a chamada autorregulação, vem ganhando destaque.

Nota-se atualmente uma mudança na perspectiva regulatória principalmente no que tange às novas tecnologias. De fato, fala-se em complexidades jamais enfrentadas anteriormente. O Estado-nação por si só não dá conta das demandas atuais da sociedade. Surgem novas demandas, tão complexas, como no caso das nanotecnologias, que de maneira isolada torna-se inviável solucionar a complexidade que gera novos direitos dentro da sociedade, o que demonstra um movimento cada vez mais global, com a comunicação entre Estados, bem como predispõe a comunicação entre os sistemas (LEAL; ENGELMANN, 2018, v. 1).

Quanto ao Sistema do Direito, resta a questão: é preciso sair do castelo da certeza, que não possibilita a visualização completa da realidade que se apresenta ao jurista e ao Direito, para um espaço de incerteza, em um cenário novo e desafiador que a criatividade humana está desenhando por meio das nanotecnologias e que precisará ser albergado pelo Direito (ENGELMANN, 2013a, v. 1).

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 redundava a 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). Assim, desde o final do século XX ocorre um novo movimento de desregulação da atividade econômica, com finalidade de impulso à globalização, o que leva assim a atividade privada se autorregular através de, por exemplo, códigos de ética e até mesmo fundamentos do Compliance.

A era nanotecnológica enquadra-se nesse cenário, de impulsionamento pela inovação, demandas não antes pensadas e problemas tão complexos que a ciência do Direito não tem dado conta de prestar respostas adequadas, abrindo, desta forma, margem ao desenvolvimento autorregulatório por outras ciências. Diante da conjuntura, necessário apropriar-se de outras áreas da ciência a fim de elaborar alguma alternativa de regulamentação, movimento este que vem ocorrendo a partir de atores privados e organizações internacionais que vem (auto)regulando a temática.

Voltando à conjuntura nano regulatória, impõe-se buscar alternativa à lacuna legislativa das nanotecnologias, vivenciado hoje nacionalmente e até mesmo em nível internacional, não sendo possível afastar-se da noção de *open regulation*. Ficar inerte, aguardando o dano se concretizar para adotar qualquer medida (auto)regulatória, não se mostra adequado e pertinente no cenário de complexidades enfrentado nesta relação entre sociedade, meio ambiente e as nanotecnologias. Desejável que se tome o caminho inverso ordinariamente adotado no Sistema do Direito (quando se fala em preenchimento do suporte fático e previsão legal), vislumbrando adoção de uma (auto)regulação apta, atualizada e adequada às demandas e dinamicidade das nanotecnologias e suas características, antes mesmo de se ter certeza científica quanto seu risco ou não ao ecossistema. Na proposta desta tese é adoção de economia circular, com base na (nano)sustentabilidade, com criação de projeto de rastreabilidade dos nanoprodutos e resíduos nanoparticulados inserido na economia circular.

De outro modo, urge que se adeque a ideia da tese à base teórica dos Fragmentos Constitucionais de Teubner (2016), o qual observa novos atores em nível global de regulamentação, bem como identifica outros cenários regulatórios, os sistemas parciais sociais ou espaços sociais parciais. Afirma em sua doutrina que o potencial reflexivo social não se encontra mais concentrado somente nas organizações formais, nas corporações empresariais, nas organizações científicas, nos tribunais, nos órgãos de comunicação em massa, mas atuando de forma simultânea nos âmbitos sociais espontâneos.

Para Teubner (2016), a fragmentação se trata de uma demanda para que sejam redefinidos os problemas constitucionais da Sociedade Internacional. O autor afirma que o fenômeno da fragmentação é duplo, sendo dos setores modernos da sociedade mundial, com a permanência das constituições próprias, e a segunda fragmentação diz respeito às distintas culturas religiosas, as diferentes formas de organização social que contrastam com o padrão constitucional mundial.

Nestes espaços encontra-se legitimidade para suas regras organizacionais, assegurando espaços de liberdade que acabam ingressando na ordem de códigos próprios de conduta, de deliberações e de autorregulação (TEUBNER, 2016). São instrumentos de autorregulamentações que priorizem a proteção do meio ambiente, como é a proposta da tese, observa-se uma nova constituição empresarial, com alterações internas nas suas estruturas que limitem o crescimento desmedido, em favor de posturas sustentáveis.

A tese ainda vai ao encontro de Teubner quanto o autor afirma constatar-se um sistema de ordens constitucionais que conseguem englobar, ao mesmo tempo, um constitucionalismo supranacional e nacional, chamando ao debate as constituições internas de atores privados, ou organizações privadas, como fontes de autodeterminação, os quais defendem interesses de determinadas categorias, o que por consequência, trazem autorregulamentações que colaboram com o sistema político.

Portanto, com a matriz teórica de Fragmentos Constitucionais de Teubner (2016) encontra-se alicerce para fundamentar a adoção da autorregulação em novos espaços de regulamentação, como os sistemas sociais parciais, os quais a era nanotecnológica se insere, e deste modo a autorregulação fundamentaria a transição espontânea, dos atores privados (no caso as empresas desenvolvedoras de nanotecnologia) à economia circular atrelada à rastreabilidade.

São inúmeras organizações privadas e internacionais, ONGs, e até mesmo políticas públicas entabuladas em conjunto com a esfera privada, que estão concebendo e construindo um cenário autorregulatório, no sentido de alcançar medidas sustentáveis e que atinjam a nanosegurança. Ao encontro desta linha está a tese, que busca a transição para a economia circular, com ações mais sustentáveis, resguardando o meio ambiente e saúde humana face o risco, atrelado ainda à proposta de rastreabilidade dos nanoprodutos, para gestão do risco do *nanowaste*. Observando que tal mudança de paradigma no desenvolvimento

nanotecnológico dar-se-ia pela autorregulação, levando em consideração todos os instrumentos com potencial regulatório utilizados em nível global, conforme fundamentado em Teubner (2016).

Deste modo, a missão do Direito é inserir-se no contexto de risco e lacuna estatal e legislativa, procurando um meio autorregulatório apropriado para o cenário, provendo respostas aptas a esta nova realidade.

Quanto à efetividade de legislação estatal, acredita-se que não estaria apta para dar respostas adequadas, pois o lapso temporal entre a elaboração de projeto de lei, promulgação da norma, e vigência, seria grande, e tratando-se da rapidez das descobertas científicas desta nova tecnologia, provavelmente no momento de aplicação da lei, esta já estaria obsoleta. O movimento da nanotecnologia é muito dinâmico, as descobertas sobre elas são diárias, e o que hoje pode ser utilizado como constatação sobre algum aspecto específico dela (como análise de risco ou comportamento de material), em momento curto posterior já não mais pode se confirmar. Contrariando a inércia estatal, existem outros inúmeros instrumentos com potencial para regulação. Tais documentos são fruto de extensos e profundos estudos relacionados à nanotecnologia, segurança e nanoresíduos. Estes mecanismos autorregulatórios se apresentam como alternativa jurídica viável a este nanomundo, que faz vinculação com a tendência de regulação transnacional.

Ao estudar nos capítulos anteriores a disrupção tecnológica causada pela era nano, percebe-se uma alteração significativa no caminho da humanidade, seja para o lado positivo de seu desenvolvimento, seja para o viés negativo, no caso, dos riscos. Entretanto, impossível desconsiderar a conjuntura das nanotecnologias presente na sociedade, com a utilização de vários produtos com nano, desde shampoos, cremes anti-idade, cosméticos diversos, eletrônicos, materiais da construção civil, engenharia, medicamentos, todos eles acessíveis ao homem. Ao mesmo tempo, vislumbra-se a questão do risco, com danos em potenciais a saúde humana e meio ambiente. Quanto maior a produção e consumo, maior a geração de resíduos, no caso, o *nanowaste*. A questão dos resíduos há tempos se apresenta como um problema ambiental, que ao ser transformado na escala nano, potencializa o risco. Do mesmo modo, estende-se aos nanoplásticos o mesmo alerta.

Conforme apresentado ao longo da tese, baseando-se em seus argumentos, fundamentos científicos e matriz teórica, mostra-se essencial implementar em conjunto à economia circular a rastreabilidade dos nanoprodutos, como condição de

possibilidade para gestão do risco, o que é favorecido pelo maior controle oriundo da circularidade, e viabilizado a partir de uma série de ações de rastreamento que ocorrem em outros setores produtivos, como de alimentos, engenharia, conforme analisado.

Neste novo cenário global, de risco, de verdadeira metamorfose (BECK, 2018), é identificado no Sistema do Direito seu maior dilema: observar o desenvolvimento nanotecnológico, perceber a ausência de regulação que leva à insegurança da sociedade e meio ambiente, e ficar inerte por não dar conta desta nova complexidade? Ou abrir novos horizontes regulatórios, validando outras estratégias autorregulatórias, elaboradas em novos espaços sociais e por novos atores globais?

A resposta não se mostra fácil para o Direito, impossível apontar somente para uma afirmação ou negação, sem considerar toda tradição das escolas mais conservadoras, bem como deixar de observar novas teorias a respeito da autorregulação. Assim como o problema desta tese não é simples, não cabe aqui responder somente sim ou não a ele, afinal, é de maior valia para a ciência boas perguntas norteadoras, as quais não apontam a somente uma direção. O essencial é o desenvolvimento de novos aportes regulatórios, harmonizando a complexidade das nanotecnologias, de modo a equacionar a gestão do risco através da adoção de medidas precaucionais e sustentáveis, levando especialmente em consideração o recorte do *nanowaste* e nanoplásticos.

Afinal de contas, hoje, conforme afirma Ost (1999), entramos numa terceira fase da história do risco: a do risco enorme (catastrófico), irreversível, pouco ou nada previsível, que frustra as nossas capacidades de prevenção ou capacidade de domínio, trazendo desta vez a “[...] incerteza no coração dos nossos saberes e dos nossos poderes [...]” (OST, 1999, p. 345). Essa incerteza ao quadrado que afeta de forma reflexa a nossa própria ação, caracterizando a nova era do risco, submetendo a nossa apreensão do futuro a um desafio sem precedentes. O autor ainda cita Luhmann e Beck, dois teóricos da sociedade do risco, com convergência nesse ponto, enquanto o perigo vem de alguma forma do exterior, o risco é um produto derivado, um efeito perverso ou secundário das nossas próprias ações.

Corroborando a abordagem da tese, Ost (1999) afirma que sendo esses riscos simultaneamente globais, transgeracionais, fora das normas (enormes), e por hipótese pouco ou não conhecidos, a sua definição é ela própria largamente função

do estado dos nossos conhecimentos científicos, o que no caso das nanotecnologias não vem sendo feito, assim como de uma determinação, político-ética de decidir o que consideramos como risco aceitável e inaceitável.

Este risco é, pois duplamente reflexivo: produto das nossas opções tecnológicas, é também fruto dos nossos modelos científicos e dos nossos juízos normativos. Portanto, baseando-se na leitura de Ost (1999) sobre o risco, viável conduzir a proposta da tese ao encontro desta percepção, que foi analisada anteriormente quando se falou da inércia estatal.

A transição à economia circular atrelada à proposta de rastreabilidade dos nanoprodutos é uma possibilidade, talvez não seja a melhor ou a única a ser adotada, mas mostra-se plausível dentro do cenário do risco e da imposição de nanosegurança pensando na preservação da saúde humana e meio ambiente.

A partir desta abordagem caberá então ao Sistema do Direito validar tais estruturas regulatórias alternativas, assim como às ONGs, organizações privadas, empresas transnacionais decidirem a partir desses códigos próprios, seguindo um movimento já adotado, que ganha mais força a cada dia, o qual também se destaca na percepção do Sistema da Ciência.

REFERÊNCIAS

- 90% do plástico nos oceanos vem de apenas 10 rios (8 na Ásia e 2 na África). *In*: MEIO INFO: meio de informações ambientais. [S. l.], 6 mar. 2022. Disponível em: <https://meioinfo.eco.br/90-do-plastico-nos-oceanos-vem-de-apenas-10-rios-8-na-asia-e-2-na-africa/>. Acesso em: 15 fev. 2023.
- ABBOTT, Kenneth W.; MARCHANT, Gary E.; CORLEY, Elizabeth A. Soft law oversight mechanisms for nanotechnology. **Jurimetrics: The Journal of Law, Science and Technology**, Chicago, v. 52, n. 3, p. 279-312, spring 2012. Disponível em: http://cspo.org/legacy/library/1301221140F96394438XP_lib_AbbottSoftLaw.pdf. Acesso em: 9 mar. 2023.
- ACCENTURE. **Circular advantage**: innovative business models and technologies to create value in a world without limits to growth. [S. l.]: Accenture, 2014. Disponível em: https://www.accenture.com/t20150523t053139__w__/us-en/_acnmedia/accenture/conversion-assets/dotcom/documents/global/pdf/strategy_6/accenture-circular-advantage-innovative-business-models-technologies-value-growth.pdf. Acesso em: 8 mar. 2023.
- ACOSTA JUNIOR, Jorge Alberto de Macedo. Fragmentos constitucionais: constitucionalismo social na globalização. **REDES- Revista Eletrônica de Direito e Sociedade**, Canoas, v. 5, n. 2, p. 269-274, nov. 2017. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/redes/article/view/3804/pdf>. Acesso em: 11 fev. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução da Diretoria Colegiada- RDC nº 24, de 08 de junho de 2015**. Dispõe sobre o recolhimento de alimentos e sua comunicação à Anvisa e aos consumidores. Brasília, DF: ANVISA, 2015. Disponível em http://www.saude.pi.gov.br/uploads/divisa_document/file/261/RDC_24_2015.pdf. Acesso em: 8 mar. 2023.
- AGUILAR-HERNANDEZ, Glenn A.; RODRIGUES, João F. Dias; TUKKER, Arnold. Macroeconomic, social and environmental impacts of a circular economy up to 2050: a meta-analysis of prospective studies. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 278, Jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123421>. Acesso em: 3 fev. 2023.
- ALFEI, Silvana; MARENGO, Barbara; ZUCCARI, Guendalina. Nanotechnology application in food packaging: a plethora of opportunities versus pending risks assessment and public concerns. **Food Research International**, [s. l.], v. 137, Nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109664>. Acesso em: 12 fev. 2023.
- ALLIANZ GLOBAL CORPORATE & SPECIALTY (AGCS). **Allianz risk barometer**: identifying the major business risks for 2020. Munich: AGCS, Jan. 2020. Disponível em: <https://www.agcs.allianz.com/content/dam/onemarketing/agcs/agcs/reports/Allianz-Risk-Barometer-2020.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2023.

ALLIANZ GLOBAL CORPORATE & SPECIALTY (AGCS). **Allianz risk barometer: identifying the major business risks for 2023**. Munich: AGCS, Jan. 2023. Disponível em:

<https://www.agcs.allianz.com/content/dam/onemarketing/agcs/agcs/reports/Allianz-Risk-Barometer-2023.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2023.

ÁLVAREZ DÍAZ, Jorge Alberto. **Aspectos éticos de la nanotecnología en la atención a la salud**. Coyoacán: Ed. Universidade Autônoma Metropolitana, 2016. (Serie académicos, n. 128). Disponível em: <http://www.casa.delibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/nanotecnologia.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2023.

ANDRESEN, Jason L.; FENTON, Owen S. Nucleic acid delivery and nanoparticle design for COVID vaccines. **MRS Bulletin**, [s. l.], v. 46, n. 9, p. 832-839, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34539057/>. Acesso em: 13 fev. 2023.

ANTUNES, Paulo de Bessa. **Direito ambiental**. 18. ed. rev., ampl. e atual. São Paulo: Atlas, 2016.

ARAGÃO, Alexandra. Princípios fundamentais do direito dos resíduos. *In*: ARAGÃO, Alexandra *et al.* **Direito dos resíduos**. Coordenação científica: João Miranda, Rui Cunha Marques, Ana Luísa Guimarães e Mark Kirkby. Lisboa: Europress, jul. 2014. p. 3-14. (Série cursos técnicos, 4).

ARAGÃO, Maria Alexandra de Sousa. **O direito dos resíduos**. Coimbra: Livraria Almedina, maio 2003. (Cadernos CEDOUA).

ARBEX, Nelmara. ESG: conectando negócios com toda a sociedade. *In*: NASCIMENTO, Juliana Oliveira. **ESG: o cisne verde e o capitalismo de Stakeholder: a tríade regenerativa do futuro global**. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2021. p. 75-86.

ARMSTRONG, Anona. Ethics and ESG. **Australasian Accounting, Business and Finance Journal**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 6-17, 2020. Disponível em: [doi:10.14453/aabfj.v14i3.2](https://doi.org/10.14453/aabfj.v14i3.2). Acesso em: 5 mar. 2023.

ASSIS, Letícia Marques de *et al.* Revisão: características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas, v. 15, n. 2, p. 99-109, abr./jun. 2012. Disponível: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/LKt5hYRHMHgQrzHZ4WdWxCp/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 27 fev. 2023.

ASSUNÇÃO, Gardênia Mendes de. A gestão ambiental rumo à economia circular: como o brasil se apresenta nessa discussão revista. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, Niterói, v. 14, n. 2, p. 223-231, 2019. Disponível em: <https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/1543/pdf>. Acesso em: 12 fev. 2023.

AUSTRALIAN ACADEMY OF SCIENCE. **National nanotechnology research strategy**. [S. l.]: Australian Academy of Science, 2012. Disponível em: <https://www.science.org.au/files/userfiles/support/reports-and-plans/2015/nanotech-research-strategy.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2023.

AZOULAY, David; BUONSANTE, Vito. Regulations of nanomaterials in the EU: proposed measures to fill in the gap. **European Journal on Risk Regulation**, Berlin, v. 5, n. 2, p. 228-235, June 2014. Disponível em:

<https://www.cambridge.org/core/journals/european-journal-of-risk-regulation/article/div-classtitleregulation-of-nanomaterials-in-the-eu-proposed-measures-to-fill-in-the-gapdiv/6C219EF8FA296D4326A47369AD29CCAD>. Acesso em: 5 mar. 2023.

BANET-WEISER, Sarah; CASTELLS, Manuel. Economia é cultura. *In*: CASTELLS, Manuel (org.). **Outra economia é possível**: cultura e economia em tempos de crise. Tradução Renato Aguiar. Revisão técnica: Norberto Montani Martins. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2019. p. 13-46.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2011.

BARUAH, Sunandan; DUTTA, Joydeep. Nanotechnology applications in pollution sensing and degradation in agriculture: a review. **Environmental Chemistry Letters**, Secaucus, v. 7, n. 3, p. 191-204, Sept. 2009. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-009-0228-8>. Acesso em: 15 fev. 2023.

BAUMAN, Zygmunt. **Modernidade líquida**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001.

BAUMANN, W. *et al.* **Thermal stability and material balance of nanomaterials in waste incineration**. Karlsruhe: Karlsruhe Institute of Technology (KIT), 2016.

Disponível em: <http://www.cea.fr/cea-tech/pns/nanosafe/en/Documents/Session%203.1/PS3.1-13.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2023.

BECK, Ulrich. **A metamorfose do mundo**: novos conceitos para uma nova realidade. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges e Revisão técnica: Maria Claudia Coelho. Rio de Janeiro: Editora Zahar, 2018.

BENTO, Alexandre Rodizio; PAULILO, Gilson. Rastreabilidade e inovação tecnológica em cadeias produtivas na indústria automotiva. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL ABM, 65., 2010, Rio de Janeiro. **Electronic proceedings** [...].

São Paulo: ABM, 2010. p. 1162- 1170. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337000505_RASTREABILIDADE_E_INOVACAO_TECNOLOGICA_EM_CADEIAS_PRODUTIVAS_NA_INDUSTRIA_AUTOMOBILISTICA. Acesso em: 19 fev. 2023.

BERGESON, Lynn L.; HUTTON, Carla N. Declaration on waste containing nanomaterials. **The National Law Review**, Chicago, 21 Apr. 2016. Disponível em: <http://www.natlawreview.com/article/european-organizations-issue-declaration-waste-containing-nanomaterials#sthash.k6eBXpMK.S2cTdme9.dpuf>. Acesso em: 11 fev. 2023.

BERWIG, Juliane Altmann. **A gestão dos riscos ambientais da nanotecnologia a partir de estudo de um caso**: a elaboração de *framework* com fundamento no sistema de direito ambiental brasileiro. Tese (Doutorado em Direito) – Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7791>. Acesso em: 13 fev. 2023.

BERWIG, Juliane Altmann; ENGELMANN, Wilson; WEYERMULLER, Andre Rafael. Direito Ambiental e nanotecnologias: desafios aos novos riscos da inovação. **Veredas do Direito – Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, Belo Horizonte, v. 16 n. 36, p. 217-246, set./dez. 2019. Disponível em: <http://revista.domhelder.edu.br/index.php/veredas/article/view/1553>. Acesso em: 3 mar. 2023.

BIELLO, David. Nanopartículas na comida representam um risco à saúde? **Scientific American Brasil**, [s. l.], maio [2008]. Disponível em: http://www2.uol.com.br/sciam/noticias/nanoparticulas_na_comida_representam_um_risco_a_sade__imprimir.html. Acesso em: 2 mar. 2023.

BLANCO, Elvin; SHEN, Haifa; FERRARI, Mauro. Principles of nanoparticle design for overcoming biological barriers to drug delivery. **Nature Biotechnology**, [s. l.], 33, p. 941-951, 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nbt.3330>. Acesso em: 10 fev. 2023.

BOCCHINI, Bruno. No Brasil, 76% das indústrias aplicam economia circular, diz pesquisa. *In*: AGÊNCIA Brasil. São Paulo, 27 set. 2019. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-09/no-brasil-76-das-industrias-aplicam-economia-circular-diz-pesquisa#:~:text=PesquisadaConfedera%C3%A7%C3%A3oNacional%20da,mais%20eficiente%20de%20recursos%20naturais>. Acesso em: 20 fev. 2023.

BORGES, Solange Sólon. A construção da economia circular é colaborativa e envolve o esforço da sociedade como um todo. *In*: PORTAL clima em debate. [S. l.], 30 set. 2020. Disponível em: <https://climaemdebate.fiesp.com.br/noticias-imprensa/a-construcao-da-economia-circular-e-colaborativa-e-envolve-o-esforco-da-sociedade-como-um-todo/>. Acesso em: 7 mar. 2023.

BORSCHIVER, Suzana; TAVARES, Aline. **Economia circular e o setor energético**. Rio de Janeiro: FGV Energia, 2018. (Cadernos de opinião). Disponível em: <https://docplayer.com.br/148427978-Economia-circular-e-o-setor-energetico-autores.html>. Acesso em: 1 mar. 2023.

BOWMAN, Diana M.; HODGE, Graeme A. 'Governing' nanotechnology without government. **Science and Public Policy**, London, v. 35, n. 7, p. 475-48, Aug. 2008. Disponível em: <https://academic.oup.com/spp/article-abstract/35/7/475/1696194/Governing-nanotechnology-without-government?redirectedFrom=PDF>. Acesso em: 22 fev. 2023.

BRASIL. Câmara de Deputados. **Projeto de Lei nº 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. Autoria: Rômulo José de Gouveia. Brasília, DF: Câmara de Deputados, [2017]. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2125270>. Acesso em: 11 fev. 2023.

BRASIL. **Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017**. Regulamenta o art. 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e complementa os art. 16 e art. 17 do Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9177.htm. Acesso em: 20 fev. 2023.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, DF: Presidência da República, 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 21 fev. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 21 fev. 2023.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 21 fev. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 1 de 9 de janeiro de 2002**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2002. Disponível em: <http://www.sysrastros.com.br/legislacao/IN%2001%20de%2010.01.2002.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2023.

BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. Brasília, DF: Ministério das Relações Exteriores, 2016. Disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/ODSportugues12fev2016.pdf. Acesso em: 21 fev. 2023.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **PD 6699-2:2007: Nanotechnologies – Part 2: guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials**. London: BSI, 2007. Disponível em: <https://www.uwo.ca/humanresources/elsc/docs/BSI-PD6699-2.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023.

BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (BCSD). Portugal. **Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Lisboa: BCSD Portugal, c2022. Disponível em: <https://ods.pt/>. Acesso em: 4 mar. 2023.

BUSINESS EUROPE. **Circular economy**: a key pillar of a strategic European resource policy - How companies in Europe approach circular economy. Bruxelas: Business Europe, 2015. Disponível em: <https://www.bussinesseurope.eu/publications/circular-economy-key-pillar-strategic-european-resource-policy-how-companies-europe>. Acesso em: 14 fev. 2023.

BUZBY, Jean C. Nanotechnology for food applications: more questions than answers. **The Journal of Consumer Affairs**, Malden, v. 44, n. 3, Sept. 2010. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-6606.2010.01182.x/epdf>. Acesso em: 12 fev. 2023.

CABALLERO-GUZMAN, Alejandro; NOWACK, Bernd. A critical review of engineered nanomaterial release data: are current data useful for material flow modeling? **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 213, p. 502-517, June 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749116301555>. Acesso em: 10 fev. 2023.

CARRINGTON, Damian (ed.). Plastic particles pass from mothers into foetuses, rat study shows: nanoparticles found in foetal brains and hearts, but impact on human health is as yet unknown. **The Guardian**, [s. l.], 18 Mar. 2021. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2021/mar/18/plastic-particles-pass-from-mothers-into-foetuses-rat-study-shows>. Acesso em: 11 fev. 2023.

CASSOTA, Sandra. Extended producer responsibility in waste regulations in a multilevel global approach: nanotechnology as a case study. **European Energy and Environmental Law Review**, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 198-219, Oct. 2012. Disponível em: <http://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.kluwer/eelr0021&div=28&id=&page=>. Acesso em: 20 fev. 2023.

CASTELLS, Manuel. Introdução. *In*: CASTELLS, Manuel (org.). **Outra economia é possível**: cultura e economia em tempos de crise. Tradução: Renato Aguiar. Revisão técnica: Norberto Montani Martins. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2019. p. 9-12.

CASTELLS, Manuel. Para além da caridade: responsabilidade social no interesse da empresa na nova economia. *In*: CORTINA, Adela (org.). **Construir confiança**: ética da empresa na sociedade da informação e das comunicações. Tradução: Alda Anunciação Machado. São Paulo: Edições Loyola, 2007. p. 55-74.

CE100 BRASIL; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Uma economia circular no Brasil**: uma abordagem exploratória inicial. [S. l.]: CE100 Brasil: Ellen MacArthur Foundation, jan. 2017. Disponível em: https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Ap%C3%AAndice-de-Estudos-de-Caso.pdf. Acesso em: 1 mar. 2023.

CENTER FOR SUSTAINABLE NANOTECHNOLOGY (CSN). **About us**. Madison: CNS, 2015. Disponível em: <https://susnano.wisc.edu/about/>. Acesso em: 11 dez. 2022.

CENTER FOR THE ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGY (CEINT). **About**. Durham: CEINT, [2022?]. Disponível em: <https://ceint.duke.edu/about>. Acesso em: 10 fev. 2023.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS (CNPEM). **Benefícios e riscos das nanotecnologias**. Campinas: CNPEM, set. 2019. Separata CNPEM, 2. Disponível em: https://cnpem.br/wp-content/uploads/2019/10/SEPARATA-CNPEM-02_Benef%C3%ADcios-e-riscos-das-nanotecnologias.pdf. Acesso em: 3 mar. 2023.

CERRONE, Rosaria. Banking regulation for ESG principles and climate risk. *In*: ALSHARARI, Nizar Mohammad (ed.). **Banking and accounting issues**. London: IntechOpen Limited, 2022. cap. 2. *E-book* (não paginado). Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/81180>. Acesso em: 5 fev. 2023.

CHAMAS, Ali *et al.* Degradation rates of plastics in the environment. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, [s. l.], v. 8, n. 9, p. 3494-3511, Feb. 2020. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acssuschemeng.9b06635>. Acesso em: 12 fev. 2023.

CHAWLA, Shashi *et al.* Environmental impacts of post-consumer plastic wastes: Treatment technologies towards eco-sustainability and circular economy. **Chemosphere**, [s. l.], v 308, part. 1, p. 1-12, Dec. 2022 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653522023608>. Acesso em: 8 fev. 2023.

CHIAFITELA, Jéssica. Lixo nos oceanos. *In*: ECONSCIENTE: portal de educação ambiental. [S. l.], 19 nov. 2017. Disponível em: <https://sites.unicentro.br/wp/educacaoambiental/2017/11/19/lixo-nos-oceanos/>. Acesso em: 6 mar. 2023.

CHRISTIAENS, Olivier *et al.* The use of nanocarriers to improve the efficiency of RNAi-based pesticides in agriculture. *In*: FRACETO, Leonardo F. *et al.* (ed.). **Nanopesticides from research and development to mechanisms of action and sustainable use in agriculture**. Switzerland: Springer Nature, 2020. p. 49-68. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-44873-8>. Acesso em: 9 fev. 2023.

COCKER, J.; GRAHAM, K. Circular economy in Canada. *In*: GHOSH, S. (ed.). **Circular economy: global perspective**. Singapore: Springer, 2020. p. 87-122. *E-book*. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-1052-6_5. Acesso em: 10 fev. 2023.

COLES, David *et al.* **RRI country requirements matrix**: nanotechnology, synthetic biology, ICT - Report for FP7 Project "Progress". [S. l.]: Progress Project, 2014. https://www.progressproject.eu/wp-content/uploads/2020/09/PROGRESS-D5_3-Final-updated.pdf. Acesso em: 18 fev. 2023.

COMISSÃO EUROPEIA. **Comunicação da comissão ao parlamento europeu, ao conselho, ao comité económico e social europeu e ao comité das regiões.** Bruxelas: Comissão Europeia, 11 mar. 2020a. (COM 2020, 98 Final). Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098>. Acesso em: 10 fev. 2023.

COMISSÃO EUROPEIA. Financiamento sustentável: congratula-se com a adoção pelo Parlamento Europeu do Regulamento Taxonomia. **Comunicado de Imprensa**, Bruxelas, 18 jun. 2020b. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/IP_20_1112. Acesso em: 5 mar. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Economia circular: caminho estratégico para a indústria brasileira.** Brasília, DF: CNI, 2019. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/69/a7/69a762d3-ff66-4bfe-9eb1-452fd4566415/publicacao_caminho_estrategico_economia_circular.pdf. Acesso em: 3 fev. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira.** Brasília, DF: CNI, 2018. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/2f/45/2f4521b9-d1eb-44f7-b501-cda01254738a/miolo_economia_circular_pt_web.pdf. Acesso em: 3 fev. 2023.

CONSELHO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. Directiva 91/156/CEE do Conselho de 18 de março de 1991 que altera a Directiva 75/442/CEE relativa aos resíduos. **Jornal Oficial**, [s. /], n. L 078, 23 mar. 1991. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:31991L0156>. Acesso em: 8 fev. 2023.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). **Resumo final - Sustentável 2018.** [Rio de Janeiro]: CEBDS, 2018. Disponível em: https://cebds.org/wp-content/uploads/2018/09/CEBDS_Resumo-Sustentavel_2018.pdf. Acesso em: 11 fev. 2023.

CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (CONMETRO). **Resolução nº 03, de 22 de abril de 2010.** Dispõe sobre a Aprovação do Termo de Referência do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida e dá outras providências. Brasília, DF: CONMETRO, 2010a. Disponível em: https://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2016/05/Resolucao_PBACV.pdf. Acesso em: 2 mar. 2023.

CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (CONMETRO). **Resolução CONMETRO nº 4, de 15 de dezembro de 2010.** Dispõe sobre a Aprovação do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida e dá outras providências. Brasília, DF: CONMETRO, 2010b. Disponível em: <http://www.ctpconsultoria.com.br/pdf/Resolucao-04-de-15-12-2010.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2023.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES). **[Portal de Periódicos da CAPES]**. Brasília, DF: CAPES, 2023. Disponível em: <https://www-periodicos-capes-gov-br.ez1.periodicos.capes.gov.br/>. Acesso em: 12 fev. 2023.

CORDEIRO, Ana Carolina Carvalho. **Análise do uso do código de rastreabilidade em produtos vegetais frescos e processados comercializados na cidade de Florianópolis/SC**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Química e de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/199727/TCC%20Ana%20Carolina%20C%20Cordeiro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 5 fev. 2023.

CORTES-LOBOS, Rodrigo. **Nanotechnology research in the us agri-food sectoral system of innovation: toward sustainable development**. 2013. Tese (Doutorado em of Philosophy) – School of Public Policy, Georgia Institute of Technology, 2013. Disponível em: https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/47541/cortes_rodrigo_f_201305_phd.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 17 fev. 2023.

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

CORTINA, Adela; MARTÍNEZ, Emilio. **Ética**. 6. ed. São Paulo: Edições Loyola, 2005.

COSENZA, José Paulo; ANDRADE, Eurídice Mamede de; ASSUNÇÃO, Gardênia Mendes de. Economia circular como alternativa para o crescimento sustentável brasileiro: análise da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [s. l.], v. 9, n. 1, e16147, p. 1-28, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5585/geas.v9i1.16147>. Acesso em: 12 fev. 2023.

COSTA, Bernardo Leandro Carvalho; ROCHA, Leonel Severo. Fragmentos de constituição e transconstitucionalismo: cenários atuais da teoria constitucional. **Revista da Faculdade de Direito do Sul de Minas**, Pouso Alegre, v. 34, n. 1, p. 1-26, jan./jun. 2018. Disponível em: <https://revista.fdsu.edu.br/index.php/revistafdsu/article/view/246/228>. Acesso em: 7 mar. 2023.

COUTINHO FILHO, A. Regulação ‘Sandbox’ como instrumento regulatório no mercado de capitais: principais características e prática internacional. **Revista Digital de Direito Administrativo**, Ribeirão Preto, v. 5, n. 2, p. 264-282, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdda/article/view/141450/146135>. Acesso em: 3 fev. 2023.

CREDIDIO, Guilherme Simões. Ecolabel: conhecendo o standard ambiental da União Européia. *In*: JUS. Teresina, 10 out. 2014. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/32692/ecolabel-conhecendo-o-standard-ambiental-da-uniao-europeia>. Acesso em: 5 fev. 2023.

CURY, Maria Eduarda. Cientistas encontram microplásticos em órgãos humanos. **Exame**, São Paulo, 17 ago. 2020. Disponível em: <https://exame.com/ciencia/cientistas-encontram-microplasticos-em-orgaos-humanos/>. Acesso em: 22 fev. 2023.

DANA, David A. **The nanotechnology challenge**: creating legal institutions for uncertain risks. New York: Ed. Cambridge University Press, 2012.

DaNa. **Aufnahme und Risiko für Umweltorganismen**. [S. l.]: DaNa, [2022?]. Disponível em: <https://nanopartikel.info/?s=Aufnahme+und+Risiko+f%C3%BCr+Umweltorganismen>. Acesso em: 10 fev. 2023.

DAUGAARD, Dan. Emerging new themes in environmental, social and governance investing: a systematic literature review. **Accounting and Finance**, [s. l.], v. 60, n. 2, p. 1501-1530, June 2020. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/bla/acctfi/v60y2020i2p1501-1530.html>. Acesso em: 5 mar. 2023.

DAVRANCHE, Mélanie *et al.* Nanoplastics on the coast exposed to the North Atlantic Gyre: evidence and traceability. **NanoImpact**, [s. l.], v. 20, Oct. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.impact.2020.100262>. Acesso em: 10 fev. 2023.

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

DI MARIA, F. Circular economy in Italy. *In*: GHOSH, S. (ed.). **Circular economy**: global perspective. Singapore: Springer, 2020. p. 201-221. *E-book*. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-1052-6_11. Acesso em: 10 fev. 2023.

DIMKPA, Christian O. Can nanotechnology deliver the promised benefits without negatively impacting soil microbial life? **Journal of Basic Microbiology**, Berlin, v. 54, n. 9, p. 889-904, Sept. 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24913194>. Acesso em: 13 fev. 2023.

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.

E171: l'additif présent dans les aliments qui inquiète les chercheurs. Entrevistada: Patricia Chairopoulos. Entrevistadores: RTL. [S. l.]: RTL, 24 août. 2017. (3 min 26 s). *Podcast*. Disponível em: <http://www.rtl.fr/actu/societe-faits-divers/e171-l-additif-present-dans-les-aliments-qui-inquiete-les-chercheurs-7789811523>. Acesso em: 14 fev. 2023.

EASON, Tarsha *et al.* **Guidance to facilitate decisions for sustainable nanotechnology**. Washington: Environmental Protection Agency, Sept. 2011. (EPA/600/R-11/107). Disponível em: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=238589. Acesso em: 17 fev. 2023.

ECHEVERRÍA, Javier. Interdisciplinariedad y convergencia tecnocientífica nano-bio-info-cogno. **Sociologias**, Porto Alegre, ano 11, n. 22, p. 22-53, jul./dez. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/soc/n22/n22a03.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2023.

ECONOMIA circular transforma o mundo dos negócios. **Época**, São Paulo, 20 set. 2019. Economia. <https://oglobo.globo.com/epoca/economia/economia-circular-transforma-mundo-dos-negocios-23960117>. Acesso em: 1 mar. 2023.

EISENHARDT, Kathleen M. Building theories from case study research. **The Academy of Management Review**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 532-550, Oct. 1989. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4310941/mod_resource/content/1/1.Eisenhardt1989-BuildingTheoriesFromCSR.pdf. Acesso em: 3 mar. 2023.

ELIAZKOVA, Nina *et al.* How can we justify grouping of nanoforms for hazard assessment? Concepts and tools to quantify similarity. **NanoImpact**, [s. l.], v. 25, n. 100366, p. 1-20. Jan. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452074821000756>. Acesso em: 4 mar. 2023.

EMBED TELLO, Antonio Eduardo. Retos de la relación ciencia-derecho: la procedimentalización de la evaluación de riesgos en la Unión Europea. *In*: GARDELLA, Mercé Darnaculleta; PARDO, José Esteve; DÖHMANN, Indra Spiecker gen. (ed.). **Estrategias del derecho ante la Incertidumbre y la globalización**. Madrid: Marcial Pons, 2015. p. 89-101. *E-book*. Disponível em: <https://www.marcialpons.es/media/pdf/9788416402434.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Rastreabilidade da carne bovina**. Brasília, DF: EMBRAPA, [2022?]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/qualidade-da-carne/carne-bovina/rastreabilidade>. Acesso em: 17 fev. 2023.

ENGELMANN, Wilson. As nanotecnologias e a gestão transdisciplinar da inovação. *In*: ENGELMANN, Wilson (org.). **As novas tecnologias e os Direitos Humanos: os desafios e as possibilidades para construir uma perspectiva transdisciplinar**. Curitiba: Editora Honoris Causa, 2011. p. 297-336.

ENGELMANN, Wilson. From Pontes de Miranda to Mireille Delmas-Marty: journey to review the theory of sources of law to accommodate the new rights generated by nano technological revolution. *In*: GALUPPO, Marcelo Campos *et al.* (ed.). **Human rights, rule of law and the contemporary social challenges in complex societies**: proceedings of the 26th World Congress of the International Association for Philosophy of Law and Social Philosophy in Belo Horizonte, 2013. Belo Horizonte: Fórum, 2013a. v. 1, p. 260-261.

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

ENGELMANN, Wilson. Nanotecnologias e direitos humanos. **Cadernos de Direito Actual**, [s. l.], n. 9. n. ordinário, p. 441-487, 2018. Disponível em: <http://www.cadernosdedereitoactual.es/ojs/index.php/cadernos/article/view/325/201>. Acesso em: 7 mar. 2023.

ENGELMANN, Wilson. O “direito de ser informado” sobre as possibilidades e os riscos relacionados às nanotecnologias: o papel do engajamento público no delineamento de um (novo) direito/dever fundamental. *In*: MENDES, Gilmar Ferreira; SARLET, Ingo Wolfgang; COELHO, Alexandre Z. P. (coord.). **Direito, inovação e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2015b. v. 1, p. 345-366.

ENGELMANN, Wilson. O diálogo entre as fontes do direito e a gestão do risco empresarial gerado pelas nanotecnologias: construindo as bases à juridicização do risco. *In*: STRECK, Lenio Luiz; ROCHA, Leonel Severo; ENGELMANN, Wilson (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado: n. 9. Porto Alegre: Livraria do Advogado; São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2012. p. 319-344.

ENGELMANN, Wilson. O direito frente aos desafios trazidos pelas nanotecnologias. *In*: STRECK, Lenio Luiz; ROCHA, Leonel Severo; ENGELMANN, Wilson (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado: n. 10. Porto Alegre: Livraria do Advogado; São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2013b. v. 1, p. 301-321.

ENGELMANN, Wilson. O pluralismo das fontes do direito como uma alternativa para a estruturação jurídica dos avanços gerados a partir da escala manométrica. *In*: STRECK, Lenio Luiz; ROCHA, Leonel Severo; ENGELMANN, Wilson (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado: n. 13. Porto Alegre: Livraria do Advogado; São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2017. p. 247-259.

ENGELMANN, Wilson. O tema ESG e o agronegócio: desafios e oportunidades. *In*: VIEIRA, Luciane Klein; FRAINER, Victória Maria (org.). **A implementação das diretrizes das Nações Unidas de proteção ao consumidor em matéria de consumo sustentável, no Direito brasileiro**. São Leopoldo: Casa Leiria, 2022a. p. 147-164.

ENGELMANN, Wilson. Percursos para inovar a teoria geral das fontes do Direito: modelos de autorregulação regulada para as nanotecnologias, sandbox regulatório e princípios. *In*: TEIXEIRA, Anderson Vichinkeski; STRECK, Lenio Luiz; Rocha (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado: anuário 2022: n. 18. Porto Alegre: Livraria do Advogado; São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2022b. p. 327-341.

ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel von. Buscando un marco legal ágil y adaptativo para conjugar el ODS 12 con los avances nanotecnológicos. Propuesta de um Sandbox Jurídico. *In*: CASADO GONZÁLEZ, María *et al.* (coord.). **Libro blanco de las nanotecnologías**: una visión ético-social ante los avances de la nanociencia y la nanotecnología. Navarra: Editorial Aranzadi, S.A.U., 2021. p. 171-196.

ENGELMANN, Wilson; MACHADO, Viviane Saraiva. Do princípio da precaução à precaução como princípio: construindo as bases para as nanotecnologias compatíveis com o meio ambiente. **Revista de Direito Ambiental**: RDA, v. 18, n. 69, p. 13-51, jan./mar. 2013. Disponível em: <https://bdjur.stj.jus.br/jspui/handle/2011/77876>. Acesso em: 21 fev. 2023.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). [S. l.]: EPA, 2023. Disponível em: <https://www.epa.gov/>. Acesso em: 20 fev. 2023.

ESPINASSE, Benjamin P. *et al.* Comparative persistence of engineered nanoparticles in a complex aquatic ecosystem. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 52, n. 7, p. 4072-4078, Mar. 2018. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.7b06142>. Acesso em: 2 dez. 2022.

EUROPEAN BANKING AUTHORITY (EBA). **Environmental social and governance disclosures**. Luxembourg: European Union, 2021. Disponível em: https://www.eba.europa.eu/sites/default/documents/files/document_library/Publications/Consultations/2021/Consultation%20on%20draft%20ITS%20on%20Pillar%20disclosures%20on%20ESG%20risk/963626/Factsheet%20-%20ESG%20disclosures.pdf. Acesso em: 1 mar. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. Research Centre (JRC). Global Coalition for Regulatory Science Research (GCRSR). **Global Summit on Regulatory Science 2019: Nanotechnology and Nanoplastics**. [S. l.]: European Commission, Sept. 2019. Disponível em: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/events/gsr19-global-summit-regulatory-science-2019-nanotechnology-and-nanoplastics-2019-09-24_en. Acesso em: 10 fev. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. **EMAS - Facts and figures**. [S. l.]: European Commission, 2022. Disponível em: https://green-business.ec.europa.eu/eco-management-and-audit-scheme-emas/about-emas/statistics-and-graphs_en. Acesso em: 1 mar. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. **Environment: eco-management and audit scheme: what is EMAS?** Brussels: European Commission, 2017a. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm. Acesso em: 21 fev. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. **Environment: EU ecolabel**. Brussels: European Commission, [2022?]. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/ecolabel/>. Acesso em: 12 fev. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. **Horizon 2020: work programme 2018-2020: nanotechnologies, advanced materials, biotechnology and advanced manufacturing and processing**. [S. l.]: European Commission, 2017b. Disponível em: http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2018-2020/main/h2020-wp1820-leit-nmp_en.pdf. Acesso em: 17 fev. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. **Implementation of the Circular Economy Action Plan**. [S. l.]: European Commission, 2020. Disponível em: https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm. Acesso em: 12 fev. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. **OECD WPMN Initiatives on Grouping and read-across for the safety assessment of manufactured nanomaterial**. Brussels: European Commission, Sept. 2018. Disponível em: http://www.nanoreg2.eu/sites/default/files/JuanRiegoSintes_JRC_0.pdf. Acesso em: 17 fev. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. Sustainable Nanotechnologies (SUN). **Project**: home. [S. l.]: European Commission, 2017c. Disponível em: <http://www.sun-fp7.eu/>. Acesso em: 17 fev. 2023.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA); GILLABEL, Jeroen; DE SCHOENMAKERE, Mieke. Circular by design: products in the circular economy. **EEA Report**, [s. l.], n. 6, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2800/860754>. Acesso em: 10 fev. 2023.

EUROPEAN UNION. European Chemicals Agency (ECHA). **Regulatory priorities/needs linked to Grouping (EU)**. [S. l.]: Sept. 2018. Disponível em: http://www.nanoreg2.eu/sites/default/files/CeliaTanarro_ECHA.pdf. Acesso em: 5 mar. 2023.

FEIGELSON, Bruno. Sandbox: o futuro da regulação. **JOTA**, São Paulo, 15 jan. 2018. Disponível em: https://www.jota.info/paywall?redirect_to=//www.jota.info/opiniao-e-analise/colunas/regulacao-e-novas-tecnologias/sandbox-o-futuro-da-regulacao-15012018. Acesso em: 21 fev. 2023.

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

FERRARI, Vincenzo. **Primera Lección de Sociología del derecho**. Tradução de Héctor Fix-Fierro. México: Universidad Nacional Autónoma de México: Instituto de Investigaciones Jurídicas, 2015.

FERREIRA, Aparecida de Jesus; SCHIMANSKI, Edina; BOURGUIGNON, Jussara Ayres. A triangulação como recurso metodológico na pesquisa social. *In*: BOURGUIGNON, Jussara Ayres; OLIVEIRA JUNIOR, Constantino Ribeiro de (org.). **Pesquisa em ciências sociais**: interfaces, debates e metodologias. 1. ed. Ponta Grossa: TODAPALAVRA Editora, 2012. p. 129-150.

FERREIRA, Norma Sandra de Almeida. As pesquisas denominadas “estado da arte”. **Educação & Sociedade**, Campinas, v. 23, n. 79, p. 257-272, ago. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/es/a/vPpsychSBW4xJT48FrdCtqfp/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 3 mar. 2023.

FIORILLO, Celso Antônio Pacheco. **Curso de Direito Ambiental Brasileiro**. 14. ed. rev., ampl. e atual. em face da Rio +20 e do novo “Código Florestal”. São Paulo: Saraiva, 2013.

FLEMSTRÖM, Karolina; CARLSON, Raul; ERIXON, Maria. **Relationships between life cycle assessment and risk assessment potentials and obstacles**. [S. l.]: Naturvå, 2004. Disponível em: www.naturvardsverket.se/bokhandeln. Acesso em: 10 fev. 2023.

FOLADORI, Guillermo; INVERNIZZI, Noela. La regulación de las nanotecnologías: una mirada desde las diferencias EUA-EU. **Vigilância Sanitária em Debate: sociedade, ciência & tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, nov. p. 8-20, 2016. Disponível em: <https://visaemdebate.incqs.fiocruz.br/index.php/visaemdebate/article/download/726/313>. Acesso em: 2 mar. 2023.

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**: Rome: FAO: WHO, 27 Mar. 2012. Disponível em: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/agns/news_events/Nano_Seminar_Agenda_FINAL.pdf. Acesso em: 15 fev. 2023.

FOOD SAFETY BRAZIL. **Conheça o guia sobre rastreabilidade de alimentos da FAO**. [S. l.]: Food Safety Brazil, 7 jun. 2019. Disponível em: <https://foodsafetybrazil.org/guia-sobre-rastreabilidade-food-traceability-guidance/>. Acesso em: 15 fev. 2023.

FORNASIER, Mateus de Oliveira; FERREIRA, Luciano Vaz. Autorregulação e direito global: os novos fenômenos jurídicos não-estatais. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Direito da UFC**, Fortaleza, v. 35, n. 2, p. 295-312, jul./dez. 2015. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/19937/1/2015_art_mofornasier.pdf. Acesso em: 11 fev. 2023.

FÓRUM SUSTENTABILIDADE. **A humanidade está em débito com o planeta terra**. [S. l.]: Fórum de Sustentabilidade, ago. 2019. Disponível em: <https://forumdesustentabilidade.com.br/a-humanidade-esta-em-debito-com-o-planeta-terra/> Acesso em: 1 mar. 2023.

FOSTER, Gillian. Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 152, Jan. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344919304136>. Acesso em: 10 fev. 2023.

FOURNIER, Sara B. *et al.* Nanopolystyrene translocation and fetal deposition after acute lung exposure during late-stage pregnancy. **Particle and Fibre Toxicology**, [s. l.], v. 17, n. 55, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12989-020-00385-9>. Acesso em: 13 fev. 2023.

FRANZIUS, Claudio. Autorregulación regulada como estrategia de coordinación. *In*: GARDELLA, Mercé Darnaculleta; PARDO, José Esteve; DÖHMANN, Indra Spiecker gen. (ed.). **Estrategias del derecho ante la Incertidumbre y la globalización**. Madrid: Marcial Pons, 2015. p. 217-244. *E-book*. Disponível em: <https://www.marcialpons.es/media/pdf/9788416402434.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2023.

FREEHILLS, Herbert Smith. **Faculty of law**: overview of Regulatory Sandbox Regimes in Australia, Hong Kong, Malaysia, Singapore, and the UK. Oxford: The Faculty of Law: University of Oxford, 18 Dec. 2018. Disponível em: <https://www.law.ox.ac.uk/business-law-blog/blog/2016/12/overview-regulatory-sandbox-regimes-australia-hong-kong-malaysia>. Acesso em: 10 fev. 2023.

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

FRYDMAN, Benoit. **O fim do Estado de Direito**: governar por standards e indicadores. Tradução Mara Beatriz Krug. Revisão Jânia Maria Lopes Saldanha. 2. ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2018.

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO (FUNDACENTRO). **Nanopartículas de prata**. São Paulo: FUNDACENTRO, 2020. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/nanotecnologia/nanoparticulas-de-prata>. Acesso em: 10 fev. 2023.

GARCÍA, Sara. Economía circular: la unión europea impulsa reformas sobre la base de un tema crucial, la gestión de residuos, con el fin de alcanzar mejoras económicas y medioambientales. **Actualidad Jurídica Ambiental**, [s. l.], n. 57, p. 26-36, mayo 2016. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5704204>. Acesso em: 7 mar. 2023.

GARDELLA, Mercé Darnaculleta. **Autorregulación y derecho público**: la autorregulación regulada. Madri: Marcial Pons, 2005.

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

GAVANKAR, Sheetal; SUH, Sangwon Suh; KELLER, Arturo F. Life cycle assessment at nanoscale: review and recommendations. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s. l.], v. 17, p. 295-303, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-011-0368-5>. Acesso em: 2 mar. 2023.

GEORGE, B. *et al.* Two-faced nanomaterials: routes to resolve nanowaste. **International Journal of Environmental Science and Technology**, [s. l.], Mar. 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-022-03997-0>. Acesso em: 15 fev. 2023.

GERMAN CHEMICAL INDUSTRY ASSOCIATION. **Guidance for the Safe Recovery and Disposal of Wastes containing Nanomaterials**. Frankfurt: Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Aug. 2019. Disponível em: <https://www.vci.de/langfassungen/langfassungen-pdf/2019-08-01-pp-handling-nanomaterials-being-wastes.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2023.

GIGAULT, Julien *et al.* Current opinion: what is a nanoplastic? **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 235, p. 1030-1034, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.024>. Acesso em: 12 fev. 2023.

GILBERT, Mark. The rising cost of investing responsibly. **Bloomberg**, [s. l.], 11 Jan. 2019. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2019-01-11/the-rising-cost-of-esg-and-socially-responsible-investing>. Acesso em: 1 mar. 2023.

GIRALDEZ ALVAREZ, Lisandro D. *et al.* Efectos de los microplásticos en el medio ambiente: un macroproblema emergente. **Revista de Ciencia Y Tecnología (RECyT)**, [s. l.], año 22, v. 33, n. 1, p. 100-107, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36995/j.recyt.2020.33.013>. Acesso em: 10 fev. 2023.

GLOBAL CHALLENGES FOUNDATION. **12 Risks that threaten human civilization**: the case for a new risk category. [S. l.]: Global Challenges Foudation, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/291086909_12_Risks_that_threaten_human_civilisation_The_case_for_a_new_risk_category. Acesso em: 15 fev. 2023.

GLOBAL REPORTING INITIATIVE (GRI); UNITED NATIONS GLOBAL COMPACT; WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). **SDG compass**: Diretrizes para implementação dos ODS na estratégia dos negócios. [S. l.]: GRI: UN Nations Global Compact: WBCSD, 2016. Disponível em: https://sdgcompass.org/wp-content/uploads/2016/04/SDG_Compass_Portuguese.pdf. Acesso em: 18 fev. 2023.

GLOBAL SUSTAINABLE INVESTMENT ALLIANCE (GSIA). **2018 global sustainable investment review**. [S. l.]: GSIA, 2018. Disponível em: http://www.gsi-alliance.org/wp-content/uploads/2019/03/GSIR_Review2018.3.28.pdf. Acesso em: 1 mar. 2023.

GONZÁLEZ-PLEITER, Miguel *et al.* Secondary nanoplastics released from a biodegradable microplastic severely impact freshwater environments. **Environmental Science: Nano**, n. 6, p. 1382-1392, Apr. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C8EN01427B>. Acesso em: 18 fev. 2023.

GOTTSCHALK, Fadri; KOST, Elias; NOWACK, Bernd. Engineered nanomaterials in water and soils: a risk quantification based on probabilistic exposure and effect modeling. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 32, n. 6, p. 1278-1287 June 2013. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23418073>. Acesso em: 16 fev. 2023.

GRAFMUELLER, S. *et al.* Bidirectional transfer study of polystyrene nanoparticles across the placental barrier in an ex vivo human placental perfusion model. **Environ Health Perspect**, [s. l.], v. 123, n. 12, p. 1280-1286, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/ehp.1409271><https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25956008>. Acesso em: 2 mar. 2023.

GUILHERME, Paulo. O que é sandbox? *In*: TECMUNDO. [S. l.], 5 jul. 2012. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/spyware/1172-o-que-e-sandbox-.htm>. Acesso em: 20 fev. 2023.

GURGEL, Wildoberto Batista. A triangulação em debate: considerações sobre o modelo minayano de avaliação por triangulação de métodos. **Ciências Humanas em Revista**, São Luís, v. 5, n. 1, p. 43-68, jul. 2007. Disponível em: <https://doceru.com/doc/nx0vvx5>. Acesso em: 6 mar. 2023.

GUZMÁN, Katherine A.; TAYLOR, Margaret R.; BANFIELD, Jillian F. Environmental risks of nanotechnology: national nanotechnology initiative funding. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 40, n. 5, p.1401-1407, 2006. Disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es0515708>. Acesso em: 3 mar. 2023.

HEGDE, Yashoda Mariappa *et al.* A recent advancement in nanotechnology approaches for the treatment of cervical cancer. **Anti-cancer Agents in Medicinal Chemistry**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 37-59, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35570521/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

HERRERO, Luis M. Jiménez. La economía circular en el paradigma de la sostenibilidad. *In*: HERRERO, Luis M. Jiménez; LAGÜELA, Elena Pérez (colab.). **Economía circular-espiral: transición hacia um metabolismo económico cerrado**. 1ª ed. Madrid: Ecobook, 2019. p. 27-78.

HESHMATI, Almas. A review of the circular economy and its implementation. **IZA Discussion Paper**, [s. l.], n. 9611, p. 1-61, Dec. 2015. Disponível em: <https://docs.iza.org/dp9611.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2023.

HEUNISCH, Elisabeth *et al.* **Development or revisions of OECD test guideline (TG) and guidance documents (GD) applicable for nanomaterials: a status report**. [S. l.]: NanoHarmony: NANOME, July 2022. Disponível em: <https://nanoharmony.eu/wp-content/uploads/2022/10/NanoHarmony-NANOMET-report-on-OECD-TG-and-GD-developments-for-NMs.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2023.

HOFFMAN, Diego-Emilio Galan. **Risks vs benefits**. [S. l.]: Introtonano Technology, [2022a?]. Disponível em: <https://introtonanotechnology.weebly.com/risks-vs-benefits.html>. Acesso em: 15 fev. 2023.

HOFFMAN, Diego-Emilio Galan. **Size of the nanoscale**. [S. l.]: Introtonano Technology, [2022b?]. Disponível em: <https://introtonanotechnology.weebly.com/the-nanoscale.html>. Acesso em: 15 fev. 2023.

HOFFMAN, Diego-Emilio Galan. **The history of nanotechnology**. [S. l.]: Introtonano Technology, [2022c?]. Disponível em: <https://introtonanotechnology.weebly.com/history-of-nanotechnology.html>. Acesso em: 15 fev. 2023.

HOHENDORFF, Raquel von. **A contribuição do safe by design na estruturação autorregulatória da gestão dos riscos nanotecnológicos**: lidando com a improbabilidade da comunicação inter-sistêmica entre o direito e a ciência em busca de mecanismos para concretar os objetivos de sustentabilidade do milênio. Tese (Doutorado em Direito) – Programa de Pós-Graduação em Direito Público, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7055>. Acesso em: 10 fev. 2023.

HOHENDORFF, Raquel von. Revolução nanotecnológica, riscos e reflexos no direito: os aportes necessários da Transdisciplinaridade. *In*: ENGELMANN, Wilson; WITTMANN, Cristian (org.). **Direitos humanos e novas tecnologias**. Jundiaí: Paco Editorial, 2015. p. 9-47.

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

HOLLINGWORTH, P. **The light and fast organization**: a new way of dealing with uncertainty. Melbourne: Wiley, 2016.

HUPFFER, Haide Maria; ENGELMANN, Wilson. O princípio responsabilidade de H. Jonas como contraponto ao avanço (ir)responsável das nanotecnologias. **Revista Direito e Práxis**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 4, p. 1-30, 2017. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/revistaceaju/article/view/26193/21068>. Acesso em: 9 fev. 2023.

IBERDROLA. **Ilha de Plástico do Pacífico**: o continente de plástico que flutua nas águas do Pacífico. [S. l.]: Iberdrola, c2022. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/meio-ambiente/ilha-de-lixo-pacifico-setimo-continente>. Acesso em: 12 fev. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Termo de Referência para a elaboração do Manifesto de Resíduo**. Brasília, DF: IBAMA, 2020. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/licenciamentoambiental/procedimento-on-line>. Acesso em: 8 mar. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Instrução Normativa nº 13, de 18 de dezembro de 2012**. Publica a Lista Brasileira de Resíduos Sólidos, a qual será utilizada pelo Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais, pelo Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental e pelo Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos, bem como por futuros sistemas informatizados do Ibama que possam vir a tratar de resíduos sólidos. Brasília, DF: IBAMA, 2012. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&force=1&legislacao=128945>. Acesso em: 10 fev. 2023.

INSTITUTO SERRA PILHEIRA. **A nova geração de bebês com plásticos**. [S. l.], 2023. Instagram: @ institutoserrapilheira. Disponível em: <https://www.instagram.com/p/CosTLFQLjmh/?igshid=YmMyMTA2M2Y=>. Acesso em: 1 mar. 2023.

INTERDISCIPLINARITY: why scientists must work together to save the world. **Nature**, [s. l.], v. 525, n. 305, Sept. 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/525305a#:~:text=Scientists%20must%20work%20together%20to,they%20can%20scale%20disciplinary%20walls.&text=To%20solve%20the%20grand%20challenges,social%20scientists%20must%20work%20together>. Acesso em: 13 fev. 2023.

INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). NanoAction Project. **Principles for the oversight of nanotechnologies and nanomaterials**. Produced with funding from the Barbara Smith Foundation. Washington: ICTA, 2007a. Disponível em: https://www.icta.org/files/2012/04/080112_ICTA_rev1.pdf. Acesso em: 10 fev. 2023.

INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Traduzido por Secretaria Regional Latino-Americana da União Internacional dos Trabalhadores na Alimentação, Agricultura, Hotelaria, Restaurantes, Tabaco e Afins (Rel-UITA). Washington: Nanoaction: ICTA, jan. 2007b. (NanoAction Project). Disponível em: http://www6.rel-uita.org/nanotecnologia/Principios_Supervision_NANOTECONOLOGIAS-por.pdf. Acesso em: 5 mar. 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 22005: 2007: traceability in the feed and food chain: general principles and basic requirements for system design and implementation**. Geneva: ISO, 2007. Disponível em: https://www.en-standard.eu/bs-en-iso-22005-2007-traceability-in-the-feed-and-food-chain-general-principles-and-basic-requirements-for-system-design-and-implementation/?gclid=Cj0KCQiAg_KbBhDLARIsANx7wAz9a-2oGx6_oM5x7eSaLjwQaG8bqrhJdqBCHcugt6nl7IfnvtfWmmMaAmlcEALw_wcB. Acesso em: 19 fev. 2023.

INTERNATIONAL TRADE CENTRE (ITC). Traceability in food and agricultural products. **Bulletin**, Geneva, p. 1-41, n. 91, 2015. Disponível em: https://www.intracen.org/uploadedfiles/intracenorg/content/exporters/exporting_better/quality_management. Acesso em: 5 mar. 2023.

JESUS, Kátia Evaristo; MASSINI, Karen Cristina. Subsídios técnicos para formulação do processo regulatório das nanotecnologias no Brasil: consulta a especialistas como uma abordagem preliminar. *In: OLIVEIRA, Caue Ribeiro de et al. (ed.). Anais do IX Workshop de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio*. 1. ed. São Carlos: EMBRAPA Instrumentação, 2017. p. 696-699. Disponível em: http://www.cnpdia.embrapa.br/workshopnano/wp-content/uploads/2017/11/Anais_IX_1Workshop_de_Nanotecnologia.pdf. Acesso em: 18 fev. 2023.

JIANG, Lanxin *et al.* Blockchain-based life cycle assessment system for ESG reporting. [S. l.: s. n.], May 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4121907>. Acesso em: 5 mar. 2023.

JOIN the dialogue. **Nature Nanotech**, [s. l.], v. 7, n. 542, 19 Aug. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nnano.2012.150>. Acesso em: 5 mar. 2023.

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

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

KAFKA, Franz. **The penguin complete short stories of Franz Kafka**. Londres: Penguin Books, 1988.

KARL, Júlia Scholz; KARL, Alexandre Augusto. A economia circular no ordenamento jurídico brasileiro: desafios para sua institucionalização. **Revista Sistemas & Gestão**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 45-52, 2022. Disponível em: <https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/1774>. Acesso em: 1 mar. 2023.

KATALAGARIANAKIS, Georgios. **EU Research strategy: nanotechnologies and advanced materials 2018-2020: safe nanotechnology**. [S. l.]: European Commission, 2017. Disponível em: http://nanotechia.org/sites/default/files/eu_research_strategy_-_nanotechnologies_and_advanced_materials.pdf. Acesso em: 17 fev. 2023.

KAZA, Silpa *et al.* **What a Waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050**. Washington: World Bank, 2018. (Urban development) Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>. Acesso em: 20 fev. 2023.

KEMPFER, Jéssica Cindy. Autorregulação regulada e o combate a mercantilização dos direitos humanos. **Revista Brasileira de Filosofia do Direito**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 73-90, jul/dez. 2018. Disponível em: <https://www.indexlaw.org/index.php/filosofiadireito/article/view/4857>. Acesso em: 5 mar. 2023.

KHODAKOVSKAYA, Mariya *et al.* Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. **ACS Nano**, v. 3, n. 10, p. 3221-3227, Sept. 2009. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/405e/91420259dc42debf5ec718aaf6c28a394c5.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2023.

KITA, Mônica Fischer Nunes. Análise da contribuição das certificações ambientais aos desafios da Agenda 2030. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 27-46, jan./jun. 2018. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/article/view/30754>. Acesso em: 1 mar. 2023.

KJØLHOLT, Jesper *et al.* **Environmental assessment of nanomaterial use in Denmark**. Copenhagen: The Danish Environmental Protection Agency, 2015. (Environmental Project, n. 1788). Disponível em: <https://www.2.mst.dk/Udgiv/publications/2015/10/978-87-93352-71-1.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2023.

KOOKANA, Rai S. *et al.* Nanopesticides: guiding principles for regulatory evaluation of environmental risks. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 62, n. 19, p. 4227-4240, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf500232f>. Acesso em: 3 mar. 2023.

KUHLBUSCHAB, Thomas A. J.; WIJNHOVENC, Susan W. P.; HAASE, Andrea. Nanomaterial exposures for worker, consumer and the general public. **NanoImpact**, [s. l.], v. 10, p. 11-25, Apr. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452074817300873>. Acesso em: 6 mar. 2023.

KUMAR, Sandeep *et al.* Nano-based smart pesticide formulations: emerging opportunities for agriculture. **Journal of Controlled Release**, [s. l.], v. 294, p. 131-153, Jan. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168365918307090>. Acesso em: 10 fev. 2023.

LAMBERT, S., WAGNER, M. Characterisation of nanoplastics during the degradation of polystyrene. **Chemosphere**, [s. l.], v. 145, p. 265-268, Feb. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.11.078>. Acesso em: 12 fev. 2023.

LAPIDOS, J. Do plastic bags really take 500 years to break down in a landfill? **Slate**, [s. l.], [2007]. Disponível em: <https://slate.com/news-and-politics/2007/06/doplastic-bags-really-take-500-years-to-break-down-in-a-landfill.html>. Acesso em: 12 fev. 2023.

LAS HERAS, M. D. Painel: “Economia Circular: caminhos Possíveis”. *In*: SEMINÁRIO AÇÃO AMBIENTAL: ECONOMIA CIRCULAR E LOGÍSTICA REVERSA, 2016, Rio de Janeiro. **Ação Ambiental 2016**. Rio de Janeiro: FIRJAN, 2016. Disponível em: <https://www.querodiscutiromeuestado.rj.gov.br/noticias/4606-implantacao-de-economia-reversa-pela-industria-e-tema-do-seminario-acao-ambiental-2016>. Acesso em: 14 fev. 2023.

LAURINDO, Michelly. **A viabilidade da economia circular à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Centro Sócio Econômico, Departamento de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/167567/Monografia%20da%20Michelly.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 9 mar. 2023.

LAZAREVIC, David; FINNVEDEN, Göran. **Life cycle aspects of nanomaterials**. Stockholm: KTH - Royal Institute of Technology, 2013. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:650922/FULLTEXT01.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2023.

LAZZARETTI, Luísa Lauermann; HUPFFER, Haide Maria. Nanotecnologia e sua regulamentação no Brasil. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, Novo Hamburgo, v. 16, n. 3, p. 154-177, set./dez. 2019. Disponível em: <https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistagestaoedesenvolvimento/article/download/1792/2432/6028>. Acesso em: 20 fev. 2023.

LEAL, Daniele Weber S. O desenvolvimento sustentável das nanotecnologias: adoção da economia circular fundada pelos fragmentos constitucionais de Teubner. *In*: ROCHA, Leonel Severo; COSTA, Bernardo Leandro Carvalho (org.). **Atualidade da Constituição: o constitucionalismo em Luhmann**, Febrajo, Teubner e Vesting. Porto Alegre: Editora Fi, 2020. p. 317-356. *E-book*. Disponível em: <https://www.editorafi.org/18atualidade>. Acesso em: 8 mar. 2023.

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.

LEBRETON, L. *et al.* Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 8, n. 4666, Mar. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>. Acesso em: 2 mar. 2023.

LEHNER, Roman *et al.* Emergence of nanoplastic in the environment and possible impact on human health. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 53, n. 4, p. 1748-1765, Jan. 2019. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.8b05512>. Acesso em: 19 fev. 2023.

LEHNER, Roman; PETRI-FINK, Alke; ROTHEN-RUTISHAUSER, Barbara. Nanoplastic impact on human health – A 3D intestinal model to study the interaction with nanoplastic particles. *In*: COCCA, M. *et al.* (ed.). **Proceedings of the International Conference on Microplastic Pollution in the Mediterranean Sea**. [S. l.]: Springer Water, 2018. p. 167-170. *E-book*. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322102382_Nanoplastic_Impact_on_Human_Health-A_3D_Intestinal_Model_to_Study_the_Interaction_with_Nanoplastic_Particles. Acesso em: 8 fev. 2023.

LEITE, DavidTimóteo Carrilho *et al.* A nanotecnologia e a rastreabilidade de peças remanufaturadas de veículos. **PRETEXTO**, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 86-103, jul./set. 2020. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/pretexto/article/view/6091/pdf>. Acesso em: 11 fev. 2023.

LEMOS, Paulo. **Economia circular como fator de resiliência e competitividade na região de Lisboa e Vale do Tejo**: estudos para uma região RICA: resiliente, inteligente, circular e atractiva. Coordenação: João Pereira Teixeira. Lisboa: Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo, jan. 2018. Disponível em: https://www.ccdr-lvt.pt/wp-content/uploads/2022/02/economia-circular-resiliencia-competitividade-RLVT_2018.pdf. Acesso em: 20 fev. 2023.

LETT, Lina A. Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. **Revista Argentina de Microbiología**, Buenos Aires, v. 46, n. 1, p. 1-2, marzo 2014. Disponível em: <http://www.scielo.org.ar/pdf/ram/v46n1/v46n1a01.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2023.

LEVITZKE, P. S. M. V. The development of a circular economy in australia. *In*: GHOSH, S. (ed.). **Circular economy**: global perspective. Singapore: Springer, 2020. p. 25-42. *E-book*. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-1052-6_2. Acesso em: 10 fev. 2023.

LI, Ting-Ting *et al.* ESG: research progress and future prospects. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 21, Oct. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132111663>. Acesso em: 2 mar. 2023.

LUHMANN, Niklas. **El derecho de la sociedad**. 2ª ed. Herder: Ed. Universidad Iberoamericana, 2005.

LUHMANN, Niklas. Globalization or world society: how to conceive of modern society? **International Review of Sociology**: Revue Internationale de Sociologie, New York, v. 7, n. 1, p. 67-79, 1997. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03906701.1997.9971223>. Acesso em: 12 fev. 2023.

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

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

MACKEY, P. J.; CARDONA, V. N.; REEMEYER, L. The role of scrap recycling in the USA for the Circular Economy: a case study of copper scrap recycling. *In*: GAUSTAD, Gabrielle *et al.* (ed.). **REWAS 2019**. [S. l.], Springer 2019. p.319-320. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-10386-6_37. Acesso em: 3 mar. 2023.

MARCHANT, Gary E; SYLVESTER, Douglas J. Transnational models for regulation of nanotechnology. **The Journal of Law, Medicine & Ethics**, Boston, v. 34, ed. 4, p. 714-725, 2006. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1748-720X.2006.00091.x/abstract>. Acesso em: 10 fev. 2023.

MARQUES, Marcelo Filipe Carvalho. **Agenda 2030**: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU – Desafios ao desenvolvimento tecnológico e à inovação empresarial. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Qualidade e Ambiente) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/12318/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2023.

MARSH & McLENNAN; ZURICH INSURANCE GROUP. **Global risks report 2015**. Academic Advisers: National University of Singapore Oxford Martin School, University of Oxford Wharton Risk Management and Decision Processes Center, University of Pennsylvania. 10th ed. Geneva: World Economic Forum, 2015. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_2015_Report15.pdf. Acesso em: 23 fev. 2023.

MARSH & McLENNAN; ZURICH INSURANCE GROUP. **Global risks report 2020**. 15th ed. Geneva: World Economic Forum, 2020. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf. Acesso em: 8 mar. 2023.

MARTINS, Patrícia Santos. **As nanotecnologias e as normas ISO: estruturando a governança regulatória por normas técnicas**. 2021. Tese (Doutorado em Direito) – Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2021. Disponível em: http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/10094/Patricia%20Santos%20Martins_.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 fev. 2023.

MARTINS, Patrícia Santos. **O sistema de normas ISO e as nanotecnologias: as interfaces regulatórias e o diálogo entre as fontes do Direito**. 2016. Dissertação (Mestrado em Direito) – Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/6206>. Acesso em: 13 dez. 2022.

MASON, Paul. **Pós-capitalismo: um guia para o nosso futuro**. Tradução José Geraldo Couto. 1. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2017.

MASSULO, A. Organic wastes management in a circular economy approach: Rebuilding the link between urban and rural areas. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 101, p. 84-90, Apr. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857417300046>. Acesso em: 3 mar. 2023.

MATOS, Erika Tavares Amaral Rabelo de; SILVA, Rodrigo Rabelo de Matos. A atual situação da rastreabilidade dos resíduos sólidos perigosos na legislação brasileira. *In*: SILVA FILHO, Erivaldo Cavalcanti e; GONÇALVES, Everton das Neves; SILVA, Maria Dos Remédios Fontes (coord.). **Direito ambiental e socioambientalismo II: XXVI Encontro Nacional do CONPEDI Brasília – DF**. Florianópolis: CONPEDI, 2017. p. 137-157. Disponível em: <http://site.conpedi.org.br/publicacoes/roj0xn13/0ig2q735/J5CrWqW1M12a1879.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2023.

MATTSSON, Karin *et al.* Nanoplastics in the aquatic environment. *In*: ZENG, Eddy Y. (ed.). **Microplastic contamination in aquatic environments: an emerging matter of environmental urgency**. [S. l.]: Elsevier, 2018. p. 379-399. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128137475000138>. Acesso em: 10 fev. 2023.

MAYNARD, Aandrew D.; WARHEIT, David B.; PHILBERT, Martin A. The new toxicology of sophisticated materials: nanotoxicology and beyond. **Toxicological Sciences**, [s. l.], v. 120, p. s109- s129, Mar. 2011. Suppl. 1. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3145386/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

McDONOUGH, William; BRAUNGAR, Michael. **Cradle to cradle: remaking the way we make things**. [S. l.]: North Point Press, 2002.

McKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Resource revolution: meeting the world's energy, materials, food, and water needs**. [S. l.]: McKinsey Global Institute, 1 Nov. 2011.

McWILLIAMS, Andrew. The maturing nanotechnology market: products and applications. **Market Reports**, Wellesley, Nov. 2016. Disponível em: <https://www.bccresearch.com/market-research/nanotechnology/nanotechnology-market-products-applications-report-nan031g.html>. Acesso em: 22 fev. 2023.

MEIO ambiente: cientistas encontram microplástico em tecidos de órgãos humanos. **Revista Galileu**, São Paulo, 17 ago. 2020. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Meio-Ambiente/noticia/2020/08/cientistas-encontram-microplastico-em-tecidos-de-orgaos-humanos.html>. Acesso em: 2 mar. 2023.

MENDONÇA, Fabrício Molica de; PONTES, André Teixeira; SOUZA, Ricardo Gabbay de. Logística reversa, meio ambiente e sociedade. *In*: VALLE, Rogério; SOUZA, Ricardo Gabbay de (org.). **Logística reversa: processo a processo**. São Paulo: Atlas, 2014. p. 5-17.

MIHINDUKULASURIYA, S. D. F.; LIM, L.-T. Nanotechnology development in food packaging: a review. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 40, n. 2, p. 149-167, Dec. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224414002131>. Acesso em: 12 fev. 2023.

MINAYO, Maria Cecília de Souza *et al.* Métodos, técnicas e relações em triangulação. *In*: MINAYO, Maria Cecília de Souza; Assis, Simone Gonçalves de; SOUZA, Edinilsa Ramos de (org.). **Avaliação por triangulação de métodos: abordagem de programas sociais**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2010. p. 61-99.

MITRANO, Denise M. *et al.* Synthesis of metal-doped nanoplastics and their utility to investigate fate and behaviour in complex environmental systems. **Nature Nanotechnology**, [s. l.], v. 14, p. 362-368, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41565-018-0360-3>. Acesso em: 22 fev. 2023.

MORAES, Paulo Valério Dal Pai. **Macrorrelação ambiental de consumo: responsabilidade pós-consumo ou relação coletiva de consumo**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2013.

MORAES, Roque; GALIAZZI, Maria do Carmo. **Análise textual discursiva**. 2. ed. rev. Ijuí: Ed. Ijuí, 2011.

MORAIS, José Luis Bolzan de. As crises do estado. *In*: MORAIS, José Luis Bolzan de (org.). **O estado e suas crises**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2005. p. 9-28.

MORIN, Edgar. **Meu caminho**. Tradução Edgard de Assis Carvalho. Lisboa: Editora Bertrand, 2010.

MORISSO, Fernando Dal Pont; JAHNO Vanusca Dalosto. Nanociência e nanotecnologia: um rompimento de paradigmas. *In*: ENGELMANN, Wilson; HUPFFER, Haide Maria (org.). **Impactos sociais e jurídicos das nanotecnologias**. São Leopoldo: Casa Leiria, 2017. p. 13-37. *E-book*. Disponível em: <http://www.guaritadigital.com.br/casaleiria/acervo/engelmann/impactos.html>. Acesso em: 15 fev. 2023.

MOUNEYRAC, C. *et al.* Ecotoxicology principles for manufactured nanomaterials. *In*: WIESNER, M. R.; BOTTERO, J. Y. **Environmental nanotechnology**: applications and impacts of nanomaterials. 2nd ed. New York: McGraw Hill Education, 2017. p. 141-172.

MOURA, Marília; PEREIRA, Reginaldo. Gestão de resíduos da nanotecnologia no Brasil: lacunas normativas e ausência de parâmetros legais específicos. *In*: PEREIRA, Reginaldo; WINCKLER, Silvana; TEIXEIRA, Marcelo Markus (org.). **Cidadania e controle social na governança da nanotecnologia**. São Leopoldo: Karywa, 2016. p. 145-160.

MRAZ, Stephen J. Nanowaste: the next big threat? **Machine Design**, Cleveland, v. 77, n. 22, 17 Nov. 2005. Disponível em: <http://connection.ebscohost.com/c/articles/18901546/nanowaste-next-big-threat>. Acesso em: 5 mar. 2023.

MUSEE, N. Nanowastes and the environment: potential new waste management paradigm. **Environment International**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 112-128, Jan. 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412010001558>. Acesso em: 12 fev. 2023.

NAÇÕES UNIDAS. Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio). **Transformando nosso mundo**: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro: UNIC Rio, 2015. Traduzido pelo Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio), última edição em 13 de outubro de 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023.

NAÇÕES UNIDAS. Em 2050, oceanos podem ter mesma quantidade de peixes e plástico. **ONU News**, [s. l.], 16 fev. 2017. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2017/02/1577611-em-2050-oceanos-podem-ter-mesma-quantidade-de-peixes-e-plastico>. Acesso em: 21 fev. 2023.

NAÇÕES UNIDAS. Em Dia Mundial dos Oceanos, ONU elimina uso de plástico descartável em mais de 30 agências. **ONU News**, [s. l.], 8 jun. 2018. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2018/06/1626441>. Acesso em: 19 fev. 2023.

NAÇÕES UNIDAS. Nações Unidas no Brasil (ONUBR). **Glossário de termos do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 9**: construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação. Organização Haroldo Machado Filho. Brasília, DF: Nações Unidas, 2016. Disponível em: <http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/library/ods/glossario-do-ods-9.html>. Acesso em: 18 fev. 2023.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo 12**: assegurar padrões de produção e de consumo. Brasília, DF: Nações Unidas, 2020a. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods12/>. Acesso em: 14 fev. 2023.

NAÇÕES UNIDAS. **Preâmbulo**. Brasília, DF: Nações Unidas, 2020b. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 14 fev. 2023.

NANOPLASTIC should be better understood. **Nature Nanotechnology**, [s. l.], v. 14, n. 299, Apr. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0437-7>. Acesso em: 9 fev. 2023.

NANOREG2. Centre for Environmental Research. Environmental hazard and risk of nanomaterials: grouping concepts for aquatic and terrestrial toxicity. **Scientific Workshop - Grouping of Nanomaterials NanoReg2 and Gracious H2020**, Paris, 12-13 Sept. 2018a. Disponível em: http://www.nanoreg2.eu/sites/default/files/3.%20DanaKuhnel_UFZ.pdf. Acesso em: 12 fev. 2023.

NANOREG2. Grouping case studies Human Tox. **Scientific Workshop - Grouping of Nanomaterials OECD/NR2/GRACIOUS**, Paris, 12-13 Sept. 2018b. Disponível em: http://www.nanoreg2.eu/sites/default/files/BlancaSuarezM_pdf. Acesso em: 1 fev. 2023.

NANOTECHNOLOGY and math deliver two-in-one punch for cancer therapy resistance. *In*: LQES news. Campinas, 23 jun. 2016a. Disponível em: http://www.lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2016/lqes_news_novidades_2074.html. Acesso em: 14 fev. 2023.

NANOTECHNOLOGY method for storing vaccines at room temperature. *In*: LQES news. Campinas, 30 Nov. 2016b. Disponível em: http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2016/lqes_news_novidades_2174.html. Acesso em: 13 fev. 2023.

NANOTECHNOLOGY PRODUCTS DATABASE (NPD). **Food**. [S. l.]: NPD, 2021a. Disponível em: <https://product.statnano.com/industry/food>. Acesso em 22: set. 2021.

NANOTECHNOLOGY PRODUCTS DATABASE (NPD). **Graphene**. [S. l.]: NPD, 2020a. Disponível em: <http://product.statnano.com/search?keyword=graphene>. Acesso em: 22 set. 2020.

NANOTECHNOLOGY PRODUCTS DATABASE (NPD). **Introduction**. [S. l.]: NPD, 2017. Disponível em: <http://product.statnano.com/>. Acesso em: 17 abr. 2017.

NANOTECHNOLOGY PRODUCTS DATABASE (NPD). **Introduction**. [S. l.]: NPD, 2018. Disponível em: <http://product.statnano.com/>. Acesso em: 21 out. 2018.

NANOTECHNOLOGY PRODUCTS DATABASE (NPD). **Introduction**. [S. l.]: NPD, 2020b. Disponível em: <http://product.statnano.com/>. Acesso em: 22 set. 2020.

NANOTECHNOLOGY PRODUCTS DATABASE (NPD). **Introduction**. [S. l.]: NPD, 2022. Disponível em: <http://product.statnano.com/>. Acesso em: 25 out. 2022.

NANOTECHNOLOGY PRODUCTS DATABASE (NPD). **Nanocosmetics**. [S. l.]: NPD, 2021b. Disponível em: <https://product.statnano.com/industry/cosmetics>. Acesso em: 22 set. 2021.

NANOTECHNOLOGY PRODUCTS DATABASE (NPD). **Nanotechnology certificates**. [S. l.]: NPD, 2020c. Disponível em: <https://product.statnano.com/>. Acesso em: 28 set. 2020.

NANOTECNOLOGIA: análise do hábito para detectar câncer e outras 16 doenças. *In*: LQES news. Campinas, 2017. Disponível em: http://www.lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2017/lqes_news_novidades_2187.html. Acesso em: 18 fev. 2023.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). Washington, DC: NASA, 2023. Disponível em: <https://www.nasa.gov/>. Acesso em: 15 fev. 2023.

NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE (NNI). **National Nanotechnology Initiative supplement to The President's 2022 budget**. [S. l.]: United States of America, 2022. Disponível em: <https://www.nano.gov/sites/default/files/NNI-FY22-Budget-Supplement.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2023.

NEL, André *et al.* Nanotechnology environmental, health, and safety issues. *In*: ROCO, Mihail C.; MIRKIN, Chad A.; HERSAM, Mark. **Nanotechnology Research directions for societal needs in 2020**. Retrospective and Outlook. New York: Springer, 2011. p. 159-220.

NICOLOSO, Carolina da Silveira; SILVEIRA, Vicente Celestino Pires. Rastreabilidade bovina: histórico e reflexões sobre a situação brasileira. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v. 6, n. 1, p. 79-97, jan./abr. 2013. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/2136>. Acesso em: 10 fev. 2023.

NIDUMOLU, Ram; PRAHALAD, C. K.; RANGASWAMI, M. R. Why sustainability is now the key driver of innovation. **Harvard Business Review**, [s. l.], Sept. 2009.

NOWACK, Bernd *et al.* Potential scenarios for nanomaterial release and subsequent alteration in the environment. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 31, n. 1, p. 50-59, Jan. 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22038832/>. Acesso em: 1 mar. 2023.

NUTRI MIX ASSESSORIA E CONSULTORIA NUTRICIONAL. **Entenda o que é rastreabilidade de alimentos**. São Paulo: Nutri Mix Assessoria e Consultoria Nutricional, c2022. Disponível em: <https://www.nutrimixassessoria.com.br/rastreabilidade-de-alimentos/>. Acesso em: 18 fev. 2023.

OLIVEIRA FILHO, Reginaldo Liberato de. **Proposta de sistemática para gerenciamento e monitoramento da rastreabilidade para indústrias de alimentos**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Núcleo de Tecnologia Engenharia de Produção, Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2020. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/43440/1/OLIVEIRA%20FILHO%2c%20Reginaldo%20Liberato%20de.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2023.

OLIVEIRA, Marcos. Medidas preventivas: estudos apresentam propostas para possíveis impactos de nanoproductos na saúde humana e no meio ambiente. **Revista Pesquisa FAPESP**, São Paulo, ed. 251, p. 71-73, jan. 2017. Disponível em: http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2017/01/070-073_Nano_251.pdf. Acesso em: 19 fev. 2023.

OLSEN, Petter. **Harmonizing methods for food traceability process mapping and cost/benefit calculations related to implementation of electronic traceability systems**. Tromsø: Nofima, 2009. Disponível em: <http://www.nofima.no/filearchive/Rapport%2015-2009.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2023.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Consumer and environmental exposure to manufactured nanomaterials: information used to characterize exposures: analysis of a survey**. ENV/JM/MONO (2017) 32. Paris: OECD, 7 Nov. 2017a. (Series on the safety of manufactured nanomaterials, n. 84). Disponível em: [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2017\)32&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2017)32&doclanguage=en). Acesso em: 10 fev. 2023.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Environment at a glance 2020**. Paris: OECD Publishing, 24 Feb. 2020a. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/environment-at-a-glance/volume-/issue-_4ea7d35f-en. Acesso em: 10 fev. 2023.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Environment at a glance indicators: circular economy - waste and materials**. Paris: OECD Publishing, 2020b. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/f5670a8d-en/index.html?itemId=/content/component/f5670a8d-en>. Acesso em: 16 fev. 2023.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Global material resources outlook to 2060: economic drivers and environmental consequences**. Paris: OECD Publishing, 12 Feb. 2019. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/global-material-resources-outlook-to-2060_9789264307452-en. Acesso em: 13 fev. 2023.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). Highlights. **OECD Science, Technology and Industry Outlook 2012**, Paris, p. 1-7, 13 Sept. 2012. Disponível em: <https://www.oecd.org/sti/sti-outlook-2012-highlights.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2023.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Nanotechnology and tyres: Greening Industry and Transport**. Paris: OECD Publishing, 18 July 2014. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/nanotechnology-and-tyres_9789264209152-en. Acesso em: 18 fev. 2023.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Nanomaterials in waste streams: current knowledge on risks and impacts**. Paris: OECD Publishing, 22 Feb. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264249752-en>. Acesso em: 18 fev. 2023.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **OECD Working Party on Nanotechnology (WPN):** vision statement. Paris: OECD Publishing, 2017b. Disponível em: <http://www.oecd.org/sti/nano/oecdworkingpartyonnanotechnologywpnvisionstatement.htm>. Acesso em: 12 fev. 2023.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN (ISO). **ISO 14006:** (es) - sistemas de gestión ambiental: directrices para la incorporación del ecodiseño. Geneva: ISO, 2011. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14006:ed-1:v1:es:sec:4.2>. Acesso em: 12 fev. 2023.

OST, François. **O tempo do direito**. Tradução: Maria Fernanda Oliveira. Lisboa: Instituto Piaget, 1999.

PARANÁ. **Lei nº 20.607, 10 de junho de 2021**. Dispõe sobre o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Paraná e dá outras providências. Paraná: Assembleia Legislativa, 2021. Disponível em: https://www.aen.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/migrados/1006lei20607.pdf. Acesso em: 10 fev. 2023.

PARANÁ. **Projeto de Lei nº 278/2022**. Institui a política estadual de economia circular e o selo produto economicamente circular. Autoria: Deputada Maria Victória. Paraná: Assembleia Legislativa, [2022]. Disponível em: <http://portal.assembleia.pr.leg.br/index.php/pesquisa-legislativa/proposicao?idProposicao=107380>. Acesso em: 27 fev. 2023.

PARLAMENTO EUROPEU; CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (CE) nº 178/2002 do Parlamento Europeu e do Conselho de 28 de janeiro de 2002 que determina os princípios e normas gerais da legislação alimentar, cria a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos e estabelece procedimentos em matéria de segurança dos géneros alimentícios. **Jornal Oficial da União Europeia**, Luxemburgo, n. L 31, p. 1-23, 1 fev. 2002. Disponível em: https://www.beefpoint.com.br/wp-content/bn/rastreabilidade_certificacao/Reg_Europeu.pdf. Acesso em: 18 fev. 2023.

PART, Florian *et al.* Current limitations and challenges in nanowaste detection, characterisation and monitoring. **Waste Management**, New York, v. 43, p. 407-420, Sept. 2015. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26117420/>. Acesso em: 10 dez. 2022.

PEREIRA, Flávia Suelen de Oliveira *et al.* Risk assessment of nanofertilizers and nanopesticides. In: FRACETO, Leonardo F. *et al.* (ed.). **Nanopesticides from research and development to mechanisms of action and sustainable use in agriculture**. Switzerland: Springer Nature, 2020. p. 299-316. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-44873-8>. Acesso em: 6 mar. 2023.

PEREIRA, Raquel Susana da Costa. O Sistema de Economia Circular e a Agenda 2030: Análise da Evolução em Portugal. **Revista de Economia, Empresas e Empreendedores na CPLP**, Porto, v. 7, n. 1, p. 99-124, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.29073/e3.v7i1.381>. Acesso em: 10 fev. 2023.

PEREIRA, Reginaldo; PERCIO, Jaqueline Kelli; SACOMORI, Diego. A autorregulação dos riscos das novas tecnologias no âmbito internacional: um estudo a partir da ISO/TC 229. **Dom Helder Revista de Direito**, Belo Horizonte, v. 2, n. 3, p. 41-58, maio/ago. 2019. Disponível em: <http://revista.domhelder.edu.br/index.php/dhrevistadedireito/article/view/1650>. Acesso em: 1 mar. 2023.

PEREZ, Oren. Precautionary governance and the limits of scientific knowledge: a democratic framework for regulating nanotechnology. **Journal of Environmental Law and Policy**, [s. l.], p. 1-46, 8 Apr. 2010. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=1585222>. Acesso em: 8 fev. 2023.

PERIGOS da nanotecnologia devem ser avaliados desde o princípio. *In*: INOVAÇÃO tecnológica. [S. l.], 16 jul. 2018. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=perigos-nanotecnologiadevem-avaliados-desde-principio&id=010125180716&ebol=sim#.W0-lhdJKg2w>. Acesso em: 18 fev. 2023.

PIFFER, Carla; CRUZ, Paulo Márcio. O direito transnacional e a consolidação de um pluralismo jurídico transnacional. **RDUno**: Revista do Programa de Pós-Graduação em Direito da UnoChapécó, Chapécó, v. 2, n. 3, 2019. Disponível em: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/296/2961245006/html/>. Acesso em: 8 mar. 2023.

PIGŁOWSKI, Marcin. Food hazards on the European Union market: the data analysis of the rapid alert system for food and feed. **Food Science & Nutrition**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 1603-1627, Mar. 2020. Disponível em: file:///C:/Users/weber/Downloads/Food_hazards_on_the_European_Union_market_The_data.pdf. Acesso em: 8 fev. 2023.

PINTO, Ana Estela de Sousa. Europa cria 'selo verde' para priorizar investimento em atividades sustentáveis. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 18 jun. 2020. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2020/06/europa-cria-selo-verde-para-priorizar-investimento-em-atividades-sustentaveis.shtml>. Acesso em: 4 dez. 2022.

PORTER, Alan L. *et al.* National nanotechnology research prominence. **Technology Analysis & Strategic Management**, [s. l.], p. 25-39, 1 June 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537325.2018.1480013>. Acesso em: 12 fev. 2023.

PORTO, Luís Fernando de Abreu; LOPES, Marcos Aurélio; ZAMBALDE, André Luiz. Desenvolvimento de um sistema de rastreabilidade aplicado à cadeia de produção do vinho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1310-1319, set./out. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/gn8WmKzmJGfBHH9vDKxS6DF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 fev. 2023.

PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues do. A avaliação do ciclo de vida (ACV) e a economia circular. **Revista Digital AD Normas**, São Paulo, 4 set. 2018. Disponível em: <https://revistaadnormas.com.br/2018/09/04/a-avaliacao-do-ciclo-de-vida-acv-e-a-economia-circular/>. Acesso em: 1 mar. 2023.

PRISECARU, Petre. Challenges of the Fourth Industrial Revolution. **Knowledge Horizons – Economics**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 57-62, 2016. Disponível em: https://econpapers.repec.org/article/khejournal/v_3a8_3ay_3a2016_3ai_3a1_3ap_3a57-62.htm. Acesso em: 5 fev. 2023.

QIAN, Jianping *et al.* Cloud-based system for rational use of pesticide to guarantee the source safety of traceable vegetables. **Food Control**, [s. l.], v. 87, p. 192-202, Mar. 2018. Disponível em: <https://doi:10.1016/j.foodcont.2017.12.015>. Acesso em: 15 fev. 2023.

RAMKUMAR, Shyaam *et al.* **Linear risks**. Contributors: Jan Raes; Laura Busato European Communications Melanie Wijnands. Graphics & lay-out Kay van 't Hof. [S. l.]: Circle Economy, PGGM, KPMG EBRD, and WBCSD, May 2018 Disponível em: https://assets.website-files.com/5d26d80e8836af2d12ed1269/5de8eff3bbf4da023e254ea4_FINAL-linear-risk-20180613.pdf. Acesso em: 6 fev. 2023.

RESÍDUO. *In*: MICHAELIS moderno dicionário da língua portuguesa. [São Paulo]: Editora Melhoramentos, c2022. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/RESÍDUO>. Acesso em: 10 fev. 2023.

RIBEIRO, Flávio de Miranda; KRUGLIANSKASA, Isak. Economia circular no contexto europeu: conceito e potenciais de contribuição na modernização das políticas de resíduos sólidos. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE (ENGEMA), 16., 2014, São Paulo. **Anais eletrônicos** [...]. São Paulo: FEA, 2014. p. 1-16. Disponível em: <https://www.engema.org.br/XVIENGEMA/473.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023.

RIBEIRO, Milton Cosme *et al.* Tecnologias de rastreabilidade, segurança e controle de resíduos de agrotóxicos na cadeia produtiva de alimentos de origem vegetal: um estudo de revisão. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 12, e5291210780, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i12.107801>. Acesso em: 18 fev. 2023.

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

ROCHA, Leonel Severo. Da epistemologia jurídica normativista ao construtivismo sistêmico II. *In*: ROCHA, Leonel Severo; SCHWARTZ, Germano; CLAM, Jean (org.). **Introdução à teoria do sistema autopoiético do direito**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2013. p. 11-44.

ROCHA, Leonel Severo. Direito, complexidade e risco. **Sequência**, Florianópolis, v. 15, n. 28, p. 1-14, jun. 1994. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/sequencia/article/view/15870/14359>. Acesso em: 18 fev. 2023.

ROCHA, Leonel Severo. Sistema do direito e transdisciplinaridade: de Pontes de Miranda à Autopoiese. *In*: SANTOS, André Leonardo Copetti; STRECK, Lenio Luiz; ROCHA, Leonel Severo (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado: anuário 2005: n. 2. Porto Alegre: Livraria do Advogado; São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2006. p. 181-193.

ROCHA, Leonel Severo; COSTA, Bernardo Leandro Carvalho. Constituição, autopoiese e acoplamento estrutural: propostas e desafios do constitucionalismo social em Luhmann e Teubner. *In*: ROCHA, Leonel Severo; COSTA, Bernardo Leandro Carvalho (org.). **O futuro da Constituição**: constitucionalismo social em Luhmann e Teubner. Porto Alegre: Editora Fi, 2021. p. 23-26. *E-book*. Disponível em: <https://www.editorafi.org/249constitucionalismo>. Acesso em: 8 mar. 2023.

ROCHA, Leonel Severo; KING, Michael; SCHWARTZ, Germano. **A verdade sobre a autopoiese do direito**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2009.

RODRÍGUEZ-SEIJO, A.; PEREIRA, R. Small plastic wastes in soils: what is our real perception of the problem? *In*: STREIT-BIANCHI, M., CIMADEVILA, M., TRETNAK, W. (ed.) **Mare plasticum - The plastic sea**. [S. l.]: Springer, 2020. p. 187-209. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-38945-1_9. Acesso em: 11 fev. 2023.

RUIZ-HITZKY, Eduardo *et al.* Nanotechnology Responses to COVID-19. **Advanced Healthcare Materials**, [s. l.], v. 9, n. 19, Oct. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adhm.202000979>. Acesso em: 5 mar. 2023.

RUSSO, Mario Augusto Tavares. **Tratamento de resíduos sólidos**. 2003. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2003. Document em PDF - texto de apoio aos alunos da Disciplina de Tratamento de Resíduo Sólidos. Disponível em: <http://homepage.ufp.pt/madinis/RSol/Web/TARS.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2023.

SAJJAD, Wasim *et al.* Metals extraction from sulfide ores with microorganisms: the bioleaching technology and recent developments. **Transactions of the Indian Institute of Metals Article**, [s. l.], v. 72, p. 559-579, Jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12666-018-1516-4>. Acesso em: 18 fev. 2023.

SALAMANCA-BUENTELLO, F. *et al.* Nanotechnology and the developing world. **PLoS Medicine**, [s. l.], v. 2, n. 5, e97, 2005. Disponível em <http://www.plosmedicine.org/article/info:doi/10.1371/journal.pmed.0020097>. Acesso em: 10 fev. 2023.

SANTOS, Gardênia Mendes de Assunção. Gestão ambiental e economia circular: ações propostas para o Brasil. *In*: LOCATELLI, Maria Regina Campaner (org.). **Sustentabilidade e responsabilidade social**: volume 9. 1. ed. Belo Horizonte: Poisson, 2018. p. 137-148.

SANTOS, Inês Moreira. Nanopartículas de plástico passam para os fetos através da placenta, indica estudo. *In*: RTPNOTÍCIAS. Lisboa, 19 mar. 2021. Disponível em: https://www.rtp.pt/noticias/mundo/nanoparticulas-de-plastico-passam-para-os-fetos-atraves-da-placenta-indica-estudo_n1305863. Acesso em: 20 fev. 2023.

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**, v. 23, n. 2, p. 417-446, maio/ago. 2018. Disponível em: https://redib.org/Record/oai_articulo1676953-direitos-ambientais-procedimentais-acesso-%C3%A0-informa%C3%A7%C3%A3o-a-participa%C3%A7%C3%A3o-p%C3%BAblica-na-tomada-de-decis%C3%A3o-e-acesso-%C3%A0-justi%C3%A7a-em-mat%C3%A9ria-ambiental. Acesso em: 17 fev. 2023.

SAVOLAINEN, Kai (coord.). **Nanosafety in Europe 2015-2025**: towards safe and sustainable nanomaterials and nanotechnology innovations. Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health, 2013. Disponível em: <http://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/reportpdf/report159.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022.

SCALBI, Simona *et al.* Nanomaterial risk from research to management: a concerted action among academia, research, industry and policy makers towards a global approach. *In*: SETAC EUROPE ANNUAL MEETING, 28., 2018, Rome. **Electronic proceedings** [...]. Rome: [s. n.], 2018. Sessions and tracks: evento ainda não realizado. Disponível em: <https://rome.setac.org/programme/scientific-programme/>. Acesso em: 18 fev. 2018.

SCHOMBERG, René von. 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. p. 51-74. *E-book*. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/9781118551424.ch3>. Acesso em: 12 fev. 2023.

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.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE SANTA CATARINA (SEBRAE/SC). **Relatório de inteligência**. [S. l.]: SEBRAE/SC, 29 jul. 2016. Disponível em: <https://atendimento.sebrae-sc.com.br/inteligencia/relatorio-de-inteligencia/certificacoes-verdes>. Acesso em: 12 fev. 2023.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI). **Design e economia circular**: diseño y economía circular. Editor: Teresa Cristina Vannucci Gouvea. 1. ed. São Paulo: SENAI-SP Editora, 2020. *E-book*. Disponível em: https://www.amazon.com.br/Design-Economia-Circular-Dise%C3%B1o/dp/8553401790/ref=asc_df_8553401790/?tag=googleshopp00-20&linkCode=df0&hvadid=379708155966&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=9662717429972593936&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmidl=&hvlocint=&hvlocphy=9047740&hvtargid=pla-973187801476&psc=1. Acesso em: 15 fev. 2023.

SHAFFER, Gregory. **Transnational legal process and state change**: opportunities and constraints. Minnesota: Ed. University of Minnesota: Law School, 2010. (Legal studies research paper series. Research paper, n. 10-28). Disponível em: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1901952. Acesso em: 20 fev. 2023.

SHANG, Yifen *et al.* Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: a review. **Molecules**, [s. l.], v. 24, n. 14, p. 1-23, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules24142558>. Acesso em: 10 fev. 2023.

SHARMA, Pooja; GULERIA, Praveen; KUMAR, Vineet. Nanomaterial recycling: an overview. *In*: RAI, Mahendra; NGUYEN, Tuan Anh (ed.). **Nanomaterials recycling**. Amsterdam: Elsevier, 2022. p. 3-19.

SHUKLA, Brijesh Kumar *et al.* Nanotechnology-based approach to combat pandemic COVID 19: a review. **Macromolecular Symposia**, [s. l.], v. 397, n. 1, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/masy.202000336>. Acesso em: 5 mar. 2023.

SHULZ, Peter. Ciência aberta para quem? Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente. **Jornal da Unicamp**, Campinas, 27 nov. 2017. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp/ju/artigos/peter-schulz/ciencia-aberta-para-quem-nanotecnologia-sociedade-e-meio-ambiente>. Acesso em: 6 mar. 2023.

SILVA, Rosana de Oliveira Pithan e. **Rastreabilidade nas cadeias de carnes**. São Paulo: Instituto de Economia Agrícola (IEA), 16 jun. 2005. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=2509>. Acesso em: 15 fev. 2023.

SILVA, Sandra Regina da; GOMES, Adriana Salles. Sustentabilidade e o efeito bolsa de neve. Dossiê ESG: veja, escute, fale e lidere. **HSM Management**, [s. l.], ed. 143, p. 36-43, nov./dez. 2020.

SILVA, Thainy Genny Esteves *et al.* Economia circular: um panorama do estado da arte das políticas públicas no Brasil. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 21, n. 3, p. 951-972, 2021. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/4354>. Acesso em: 15 fev. 2023.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS (SINIR). **Tipos de resíduos**. Brasília, DF: SINIR, [2012]. Disponível em: <https://www.sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/>. Acesso em: 2 mar. 2023.

SITRA. **The circular economy**: a powerful force for climate mitigation: transformative innovation for prosperous and low-carbon industry. [S. l.]: Sitra, 2018. Disponível em: <https://www.sitra.fi/app/uploads/2018/06/the-circular-economy-a-powerful-force-for-climate-mitigation.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2023.

SITRA; TECHNOLOGY INDUSTRIES OF FINLAND; ACCENTURE. **Circular economy business models for the manufacturing industry**: circular economy playbook for finnish SMEs. [S. l.]: Sitra: Technology Industries of Finland: Accenture, 2018. Disponível em: https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/20180919_Circular%20Economy%20Playbook%20for%20Manufacturing_v1%2000.pdf. Acesso em: 3 mar. 2023.

SOLETTI, Rossana. [S. l.], 2022. Instagram: @maternidade.com.ciencia. Disponível em: <https://www.instagram.com/maternidade.com.ciencia/>. Acesso em: 1 mar. 2023.

SONDA, Mateus Bertolin. **A rastreabilidade como ferramenta de apoio à gestão em uma indústria de plásticos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/4220/Dissertacao%20Mateus%20Bertolin%20Sonda.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 11 fev. 2023.

SONG, Yuchao *et al.* Similarity assessment of metallic nanoparticles within a risk assessment framework: a case study on metallic nanoparticles and lettuce. **NanoImpact**, [s. l.], v. 26, n. 100397, Apr. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452074822000192>. Acesso em: 1 mar. 2023.

SOUZA, Marcelo. Política estadual de economia circular e o selo de produto economicamente circular. *In*: LINKEDIN. [S. l.], 10 out. 2022. Disponível em: https://pt.linkedin.com/pulse/pol%C3%ADtica-estadual-de-economia-circular-e-o-selo-produto-marcelo-souza?trk=pulse-article_more-articles_related-content-card. Acesso em: 12 fev. 2023.

SOUZA, Marcelo. Quarta Revolução Industrial, as peças que faltavam para o advento da economia circular. *In*: INDÚSTRIA 4.0. [S. l.], 2 maio 2020. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/19854-quarta-revolucao-industrial-as-pecas-que-faltavam-para-o-advento-da-economia-circular>. Acesso em: 11 fev. 2023.

STAFFEN, Márcio Ricardo. **Interfaces do direito global**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2015.

STAHEL, Walter R. **The circular economy**: a user's guide. Abingdon. Nova York: Routledge, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://dokumen.pub/the-circular-economy-a-users-guide-0367200147-9780367200145-0367200171-9780367200176.html>. Acesso em: 8 fev. 2023.

STAPLETON, P. A. Toxicological considerations of nano-sized plastics. **AIMS Environmental Science**, [s. l.], v. 6, n. 5, p. 367-378, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3934/environsci.2019.5.367>. Acesso em: 2 mar. 2023.

STONE, Vicki. Hypotheses and IATAs. Coauthor: Fiona Murphy; Affiliation: Heriot-Watt. **Gracious**. [S. l.]: European Union, 2020. Disponível em: <https://www.h2020gracious.eu/files/documents/GRACIOUS%20hypotheses%20and%20IATAs%20shared%20post%20meeting.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2023.

SUPIOT, Alain. **Homo juridicus**: ensaio sobre a função antropológica do direito. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

TENA, Emilio Cerdá. Principios y características de la economía circular. *In*: JIMÉNEZ HERRERO, Luis M.; PÉREZ LAGÜELA, Elena (coord.). **Economía circular-espiral**: transición hacia um metabolismo económico cerrado. 1ª ed. Madrid: Ecobook, 2019. p. 109-130.

TEUBNER, Gunter. A Bukowina global sobre a emergência de um pluralismo jurídico transnacional. **Impulso**, Piracicaba, v. 14, n. 33, p. 9-31, 2003. Disponível em: <http://livrozilla.com/doc/1623775/a-bukowina-global-sobre-a-emerg%C3%Aancia-de-um-pluralismo>. Acesso em: 15 dez. 2022.

TEUBNER, Gunther. **Direito, sistema e policontexturalidade**. Apresentação: Dorothee Susanne Rüdiger. Introdução: Rodrigo Octávio Broglia Mendes. Piracicaba: Ed. UNIMEP, 2005.

TEUBNER, Gunther. **Fragmentos constitucionais**: constitucionalismo social na globalização. Coordenação: Marcelo Neves. São Paulo: Saraiva, 2016.

TEUBNER, Gunther. **Jurisprudência sociológica**. São Paulo: Saraiva, 2020. (Série IDP).

TEUBNER, Gunther. **O direito como sistema autopoietico**. Tradução de José Engracia Antunes. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1989.

THE GLOBAL COMPACT. **Who cares wins**: connecting financial markets to a changing World. [S. l.]: The Global Compact, Dec. 2004. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/280911488968799581/pdf/113237-WP-WhoCaresWins-2004.pdf>. Acesso em 20 fev. 2023.

THE ROYAL SOCIETY; THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. **Nanoscience and nanotechnologies**: opportunities and uncertainties. London: The Royal Society: The Royal Academy of Engineering July 2004. Disponível em: https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/2004/9693.pdf. Acesso em: 10 fev. 2023.

TNS INNOVATION. **Nanopartículas em frutos**: conheça os benefícios. [S. l.]: TNS Innovation, 2015. Disponível em: <http://tnsolution.com.br/2015/08/26/nanotecnologia-na-industria-de-alimentos/>. Acesso em: 2 mar. 2023.

TOO close for comfort? Relationships between industry and researchers can be hard to define, but universities and other institutions must do more to scrutinize the work of their scientists for conflicts of interest. **Nature**, [s. l.], v. 525, n. 289, Sept. 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/525289a>. Acesso em: 11 fev. 2023.

TORONTO ENVIRONMENTAL ALLIANCE (TEA). **How long does it take for a plastic bag to break down?** Toronto: Toronto Environmental Alliance, [2022?]).

Disponível em:

https://www.torontoenvironment.org/how_long_does_it_take_for_a_plastic_bag_to_break_down. Acesso em: 18 fev. 2023.

TÓTH, Gergely. Circular economy and its Comparison with 14 Other Business Sustainability Movements. **Resources**, [s. l.], v. 8, 4, ano 159, p. 1-19, 2019.

Disponível em: <https://doi.org/10.3390/resources8040159>. Acesso em: 18 fev. 2023.

TRUONG, Phuoc Loc *et al.* Advancement in COVID-19 detection using nanomaterial-based biosensors. **Exploration**, [s. l.], v. 3, n. 1, Feb. 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/EXP.20210232>. Acesso em: 2 mar. 2023.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP); INTERNATIONAL RESOURCE PANEL (IRP). **Re-defining value - The manufacturing revolution: remanufacturing, refurbishment, repair and direct reuse in the circular economy - factsheet industry**. [S. l.]: UNEP: IRP, 2018. Disponível em:

<https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/31618;jsessionid=365DE9C155C8EB6112907EF951A7E561>. Acesso em: 12 fev. 2023.

UNITED NATIONS INFORMATION CENTRES (UNICs). **Bringing data to life: SDG human impact stories from across the globe**. [S. l.]: UNICs, 2022. Disponível em: https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/SDG2022_Flipbook_final.pdf. Acesso em: 14 fev. 2023.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs Population Division. **World population prospects 2022**. Nova York: UN, 2022. Disponível em: <https://esa.un.org/unpd/wpp/DataQuery/>. Acesso em: 21 fev. 2023.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development. **Sustainable development goals**. [S. l.]: United Nations, 2017. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goal>. Acesso em: 18 fev. 2023.

UNITED NATIONS. **Global Sustainable Development Report 2019**. [S. l.]: United Nations, 2019. Disponível em: https://sdgs.un.org/sites/default/files/2020-07/24797GSDR_report_2019.pdf. Acesso em: 17 fev. 2023.

UNITED STATES. Government Accountability Office (GAO). **Nanomanufacturing: emergence and implications for U.S. competitiveness, the environment, and human health: highlights of a forum: report to congressional requesters**. Washington: GAO, Jan. 2014. Disponível em: <https://www.gao.gov/assets/670/660591.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2023.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). Instituto de Física de São Carlos (IFSC/USP). Assessoria de Comunicação – IFSC/USP. **A importância da Nanotecnologia no combate à COVID-19**. São Paulo: USP/IFSC, 2020. Disponível em: <https://www2.ifsc.usp.br/portal-ifsc/nanotecnologia-e-covid-19/>. Acesso em: 3 mar. 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA (UFJF). Nanotecnologia no combate ao coronavírus. **UFJF Notícias**, Juiz de Fora 9 abr. 2021. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/noticias/2021/04/09/nanotecnologia-no-combate-ao-coronavirus/>. Acesso em: 3 mar. 2023.

VIANA, Ednilson. Resíduos sólidos: os desafios de uma gestão sustentável. Entrevista especial com Ednilson Viana. [Entrevista cedida a] Patricia Fachin. **IHU On-Line**: Revista do Instituto Humanitas Unisinos, São Leopoldo, 5 nov. 2015. Disponível em: <http://www.ihu.unisinos.br/entrevistas/548619-residuos-solidos-os-desafios-de-uma-gestao-sustentavel-entrevista-especial-com-ednilson-viana>. Acesso em: 10 fev. 2023.

VISWANATH, Buddolla; KIM, Sanghyo. Influence of nanotoxicity on human health and environment: the alternative strategies. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, [s. l.], v. 242, p. 61-104, 2017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27718008>. Acesso em: 12 fev. 2023.

WAGNER, Stephan; REEMTSMA, Thorsten. Things we know and don't know about nanoplastic in the environment. **Nature Nanotechnology**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 300-301, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0424-z>. Acesso em: 17 fev. 2023.

WANG, Peng *et al.* Nanotechnology: a new opportunity in plant sciences. **Trends in Plant Science**, [s. l.], v. 21, n. 8, p. 699-712, Aug. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.04.005>. Acesso em: 20 dez. 2022.

WEBER, Carlos Eduardo. **Rastreabilidade de objetos aplicada a resíduos de equipamentos eletroeletrônicos**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3141/tde-19112021-104226/publico/CarlosEduardoWeberCorr.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2023.

WEETMAN, Catherine. **Economia circular**: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa. Tradução Afonso Celso da Cunha Serra. 1. ed. São Paulo: Autêntica Business, 2019.

WEILAND, Sabine *et al.* The 2030 Agenda for sustainable development: transformative change through sustainable development goals? **Politics and Governance**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 90-95, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.17645/pag.v9i1.4191>. Acesso em: 1 mar. 2023.

WEYERMÜLLER, André Rafael. A fragmentação do projeto moderno e a necessidade de construção de um estado constitucional ecológico na sociedade de risco globalizada. **Veredas do Direito – Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, Belo Horizonte, v. 8, n. 15, p. 63-96, jan./jun. 2011. Disponível em: <http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/153/166>. Acesso em: 15 fev. 2023.

WEYERMÜLLER, André Rafael; SILVA, Bruno de Lima; FIGUEIREDO, João Alcione Sganderla. O direito e os nanoalimentos: regulação, riscos e incertezas. *In*: ENGELMANN, Wilson; HUPFFER, Haide Maria (org.). **Impactos sociais e jurídicos das nanotecnologias**. São Leopoldo: Casa Leiria, 2017. p. 185-206. *E-book*.

Disponível em:

<http://www.guaritadigital.com.br/casaleiria/acervo/engelmann/impactos.html>. Acesso em: 15 fev. 2023.

WHITE, Jason C.; GARDEA-TORRESDEY, Jorge. Achieving food security through the very small. Nanotechnology and agriculture. **Nature Nanotechnology**, [s. l.], v. 13, p. 627-629, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41565-018-0223-y>. Acesso em: 20 fev. 2023.

WIDYAWATI, Luluk. A systematic literature review of socially responsible investment and environmental social governance metrics. **Business Strategy and the Environment**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 619-637, Feb. 2020. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/bla/bstrat/v29y2020i2p619-637.html>. Acesso em: 10 fev. 2023.

WISNIESKI, Alex. **Rastreabilidade na cadeia produtiva de uma indústria metal mecânica**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia da Produção) – Departamento de Gestão e Economia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em:

https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/18784/1/CT_CEEP_I_2017_04.pdf. Acesso em: 19 fev. 2023.

WITTMANN, Cristian Ricardo. **Programas de integridade (compliance programs) e o direito na sociedade global: a concepção de um campo autônomo de regulação das nanotecnologias em usos militares**. 2016. Tese (Doutorado em Direito) – Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016. Disponível em:

http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/6257/Cristian%20Ricardo%20Wittmann_pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 6 mar. 2023.

XAVIER, Lúcia Helena; CORREA, Henrique Luiz. **Sistemas de logística reversa: criando cadeias de suprimento sustentáveis**. São Paulo: Atlas, 2013.

XIA, Tianjiao *et al.* Cation-Inhibited transport of graphene oxide nanomaterials in saturated porous media: the hofmeister effects. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 51, n. 2, p. 828-837, 2017. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.6b05007>. Acesso em: 6 mar. 2023.

XU, Yi *et al.* Recent advancement in nano-optical strategies for detection of pathogenic bacteria and their metabolites in food safety. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 63, n. 4, p. 486-504, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34281447/>. Acesso em: 1 mar. 2023.

YOUNIS, Sherif A.; EL-FAWAL, Esraa M.; SERP, Philippe. Nano-wastes and the environment: Potential challenges and opportunities of nano-waste management paradigm for greener nanotechnologies. *In*: HUSSAIN, C. (ed.). **Handbook of environmental materials management**. Switzerland: Springer, 2018. p. 1-72.

ZAHRA, Z. *et al.* Nanowaste: another future waste, its sources, release mechanism, and removal strategies in the environment. ***Sustainability***, [s. l.], v. 14, n. 4, Feb. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14042041>. Acesso em: 22 fev. 2023.

ZARBIN, Aldo J. G. Química de (nano)materiais. ***Química Nova***, São Paulo, v. 30, n. 6, p. 1469-1479, nov./dez. 2007. Disponível em: http://static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/Vol30No6_1469_15-S07432.pdf. Acesso em: 4 mar. 2023.

ZHANG, Bangwei *et al.* Environmental Impacts of Nanotechnology and Its Products. *In*: CONFERENCE OF THE AMERICAN SOCIETY FOR ENGINEERING EDUCATION, 2011. **Electronic proceedings** [...]. [S. l.: s. n.], 2011. Documento em PDF.

APÊNDICE A – PESQUISA NO PORTAL DE PERIÓDICOS DA CAPES

“Prints” das telas que comprovam os dados extraídos pela última vez em 27.02.2023, incluindo no parâmetro de busca, além da palavra-chave, o período de 2018-2023.

→Tela- pesquisa com palavra-chave *NANOWASTE* e *RESÍDUOS NANOTECNOLÓGICOS*:

97 indicações

nanowaste × 🔍 BUSCA AVANÇADA

Personalizar meus resultados
 Expandir meus resultados

Ordenar por Relevância ▾

Disponibilidade [^]

- Recurso On-line (97)
- Periódicos revisados por pares (66)
- Acesso Aberto

Tipo de recurso [^]

- Artigos (87)
- Artigos de newsletter (3)
- Capítulos de livro (3)
- Artigos de jornal (2)
- Entradas de referência (1)
- Mostrar mais

BASE DE DADOS SUGERIDA

Scopus[®] Scopus

A Elsevier disponibiliza centenas de artigos de revistas científicas e capítulos de livros relacionados ao monkeypox que podem ser acessados gratuitamente. Também há pesquisas e informações clínicas relevantes.

0 selecionado(s) PÁGINA 1 1-10 of 97 Resultados 📌 ⋮

1 ARTIGO ” ✉ 📌 ⋮

Treatment of CrVI-Containing Mg(OH)₂ Nanowaste
 Liu, Weizhen ; Huang, Feng ; Liao, Yiqun ; Zhang, Jing ; Ren, Guoqiang ; Zhuang, Zangyong ; Zhen, Jinsheng ; Lin, Zhang ; Wang, Chen
 Don't waste it! The treatment of Mg(OH)₂ nanowaste containing CrVI with NaHCO₃+Na₂CO₃ as mineralizer converts this nanowaste into a nontoxic bulk material and a concentrated solution containing the heavy metal in a two-step process involving desorption of the CrVI and the rapid growth of nanocrystals for complete separation from...
 Angewandte Chemie (International ed.), 2008, Vol.47 (30), p.5619-5622
 “ Don't waste it! The treatment of Mg(OH)₂ nanowaste containing CrVI with NaHCO₃+Na₂CO₃ as mineralizer converts this nanowaste into a nontoxic bulk material and a concentrated solution containing the heavy metal in a two... ”

⬆ Voltar ao topo

→ Divisão da palavra-chave em “tipo de recurso” no portal:

Recurso On-line (97)

Periódicos revisados por pares (66)

Acesso Aberto

Tipo de recurso ^

- Artigos (87)
- Artigos de newsletter (3)
- Capítulos de livro (3)
- Artigos de jornal (2)
- Entradas de referência (1)

Mostrar mais

Assunto ^

- Science & Technology (52)
- Life Sciences & (33)

0 selecionado(s) PÁGINA 1 1-50 of 97 Resultados

1 ARTIGO

Treatment of CrVI-Containing Mg(OH)₂ Nanowaste

Liu, Weizhen ; Huang, Feng ; Liao, Yiqun ; Zhang, Jing ; Ren, Guoqiang ; Zhuang, Zangyong ; Zhen, Jinsheng ; Lin, Zhang ; Wang, Chen

Don't waste it! The treatment of Mg(OH)₂ nanowaste containing CrVI with NaHCO₃+Na₂CO₃ as mineralizer converts this nanowaste into a nontoxic bulk material and a concentrated solution containing the heavy metal in a two-step process involving desorption of the CrVI and the rapid growth of nanocrystals for complete separation from...
Angewandte Chemie (International ed.), 2008, Vol.47 (30), p.5619-5622

“ Don't waste it! The treatment of Mg(OH)₂ nanowaste containing CrVI with NaHCO₃+Na₂CO₃ as mineralizer converts this nanowaste into a nontoxic bulk material and a concentrated solution containing the heavy metal in a two...”

REVISADO POR PARES

[Texto completo disponível](#) >

→Tela- pesquisa com palavra-chave *NANOPLASTIC*: 3249 INDICAÇÕES

nanoplastic

× 🔍

BUSCA AVANÇADA

Filtros ativos

Anos: 2019-2024 ✕

🔒 Lembrar todos os filtros

🔄 Limpar filtros

Personalizar meus resultados

Expandir meus resultados

Ordenar por Relevância ▾

Disponibilidade ^

Recurso On-line (3,249)

Periódicos revisados (2,245)
por pares

Acesso Aberto

Tipo de recurso ^

Artigos (2,366)

Artigos de newsletter (794)

Conjuntos de dados (54)

BASE DE DADOS SUGERIDA

Scopus Scopus

A Elsevier disponibiliza centenas de artigos de revistas científicas e capítulos de livros relacionados ao monkeypox que podem ser acessados gratuitamente. Também há pesquisas e informações clínicas relevantes.

0 selecionado(s) **PÁGINA 1** 1-50 of 3.249 Resultados ▾

1

ARTIGO

Removal efficiency of micro- and nanoplastics (180 nm–125 µm) during drinking water treatment

Zhang, Yongli ; Diehl, Allison ; Lewandowski, Ashton ; Gopalakrishnan, Kishore ; Baker, Tracie

This study investigated the removal efficiency of micro- and nanoplastics (180 nm–125 µm) during drinking water treatment, particularly coagulation/flocculation combined with sedimentation (CFS) and granular filtration under ordinary working conditions at water treatment plants (WTPs). It also studied the interactions between biofilms and microplasti... The Science of the total environment, 2020, Vol.720, p.137383-137383

“ This study investigated the removal efficiency of micro- and nanoplastics (180 nm–125 µm) during drinking water treatment, particularly coagulation/flocculation combined with sedimentation... ”

🔗 📄 🗣 ✉ 🌟 ⋮

⬆️ Voltar ao topo

→ Divisão da palavra-chave *NANOPLASTIC* em “tipo de recurso” no portal:

Acesso Aberto

Tipo de recurso ^

- Artigos (2.366)
- Artigos de newsletter (794)
- Conjuntos de dados (54)
- Artigos de jornal (13)
- Gravações de Vídeo (7)
- Capítulos de livro (5)
- web_resources (4)
- Imagens (3)
- Relatórios (2)
- Outros (1)

Acesso Aberto

This study investigated the removal efficiency of micro- and nan during drinking water treatment, particularly coagulation/flocculation, sedimentation (CFS) and granular filtration under ordinary working conditions at two treatment plants (WTPs). It also studied the interactions between microplastics and natural organic matter. *The Science of the total environment*, 2020, Vol.720, p.137383-137392.

“ This study investigated the removal efficiency of micro- and nan (180 nm–125 μm) during drinking water treatment, particularly combined with sedimentation...”

REVISADO POR PARES Acesso Aberto

Texto completo disponível >

2

ARTIGO

Proxies for Nanoplastic

Koelmans, A.A

The ability to synthesize metal-doped nanoplastic opens window potential environmental hazards that nanoplastic poses. *Nature Nanotechnology*, 2019, Vol.14 (4), p.307-308

→Tela- pesquisa com palavra-chave “Nanoplástico”: acabou por coletar mais 11, abrangendo a língua espanhola e francesa

nanoplástico

× 🔍

BUSCA AVANÇADA

Personalizar meus resultados

Expandir meus resultados

Ordenar por Relevância ▾

Disponibilidade ^

Recurso On-line (11)

Periódicos revisados por pares (1)

Acesso Aberto

Tipo de recurso ^

Artigos (8)

web_resources (3)

Assunto ^

Ciências Experimentais (3)

Nanoplásticos (2)

Microplásticos (2)

Biomarcadores (1)

BASE DE DADOS SUGERIDA

Scopus Scopus

A Elsevier disponibiliza centenas de artigos de revistas científicas e capítulos de livros relacionados ao monkeypox que podem ser acessados gratuitamente. Também há pesquisas e informações clínicas relevantes.

0 selecionado(s) 1-11 of 11 Resultados ▾

1 **RECURSOS WEB** ” ✉ 📌 ...

Short-term effects of nanoplastics in fish : analysis of gene expression and biochemical endpoints in model species

Brandts, Irene 2022

La contaminació per plàstic és una preocupació ecològica actual, que està rebent creixent atenció per part de la societat, la comunitat científica i els governs. La major part de la contaminació plàstica és causada per petits fragments de plàstic, els microplàstics i nanoplàstics (NP), actualment considerats contaminants emergents. La disminució de la...

Acesso Aberto

[🔗 Texto completo disponível](#) 🔗 >

⬆️ Voltar ao topo

→Tela- pesquisa com palavra-chave *SUSTENTABILIDADE*: 19.355 INDICAÇÕES

The screenshot shows a search interface for Scopus. At the top, a search bar contains the query: "Qualquer campo contém sustentabilidade E Qualquer campo contém ____". A "BUSCAR" button is to the right. Below the search bar, the left sidebar contains filters: "Filtros ativos" with "Anos: 2018-2023" selected, "Lembrar todos os filtros" (checked), "Limpar filtros", "Personalizar meus resultados" (unchecked), "Expandir meus resultados" (checked), "Ordenar por Relevância", "Disponibilidade" (with options: "Recurso On-line (19.355)", "Periódicos revisados por pares (6.354)", "Acesso Aberto"), and "Tipo de recurso" (with "Artigos (10.285)"). The main content area shows a "BASE DE DADOS SUGERIDA" section for Scopus, with a snippet about Elsevier's free access to monkeypox-related articles. Below this, a search results list shows one result: an article titled "Sustentabilidade" by Henrique Rattner, published in "Revista espaço acadêmico, 2020, Vol.4 (38)". The article is marked as "REVISADO POR PARES" and "Acesso Aberto". A "Voltar ao topo" button is in the bottom right corner.

Qualquer campo contém **sustentabilidade** E Qualquer campo contém ____ **BUSCAR**

Filtros ativos
Anos: 2018-2023 X
Lembrar todos os filtros
Limpar filtros
Personalizar meus resultados
Expandir meus resultados
Ordenar por Relevância
Disponibilidade
Recurso On-line (19.355)
Periódicos revisados por pares (6.354)
Acesso Aberto
Tipo de recurso
Artigos (10.285)

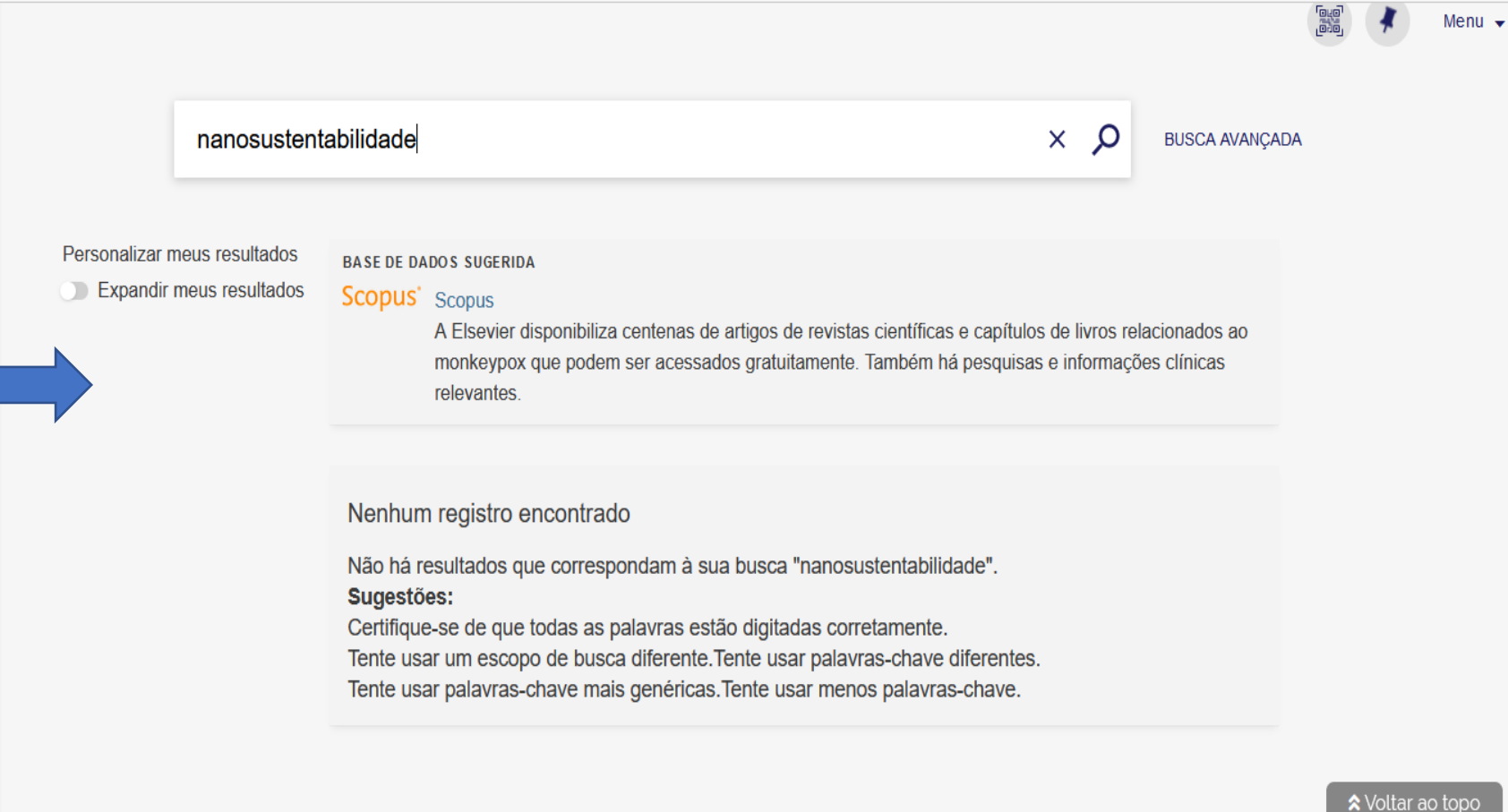
BASE DE DADOS SUGERIDA
Scopus Scopus
A Elsevier disponibiliza centenas de artigos de revistas científicas e capítulos de livros relacionados ao monkeypox que podem ser acessados gratuitamente. Também há pesquisas e informações clínicas relevantes.

0 selecionado(s) PÁGINA 1 1-50 of 19.355 Resultados

ARTIGO
Sustentabilidade
Henrique Rattner
Vivemos em plena era do fracasso do paradigma oficial de desenvolvimento e da ideologia dominante. Antes, afirmava-se que era preciso primeiro fazer crescer o bolo, para depois distribuí-lo. Hoje, com a bolsa de valores sendo considerada indicador de progresso, o bolo não cresce mais e nem se sabe o que produzir e para quem? Alma/SFX Local Collection...
Revista espaço acadêmico, 2020, Vol.4 (38)
REVISADO POR PARES Acesso Aberto
Texto completo disponível em

Voltar ao topo

→Tela- pesquisa com palavra-chave NANOSUSTENTABILIDADE: 0 (ZERO)INDICAÇÕES



The screenshot shows a search interface with the following elements:

- Search Bar:** Contains the text "nanosustentabilidade" and a search icon. To the right is a link for "BUSCA AVANÇADA".
- Personalization:** A section titled "Personalizar meus resultados" with a toggle switch for "Expandir meus resultados". A blue arrow points to this section.
- Suggested Database:** A box titled "BASE DE DADOS SUGERIDA" for "Scopus". It includes a description: "A Elsevier disponibiliza centenas de artigos de revistas científicas e capítulos de livros relacionados ao monkeypox que podem ser acessados gratuitamente. Também há pesquisas e informações clínicas relevantes."
- Search Results:** A message stating "Nenhum registro encontrado" (No records found) and "Não há resultados que correspondam à sua busca 'nanosustentabilidade'." (No results correspond to your search 'nanosustentabilidade').
- Suggestions:** A section titled "Sugestões:" with advice: "Certifique-se de que todas as palavras estão digitadas corretamente.", "Tente usar um escopo de busca diferente. Tente usar palavras-chave diferentes.", and "Tente usar palavras-chave mais genéricas. Tente usar menos palavras-chave."
- Footer:** A button labeled "Voltar ao topo" (Return to top).

→Tela- pesquisa com palavra-chave *ECONOMIA CIRCULAR*: 344 INDICAÇÕES

Search results for "economia circular" (344 results).

Filtros ativos
Anos: 2018-2023 X
Lembrar todos os filtros
Limpar filtros

Personalizar meus resultados
Expandir meus resultados

Ordenar por Relevância

Disponibilidade
Recurso On-line (334)
Periódicos revisados por pares (175)
Acesso Aberto

Tipo de recurso
Artigos (287)
Artigos de jornal (24)

BASE DE DADOS SUGERIDA
Scopus Scopus
A Elsevier disponibiliza centenas de artigos de revistas científicas e capítulos de livros relacionados ao monkeypox que podem ser acessados gratuitamente. Também há pesquisas e informações clínicas relevantes.

0 selecionado(s) PÁGINA 1 1-50 of 334 Resultados

ARTIGO
1 **Economia Circular Inclusiva: a inclusão social como atributo sistêmico do Design para a Economia Circular em contextos econômicos emergentes**
Lepre, Priscilla Ramalho
Em contextos emergentes, como o brasileiro, atores sociais em condição de vulnerabilidade financeira ou social desempenham um papel fundamental na promoção da **Economia Circular**, participando da coleta, separação, correta destinação, transformação, valorização e manutenção de matérias-primas em ciclos contínuos de uso, reduzindo,...
Estudos em design, 2022, Vol.30 (3)
[Texto completo disponível](#)

Voltar ao topo

→ Divisão da palavra-chave *ECONOMIA CIRCULAR* em “tipo de recurso” no portal:

Disponibilidade ^

- Recurso On-line (334)
- Periódicos revisados por pares (175)
- Acesso Aberto

Tipo de recurso ^

- Artigos (287)
- Artigos de jornal (24)
- Gravações de Vídeo (12)
- web_resources (5)
- Resenhas (3)
- Relatórios (2)
- Artigos de newsletter (1)


Assunto ^

emergentes

Lepre, Priscilla Ramalho

Em contextos emergentes, como o brasileiro, atores sociais em condição vulnerabilidade financeira ou social desempenham um papel fundamental Economia Circular, participando da coleta, separação, correta destinação valorização e manutenção de matérias-primas em ciclos contínuos de uso. Estudos em design, 2022, Vol.30 (3)

[Texto completo disponível](#) >

2  **ARTIGO**

ECONOMIA CIRCULAR: UM NOVO VALOR PARA NEGOCIOS SUSTENTAVEIS

da Silva, Valdenildo Pedro

Em tempos de colapso e desperdícios ambientais, torna-se essencial a economia circular, centrada na redução, reutilização, restauração e regeneração de materiais e energia em circuitos fechados. O modelo econômico linear vigente é insustentável e está em seu limite. Conduzido pela filosofia extrair-fabricar-descartar. Revista de administração de empresas, 2019, Vol.59 (3), p.222

→Tela- pesquisa com palavra-chave *CIRCULAR ECONOMY*: 7009 INDICAÇÕES

The screenshot displays a search interface for the term "circular economy". At the top, the search bar contains "circular economy" and "BUSCA AVANÇADA". On the left, there are active filters: "Anos: 2018-2023" and "Expandir meus resultados". The main content area features a "BASE DE DADOS SUGERIDA" section for Scopus, followed by a results list. The first result is a book titled "3D Printing with Biomaterials - Towards a Sustainable and Circular Economy" by A. J. M. Van Wijk and Iris van Wijk (2015), with a "CAPES_SFX_OPEN" label and an "Acesso on-line" link. The second result is a journal article from the "European Journal of Social Impact and Circular Economy", also with a "CAPES_SFX_OPEN" label and an "Acesso on-line" link. A "Voltar ao topo" button is located at the bottom right.

Search results for "circular economy" (7009 results):

- Filtros ativos:** Anos: 2018-2023
- BASE DE DADOS SUGERIDA:** Scopus
- Resultado 1:** LIVRO: 3D Printing with Biomaterials - Towards a Sustainable and Circular Economy. A. J. M. Van Wijk Iris van Wijk 2015. CAPES_SFX_OPEN. Acesso on-line.
- Resultado 2:** PERIÓDICO: European Journal of Social Impact and Circular Economy. CAPES_SFX_OPEN. Acesso on-line.


→ Divisão da palavra-chave *ECONOMY CIRCULAR* em “tipo de recurso” no portal:


Acesso Aberto


Tipo de recurso ^

- Artigos (5.480)
- Artigos de newsletter (819)
- Artigos de jornal (204)
- Capítulos de livro (196)
- Conjuntos de dados (143)
- Atas de congressos (51)
- Relatórios (34)
- Gravações de Vídeo (26)
- Livros (19)
- Resenhas (16)
- Imagens (7)
- web_resources (4)
- Outros (3)
- Entradas de referência (3)
- Recursos textuais (2)
- Periódicos (1)
- Dissertações (1)

0 selecionado(s) PÁGINA 1 1-50 of 7.009 Resultados

1  LIVRO
3D Printing with Biomaterials - Towards a Sustainable and Circular Economy
 A. J. M. Van Wijk Iris van Wijk 2015
 CAPES_SFX_OPEN
[Acesso on-line](#) >

2  PERIÓDICO
European Journal of Social Impact and Circular Economy
 CAPES_SFX_OPEN
[Acesso on-line](#) >

3  ARTIGO
Circular Economy: The Concept and its Limitations
 Korhonen, Jouni ; Honkasalo, Antero ; Seppälä, Jyri
 Circular economy (CE) is currently a popular concept promoted by the EU, by several national governments and by many businesses around the world. However, the scientific and research content of the CE concept is superficial and unorganized. CE seems to be a collection of vague and separate ideas from several fields and semi-scientific concepts. Ecological economics, 2018, Vol.143, p.37-46
 REVISADO POR PARES

→Tela- pesquisa com palavra-chave *RASTREABILIDADE*: 29 INDICAÇÕES

← → ↻ <https://www-periodicos-capes-gov-br.ez101.periodicos.capes.gov.br/index.php/buscaador-primo.html> ☆

Filtros ativos
Anos: 2018-2022 X

Lembrar todos os filtros
 Limpar filtros

Personalizar meus resultados
 Expandir meus resultados

Ordenar por Relevância ▾

Disponibilidade ^
Recurso On-line (29)
Periódicos revisados por pares (19)
Acesso Aberto

Tipo de recurso ^
Artigos (28)
Dissertações (1)

Assunto ^
Rastreabilidade (5)
Tracking (2)

BASE DE DADOS SUGERIDA
Scopus Scopus
A Elsevier disponibiliza centenas de artigos de revistas científicas e capítulos de livros relacionados ao monkeypox que podem ser acessados gratuitamente. Também há pesquisas e informações clínicas relevantes.

0 selecionado(s) 1-29 of 29 Resultados ▾

1 ARTIGO ” ✉ 📌 ⋮
Agrotóxicos e a rastreabilidade de suas embalagens no Cerrado piauiense
Rodrigues, Miguel Antônio ; Lopes, João Batista ; Silva, Elaine Aparecida da
Objetivou-se propor um sistema de logística reversa de embalagens de agrotóxicos para a agricultura do Cerrado piauiense. A pesquisa foi feita por meio de entrevistas semiestruturadas com os representantes da Agência de Defesa Agropecuária do Piauí (ADAPI), órgão responsável pela fiscalização in loco da rotina do uso de agrotóxicos por...
Revista em agronegócio e meio ambiente, 2022, Vol.15 (4), p.1-17
 Acesso Aberto
[🔗 Texto completo disponível](#) 📄 >

2 ARTIGO ” ✉ 📌 ⋮
Rastreabilidade na bovinocultura brasileira: Condições e benefícios
Juliano Vieira Almeida ; Ricardo Francischini ; Frederico Fonseca da Silva ; Vanderlei Bett
O objetivo desse trabalho foi destacar o uso da rastreabilidade na produção da carne

Voltar ao topo

→ Divisão da palavra-chave *RASTREABILIDADE* em “tipo de recurso” no portal:

The screenshot shows a search results interface. On the left, there are filters for 'Disponibilidade' (29 on-line, 19 reviewed), 'Tipo de recurso' (28 articles, 1 dissertation), and 'Assunto' (5 on traceability). The main area shows two search results, both articles. The first article is titled 'Agrotóxicos e a rastreabilidade de suas embalagens no Cerrado piauiense' and the second is 'Rastreabilidade na bovinocultura brasileira: Condições e benefícios'. Both articles have a 'Texto completo disponível' link.

Disponibilidade ^

- Recurso On-line (29)
- Periódicos revisados por pares (19)
- Acesso Aberto

Tipo de recurso ^

- Artigos (28)
- Dissertações (1)

Assunto ^

- Rastreabilidade (5)

1 ARTIGO ” ✉ 📌

Agrotóxicos e a rastreabilidade de suas embalagens no Cerrado piauiense

Rodrigues, Miguel Antônio ; Lopes, João Batista ; Silva, Elaine Aparecida da

Objetivou-se propor um sistema de logística reversa de embalagens de agrotóxicos para a agricultura do Cerrado piauiense. A pesquisa foi feita por meio de entrevistas semiestruturadas com os representantes da Agência de Defesa Agropecuária do Piauí (ADAPI), órgão responsável pela fiscalização in loco da rotina do uso de agrotóxicos por... Revista em agronegócio e meio ambiente, 2022, Vol.15 (4), p.1-17

Acesso Aberto

[Texto completo disponível](#) >

2 ARTIGO ” ✉ 📌

Rastreabilidade na bovinocultura brasileira: Condições e benefícios

Juliano Vieira Almeida ; Ricardo Francischini ; Frederico Fonseca da Silva ; Vanderlei Bett

O objetivo desse trabalho foi destacar o uso da rastreabilidade na produção da carne bovina e levantar os aspectos positivos desta tecnologia no complexo. A implantação da rastreabilidade no Brasil provocou mudanças no habito dos pecuaristas, que estão tendo

OBS: Se voltarmos o parâmetro temporal, a coleta a partir de 2022, por exemplo, chegaria a 127 indicações

→Tela- pesquisa com palavra-chave *TRACEABILITY*: 2287 INDICAÇÕES

The screenshot shows a search interface with the following elements:

- Search Bar:** Contains the text "traceability" and a magnifying glass icon. To the right, it says "BUSCA AVANÇADA" and has a pin icon and an upward arrow.
- Filters (Filtros ativos):**
 - Anos: 2018-2023 (with a close icon)
 - Lembrar todos os filtros (with a lock icon)
 - Limpar filtros (with a refresh icon)
- Personalizar meus resultados:**
 - Expandir meus resultados (toggle switch)
- Ordenar por:** Relevância (dropdown menu)
- Disponibilidade:**
 - Recurso On-line (2.287)
 - Periódicos revisados por pares (1.397)
 - Acesso Aberto
- Tipo de recurso:**
 - Artigos (1.787)
 - Artigos de newsletter (199)
- BASE DE DADOS SUGERIDA:** Scopus. Text: "A Elsevier disponibiliza centenas de artigos de revistas científicas e capítulos de livros relacionados ao monkeypox que podem ser acessados gratuitamente. Também há pesquisas e informações clínicas relevantes."
- Results Summary:** 0 selecionado(s) PÁGINA 1 1-50 of 2.287 Resultados
- Result 1:**
 - ARTIGO
 - Traceability** (highlighted)
 - Butler, John
 - Animal disease **traceability**-or knowing where diseased and at-risk animals are, where they've been, and when-is important to ensuring a rapid response when animal disease events take place. Although animal disease **traceability** does not prevent disease, an efficient and accurate **traceability** system reduces the number of animals and response ti...
 - Journal of animal science, 2019, Vol.97, p.61-61
 - REVISADO POR PARES (with a checkmark icon)
 - Texto completo disponível (with a link icon)
- Bottom Right:** Voltar ao topo (with an upward arrow icon)



→ Divisão da palavra-chave *TRACEABILITY* em “tipo de recurso” no portal:


ACESSO ABERTO

Tipo de recurso ^

- Artigos (1.787)
- Artigos de newsletter (199)
- Atas de congressos (116)
- Conjuntos de dados (103)
- Relatórios (22)
- Capítulos de livro (21)
- Artigos de jornal (13)
- Gravações de Vídeo (8)
- Dissertações (7)
- Imagens (6)
- web_resources (2)
- Livros (2)
- Outros (1)

0 selecionado(s) PÁGINA 1 1-50 of 2.287 Resultados

1  ARTIGO ” ✉
Traceability
Butler, John
Animal disease **traceability**-or knowing where diseased and at-risk animals are, where they've been, and when-is important to ensuring a rapid response when animal disease events take place. Although animal disease **traceability** does not prevent disease, an efficient and accurate **traceability** system reduces the number of animals and response ti...
Journal of animal science, 2019, Vol.97, p.61-61
 REVISADO POR PARES
[Texto completo disponível](#) >

2  ARTIGO ↕ ↴ ” ✉
Traceability
Thylstrup, Nanna Bonde ; Archer, Matthew ; Ravn, Louis
DOAJ Directory of Open Access Journals

→Tela- pesquisa com palavra-chave **AUTORREGULAÇÃO**: 113 INDICAÇÕES

autorregulação

BUSCA AVANÇADA

Filtros ativos

Anos: 2018-2022 X

Lembrar todos os filtros

Limpar filtros

Personalizar meus resultados

Expandir meus resultados

Ordenar por Relevância

Disponibilidade

Recurso On-line (113)

Periódicos revisados por pares (86)

Acesso Aberto

Tipo de recurso

Artigos (112)

Dissertações (1)

BASE DE DADOS SUGERIDA

Scopus[®] Scopus

A Elsevier disponibiliza centenas de artigos de revistas científicas e capítulos de livros relacionados ao monkeypox que podem ser acessados gratuitamente. Também há pesquisas e informações clínicas relevantes.

0 selecionado(s) PÁGINA 1 1-50 of 113 Resultados

ARTIGO

Metodologias ativas e a autorregulação da aprendizagem

Fabiana Maris Versuti ; Rafael Lima Dalle Mulle ; Fernando Eduardo Padovan-Neto ; Roberta Monteiro Incrocci

Este trabalho é um estudo de natureza descritiva e objetivou identificar relações entre práticas de ensino pautadas nas metodologias ativas e o processo da autorregulação da aprendizagem em duas disciplinas distintas do curso de Psicologia de uma universidade pública brasileira. As disciplinas contaram com monitoria e adotaram o modelo da sala d...
Linhas críticas, 2021, Vol.27

REVISADO POR PARES Acesso Aberto

Texto completo disponível >

Voltar ao topo

→ Divisão da palavra-chave *AUTORREGULAÇÃO* em “tipo de recurso” no portal:

relevantes.

Personalizar meus resultados
 Expandir meus resultados

Ordenar por Relevância

Disponibilidade ^

- Recurso On-line (113)
- Periódicos revisados por pares (86)
- Acesso Aberto

Tipo de recurso ^

- Artigos (112)
- Dissertações (1)

0 selecionado(s) PÁGINA 1 1-50 of 113 Resultados

1

ARTIGO

Metodologias ativas e a autorregulação da aprendizagem

Fabiana Maris Versuti ; Rafael Lima Dalle Mulle ; Fernando Eduardo Padovan-Neto ; Roberta Monteiro Incrocci

Este trabalho é um estudo de natureza descritiva e objetivou identificar relações entre práticas de ensino pautadas nas metodologias ativas e o processo da autorregulação da aprendizagem em duas disciplinas distintas do curso de Psicologia de uma universidade pública brasileira. As disciplinas contaram com monitoria e adotaram o modelo da sala d... Linhas críticas, 2021, Vol.27

REVISADO POR PARES Acesso Aberto

Texto completo disponível >

→ Divisão da palavra-chave *SELF REGULATION* em “tipo de recurso” no portal:

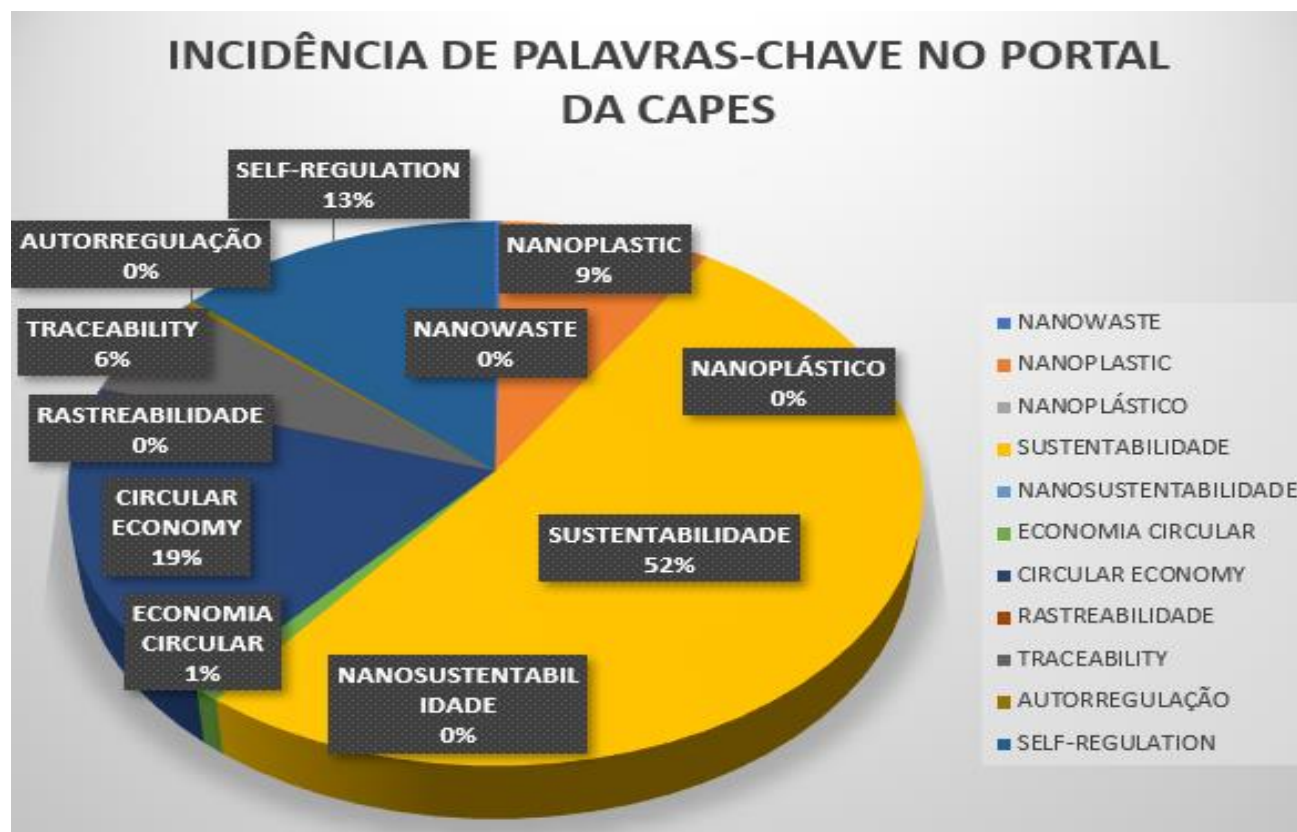
<ul style="list-style-type: none"> Artigos (3.906) Artigos de newsletter (791) Conjuntos de dados (111) Relatórios (63) Artigos de jornal (42) Atas de congressos (37) Resenhas (33) Capítulos de livro (27) Entradas de referência (18) Livros (16) Gravações de Vídeo (7) Imagens (4) Dissertações (4) web_resources (1) Recursos textuais (1) 	<div data-bbox="750 443 846 507"></div> <p>Anke Stallwitz 2012 CAPES_SFX_OPEN Acesso on-line ></p> <hr/> <div data-bbox="696 683 730 719">2</div> <div data-bbox="750 683 846 842"></div> <p>LIVRO Private food law: Governing food chains through contract law, self-regulation, private standards, audits and certification schemes Bernd van der Meulen 2011 CAPES_SFX_OPEN Acesso on-line ></p> <hr/> <div data-bbox="696 1031 730 1067">3</div> <div data-bbox="750 1031 846 1190"></div> <p>ARTIGO I will say “No” to that cookie: How imagined future self-regulation drives current self-regulation Park, Jihye ; Yi, Youjae Consumer decision processes in the real world often involve consideration of related choices that are temporally separated but similar in nature. In the context of sequential choices, this study examines how consumers respond to temptation in the present when imagining themselves engaging in their future behavior in the face of similar temptation. ...</p>
---	--

Elaboração de tabela a partir da coleta de dados no Portal da CAPES:

Palavras-chave	Período temporal	idioma	Número de incidência de publicações
Nanowaste	2018-2023	Inglês	97
Resíduos nanotecnológicos	2018-2023	português	97
Nanoplastic	2018-2023	Inglês	3249
Nanoplástico (obs- abrangência de publicação em espanhol e inglês)	2018-2023	Português	11
Sustentabilidade	2018-2023	Português	19.355
Nanosustentabilidade	2018-2023	Português e inglês	0
Economia circular	2018-2023	Português	344
Circular economy	2018-2023	Inglês	7009
Rastreabilidade	2018-2023	Português	29
Traceability	2018-2023	Inglês	2287
Autorregulação	2018-2023	Português	113
Self-regulation	2018-2023	Inglês	5061

Fonte: Elaborada pela autora

Gráfico - Incidência de palavras-chave no Portal de Periódicos da CAPES:



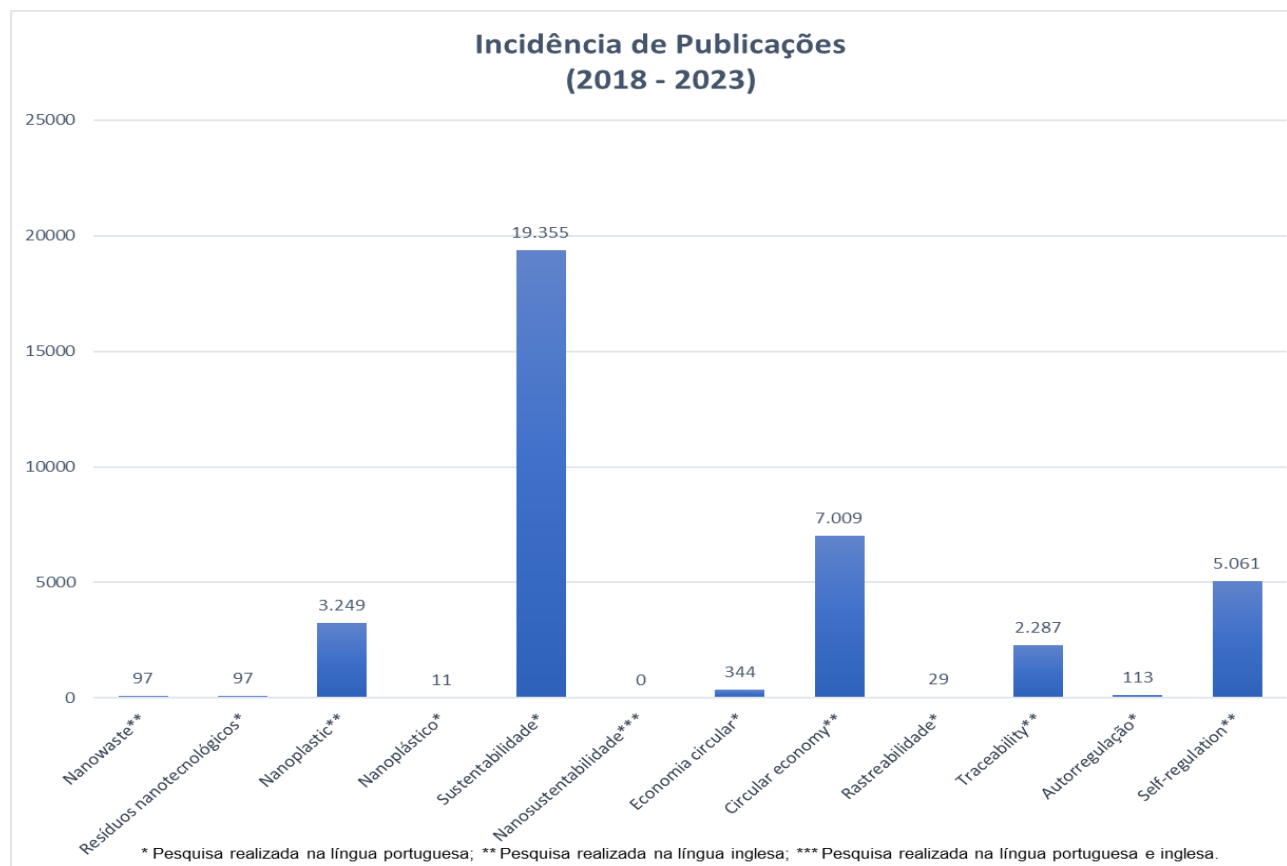
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico - Incidência de publicações a partir de coleta feita por palavras-chave no Portal de Periódicos da CAPES:



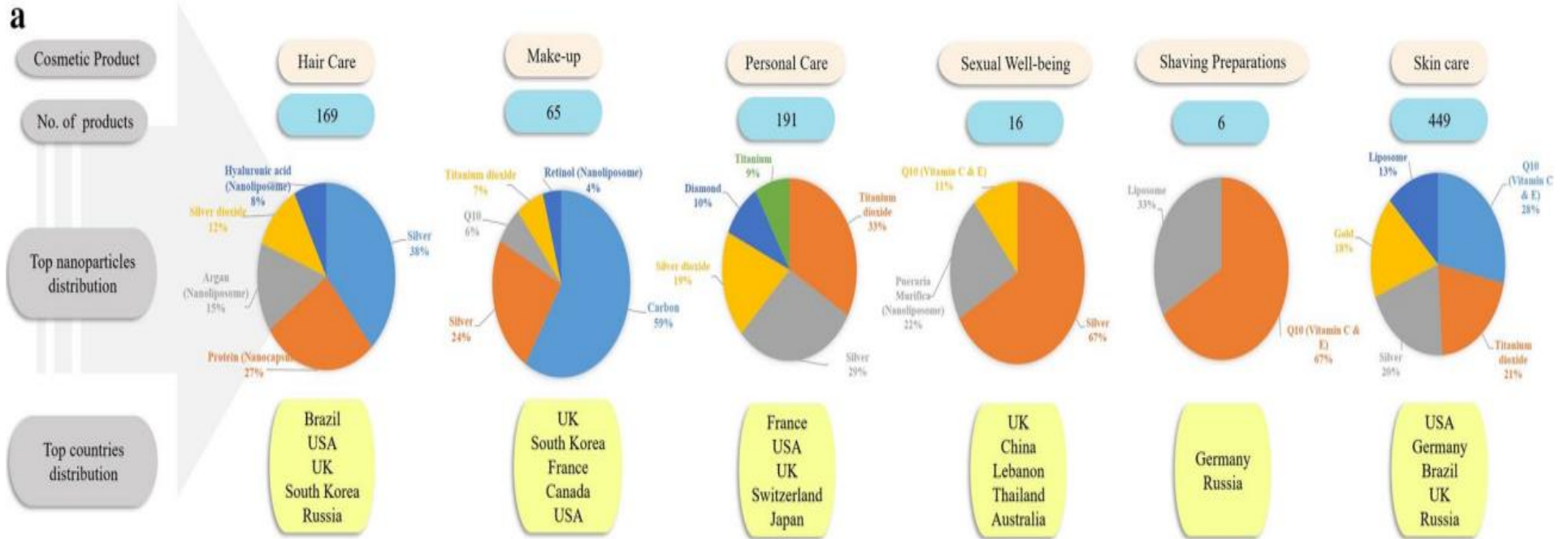
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico - Incidência de publicações Portal CAPES:



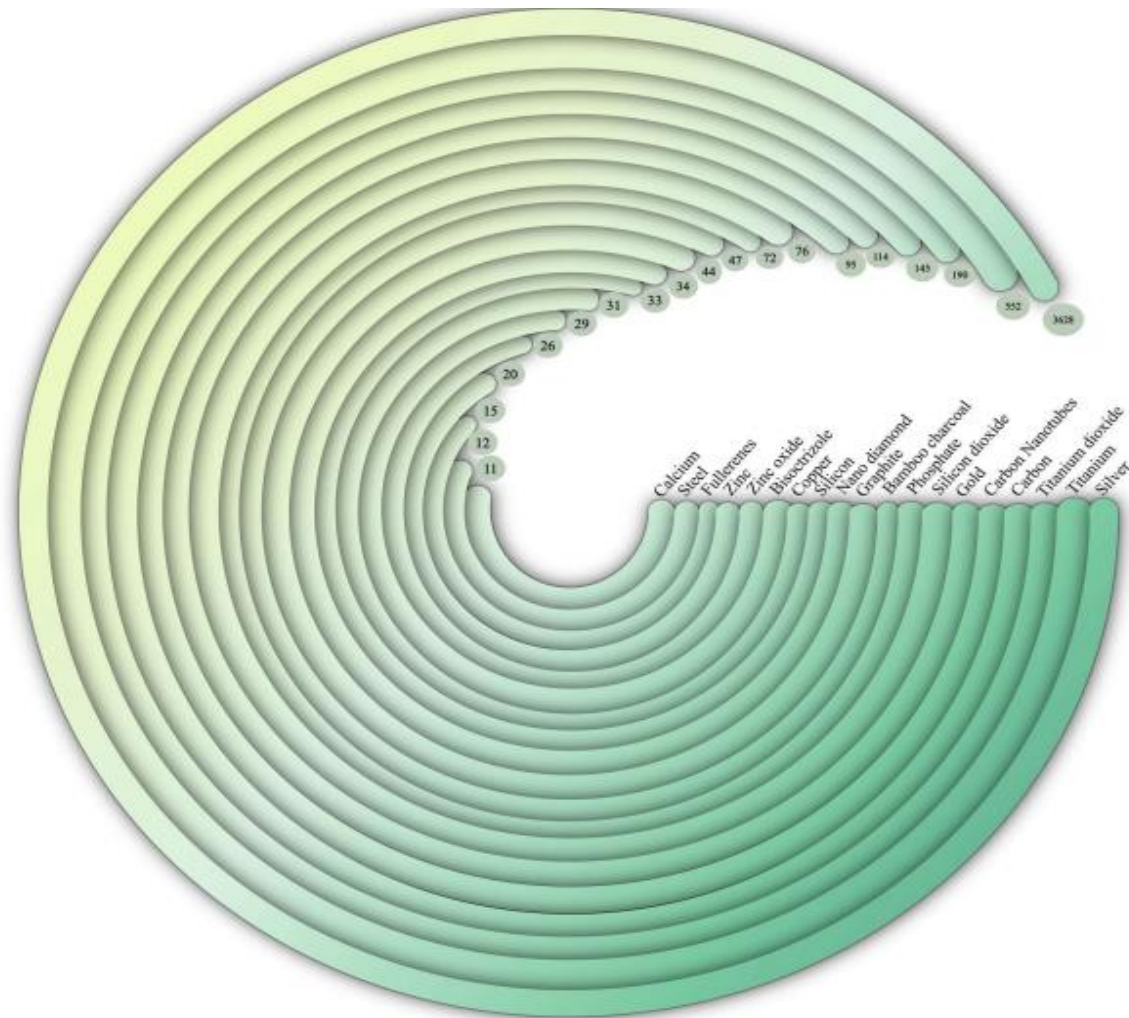
Fonte: Elaborado pela autora.

ANEXO A – FIGURA DISTRIBUIÇÃO DE NANOPARTÍCULAS EM PRODUTOS COSMÉTICOS



Fonte: George *et al.* (2022, p. 4).

ANEXO B – FIGURA DISTRIBUIÇÃO DE NANOPARTÍCULAS NOS 5169 PRODUTOS REPORTADOS



Fonte: George *et al.* (2022, p. 3).