

**JULIANE ALTMANN BERWIG**  
ORGANIZADORA

# **OS RISCOS AMBIENTAIS DAS NANOTECNOLOGIAS**

---

**REDESENHANDO O DIREITO E INFORMANDO A SOCIEDADE**



Este livro é o resultado da pesquisa e das relações interinstitucionais produzidas no âmbito do seguinte projeto de investigação científica:

Os riscos ambientais das nanotecnologias: redesenhando o direito e informando a sociedade.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul - FAPERGS.

Processo n.º 21/2551-0000747-8  
Edital 10/2020 - Auxílio Recém Doutor.

JULIANE ALTMANN BERWIG  
ORGANIZADORA

# OS RISCOS AMBIENTAIS DAS NANOTECNOLOGIAS

REDESENHANDO O DIREITO E INFORMANDO A SOCIEDADE

CASA LEIRIA  
São Leopoldo-RS  
2022

# OS RISCOS AMBIENTAIS DAS NANOTECNOLOGIAS: REDESENHANDO O DIREITO E INFORMANDO A SOCIEDADE

Organizadora: Juliane Altmann Berwig.

Os textos e as imagens são de responsabilidade de seus autores.

## EDITORA CASA LEIRIA    CONSELHO EDITORIAL

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| Ana Carolina Einsfeld Mattos             | (UFRGS)    |
| Ana Patrícia Sá Martins                  | (Uema)     |
| Antônia Sueli da Silva Gomes Temóteo     | (UERN)     |
| Glícia Marili Azevedo de Medeiros Tinoco | (UFRN)     |
| Haide Maria Hupffer                      | (Feevale)  |
| Isabel Cristina Arendt                   | (Unisinos) |
| José Ivo Follmann                        | (Unisinos) |
| Luciana Paulo Gomes                      | (Unisinos) |
| Luiz Felipe Barboza Lacerda              | (Unicap)   |
| Márcia Cristina Furtado Ecoten           | (Unisinos) |
| Rosangela Fritsch                        | (Unisinos) |
| Tiago Luís Gil                           | (UnB)      |

### Ficha catalográfica

R595      Riscos ambientais das nanotecnologias : redesenhando o  
              direito e informando a sociedade [recurso eletrônico] /  
              organização Juliane Altmann Berwig. – São Leopoldo: Casa  
              Leiria, 2022.

Disponível em: <[http://www.guaritadigital.com.br/casaleiria/  
acervo/direito/riscosambientais/index.html](http://www.guaritadigital.com.br/casaleiria/acervo/direito/riscosambientais/index.html)>

ISBN 978-65-89503-94-1

1. Direito ambiental – Riscos ambientais. 2. Direito – Riscos  
ambientais – Nanotecnologia. 3. Riscos dos nanoalimentos –  
Saúde humana – Direito. I. Berwig, Juliane Altmann (Org.).

CDU 349.6

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Bibliotecária: Carla Inês Costa dos Santos – CRB 10/973

## SUMÁRIO

|     |                                                                                                                                                                                                  |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7   | PREFÁCIO<br><i>Raquel von Hohendorff</i>                                                                                                                                                         |
| 9   | O SISTEMA DO DIREITO E A PRECAUÇÃO NO COMPLEXO CONTEXTO<br>DAS NANOTECNOLOGIAS<br><i>André Rafael Weyermüller</i><br><i>Cláudia Daniela Diefenbach Weyermüller</i>                               |
| 33  | DIREITO AMBIENTAL E AS NANOTECNOLOGIAS: UM ESTUDO DE<br>CASO<br><i>Juliane Altmann Berwig</i><br><i>Wilson Engelmann</i>                                                                         |
| 63  | O QUE A NANOTECNOLOGIA DEVERIA TER DE HUMANO? A<br>INFORMAÇÃO INCLUSIVA QUE COMUNICA O SENTIDO DA TÉCNICA<br><i>Daniela Pellin</i><br><i>Marco Antonio Karam</i>                                 |
| 89  | NANOTECNOLOGIAS: COMO O DIREITO “PODE SER”<br><i>Juliane Altmann Berwig</i><br><i>Wilson Engelmann</i>                                                                                           |
| 113 | AS INOVAÇÕES DAS NANOTECNOLOGIAS E O DIREITO FRATERO<br><i>Juliane Altmann Berwig</i><br><i>André Rafael Weyermüller</i><br><i>Sandra Regina Martini</i>                                         |
| 131 | A TUTELA JURÍDICA DO MEIO AMBIENTE DO TRABALHO FRENTE<br>AOS RISCOS POTENCIAIS DOS NANOMATERIAIS MANUFATURADOS<br><i>Mariana Petry</i><br><i>Aírton Guilherme Berger Filho</i>                   |
| 153 | ENTRE RASTREABILIDADE E ECONOMIA CIRCULAR PARA<br>MINIMIZAÇÃO DO RISCO NANOTECNOLÓGICO: BREVE ANÁLISE E<br>POSSIBILIDADES NA ERA NANO<br><i>Daniele Weber S. Leal</i><br><i>Wilson Engelmann</i> |

- 171      SEGURANÇA ALIMENTAR E O DIREITO DO CONSUMIDOR À  
INFORMAÇÃO SOBRE RISCOS DOS NANOALIMENTOS À SAÚDE  
HUMANA  
*Mariana Schaan Ribeiro*  
*Haide Maria Hupffer*
- 197      OS RISCOS DAS NANOTECNOLOGIAS E SUAS INTERFACES COM O ODS  
12 – PRODUÇÃO E CONSUMO SUSTENTÁVEIS  
*Raquel Von Hohendorff*
- 221      AS NANOTECNOLOGIAS E A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: A  
IRREVERSIBILIDADE DA INTERAÇÃO QUE FASCINA  
*Thamís Hugenthobler Lacerda*  
*Juliane Altmann Berwig*
- 239      OPORTUNIDADES INOVADORAS PARA AS FONTES DO DIREITO A  
PARTIR DAS APROXIMAÇÕES ENTRE AS NANOTECNOLOGIAS E A  
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL  
*Wilson Engelmann*

# AS NANOTECNOLOGIAS E A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: A IRREVERSIBILIDADE DA INTERAÇÃO QUE FASCINA

*Thamis Hugenthobler Lacerda<sup>1</sup>*

*Juliane Altmann Berwig<sup>2</sup>*

## 1. INTRODUÇÃO

As nanotecnologias representam a realidade em inúmeros produtos e aplicações comercializados por diferentes setores econômicos. Na escala nanométrica, a vantagem que se destaca é a manipulação de átomos e moléculas a fim de criar materiais, dispositivos e sistemas com propriedade e aplicações fundamentalmente novas. Considerando seu caráter multidisciplinar, principalmente por existir interação e combinação cooperativa entre diferentes áreas de conhecimento, reconhece-se que as nanotecnologias modificaram de maneira revolucionária diversas técnicas até então utilizadas na indústria médica, gestão ambiental, higiene, etc.

Já a Inteligência Artificial (IA) é uma realidade em diferentes áreas da ciência, seja aplicada em um dispositivo móvel de fácil acesso às pessoas, seja em sistemas autônomos capazes de gerir indústrias inteiras ou realizar operações complexas. Em suma, deve-se tê-la como uma área inerente à computação que busca, por meio de algoritmos sofisticados, atribuir determinadas funções inteligentes a objetos de diferentes naturezas, conferindo-lhes a habilidade de responder a comandos e definir de modo

---

1 Graduanda em Direito pela Universidade Feevale. Bolsista pelo Programa de Iniciação Científica Feevale (PICF) no Projeto: Os riscos ambientais das nanotecnologias: estruturando as possíveis respostas do Direito e informando a sociedade. E-mail: [thamislacerda@hotmail.com](mailto:thamislacerda@hotmail.com).

2 Doutora em Direito pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos) com Bolsa pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo Programa de Excelência Acadêmica (Proex). Mestre em Direito pela Unisinos. Professora e Pesquisadora no curso de Direito da Universidade Feevale. Sócia-proprietária do escritório Berwig Advocacia. E-mail: [julianeberwig@feevale.br](mailto:julianeberwig@feevale.br).

autônomo o que fazer mediante cada situação. A IA também é contemplada com o aporte de diferentes áreas do conhecimento.

Assim, pela perspectiva do atual cenário de desenvolvimento tecnológico e científico, não há como se ignorar o fato de que as nanotecnologias e a inteligência artificial são conceitos da Quarta Revolução Industrial que carregam um potencial altamente poderoso. Seus reflexos existentes – sejam eles positivos, negativos, conhecidos ou não-, exigem uma análise atenta pela ótica de seus desafios.

Nessa linha, admitir que a coexistência dessas duas tecnologias autoriza o seu entrelaçamento, se faz estar diante de um contexto que, inevitavelmente, será norteador por incertezas. Considerando que ambas as tecnologias possuem capacidades fascinantes para o desenvolvimento científico, identifica-se, paralelamente, a necessidade de uma análise cautelosa no que se refere a possibilidade de se adotar caminhos seguros para o avanço das novas tecnologias em concomitante consideração dos reflexos que tocam a humanidade de maneira irreversível a partir do aprimoramento tecnológico desses fenômenos. Aí está o problema de pesquisa a ser enfrentado: qual a importância da análise cautelosa da interação entre as nanotecnologias e IA para o avanço seguro destas novas tecnologias?

Pretende-se, a partir disso, como objetivo geral de pesquisa: analisar o contexto atrelado aos riscos envolvendo a interação entre as nanotecnologias e a inteligência artificial, sob o aspecto reflexivo acerca da necessária vigilância responsável do Direito, principalmente em razão da necessária consciência social acerca da possibilidade atual e futura de extensão desses impactos, pois afinal, a humanidade não deve subestimar riscos para o desenvolvimento de qualquer tecnologia.

## 2. A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

O Século XXI possui a convergência de um conjunto variado de tecnologias ao passo que a sociedade passa por um período de mudança de paradigmas e grandes transformações, dentre as quais estão as nanotecnologias e a inteligência artificial.

Partindo do princípio de que significativos avanços tecnológicos vêm impactando, desde a primeira Revolução Industrial, as organizações econômicas, políticas e sociais ao redor do mundo, é de singular relevância que se tenha em mente o que tais desenvolvimentos acarretam para a sociedade e suas futuras gerações, análise que atrai a sustentabilidade como cenário norteador da reflexão. Conforme Boff (2017, p. 9)

[...] Como tudo se globaliza, a sustentabilidade, mais que qualquer outro valor, deve ser também globalizada. Se olharmos o futuro da humanidade e da Mãe Terra pelos olhos de nossos filhos e netos, sentiremos, imediatamente, a necessidade de nos preocuparmos com a sustentabilidade e de criar meios de implementá-la em todos os campos da realidade

Para a economia brasileira, os desafios da sustentabilidade e da quarta Revolução Industrial representam importantes fontes de riscos e de oportunidades (MAGALHÃES; VENDRAMINI, 2018, p. 2). A implementação e uso de novas tecnologias incidem diretamente sobre a arquitetura da vida de todos (DONEDA, 2006, p. 11). É, portanto, uma mudança de paradigma, não apenas mais uma etapa do desenvolvimento tecnológico.

Segundo Schwab (2018, p. 35) “a Quarta Revolução Industrial é uma forma de descrever um conjunto de transformações em curso e iminentes dos sistemas que nos rodeiam; sistemas que a maioria de nós aceita como algo que sempre esteve presente”. Ademais, o mesmo autor ainda contribui afirmando que ela “gera um mundo no que os sistemas de fabricação virtuais e físicos cooperam entre si de uma maneira flexível a nível global”.

A Quarta Revolução Industrial começou no início do século XXI, em 2011, logo após o Governo da Alemanha implementar a revolução 4.0 para aumentar a competitividade de suas indústrias frente a tecnologias de ponta (BRITO, 2017, p. 91-96). Na oportunidade, um grupo de trabalho desenvolveu um projeto de implementação de soluções tecnológicas em unidades fabris. Em suma, a ideia era promover a informatização da manufatura e a integração de dados.

A ideia de “fábricas inteligentes” foi originada da participação do grupo na feira de Hannover na Alemanha nos anos de 2011 e 2013, quando apresentaram o relatório final sobre a indústria 4.0; tornando o conceito conhecido (FIA, 2021).

Por esse aspecto, é inevitável considerar o fato de que qualquer revolução implica certezas e incertezas, e não poderia ser diferente nesse caso. Em relação aos inconvenientes da atual revolução, especialistas apontam características como a (i) velocidade das mudanças; (ii) adaptação a elas e a (iii) alta dependência tecnológica.

Tal revolução altera de modo revolucionário e em grande escala a automação e troca de dados, além de atingir as etapas de produção e os modelos de negócios por meio de máquinas e computadores.

Mesmo quem não trabalha diretamente nas indústrias inteligentes e automatizadas tem sua vida impactada pela quarta revolução industrial. Está se experienciando novas formas de consumo, maneiras particulares de se relacionar com produtos e, por consequência, com as outras pessoas (STARTSE, 2021).

Schwab (2016) diz que :

[...] A palavra ‘revolução’ denota mudança abrupta e radical. Em nossa história, as revoluções têm ocorrido quando novas tecnologias e novas formas de perceber o mundo desencadeiam uma alteração profunda nas estruturas sociais e nos sistemas econômicos. Já que a história é usada como referência, as alterações podem levar anos para se desdobrarem.

Pode-se afirmar que a Quarta Revolução Industrial representa um movimento natural de transformação da sociedade. Características como a agilidade, autonomia e eficiência em concomitância ao “salto tecnológico” ocorrido, se traduz no acompanhamento dessa modernização dentro de uma realidade que, a rigor, condiz com as nossas necessidades.

Os benefícios desse fenômeno são incontestáveis, entretanto, a exploração de seu potencial, se realizada de forma irresponsável e desprovida de cautela, poderá ensejar em impactos que sequer possuem extensões previsíveis atualmente, o que pode ser irreversível.

### 3. AS NANOTECNOLOGIAS

O estudo dos princípios fundamentais de moléculas e estruturas, nas quais pelo menos uma das dimensões está compreendida entre cerca de 1 e 100 nanômetros são as nanotecnologias.

O prefixo “nano” vem do grego *nânos*, que significa anão. O nanômetro é nove ordens de grandeza menor que o metro, representando um bilionésimo de um metro, ou seja,  $10^{-9}$  metros. Ao falarmos de compostos deste tamanho, estamos falando de uma escala usada para situar átomos ou moléculas (BERWIG; ENGELMANN, 2017, p. 14).

Apesar de o conceito ter se ampliado com o passar do tempo, pode-se definir nanotecnologia como ciência que estuda tecnologias dentro das medidas da escala nanométrica. As nanotecnologias representam a aplicação destas nanoestruturas em dispositivos nanoescalares utilizáveis (ALVES, 2004).

Considerando que toda matéria possui a composição de átomos estrategicamente colocados, o potencial dessa tecnologia se origina a partir disso. Pois afinal, existindo a possibilidade de manipular moléculas trans-

portadoras ou receptoras de células, combinado ao ato de posicionar átomos exatamente onde se deseja, revela-se o poder de imitação de qualquer composto existente, bem como a criação de estruturas novas.

Um exemplo de vantagem da manipulação e posicionamento atômico é o aumento da eficiência de máquinas e equipamentos em geral, permitindo que eles fiquem mais leves, econômicos, resistentes e funcionais – afinal, nenhum átomo estaria fora do lugar, ocupando um espaço desnecessário (HAWTHORNE; BERNUCI, 2015, p. 3). Conforme Alves (2004 p. 67):

[...] as nanotecnologias possivelmente trarão mais eficiências na produção e utilização dos nanomateriais, na indústria automotiva com materiais mais leves e resistentes, na comunicação imprimindo mais velocidade de transmissão de dados e armazenamento, na química resultando em maior eficiência energética, na farmacêutica com sistemas de difusão de medicamentos que atinjam pontos específicos no corpo humano, no setor de energia com armazenamento e a produção de energia de modo ecológico, também no meio ambiente com materiais que possibilitem retirar os poluentes dos efluentes industriais, bem como em sua defesa na ocorrência de desastres. Portanto, é reconhecível o fascínio que as nanotecnologias demonstram diante das diversas possibilidades de soluções.

O fascínio pelo seu potencial revolucionário é inevitável, entretanto, tendo em vista que aproximadamente 9.965 produtos que incorporam as nanotecnologias já estão sendo comercializados (STATNANO, 2022), há de se considerar a existência de seus efeitos a longo prazo no que se refere a saúde humana e ao meio ambiente. Até porque, sua invisibilidade e transterritorialidade são características definitivas para a potencialização desses riscos (HUPFFER; LAZZARETTI, 2019, p. 18).

Em suma, o que se deve ter em mente é o fato de que as nanotecnologias permitem a criação de materiais inexistentes até então. Os riscos existentes não se restringem ao uso dos nanomateriais, pois afinal, estes estão presentes desde a sua fabricação, atuando em todo o ciclo de vida do produto (MORISSO; JAHNO, 2017, p. 13-37). Significa dizer, portanto, que a avaliação dos riscos deve ocorrer em todas as suas fases. De acordo com Zhang *et al.* (2011):

[...] o principal problema é o método de análise de nanopartículas. Novos nanomateriais são gradualmente desenvolvidos, no entanto, estes variam de acordo com a forma e o tamanho, fatores importantes na determinação da sua toxicidade. A falta de informação e métodos de caracterização dos nanomateriais torna extremamente difícil detectar as nanopartículas no ar para proteção ambiental. Além disso, a informação da estrutura química é um fator crítico para determinar quão tóxico o nanomaterial é, sendo que pequenas alterações do grupo de funções químicas podem mudar drasticamente suas propriedades

Pesquisas apontam que os nanomateriais podem ter uma permeabilidade através da pele, mucosas e membranas celulares, causando um efeito tóxico magnificado. Diante disso, “partículas com dimensão tal que possam chegar ao sistema alveolar no pulmão podem, com certa facilidade, permear os tecidos e cair na corrente sanguínea e daí chegar a diversos órgãos, como fígado, rins, baço e coração, para então atuar de forma danosa” (MORISSO; JAHNO, 2017, p. 13-37).

Já no que se refere aos impactos ambientais, insta a compreensão de que após a liberação dos nanoprodutos na natureza podem ser esperados impactos ambientais potencialmente prejudiciais, com importante mobilidade e persistência no solo, água e ar, bem como gerar bioacumulação e interações imprevistas com outras substâncias químicas e materiais biológicas.

[...] diante das pesquisas já realizadas é importante elencar alguns dos possíveis danos ambientais decorrentes das nanotecnologias: i) Alta exigência de energia para sintetizar nanopartículas causando um aumento pela demanda de energia; ii) Disseminação de nanossustâncias tóxicas e persistentes gerando danos ambientais; iii) Menores taxas de recuperação e reciclagem; iv) Implicações ambientais nos estágios do ciclo de vida dos produtos são em sua maioria desconhecidos; v) Falta de engenheiros e trabalhadores treinados (ZHANG *et al.*, 2011).

Em suma, portanto, ao passo em que a oportunidade de desenvolvimento científico se revela a partir da utilização das nanotecnologias, é evidente que inexistindo a conscientização da existência de seus riscos e consequente precaução, se poderá estar diante de um retrocesso para a saúde humana e para o meio ambiente a longo prazo.

#### 4. A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O conceito da inteligência artificial (IA) surge da conjectura de que qualquer aspecto da inteligência humana, da linguagem ao uso de conceitos e abstrações, poderia ser descrito de maneira tão exata que uma máquina deveria ser capaz de reproduzi-lo (McCARTHY, 1955).

Embora muitas vezes a estrutura do cérebro humano demonstre ser mais adequada para solução de problemas complexos, uma vez que possui capacidade de aprender através de exemplos, é certo que nossa capacidade de processamento de dados é limitada (RODRIGUES; KAC; ARRUDA, 2022, p. 39-40). Com o intuito resolutivo, desenvolveram-se sistemas que tentam emular a inteligência dos seres humanos, na tentativa de resolver problemas de forma não convencional. Destas tentativas, surge o conceito da inteligência artificial.

A ideia de construir agentes artificiais capazes de imitar comportamentos humanos não é recente. Nesse aspecto:

[...] embora não haja um consenso quanto à definição de IA, independente disso, deve-se tê-la como uma área inerente à computação e que busca, por meio de algoritmos sofisticados, atribuir certas funções inteligentes à objetos de diferentes naturezas, conferindo-lhes a habilidade de não apenas realizar funções de maneira imperativa, mas sim, de responder a comandos e definir o que fazer mediante cada situação (ou seja, trata-se da consciência para tomada de decisões) (SANTOS; VECHIO, 2020, p. 3).

A execução de tarefas específicas com mais velocidade e eficiência do que os humanos realizam não representa a única função da IA. Essa tecnologia elimina fronteiras entre homem e máquina, podendo ser traduzida na simbiose entre humanos e tecnologias (HUPFFER; BLAUTH; BERWIG, 2022, p. 20).

Tecnologias como *big data*, *machine learning* e algoritmos sofisticados dão suporte à IA. Parte dos avanços da IA foram inspirados por pesquisas nos campos relacionados à neurociência, psicologia e biologia e projetadas para analisarem o funcionamento interno do cérebro humano e compreender aspectos importantes da inteligência biológica (HUPFFER; BLAUTH; BERWIG, 2022, p. 9).

Nos sistemas de IA, o conceito de aprendizado por máquina é o mecanismo que permite uma máquina a aprender um problema a partir de exemplos apresentados pela máquina (SILVA; SPATI; FLAUZINO, 2010). O momento em que a máquina está sendo treinada a aprender um problema é usualmente denominada fase de treinamento. Após treinada, a máquina estaria habilitada a resolver problemas no mundo real, na chamada fase de teste ou execução. A metodologia que permite um sistema a aprender a solucionar um problema consiste, essencialmente, em um algoritmo matemático implementado por meio de *software*.

Sistemas de inteligência artificial já haviam sido vislumbrados nos anos 60 (HAYKIN, 2001), mas apenas recentemente têm apresentado resultados capazes de impactar na vida das pessoas. Isto se deve principalmente devido ao avanço da tecnologia relacionada à capacidade de processamento dos computadores, e também devido à ampla disponibilidade de conjuntos de dados estruturados, tornada possível devido aos avanços na conectividade de dispositivos e redes de comunicação (RODRIGUES; KAC; ARRUDA, 2022, p. 43).

Sistemas avançados que utilizam aprendizado por máquina, recentemente chamada de aprendizagem profunda (*deep learning*), vêm possibilitando diversas aplicações em reconhecimento de imagem, interpretação de linguagem humana e textos, predição de eventos, entre outros. A evolução de tecnologias relacionadas à inteligência artificial e internet das coisas (IoT), denominadas de quarta revolução industrial, tem o potencial de impactar diversos segmentos do mercado, inclusive no sistema de propriedade industrial (RODRIGUES; KAC; ARRUDA, 2022, p. 43).

Considerando a atuação multidisciplinar da IA, à luz de suas promessas, riscos, desafios, fracassos e sucessos, observam-se movimentos regulatórios dos legisladores a fim de garantir que as aplicações da tecnologia estejam alinhadas com expectativas éticas e socialmente aceitáveis.

Ora, uma máquina superinteligente pode ir além do que seus programadores imaginaram. Há a possibilidade, por exemplo, dela identificar atalhos que eles nunca notaram ou consideraram. Veja-se, conforme Soares (2016):

[...] essa supercapacidade é uma espada de dois gumes: se de um lado ela pode ser extraordinariamente eficaz para alcançar os objetivos, por outro lado pode trazer efeitos colaterais negativos inesperados, a exemplo de laboratórios robóticos que podem danificar a biosfera. O autor complementa colocando que não existe uma solução simples, pois, um sistema de IA “precisaria aprender com informações detalhadas e variadas sobre o que é e não é considerado valioso, e ser motivado por este conhecimento, a fim de resolver com segurança até mesmo tarefas simples”.

Deve-se ter em mente a existência de diversos pontos duvidosos nos sistemas de IA, o que faz concluir que a humanidade não tem ideia sobre potenciais riscos. Seu vasto desenvolvimento e a concomitante introdução dessa tecnologia no mercado, apresenta inúmeros desafios.

Os exemplos mostram que a IA está em todas as áreas, com suas promessas, riscos, desafios, fracassos e sucessos. Observam-se movimentos regulatórios e um olhar mais atento dos legisladores para garantir que as aplicações de IA estejam alinhadas com expectativas eticamente e socialmente aceitáveis, como também se manifestam previsões catastróficas para um futuro dominado pela IA.

A título de exemplo, tem-se a possibilidade dos algoritmos possuírem vieses discriminatórios, pois afinal, muitos sistemas baseados em *machine learning* são treinados com dados rotulados – o que já foi objeto de estudo que concluiu que dados enviesados resultam em algoritmos discriminatórios (BOLUKBASI *et al.*, 2016, p. 183-187).

Desse modo, é fato que o futuro da IA dependerá das habilidades e engenhosidade dos designs e, principalmente, da capacidade de a humanidade negociar questões éticas, legais, econômicas e sociais, governar sobre os limites e novas formas de privacidade, sobre o grau de autonomia dada a máquina e a responsabilidade se algo não funcionar ou se for projetada para outros fins. O principal desafio não serão as inovações de sistemas de IA em si, mas a governança da IA (HUPFFER; BLAUTH; BERWIG, 2022, p. 13).

## 5. A INTERAÇÃO ENTRE AS NANOTECNOLOGIAS E A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

As nanotecnologias e a inteligência artificial representam fenômenos instrumentais para o desenvolvimento científico, o que acaba por refletir nas mais diversas áreas de conhecimento, portanto. Nesse viés, é de singular relevância que os riscos decorrentes da sinergia entre elas, sejam levados em consideração para que se esteja situado cada vez mais próximos de um contexto que não envolva aspectos negativos e irreversíveis para a sociedade.

Subestimar a possibilidade de impactos indesejados dessas novas tecnologias, é cegar-se diante de evidências, o que pode ser traduzido em irresponsabilidade frente a sociedade e às futuras gerações.

Os efeitos do desenvolvimento desses fenômenos devem ser encarados com seriedade, pois afinal, existem riscos e questões éticas que precisam ser superadas para que seja possível concretizar um progresso que sopesa seus efeitos a curto e longo prazo para a sociedade.

Para efeito dessa análise, considera-se que risco significa qualquer incidente que determine uma probabilidade de perigo, lesão ou ameaça de lesão, dano, prejuízo ou malogro de condição estável (SAAVEDRA; LUPION, 2012, p. 28). Pela perspectiva dos riscos tecnológicos, portanto, evidencia-se que estes não ocorrem de forma natural, dependendo da influência humana para que sua probabilidade de concretização exista.

É a partir disso que o papel do Direito surge, desde que acompanhado da consciência de que:

[...] pode cooperar para a solução, pois risco implica responsabilidade, precisamente no sentido de uma responsabilidade como obrigação de responder pelo dano produzido, tenha este, ou não, origem em causa natural ou antrópica (...). É precisamente nessa perspectiva que assume importância a qualidade da regulação (MENDES *et al.*, 2015, p. 43).

Todo risco produz situação de perigo, incerteza e insegurança – realidade que fica condicionada, portanto, ao tratamento jurídico fundado na prevenção ou na precaução. Mas independente de qual seja o contexto apreciado, o fato é que em sua integralidade exigirá regulação se estivermos analisando por uma perspectiva otimista da redução de seus efeitos.

O poder disruptivo da IA com a nanotecnologia é amplificado pela forma como se combinam e geram inovações (HUPFFER; BLAUTH; BERWIG, 2022, p. 15). As técnicas de IA são utilizadas para contornar pontos que não permitem uma compreensão profunda das inúmeras variáveis existentes no âmbito da nanotecnologia, o que faz com que, por definição, utilizam-se técnicas capazes de realizar análises complexas.

Alguns especialistas do campo argumentam que a nanotecnologia explodirá assim que a inteligência artificial for aprimorada, trazendo soluções sobre como montar compostos manipuladores de átomos ou moléculas com maior eficiência (HAWTHORNE; BERNUCI, 2015, p. 10).

Diante disso, ocorre a permissão de processamento de grandes conjuntos de dados e reconhecimento de padrões, os quais podem ser explorados para melhorar o design de nanotecnologias para diagnóstico e tratamento na área da saúde, por exemplo.

O desenvolvimento das técnicas de IA, em especial *machine learning*, somado às possibilidades das ferramentas computacionais modernas, tem alimentado a integração da IA à nanomedicina (HUPFFER; BLAUTH; BERWIG, 2022, p. 16).

Entretanto, considerando que a característica disruptiva dessas tecnologias vem acompanhada de inúmeros desafios, dentre eles, o desconhecimento de seus efeitos e riscos; é lógica a conclusão de que a humanidade se encontra diante de um momento incerto envolvendo o futuro – realidade que exige aprimoramento em relação aos conhecimentos, a fim de que não fiquemos à mercê do imprevisível.

O dilema é claro e insuperável: o aprofundamento dos mecanismos de inteligência artificial fatalmente culminará no desenvolvimento de interconexões aparentemente ficcionais, em que máquinas, dotadas de habilidades lógicas, algorítmicas e linguísticas próprias desafiarão a máxima de Descartes: penso, logo existo. O ser humano, na época das máquinas inteligentes, passa a questionar a sua própria diferenciação, pois agora se trata de um indivíduo conectado de modo íntimo com máquinas e certamente limitado em suas potencialidades – e subjetividade – ao que as novas tecnologias admitem (HUPFFER; ENGELMANN, 2017, p. 236).

Mais do que isso: a importância do desenvolvimento das metodologias a fim de observar as funcionalidades dessa interação e seus efeitos biológicos adversos, se revela exatamente pela ótica do bem-estar da humanidade, direitos humanos e da sustentabilidade ambiental, porquanto são esses os conceitos que devem nortear as novas tecnologias e seu desenvolvimento.

A evidência quanto às oportunidades de otimização de tempo e resultados satisfatórios a partir da integração entre as duas tecnologias analisadas, é inquestionável. Até porque, o potencial delas, individualmente, já constituem ferramentas promissoras; quem dirá integradas. Contudo, essa interação precisa ser analisada sempre sob um aspecto cauteloso, inspirado a identificar seus efeitos negativos e a entender como saná-los.

Mesmo imprevisível, a probabilidade de que os avanços tecnológicos agitem as economias parece certo, mesmo que suas implicações permaneçam desconhecidas (SHAPIRO, 2010, p. 54).

Por conta disso, há muito tempo a filosofia da ciência abandonou o pressuposto de que as teorias científicas devam cumprir função de “certeza absoluta”. O conhecimento científico é dinâmico. Assim, a “certeza” enquanto propriedade de uma observação de uma teoria ou de uma previsão nunca é “absoluta”, mas sempre relativa a um conhecimento de fundo, ou pretérito, sendo aceito provisoriamente e sempre submetido à crítica (CEZAR; ABRANTES, 2003, p. 225-262).

Partindo-se, então, da premissa de que ambas as tecnologias possuem um potencial incomparável com o cérebro humano, um dos efeitos inevitáveis que seremos cada dia mais expostos – o que também já é realidade atualmente-, é o fato da mudança do mercado de trabalho e suas oportunidades, por exemplo.

Isso porque, a realização de tarefas intelectuais pelas máquinas superinteligentes de modo mais eficiente e produtivo, se comparados com o tempo que um ser humano precisaria para desempenhar função parecida ou igual, representa a natural readequação que se demonstrará necessária a partir da integração tecnológica ao cotidiano da sociedade no decorrer do desenvolvimento científico.

Em que pese sistemas de IA superinteligentes possam ser tendenciosos, preconceituosos, produzirem respostas imprecisas, serem falíveis e cometerem erros (HUPFFER; BLAUTH; BERWIG, 2022, p. 17), a razão dessas “falhas”, por óbvio, são originadas do conhecimento extraído dos nossos costumes e hábitos – os quais podem ser facilmente replicados, porquanto o modelo inicialmente utilizado para treinamento das máquinas é a tendência do que o ser humano entende como correto.

Em sua essência, a Inteligência Artificial permite que os sistemas tomem decisões de forma independente, precisa e apoiada em dados digitais. O que, numa visão otimista, multiplica a capacidade racional do ser humano de resolver problemas práticos, simular situações, pensar em respostas ou, de forma mais ampla, potencializar a capacidade de ser inteligente.

Entretanto, apesar disso, deve-se admitir que um dos riscos existentes a partir da interação e consequente evolução desses fenômenos é a *desigualdade*, pois afinal, a partir do momento em que existe a substituição da função humana no mercado de trabalho – sendo assumido por IA e nanotecnologia –, é evidente que, cada vez mais, aquelas pessoas detentoras de maior conhecimento técnico e, portanto, de maior qualificação acadêmica, serão privilegiadas. Pois as funções “básicas” estarão ocupadas por máquinas que substituem os ocupantes precedentes daquele mesmo cargo (UNIVASF, 2022).

Sendo assim, considerando a possibilidade de substituição em grande escala do trabalho laboral humano por máquinas inteligentes, admite-se que o impacto ocasionado pela atual revolução tecnológica poderá atuar de forma negativa, também – gerando, por exemplo, o *desemprego crônico mundial* (UNIVASF, 2022).

Do mesmo modo, essa desigualdade pode existir entre nações, privilegiando àquelas que produzem e desenvolvem essas tecnologias utilizadas em grande escala, em comparação às que não o fazem.

É certo que a inovação tecnológica torna os processos de produção mais complexos e acelera o ritmo das modificações desses (FRYDMAN, 2016), e é exatamente a partir disso que se revela um dos principais efeitos dessa interação: a velocidade de exposição (presente/futura) às mudanças nas mais diversas formas de desempenho de funções rotineiras.

A humanidade chegou em um ponto sem retorno e que os benefícios propagados podem acarretar graves consequências para as presentes e futuras gerações, bem como afrontar princípios éticos que ainda não foram suficientemente discutidos.

[...] Para que princípios éticos sejam de fato priorizados no desenvolvimento e uso de sistemas de IA e nanotecnologias, é necessária a adaptação e criação de leis. Iniciativas nesse sentido já podem ser vistas em alguns países. No âmbito da União Europeia, por exemplo, a regulamentação de sistemas de IA tem sido uma das prioridades nos últimos anos e a proposta legislativa se encontra em um estágio avançado (HUPFFER; BLAUTH; BERWIG, 2022, p. 20).

Em suma, portanto, os materiais e efeitos provenientes dessa interação, constituem objeto de um conhecimento imprescindível no âmbito da ciência e, conseqüentemente, do Direito. Pois afinal, os percursos resultantes dessa relação íntima entre as tecnologias devem ser sempre norteados por objetivos que se originem da consciência ambiental e social no que toca aos seus possíveis efeitos nocivos. O desenvolvimento científico não pode ser a qualquer custo.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou responder ao problema de pesquisa relacionado às facetas positivas e negativas existentes a partir da interação entre dois fenômenos que estão em exponencial desenvolvimento científico.

Foram analisados de maneira geral o potencial que cada uma dessas tecnologias carrega consigo e o que a sinergia entre elas é capaz de ocasionar, em que pese a incerteza esteja fortemente presente nessa análise.

Foi possível concluir que a preocupação atrelada aos riscos existentes atua como uma oportunidade de estabelecer vínculos com o futuro e ocorrer um desenvolvimento positivo para a humanidade e para as próximas gerações, tudo pela perspectiva da cautela no que se refere à irreversibilidade existente de seus efeitos.

Assim, entender quais são os riscos de cada um dos fenômenos (Nanotecnologias e IA), representa o ponto de partida para que os impactos sejam mitigados satisfatoriamente, pois afinal, cegar-se diante disso significa atuar com irresponsabilidade.

A partir da adoção desse tipo de consciência, a possibilidade de o desenvolvimento científico ater-se exclusivamente ao resultado imediato dos ganhos da inovação fica amenizada, porquanto estará mensurando os efeitos a longo prazo de modo concomitante ao desenvolvimento atual.

Em distintas palavras, se as tecnologias estiverem alinhadas com os interesses dos seres humanos e não apenas dos operadores, os danos serão amenizados. Contudo, não se pode desprezar o risco de o controle estar nas mãos de uma pequena equipe de operadores ou nas mãos de grupos empresariais ou governos que poderiam colocar o futuro da humanidade em risco.

Isso tudo faz visualizar a necessidade de um desenho social distinto do atualmente vivido, o qual será constituído de uma série de mudanças na cultura científica e na forma como a avaliação de risco é realizada uma vez que esta possui um elemento agravante: o desconhecimento científico.

Portanto, diante deste cenário, revela-se assim, de soberana importância, a aplicação do princípio da precaução uma vez que estes podem envolver uma gama de procedimentos acautelatórios para minimizar os riscos de danos ambientais atuais e futuros.

Assim, deve-se ter em mente o fato de que a ciência será incapaz de provar que qualquer substância, atividade ou ação seja absolutamente segura. Consequentemente, é necessário dissipar uma confusão que existe entre a utilização do princípio da precaução e a procura de um nível zero de risco que, na realidade, pelo que tudo indica, não existe – mas quanto mais próximo objetivo, melhor.

Sendo assim, o papel do Direito diante disso é a instituição legislativa que seja capaz de lidar com os riscos de forma responsável, tudo isso com vistas a amenizar os efeitos nocivos existentes, mas que de modo paralelo, tenha lugar para a inovação, sem engessá-la.

## 7. REFERÊNCIAS

- ALVES, Oswaldo. Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo. **Revista Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 9, n. 18, p. 23-41, 2004. Disponível em: [http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/view/138](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/138). Acesso em: 22 jul. 2022
- BERWIG, Juliane Altmann; ENGELMANN, Wilson. A Nanotecnologia: do fascínio ao risco. In: ENGELMANN, Wilson, HUPFFER, Haide Maria (org.). *Impactos Sociais e Jurídicos das Nanotecnologias*. São Leopoldo: Casa Leiria, 2017. Livro disponível em E-book. Disponível em: [https://www.academia.edu/38584166/IMPACTOS\\_SOCIAIS\\_E\\_JUR%C3%8DDICOS\\_DAS\\_NANOTECNOLOGIAS\\_39\\_A\\_NANOTECNOLOGIA\\_DO\\_FASC%C3%8DNIO\\_AO\\_RISCO\\_1](https://www.academia.edu/38584166/IMPACTOS_SOCIAIS_E_JUR%C3%8DDICOS_DAS_NANOTECNOLOGIAS_39_A_NANOTECNOLOGIA_DO_FASC%C3%8DNIO_AO_RISCO_1). Acesso em: 22 julho 2022.
- BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: o que é - o que não é**. Petrópolis, RJ, Vorazes, 2017. Livro disponível em E-book.
- BOLUKBASI, Tolga *et al.* **Man is to Computer Programmer as Woman is to Homemaker?** Debiasing Word Embeddings. Barcelona, Espanha: [s.n.], 2016.
- BRITO, Alexandra Antonia Freitas de. A Quarta Revolução Industrial e as Perspectivas para o Brasil. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, ano 2, v. 2, ed. 7, out. 2017.

- CALISKAN, Aylin; BRYSON, Joanna J.; NARAYANAN, Arvind, Semantics derived automatically from language corpora contain human-like biases, **Science**, v. 356, n. 6334, p. 183-186, 2017.
- CEZAR, Frederico; ABRANTES. Princípio da precaução: considerações epistemológicas sobre o princípio e sua relação com o processo de análise de risco. Caderno de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 20, n. 2, maio/ago. 2003.
- COLOMBO, Cristiano. Tutela jurídica do corpo eletrônico. *In*: HUPFFER, Haide Maria; BLAUTH, Taís Fernanda; BERWIG, Juliane Altmann. **Nanotecnologias impulsionadas por inteligência artificial: benefícios, desafios éticos e riscos**. São Paulo: Foco, 2022. Livro disponível em E-book.
- DONEDA, Danilo. **Da privacidade à proteção de dados pessoais**. Rio de Janeiro: Renovar, 2006.
- FIA BUSINESS SCHOOL. Indústria 4.0: o que é, consequências, impactos positivos e negativos [Guia Completo]. **FIA Business School**, 23 ago. 2021. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/industria-4-0>. Acesso em: 22 julho 2022.
- FRYDMAN, B. **O fim do Estado de Direito: governar por standards e indicadores**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2016
- HAWTHORNE, Gabriel Henrique; BERNUCI, Marcelo Picinin. Relação da nanotecnologia com as práticas médicas atuais e suas possíveis implicações futuras. **Saúde e pesquisa**, v. 8, ed. Especial, 2015.
- HUPFFER, Haide Maria; BLAUTH, Taís Fernanda; BERWIG, Juliane Altmann. **Nanotecnologias impulsionadas por inteligência artificial: benefícios, desafios éticos e riscos**. São Paulo: Foco, 2022. Livro disponível em E-book.
- HUPFFER, Haide Maria; LAZZARETTI, Luísa Lauermann. **Nanotecnologia e sua regulamentação no Brasil**. Novo Hamburgo: RGD, 2019. v. 16.
- MAGALHÃES, Regina; VENDRAMINI, Annelise. Os impactos da quarta revolução Industrial. **GvExecutivo**, v. 17, n. 1, jan./fev. 2018.
- MENDES, Gilmar Ferreira, *et al.* Direito, inovação e tecnologia. v.1. *In*: MOLINARO, Carlos Alberto; SARLET, Ingo Wolfgang. **Apostamentos sobre direito, ciência e tecnologia na perspectiva de políticas públicas sobre regulação em ciência e tecnologia** (org.). São Paulo: Saraiva, 2015. p. 40-57. Livro disponível em E-book.

- 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. Livro disponível em E-book.
- NANOTECNOLOGIA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL. UNIVASE. Youtube. abr. 2022. 1h03min48s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=GJAmRwA4mHY&t=2909s>. Acesso em 22 jul. 2022.
- RODRIGUES, David Fernando; KAC, Larissa Andréa Carasso; ARRUDA, Vinicius Cervantes. Propriedade Intelectual e Revolução Tecnológica. *In*: KASHIWABARA, Priscila Mayumi; MACHADO, Tarso Mesquita; SILVA, Aline Ferreira de Carvalho da. **A interação entre as ciências da vida e a inteligência artificial e as dificuldades na proteção destes ativos intelectuais**: algumas reflexões (org.). São Paulo: Almedina, 2022. Livro disponível em E-book.
- SAAVEDRA, Giovani Agostini; LUPION, Ricardo. **Direitos fundamentais, direito privado e inovação**. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2012. Livro disponível em E-book.
- SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. Tradução Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016.
- SCHWAB, Klaus; DAVIS, Nicholas. **Aplicando a quarta revolução industrial**. Tradução Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2018.
- SHAPIRO, Robert. J. **A previsão do futuro**: como as novas potências transformarão os próximos 10 anos. Tradução de Mario Pina. Rio de Janeiro: Best Business, 2010.
- SILVA, Ivan Nunes da; SPATI, Danilo Hernane; FLAUZINO, Rogério Andrade. **Redes Neurais Artificiais para engenharia e ciência aplicada**. São Paulo, SP: Artliber, 2010.
- SOARES, N. **The Value Learning Problem**. Berkeley: Machine Intelligence Research Institute, 2016. Disponível em: <https://intelligence.org/files/obsolete/ValueLearningProblem.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2022.
- STATNANO. 2022. Disponível em: <https://statnano.com/>. Acesso em: 24 jul. 2022.

ZHANG, Bangwei *et al.* **Environmental Impacts of Nanotechnology and Its Products.** *In:* Proceedings of the 2011 Midwest Section Conference of the American Society for Engineering Education. Disponível em: [https://faculty.atu.edu/cgreco/aseemw\\_2011/asee\\_2011\\_proceedings/Peer\\_Reviewed\\_Papers/ASEE-MIDWEST\\_0030\\_c25dbf.pdf](https://faculty.atu.edu/cgreco/aseemw_2011/asee_2011_proceedings/Peer_Reviewed_Papers/ASEE-MIDWEST_0030_c25dbf.pdf). Acesso em: 27 jul. 2018.