

**XXXI CONGRESSO NACIONAL DO  
CONPEDI BRASÍLIA - DF**

**DIREITO, GOVERNANÇA E NOVAS TECNOLOGIAS I**

**JOSÉ RENATO GAZIERO CELLA**

**LITON LANES PILAU SOBRINHO**

Todos os direitos reservados e protegidos. Nenhuma parte destes anais poderá ser reproduzida ou transmitida sejam quais forem os meios empregados sem prévia autorização dos editores.

**Diretoria - CONPEDI**

**Presidente** - Profa. Dra. Samyra Haydée Dal Farra Naspolini - FMU - São Paulo

**Diretor Executivo** - Prof. Dr. Orides Mezzaroba - UFSC - Santa Catarina

**Vice-presidente Norte** - Prof. Dr. Jean Carlos Dias - Cesupa - Pará

**Vice-presidente Centro-Oeste** - Prof. Dr. José Querino Tavares Neto - UFG - Goiás

**Vice-presidente Sul** - Prof. Dr. Leonel Severo Rocha - Unisinos - Rio Grande do Sul

**Vice-presidente Sudeste** - Profa. Dra. Rosângela Lunardelli Cavallazzi - UFRJ/PUCRio - Rio de Janeiro

**Vice-presidente Nordeste** - Prof. Dr. Raymundo Juliano Feitosa - UNICAP - Pernambuco

**Representante Discente:** Prof. Dr. Abner da Silva Jaques - UPM/UNIGRAN - Mato Grosso do Sul

**Conselho Fiscal:**

Prof. Dr. José Filomeno de Moraes Filho - UFMA - Maranhão

Prof. Dr. Caio Augusto Souza Lara - SKEMA/ESDHC/UFMG - Minas Gerais

Prof. Dr. Valter Moura do Carmo - UFERSA - Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Fernando Passos - UNIARA - São Paulo

Prof. Dr. Edinilson Donisete Machado - UNIVEM/UENP - São Paulo

**Secretarias**

**Relações Institucionais:**

Prof. Dra. Claudia Maria Barbosa - PUCPR - Paraná

Prof. Dr. Heron José de Santana Gordilho - UFBA - Bahia

Profa. Dra. Daniela Marques de Moraes - UNB - Distrito Federal

**Comunicação:**

Prof. Dr. Robison Tramontina - UNOESC - Santa Catarina

Prof. Dr. Liton Lanes Pilau Sobrinho - UPF/Univali - Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Lucas Gonçalves da Silva - UFS - Sergipe

**Relações Internacionais para o Continente Americano:**

Prof. Dr. Jerônimo Siqueira Tybusch - UFSM - Rio Grande do sul

Prof. Dr. Paulo Roberto Barbosa Ramos - UFMA - Maranhão

Prof. Dr. Felipe Chiarello de Souza Pinto - UPM - São Paulo

**Relações Internacionais para os demais Continentes:**

Profa. Dra. Gina Vidal Marcilio Pompeu - UNIFOR - Ceará

Profa. Dra. Sandra Regina Martini - UNIRITTER / UFRGS - Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Maria Claudia da Silva Antunes de Souza - UNIVALI - Santa Catarina

**Eventos:**

Prof. Dr. Yuri Nathan da Costa Lannes - FDF - São Paulo

Profa. Dra. Norma Sueli Padilha - UFSC - Santa Catarina

Prof. Dr. Juraci Mourão Lopes Filho - UNICHRISTUS - Ceará

**Membro Nato** - Presidência anterior Prof. Dr. Raymundo Juliano Feitosa - UNICAP - Pernambuco

D597

DIREITO, GOVERNANÇA E NOVAS TECNOLOGIAS I [Recurso eletrônico on-line] organização CONPEDI

Coordenadores: José Renato Gaziero Cella, Liton Lanes Pilau Sobrinho – Florianópolis: CONPEDI, 2024.

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-5274-061-8

Modo de acesso: [www.conpedi.org.br](http://www.conpedi.org.br) em publicações

Tema: Saúde: UM OLHAR A PARTIR DA INOVAÇÃO E DAS NOVAS TECNOLOGIAS

1. Direito – Estudo e ensino (Pós-graduação) – Encontros Nacionais. 2. Direito. 3. Governança e novas tecnologias. XXX Congresso Nacional do CONPEDI Fortaleza - Ceará (3: 2024 : Florianópolis, Brasil).

CDU: 34



# **XXXI CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI BRASÍLIA - DF**

## **DIREITO, GOVERNANÇA E NOVAS TECNOLOGIAS I**

---

### **Apresentação**

No XXXI Congresso Nacional do CONPEDI, realizado nos dias 27, 28 e 29 de novembro de 2024, o Grupo de Trabalho - GT “Direito, Governança e Novas Tecnologias I”, que teve lugar na tarde de 27 de novembro de 2024, destacou-se no evento não apenas pela qualidade dos trabalhos apresentados, mas pelos autores dos artigos, que são professores pesquisadores acompanhados de seus alunos pós-graduandos. Foram apresentados artigos objeto de um intenso debate presidido pelos coordenadores e acompanhado pela participação instigante do público presente no Centro Internacional de Convenções do Brasil - CICB, em Brasília/DF.

Esse fato demonstra a inquietude que os temas debatidos despertam na seara jurídica. Cientes desse fato, os programas de pós-graduação em direito empreendem um diálogo que suscita a interdisciplinaridade na pesquisa e se propõe a enfrentar os desafios que as novas tecnologias impõem ao direito. Para apresentar e discutir os trabalhos produzidos sob essa perspectiva.

Os artigos que ora são apresentados ao público têm a finalidade de fomentar a pesquisa e fortalecer o diálogo interdisciplinar em torno do tema “Direito, Governança e Novas Tecnologias”. Trazem consigo, ainda, a expectativa de contribuir para os avanços do estudo desse tema no âmbito da pós-graduação em direito, apresentando respostas para uma realidade que se mostra em constante transformação.

Os Coordenadores

Prof. Dr. José Renato Gaziero Cella

Prof. Dr. Liton Lanes Pilau Sobrinho

## **NANOTECNOLOGIA, INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E MEDICAMENTOS: ENTRE BENEFÍCIOS E RISCOS POTENCIAIS**

## **NANOTECHNOLOGY, ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MEDICINES: BETWEEN BENEFITS AND POTENTIAL RISKS**

**Versalhes Enos Nunes Ferreira <sup>1</sup>**  
**Pastora Do Socorro Teixeira Leal <sup>2</sup>**

### **Resumo**

Estudo que analisa a intersecção entre a nanotecnologia e a inteligência artificial no campo do desenvolvimento de medicamentos mais eficazes e seguros. Seu objetivo, que se desdobra no problema de pesquisa, é compreender esse cenário inovador e seus eventuais riscos à pessoa humana, especialmente o risco de danos futuros, evidenciando a necessidade de construção de arcabouços regulatórios. O texto discute, primeiro, a nanotecnologia, enquanto ferramenta tecnológica disruptiva, enfatizando seus caracteres basilares e a propositura legislativa de um marco legal. Depois, aborda a inteligência artificial enquanto tecnologia de impacto sistêmico, cuja integração com outros instrumentos tecnológicos pode acelerar a descoberta de novas terapias farmacológicas, revelando a arquitetura regulatória em tramitação. Por fim, apresenta o entrelaçamento dessas duas tecnologias no contexto da produção de novos medicamentos, ressaltando os benefícios reais delineados e os riscos potenciais envolvidos, denotando a ausência de uma regulação estatal-legislativa para ambos os mecanismos. Metodologicamente, será quantitativo quanto às metas de investigação, realiza análise exploratória quanto ao objetivo, aplica a pesquisa bibliográfica e documental quanto ao procedimento e utiliza o método dedutivo. Foi observado que a convergência tecnológica e digital da inteligência artificial e da nanotecnologia aplicadas na concepção de novos fármacos, a despeito de seus avanços na manutenção e recuperação da saúde humana, acarreta desafios regulatórios e de segurança, considerando a existência de estudos científicos inconclusivos quanto aos seus possíveis efeitos adversos ao ser humano.

**Palavras-chave:** Nanotecnologia, Inteligência artificial, Medicamentos, Riscos à pessoa humana, Regulação estatal-legislativa

### **Abstract/Resumen/Résumé**

This study analyzes the intersection between nanotechnology and artificial intelligence in the field of developing more effective and safer medicines. Its objective, which unfolds in the research problem, is to understand this innovative scenario and its possible risks to human beings, especially the risk of future harm, highlighting the need to build regulatory

---

<sup>1</sup> Doutorando em Direito - Universidade Federal do Pará (UFPA) / Bolsista CAPES-MEC.

<sup>2</sup> Pós-Doutora em Direito - Universidad Carlos III de Madrid / Espanha. Doutora em Direito - PUC/SP. Professora na Graduação e na Pós-Graduação em Direito - Universidade Federal do Pará (UFPA).

frameworks. The text first discusses nanotechnology as a disruptive technological tool, emphasizing its basic characteristics and the legislative proposal for a legal framework. It then looks at artificial intelligence as a technology with a systemic impact, the integration of which with other technological instruments could speed up the discovery of new drug therapies, revealing the regulatory architecture currently being worked on. Finally, it presents the intertwining of these two technologies in the context of the production of new drugs, highlighting the real benefits outlined and the potential risks involved, denoting the absence of state-legislative regulation for both mechanisms. Methodologically, it will be quantitative in terms of its research goals, carry out an exploratory analysis in terms of its objective, apply bibliographical and documentary research in terms of its procedure and use the deductive method. It was observed that the technological and digital convergence of artificial intelligence and nanotechnology applied in the design of new drugs, despite its advances in the maintenance and recovery of human health, poses regulatory and safety challenges, considering the existence of inconclusive scientific studies regarding its possible adverse effects on human beings.

**Keywords/Palabras-claves/Mots-clés:** Nanotechnology, Artificial intelligence, Medicines, Risks to the human person, State-legislative regulation

## 1 INTRODUÇÃO

A sociedade atual vem experimentando um acelerado progresso científico-tecnológico decorrente da emergência da chamada Quarta Revolução Industrial, marcada pela convergência de um conjunto variado de tecnologias, destacando-se a inteligência artificial, realidade virtual e aumentada, neurotecnologias, *internet* das coisas, nanotecnologias, dentre outras. Esse movimento tecnocientífico impacta as relações sociais em suas diversas matizes, porém, não apenas no aspecto positivo, como também, revela uma característica transversal, qual seja, a geração de efeitos desconhecidos, seja em sua quantidade, seja no nível de profundidade.

Neste cenário, de acentuadas e relevantes mudanças com repercussões irreversíveis na vida humana, a conexão tecnológica e digital das nanotecnologias e da inteligência artificial no campo do desenvolvimento de novos medicamentos é realidade assente, trazendo a possibilidade de resultados promissores para a manutenção e recuperação da saúde humana, como também, reflexões sobre potenciais riscos em virtude de sua utilização desenfreada e desassistida, notadamente em decorrência da ausência regulatória estatal, que ainda persiste.

Ora, a conservação e a regeneração da saúde humana, decorrentes de diagnóstico, prevenção e tratamento eficazes, são objetivos que acompanham a vida das pessoas em sociedade, e o intenso desenvolvimento de terapias medicamentosas pela indústria farmacêutica gera esperança e expectativa nos indivíduos, seja por procedimentos adequados ou até mesmo a cura de determinadas doenças. A questão é que os avanços e a evolução farmacêutica, a despeito de possibilitarem recursos terapêuticos apropriados e gerarem benefícios reais, também corroboram para a expansão de perigos gerados pela sofisticação tecnológica.

Assim, o objetivo do estudo, que se desdobra em seu problema de pesquisa, é compreender esse cenário inovador e seus eventuais riscos, especialmente o risco de danos futuros, evidenciando a necessidade de construção de arcabouços regulatórios para ambas as tecnologias, visto que suas aplicações alcançam múltiplos segmentos produtivos e de serviços da sociedade. Metodologicamente, a pesquisa será quantitativa quanto às metas de investigação, realiza análise exploratória quanto ao objetivo, aplica a pesquisa bibliográfica e documental quanto ao procedimento e utiliza o método dedutivo.

Estruturalmente, discute, primeiro, a nanotecnologia, enquanto ferramenta tecnológica disruptiva, enfatizando suas características e a propositura de um marco legal. Depois, aborda a inteligência artificial, cuja integração com outros instrumentos tecnológicos pode acelerar a descoberta de novas terapias farmacológicas, revelando a arquitetura regulatória em tramitação. Por fim, apresenta o entrelaçamento dessas duas tecnologias no contexto da produção de novos medicamentos, ressaltando benefícios reais e riscos potenciais envolvidos.

## 2 NANOTECNOLOGIA E O DESENVOLVIMENTO DE MEDICAMENTOS

A nanotecnologia pode ser compreendida como um campo científico-tecnológico transdisciplinar, que estuda e manipula a matéria em escalas atômica, molecular e macromolecular, visto que opera na proporção de um bilionésimo de um metro ou menos, possibilitando, assim, a alteração das propriedades químicas, físicas, biológicas e/ou comportamentais dos materiais, destoando de suas características existentes nas macroescalas. Como desdobramento, o conhecimento produzido vem sendo aplicado em variadas áreas, como nos setores automotivo, têxtil, telecomunicações, eletrônica, alimentos, indústria bélica *etc.*

Evidentemente, sua dimensão multifacetária abrange a produção de tecnologias médicas e farmacêuticas, tendentes ao diagnóstico e tratamento de patologias que acometem a saúde humana. Ocorre que apesar das propostas terapêuticas que os nanomedicamentos trazem, ainda não existem remédios em larga escala disponíveis no mercado, a despeito de já existirem alguns produtos sendo consumidos, em especial para o tratamento do câncer. Ademais, as características dos nanomateriais levantam dúvidas sobre os potenciais riscos dessa tecnologia, fazendo com que seja importante entender e caracterizar essa área nova da ciência.

A nanotecnologia é uma decorrência direta do intelecto humano propenso a desbravar barreiras e fronteiras a partir de sua criatividade e da própria necessidade da pessoa humana, resultando no avanço científico; essa tecnologia, como declinam Nascimento e Engelmann (2017, p. 202-203), enquanto conquista da humanidade, embora já tenha sido descoberta a mais tempo, apenas recentemente passou a permitir o seu manuseio, podendo-se afirmar que ela já se encontra em diversos ramos do mercado mundial, ou seja, inúmeros setores já trabalham com partículas em nanoescala, a exemplo de celulares, televisões, calçados, tecidos, automóveis, cosméticos, medicamentos, dentre outros.

Percebe-se que o uso industrial da nanotecnologia é inevitável, apesar de que a cada avanço tecnológico existe a possibilidade de surgimento de novos riscos a desafiar a construção de novas regras, de novas fórmulas jurídicas em prol da proteção da sociedade. A questão é que essa conjuntura não afasta o questionamento sobre o que são as nanotecnologias e suas consequências ao ser humano, posto que diversos bens contendo nanopartículas vêm sendo comercializados no mercado e são ingeridos sem que as pessoas tenham consciência de que estão consumindo um produto que contém material em escala nano.

Pois bem, considera-se como o marco inicial ao desenvolvimento da nanotecnologia a palestra proferida em 1959 pelo físico americano Richard Feynman, intitulada *There is plenty of room at the bottom* (“Há muito espaço lá em baixo”), dentro do encontro anual da Sociedade

Americana de Física no Instituto de Tecnologia da Califórnia, ocasião em que abordou praticamente todos os conceitos importantes da nanotecnociência, embora sem nominá-la. Afirmou que um dia o ser humano iria conseguir manipular objetos de dimensões atômicas e, assim, construir estruturas de dimensões nanométricas segundo seu livre arbítrio (Arcuri; Pontes, 2018, p. 315-316; Borges; Gomes; Engelmann, 2014, p. 05). Ainda que suas previsões fossem consideradas prematuras e audaciosas, viriam a se confirmar anos depois.

Quanto ao termo, *nanotecnologia*, foi inventado pelo professor Norio Taniguchi, da Universidade de Ciências de Tóquio, cerca de 15 anos após o supracitado evento. Mas, coube ao cientista, Eric Drexler, nos anos 80, popularizar o referido termo, notadamente pela publicação do livro *Engines of creation* (“Máquinas da criação”), em 1986, quando defendeu a possibilidade de se construir máquinas tão pequenas que teriam escala molecular com poucos nanômetros de tamanho (Alves, 2004, p. 24-25; Blum; Rodrigues, 2021, p. 917).

Convém ressaltar que, conforme elucidam Arcuri e Pontes (2018, p. 316), a nanotecnologia começou a ter um impulso mais significativo após o desenvolvimento, por físicos europeus, dos chamados microscópios eletrônicos de varredura por sonda, dentre os quais hoje se incluem o microscópio de tunelamento e o microscópio de força atômica. Estes aparelhos, na verdade, são nanoscópios que permitem não só a visualização nanométrica de uma superfície, mais também, a manipulação de átomos e moléculas, que podem ser arrastados a partir de um ponto e depositados em um outro, previamente selecionado.

Especificamente, quanto ao conceito de nanotecnologia há uma imprecisão terminológica, não havendo uma definição padronizada internacionalmente. Fato é que ela é uma ciência múltipla, que agrega conhecimentos oriundos de diversas áreas do saber, a exemplo da física, da engenharia biológica, da química, dos materiais e outros. Ainda assim, a *National Nanotechnology Initiative*, programa estabelecido no ano de 2001 para coordenar as pesquisas em nanotecnologia e desenvolvimento no âmbito federal dos EUA, cunhou uma definição:

A nanotecnologia é a compreensão e o controle da matéria em nanoescala, em dimensões entre aproximadamente 1 e 100 nanômetros, onde fenômenos únicos permitem novas aplicações. A matéria pode exibir propriedades físicas, químicas e biológicas incomuns em nanoescala, diferindo em aspectos importantes das propriedades de materiais a granel, átomos individuais e moléculas. Alguns materiais nanoestruturados são mais fortes ou possuem propriedades magnéticas diferentes em comparação com outras formas ou tamanhos do mesmo material. Outros são melhores na condução de calor ou eletricidade. Eles podem se tornar mais reativos quimicamente, refletir melhor a luz ou mudar de cor à medida que seu tamanho ou estrutura é alterado (NNI, 2024, s.p.).

Assim, constata-se, uma vez mais, que as potencialidades dessa nova tecnologia decorrem das alterações dos materiais, tais como a solubilidade, a cor, a resistência, a



condutividade elétrica, o comportamento magnético, a mobilidade, a reatividade química, a atividade biológica, enfim, as transformações em suas propriedades físico-químicas. Em outros termos, é a partir da manipulação da matéria em níveis bastante densos, moleculares ou atômicos, que será possível compor verdadeiros sistemas complexos e nanométricos. E, é essa realidade que implica preocupações, visto que novos riscos poderão advir da interação das nanopartículas com o organismo humano. Inclusive, Dora, Primo e Araújo (2019, p. 206) alertam que o setor de medicamentos é um dos mais promissores, sendo que por se tratar de área extremamente dinâmica e com alto potencial de inovação, é necessário avaliar os possíveis impactos e riscos que podem ser causados às pessoas.

É bom ressaltar que esse instrumental tecnológico, com a capacidade de manipular a matéria até o limite do átomo e sintetizar nanomateriais, permitiu sua inserção em um grande número de segmentos de pesquisa, desenvolvimento e inovação, colaborando, a partir de seu potencial tecnológico, na possibilidade de solução de problemas simples e complexos enfrentados pela sociedade. Ora, o estudo de partículas em escala atômica e molecular tem relevância em aplicações de instrumentos e/ou ferramentas biológicas, industriais e tecnológicas, e isso contribui para o desenvolvimento social. Não à toa, Gomes *et al* (2015, p. 05) e Sousa *et al.* (2018, p. 155) declinam que seu caráter interdisciplinar e multidisciplinar a transformam em uma tecnologia totalmente inovadora, com possibilidade de trazer benefícios a diversas áreas de estudo, fazendo com que seja apontada como de grande potencial para atender os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas.

Nesta senda, convém analisar sua aplicação prática, visto que diante de seu acelerado crescimento e desenvolvimento, percebe-se que uma das áreas de crescente evolução da nanotecnologia é a relacionada aos medicamentos, mais especificamente na concepção de novos sistemas de liberação de fármacos, tendo em vista as vantagens que apresentam em relação à liberação convencional. Blum e Rodrigues (2021, p. 924) acentuam que a nanotecnologia foi utilizada no contexto da pandemia, posto que *kits* de diagnóstico à base de nanopartículas e que conseguem detectar de forma simples a presença do vírus, manuseados sempre que possível pelos próprios pacientes, foram largamente utilizados.

Batista e Pepe (2014, p. 2106-2107) explicam que a indústria farmacêutica tem investido na pesquisa e no desenvolvimento de novos medicamentos nanotecnológicos, que possuem sistemas nanoestruturados de liberação de fármacos no local da patologia. Como resultante dessas novas possibilidades, tem-se como vantagens a redução dos efeitos adversos e da toxicidade, proporcionando maior conforto ao paciente e, conseqüentemente, maior adesão

ao tratamento. Assim, precisão e eficácia na terapia, notadamente em doenças graves, é uma das metas dessa tecnologia, que permite a administração direcionada de remédios.

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2014, s.p.) indicou algumas indústrias farmacêuticas que vêm realizando estudos com nanomedicamentos, apontando suas aplicações: Vertex (Gastroenterologia e Doenças infecciosas imunológicas); Roche (Cirurgia plástica dermatológica; Oncologia); AstraZeneca (Doenças cardiovasculares; Otorrinolaringologia; Oncologia); Novartis (Gastroenterologia; Endocrinologia; Doenças respiratórias pulmonares; Doenças infecciosas imunológicas; Oncologia); Bayer (Doenças cardiovasculares; Hematologia); Merck (Cirurgia plástica dermatológica; Endocrinologia; Gastroenterologia; Doenças infecciosas imunológicas); e, Pfizer (Endocrinologia; Gastroenterologia; Doenças respiratórias pulmonares; Farmacologia e toxicologia; Neurologia; Oncologia).

É relevante ponderar, em acréscimo, que assim como no passado a nanotecnologia ganhou impulso com o desenvolvimento de aparelhos com tecnologia de ponta, a exemplo dos microscópios eletrônicos de varredura por sonda, atualmente esse campo científico-tecnológico está experimentando mais um salto, agora com a acelerada evolução da inteligência artificial e seu entrelaçamento. Vivencia-se uma convergência tecnológica gerada pelas interações entre as nanotecnologias e a inteligência artificial, especialmente no campo da produção de medicamentos. Engelmann (2021, p. 902) ensina que o acesso à escala nanométrica, a partir de equipamentos muito especiais, viabilizou o aprimoramento ou aprofundamento das potencialidades das demais tecnologias, aí incluída a inteligência artificial, que se encontram no arcabouço estruturante da Quarta Revolução Industrial.

Evidentemente, nem a inteligência artificial e nem a nanotecnologia possuem regulação no Brasil, ressaltando, uma vez mais, que a utilização de novas tecnologias pode desencadear potenciais riscos ainda desconhecidos, sejam eles ambientais, sanitários e de segurança, e, no caso desta, a própria manipulação humana da escala nanométrica pode resultar em novos danos à pessoa. Um dos pontos centrais quando o assunto são as ameaças dos nanomedicamentos diz respeito ao tamanho dos materiais. Se o nível atômico, molecular ou macromolecular faz com que a nanotecnologia possa revolucionar o futuro da humanidade em praticamente todos os setores da vida em sociedade, é justamente o tamanho dos materiais que acarreta preocupação aos estudiosos.

Reduzir o tamanho dos materiais à nanoescala pode ocasionar mudanças significativas em suas propriedades. Pelo fato de serem tão pequenas, as nanopartículas possuem uma grande relação superfície/volume que é um dos fatores responsáveis por novas propriedades físicas e

químicas. Assim, um material perfeitamente seguro para ser manuseado em tamanho maior, pode, em nanoescala, facilmente penetrar na pele e na corrente sanguínea na forma de nanopartícula. Deste modo, poderá haver uma facilidade para um material nanométrico invadir órgãos e/ou sistemas e se acumular, sendo que, as consequências são desconhecidas (Arcuri, 2012, s.p.). É por isso que estudar os riscos da nanotecnologia insere o ser humano em um ambiente em que os efeitos positivos e negativos estão em escala invisível e, com a modificação das propriedades físico-químicas, esse risco fica potencialmente maior (Engelmann; Leal; Hohendorff, 2018, p. 80-81).

Ademais, é preciso ressaltar que ainda que se leve em conta a velocidade atingida pelo desenvolvimento tecnológico, em evidente descompasso com a evolução do ordenamento jurídico brasileiro, não se pode admitir uma sociedade distante e cega dessa realidade, ignorante dos riscos que poderão advir. Por outro lado, é preciso admitir que onde há tecnologia há risco e caberá aos indivíduos decidir quais riscos estarão dispostos a correr quando se utilizarem das nanotecnologias. O que, evidentemente, não afasta a necessidade de uma regulação. Inclusive, neste sentido, convém frisar a existência do Projeto de Lei nº 880, de 2019, do Senado Federal, que pretende a criação do Marco Legal da Nanotecnologia

O projeto, com 15 (quinze) artigos, objetiva estimular o desenvolvimento científico na área da nanotecnologia; estabelece princípios éticos relacionados à sustentabilidade ambiental, estipula matrizes de responsabilidade do produtor e também traça paradigmas relativos à mitigação de riscos à saúde e segurança. Destaque para avaliações periódicas sobre os impactos do desenvolvimento desse tipo de tecnologia na saúde dos trabalhadores, além de incentivos a pessoas com deficiência para ingresso nesse mercado de trabalho, bem como a inclusão da temática da nanotecnologia no rol de setores que devem ser beneficiados com incentivos à inovação e pesquisa científica (BRASIL, 2019, s.p.).

Foi aprovado na Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania em 19 de fevereiro de 2020, quando fora agregada uma Emenda, acrescentando ao texto que as atividades de inovação e de pesquisa científica, tecnológica e nanotecnológica devem observar princípios que assegurem o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, a exemplo: da precaução; da consideração dos impactos; da responsabilidade do produtor; da participação e da informação ao público e à sociedade, bem como respeitar diretrizes visando reduzir os riscos inerentes ao trabalho, entre as quais: a proteção da saúde do público, consumidores e trabalhadores; a implementação de medidas específicas de saúde do trabalho; a avaliação e controle dos possíveis impactos à saúde dos trabalhadores e a informação adequada e contextualizada.

O supracitado projeto está, atualmente, na Comissão de Ciência, Tecnologia, Inovação, Comunicação e Informática do Senado Federal. No âmbito legislativo é o que está tramitando com certa regularidade e demonstra possibilidade de aprovação, se revelando oportuna, posto que o surgimento e a rápida expansão das nanotecnologias desafiarão o Direito, especialmente na seara da responsabilidade civil, conquanto que não se vislumbram soluções jurídicas previamente postas pelo legislador em casos de danos decorrentes dessa tecnologia, ante a complexidade das características desse novo campo científico-tecnológico.

Destarte, a inovação industrial a partir da nanotecnologia, especialmente em relação aos nanomedicamentos, é promissora, existindo estudos que objetivam aprimorar recursos para a saúde humana, envolvendo diagnósticos, monitoramento, tratamentos, prevenção e controle de doenças, regeneração de ossos e tecidos, sensores para glicose, CO<sub>2</sub> e colesterol, dentre tantos outros. E, a despeito de riscos relacionados à saúde e segurança individual e coletiva, que são preocupações legítimas, o entrelaçamento da nanotecnologia com a inteligência artificial é uma realidade, e que exige do Estado uma estrutura regulatória, capaz de assegurar certeza, previsibilidade e segurança.

### **3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

A sociedade contemporânea vivencia uma revolução do conhecimento proporcionada pela intensa circulação da informação fruto do estágio, avançado, da tecnologia atual. A inteligência humana, em seu exercício prático, é a responsável por esse grande impacto sistêmico, alterando modos de vida, transformando a maneira como vivemos, trabalhamos, pensamos e realizamos nossas atividades. E, da competência humana, a *internet* tornou-se um legado, sofrendo aprimoramentos e tendo suas potencialidades aumentadas.

Assim, da complexidade e intensidade da *internet*, aliado ao intelecto humano, desenvolveu-se a inteligência artificial, trazendo uma nova etapa de desenvolvimento na rede, marcada pela automação e pela disseminação de facilidades e potencialidades em diversas dimensões da sociedade, tomando como pressuposto o uso dos chamados algoritmos. Todavia, antes de traçar linhas sobre este, é preciso compreender o que seja a inteligência artificial.

A definição de inteligência artificial continua a ser uma questão que desafia estudiosos, visto que a natural complexidade do intelecto humano oferece variados métodos e abordagens que impedem ou dificultam uma construção conceitual harmônica. Entrementes, mesmo não ofertando uma definição pacífica e ideal, Russell e Norvig (2013, pp. 24-25) deixam em perspectiva que se trata de um sistema que se ocupa de processos de pensamento, raciocínio e

comportamento, marcado pela singularidade de buscar pensar e agir como humanos, ou seja, de pensar e agir racionalmente.

Ressalte-se o entendimento de Nilsson (2001, p. 01), ao dispor que a inteligência artificial, em uma definição ampla e circular, está preocupada com o estudo do comportamento inteligente em máquinas. Ademais, esse comportamento, classificado como inteligente, implica em perceber, raciocinar, aprender, comunicar e agir em ambientes complexos. Neste sentido, um dos objetivos, a longo prazo, da inteligência artificial é o desenvolvimento de máquinas que possam fazer todas estas coisas, bem como, ou talvez até melhor do que os seres humanos.

É fato que o objetivo precípua da inteligência artificial reside na construção de entidades inteligentes, existindo, por consequência, uma variedade de campos de aplicação, fazendo com que o seu progresso signifique benefícios às atuais e futuras gerações, sem olvidar os riscos e perigos potenciais. De uma forma ou de outra, como apregoa Toffler (1998, p. 343), “não podemos e não devemos desligar o botão do progresso tecnológico”, na medida em que virar as costas à tecnologia significaria “não apenas uma burrice, mas uma imoralidade”, sendo que o verdadeiro desafio é a sociedade assumir o controle do próprio impulso de aceleração, ou seja, consciência do avanço realizado.

Outrossim, dentro do contexto tradicional, de simulação do processo cognitivo humano para a tomada de decisões, o algoritmo é o elemento que viabiliza este raciocínio automatizado das máquinas inteligentes, funcionando como um roteiro de comandos pré-ordenados, expresso em uma linguagem matemática. Aquele é programado por pessoas, tomando por base informações fornecidas por estas, e o resultado desta inteligência artificial tradicional era a previsibilidade das decisões, considerando que se conheciam as explicações para as respostas obtidas (Ferreira, Ferreira, Brito Filho, 2023, p. 63).

Soares (2021, p. 44-46) afirma que as possibilidades infinitas da inteligência artificial nas suas formas de atuação e na intensidade destas decorrem dos algoritmos, que são uma série de instruções constituídas por fórmulas matemáticas, operações e tratamentos estatísticos que programam a execução de tarefas por uma unidade operacional, a exemplo de dispositivos tecnológicos como computadores e *notebooks*, para, em curto espaço de tempo e com elevado grau de precisão, alcançar um determinado resultado. E, para atingir esse desiderato, os algoritmos avaliam dados e automatizam padrões analíticos, de modo que o próprio sistema rastreia, obtém, decompõe, combina, correlaciona, compila e analisa dados para, a seguir, executar uma operação, seja a previamente programada, seja outra que o sistema entenda ser a subsequente necessária, em razão da atuação do que se convencionou chamar de *machine learning*.

Em uma camada da *machine learning* está a espécie denominada de *deep learning*, o qual orienta máquinas para executarem determinadas atividades tal qual um ser humano as faria, considerando operações como, por exemplo, a identificação de locais, objetos, plantas, animais ou pessoas por meio de imagens; o reconhecimento de sons, como a fala de pessoas ou o canto de pássaros, ou o estabelecimento de padrões de acordo com decisões relacionadas a dados antecedentes. Desta forma, além de uma atuação de algoritmo com compasso predeterminado e previsível, os sistemas de inteligência artificial são desenvolvidos com uma capacidade de autoaprendizado e, por isso, estão aptos a executar operações autonomamente em face de prévias escolhas matemáticas, isto é, podem tomar decisões, que, podem não ser necessariamente as mesmas para situações similares, visto que esse caminho será trilhado pelo sistema de acordo com o resultado de uma experiência anterior (Soares, 2021, p. 46).

Em outros termos, pode-se compreender que através do aprendizado de máquina ou *machine learning*, que é uma funcionalidade, é possível detectar padrões e utilizá-los para situações novas, permitindo a verificação de semelhanças e diferenças e ensinando o programa a responder, sendo que essa atividade pode ser supervisionada, orientada por pessoas, ou não, neste último caso tem-se o chamado *deep learning*, ou aprendizado profundo, situação em que o computador se autoprograma, sendo dispensável a orientação humana e difícil explicar, racionalmente, o porquê de determinadas respostas.

O'Neil (2020, pp. 08 e 19) adverte que os algoritmos, enquanto modelos matemáticos, podem ser usados para trazer benefícios ao ser humano, mas, alguns podem ser programados para fomentar preconceitos, equívocos e vieses humanos nos sistemas de *software* que cada vez estão gerindo nossas vidas, levando à exclusão de pobres e oprimidos da sociedade. Acrescenta dizendo que um algoritmo pode processar um pântano de números e gerar uma probabilidade que uma certa pessoa pode ser má contratação, um devedor de risco, um terrorista, ou um péssimo professor. Essa probabilidade é destilada numa pontuação, que pode pôr a vida de alguém de ponta-cabeça. E mesmo quando a pessoa reage, evidências sugestivas do contrário não bastam. Isso denota o perigo do uso equivocado do algoritmo, que precisa ser utilizado com responsabilidade, ante o avanço tecnológico da atualidade.

Fato é que esse avanço da inteligência artificial acentua preocupações sobre privacidade e sobre controle democrático, sobre armas autônomas, sobre mercado de trabalho. E mais, todo o potencial da inteligência artificial ainda não foi acessado e desenvolvido pelos estudiosos (Cozman; Neri, 2021, p. 25). Sendo que essa tecnologia, se utilizada com sabedoria, pode se tornar propulsora do desenvolvimento mundial, oferecendo soluções diversas para problemas sociais.

Nesse sentido, considerando a ampla escala de aplicação de sistema de inteligência artificial, sua intersecção com outras ferramentas tecnológicas pode auxiliar no desenvolvimento de produtos essenciais ao ser humano, a exemplo de tecnologias farmacêuticas. E, neste íterim, a aplicação da inteligência artificial está acelerando a prospecção de compostos farmacêuticos, ou seja, a descoberta de novos remédios, visto que essa conexão, com outras tecnologias, está transformando a forma como os medicamentos são desenvolvidos e administrados.

Engelmann (2021, p. 904-905) explica as primeiras linhas da conjugação da inteligência artificial com a nanotecnologia, dizendo que como as nanopartículas se encontram em um grande número de setores, por meio da inteligência artificial abrem-se caminhos importantes para a concretização de objetivos farmacêuticos, posto que com esta se torna possível a pesquisa, o armazenamento, o tratamento e a sistematização de um grande conjunto de dados e publicações. Essas investigações em volume, e de maneira compilada, se tornariam humanamente impossíveis, ou, ao menos, se utilizaria muito mais tempo do que com um sistema de inteligência artificial. Logo, com esta, é viável fazer um levantamento das bases de dados e estruturar uma nova base de dados, contendo o cruzamento e a conjugação das informações que se encontram nas diversas bases de dados já existentes sobre as nanotecnologias.

Percebe-se, com a constante evolução dessas duas tecnologias, que sua interação, unindo as dimensões técnica e humana, poderá ampliar a produção de bens, notadamente no campo farmacológico, albergando promissoras perspectivas terapêuticas, com maior eficácia no diagnóstico, prevenção e tratamento de diversas patologias que acometem os indivíduos. O que, evidentemente, não afasta a necessidade de uma regulação, capaz de garantir a observância de diretrizes éticas, assegurando a eficácia e a segurança em sua utilização, bem como prevendo uma responsabilização no caso de ocorrência de danos. Inclusive, sobre este tema, é interessante pontuar sobre os projetos de Lei nº 21, de 2020, e nº 2338, de 2023.

No Brasil, duas propostas legislativas tramitam versando sobre a inteligência artificial. A primeira, oriunda da Câmara dos Deputados Federais, é o projeto de Lei nº 21, de 2020, possuindo 16 artigos em seu texto originário. A segunda, nascida no Senado Federal, é o projeto de Lei nº 2338, de 2023, tratando da temática em 45 artigos.

O projeto de Lei nº 21, de 2020, previa em seu artigo 6º, VI, que as normas sobre responsabilidade dos agentes que atuam na cadeia de desenvolvimento e operação de sistemas de inteligência artificial deveria se pautar na responsabilidade subjetiva. O que, evidentemente, destoava da norma inserta no artigo 927, parágrafo único, do Código Civil, que adotou a

responsabilidade objetiva na conjuntura de danos causados por atividades de risco, assim como ia na contramão da ocorrência do fato do produto ou do serviço, se demonstrada relação de consumo, quando a responsabilização recairia sobre o fornecedor. Na prática, o formato da responsabilidade subjetiva faria com que a vítima ficasse em situação de desamparo, posto que o nível de complexidade dessa tecnologia disruptiva tornaria difícil, senão impossível, provar que o dano decorreu de uma negligência do ser humano. Ante a recepção negativa, a redação do dispositivo foi alterada. O texto aguarda apreciação pelo Senado Federal, ante sua tramitação conjunta com o projeto de Lei nº 2338, de 2023.

Por sua vez, o projeto de Lei nº 2.338, de 2023, estabeleceu uma responsabilização objetiva, tratando da questão nos artigos 27 a 29. O *caput* do artigo 27 prevê que o fornecedor ou operador de sistema de inteligência artificial que cause dano patrimonial, moral, individual ou coletivo é obrigado a repará-lo, integralmente, independentemente do grau de autonomia do sistema. Seu parágrafo primeiro aponta que quando se tratar de sistema de alto risco ou risco excessivo, o fornecedor ou operador respondem objetivamente pelos danos causados. Enquanto seu parágrafo segundo indica que quando não se tratar de sistema de inteligência artificial de alto risco, a culpa do agente causador do dano será presumida, aplicando-se a inversão do ônus da prova em favor de quem suportou o dano. Atualmente, o projeto está na Comissão Temporária Interna sobre Inteligência Artificial no Brasil, com a relatoria.

Na atualidade, se percebe, de uma maneira clara, que a tecnologia cresce de maneira vertiginosa, possibilitando avanços inimagináveis e, *pari passu*, impondo desafios ao Direito, ante a ocorrência de eventuais danos à pessoa, o que exige que a técnica e a regulação jurídica caminhem em compasso, encurtando suas distâncias. O potencial ofertado pela inteligência artificial, aplicável em diversos setores da sociedade, não pode afastar a preocupação central do ordenamento jurídico, qual seja, o bem-estar individual e coletivo. Conciliar o desenvolvimento tecnológico e a proteção da pessoa humana em seus direitos é medida essencial, e deve ser perseguida por Estado e sociedade.

#### **4 O ENTRELAÇAMENTO ENTRE A NANOTECNOLOGIA E A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DESENVOLVIMENTO DE MEDICAMENTOS**

A convergência tecnocientífica gerada pelas interações entre as nanotecnologias e a inteligência artificial tem impulsionado a busca por terapias mais eficazes e seguras no combate às diversas patologias que acometem os indivíduos. Essa integração de inovações traz a possibilidade de transformar a maneira como os fármacos são desenvolvidos e administrados,



representando uma mudança paradigmática no propósito de alcançar melhoria na qualidade de vida dos pacientes.

Verifica-se que a nanotecnologia estuda partículas em escala atômica e molecular com aplicações em instrumentos e ferramentas biológicas, industriais e tecnológicas, destacando-se a produção de uma nova era de medicamentos com um sofisticado sistema de entrega em locais afetados pela doença. Nesse sentido, Costa *et al* (2024, p. 1648) explicitam que as nanopartículas terapêuticas podem ser projetadas para liberar medicamentos de maneira controlada e direcionada a tecidos-alvo, significando melhoria na eficácia terapêutica e redução da toxicidade em órgãos não afetados. Trata-se de mecanismos de entrega não invasivos, como adesivos transdérmicos e cápsulas com nanopartículas.

Por sua vez, a inteligência artificial vem acelerando a descoberta de novos medicamentos, isso porque os algoritmos de aprendizado de máquina conseguem analisar grandes conjuntos de dados moleculares, identificando potenciais compostos terapêuticos de maneira mais eficiente do que os métodos tradicionais. Tal avanço resulta em uma aceleração, significativa, na identificação de novos alvos terapêuticos e na seleção de candidatos a medicamentos (Costa *et al.*, 2024, p. 1647). E mais, quanto maior o quantitativo de informações e experiências a máquina adquirir, maior será sua capacidade de desenvolver soluções para os problemas apresentados (Blum; Rodrigues, 2021, p. 921).

Costa *et al.* (2024, p. 1647) elencam a aplicação da inteligência artificial no ramo farmacológico, dizendo que ela contribui na identificação de compostos potenciais em grandes bancos de dados; que pode ser utilizada para o *design* molecular de compostos farmacêuticos, bem como para analisar dados para encontrar alvos terapêuticos relevantes. Além disso, ainda podem analisar dados para identificar novas aplicações para medicamentos já existentes, e ainda prever a toxicidade potencial de compostos antes de testes em humanos. Ou seja, existe uma variedade de aplicações da inteligência artificial no campo da produção de medicamentos. E, quando se avança para sua conexão com a nanotecnologia, o potencial se expande.

Essa intersecção entre tais tecnologias, no campo farmacológico, afirmam Santos e Del Vechio, (2020, p. 135-136) pode ser visualizada na situação em que nano-robôs são desenvolvidos para trafegar por artérias do corpo humano e auxiliar os profissionais da saúde em diagnósticos de doenças, utilizando tecnologia atrelada ao acesso de banco de dados de grande escala para, assim, oferecer maior profundidade e detalhismo em laudos e perícias na saúde; eles podem informar cada detalhe do organismo para, assim, em tempo real, assegurar a saúde ou identificar qualquer anormalidade. A análise realizada na pessoa, que pode gerar imagens, será capaz de identificar uma célula inicial na qual viria a se instalar um tumor.

Inclusive, estudo desenvolvido pela Universidade Estadual do Arizona, em colaboração com o Centro Nacional de Nanociência e Tecnologia da China e do Instituto de Pesquisa Médica da Austrália, produziram, a partir de DNA, nano-robôs capazes de rastrear células cancerosas com o intuito de destruí-las. Neste processo, realizado por injeção intravenosa, os nano-robôs iniciam as buscas por tumores e ao encontrá-los, introduzem drogas que interrompem o fluxo sanguíneo e os removem. Todo o procedimento é executado sem agredir células saudáveis em sua trajetória. Testes realizados em camundongos com câncer de mama, pele, ovário e pulmão, resultou que em 48 horas os nano-robôs efetuaram, com sucesso, as operações para as quais foram programados, dobrando o índice de sobrevivência, além de 3 entre 8 casos de câncer de pele obteram regressão total (Santos; Del Vecchio, 2020, p. 136).

Um outro destaque, fruto da combinação ora analisada, é a chamada terapia fotodinâmica, que é capaz de aumentar a velocidade em diagnosticar patologias, além de reduzir o índice de rejeição em transplantes de materiais para regeneração de ossos e tecidos humanos (Santos; Del Vecchio, 2020, p. 136).

Oliveira, Martinez e Fazzio (2022, p. 06) asseveram que a conexão entre a inteligência artificial e a nanotecnologia tem potencial para gerar inovações na área, trazendo soluções para inúmeras patologias. Afirmam que técnicas de aprendizado de máquina e inteligência artificial são usadas para avaliar conjuntos de dados de nanomateriais para encontrar padrões e correlações entre propriedades físico-químicas e suas aplicações, muitas vezes indetectáveis por outros tipos de análises. Desta forma, abordagens computacionais utilizando ciência intensiva de dados para modelagem e previsão de estrutura/propriedade possui enorme potencial para desenvolver o uso e a aplicação da nanotecnologia na área da saúde.

Os atuais algoritmos de inteligência artificial, aprendizado de máquina e simulações atomísticas fornecem ferramentas para prever o tamanho e a carga das nanopartículas, eficiência de encapsulamento de fármacos, interações com membranas biológicas e biofluidos, cinética de liberação de drogas e perfil toxicológico. Evidentemente, esses avanços exigem mais políticas públicas e investimentos que fomentem a ciência fundamental e inovação tecnológica, através de parcerias entre empresas, universidades, hospitais e centros de pesquisa (Oliveira; Martinez; Fazzio, 2022, p. 07).

Percebe-se que combinando o relevante potencial da nanotecnologia aplicada na fabricação de medicamentos, os sistemas de inteligência artificial são verdadeiros aliados dos profissionais da saúde e das pesquisas relacionadas a doenças, visto que o campo da medicina produz significativa quantidade de dados, logo, para organizá-los, classificá-los e analisá-los, além de desenvolver prognósticos com base em referidos dados, os sistemas de inteligência

artificial utilizam *deep learning*, que é o aprendizado profundo, para descobrir novos fármacos e detectar as mais variadas anomalias do corpo humano.

Ressalte-se que o entrelaçamento dessas ferramentas tecnológicas busca um maior conforto e qualidade de vida para a sociedade, seja na perspectiva individual ou coletiva. Agora, é fato que podem apresentar riscos capazes de gerar danos, especialmente efeitos não previsíveis. Sendo que quando se trata dos nanomedicamentos o risco é ainda maior, posto que técnicas de produção de substâncias em escala nano são novas, passando por um processo produtivo inédito, o que desafia testes de segurança anteriormente aplicáveis, justamente por não terem a capacidade de mitigar e prever os seus possíveis efeitos adversos.

A cautela também deve cercar o uso da inteligência artificial aplicada no desenvolvimento de medicamentos, visto que se aquela pode aprimorar o *design* de novos fármacos, voltados para o uso em seres humanos, o mapeamento de possíveis consequências acerca das decisões tomadas por sistemas artificiais enfrenta algumas problemáticas, como a obscuridade e a opacidade quanto ao racional aplicado por determinado algoritmo, evitando que se antecipe ou preveja resultados possivelmente danosos à pessoa.

Entretanto, se os benefícios são potenciais, os perigos precisam ser cogitados, o que exige atenção para aspectos de segurança, toxicidade e avaliação de riscos desses novos remédios, desenvolvidos a partir de nanomateriais, sendo necessário prezar por uma inovação segura e sustentável. E mais, esse cuidado precisa ser considerado durante o desenvolvimento, uso e descarte desses novos produtos. Por isso, empreender esforços para ampliar pesquisas é essencial, para que a sociedade consiga mitigar riscos e extrair o que há de melhor no entrelaçamento da inteligência artificial e da nanotecnologia. Como afirma Jonas (2006, p. 353), “um patrimônio degradado degradaria igualmente os seus herdeiros”.

Destarte, numa conjuntura de perspectivas e riscos, esse cenário inovador precisa receber uma estrutura regulatória pública. Ora, a nanotecnologia e a inteligência artificial, a despeito de sua utilização, cada vez maior, inclusive com produtos à base de nanomateriais sendo disponibilizados no mercado de consumo, são tecnologias que continuam não regradas pelo Estado, e essa realidade precisa ser alterada, com vistas à proteção da pessoa humana.

## 5 CONCLUSÃO

A conexão entre a inteligência artificial e a nanotecnologia representa uma convergência tecnológica hábil a acelerar o desenvolvimento de tecnologias medicamentosas, ou melhor, a produção de uma nova geração de fármacos com maior eficácia e menores efeitos colaterais, reduzindo custos e tempo de pesquisa, e auxiliando diagnósticos, prevenção e

tratamento contra diversas patologias que acometem o ser humano, contribuindo para a melhoria na qualidade de vida das pessoas.

Ora, enquanto a inteligência artificial acelera a descoberta de novos medicamentos, visto seu potencial de identificar compostos terapêuticos de maneira mais eficiente do que os métodos tradicionais, a nanotecnologia vem gerando conhecimentos e produtos no campo farmacológico, apresentando vantagens a exemplo da liberação controlada da substância ativa no sítio de ação, alta estabilidade quando em contato com fluídos biológicos, capacidade de proteger as moléculas ativas contra degradação em meio fisiológico, redução dos efeitos adversos, melhoria da passagem de fármaco através das barreiras biológicas, dentre outros benefícios à saúde do paciente.

Ademais, apesar do cenário promissor, potencializado com a evolução da inteligência artificial, existem preocupações quanto aos potenciais riscos, ainda desconhecidos, conectados com a manipulação humana da escala nanométrica. É fato que a evolução tecnológica e dos riscos tecnológicos leva ao surgimento de novos danos, que podem afetar os cidadãos, fazendo com que se exija do Estado o cumprimento dos deveres de proteção, de assistência e de segurança. As descobertas protagonizadas pela nanotecnologia geram expectativas, principalmente nas pessoas acometidas por patologias complexas, como doenças oncológicas, neurodegenerativas e cardíacas, e os estudos sobre nanomedicamentos apontam possibilidades terapêuticas significativas. O que, evidentemente, não afasta o perigo de danos, posto que os ganhos não poderão ser colocados acima da segurança individual e coletiva.

Como as nanopartículas são muito pequenas, levantam preocupações, pois, podem penetrar as barreiras do corpo humano e chegar em áreas sensíveis, sendo que a exposição pode ocorrer de diferentes produtos de consumo, pela inalação, ingestão e mecanismos de contato cutâneo. Assim, os efeitos colaterais ainda não desconhecidos, visto que os estudos ainda são inconclusos, apesar de sua circulação no mercado de consumo. A questão é se a ameaça se transformar em lesão ao indivíduo. A ciência, como qualquer outra atividade humana, deve funcionar conforme e dentro dos limites das normas éticas e jurídicas.

Deste modo, ante o risco de danos futuros, existe a necessidade de construção de arcabouços regulatórios, tanto para a inteligência artificial, quanto para a nanotecnologia, esta última potencializada pela primeira no desenvolvimento dos nanomedicamentos. Sendo que o tratamento ofertado, pelo legislador, para a questão da responsabilidade civil é fundamental, conquanto que a sociedade precisa ter facilitado seu ressarcimento a danos injustamente sofridos nesses cenários, assim como se priorizar mecanismos preventivos, evitando que o dano ocorra. Fato é que uma proteção jurídica ao cidadão é essencial, até mesmo em atenção às

gerações futuras, não se podendo olvidar o maior objetivo do ordenamento jurídico, qual seja, a tutela da pessoa humana.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Diagnóstico institucional de nanotecnologia**. Brasília, 25 de março de 2014. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4906561/mod\\_resource/content/1/ANVISA.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4906561/mod_resource/content/1/ANVISA.pdf). Acesso em: 28 jun. 2024.

ALVES, Oswaldo Luiz. 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, 2004. p. 23 – 40. Disponível em: [http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/viewFile/138/132](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/138/132) . Acesso em: 02 jul. 2024.

ARCURI, Arline Sydneia Abel. **Atual situação da nanotecnologia no Brasil**. FUNDACENTRO. Brasília, 13 de dezembro de 2012. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cmads/audiencias-publicas/audiencias-publicas/13-12-12-debate-sobre-a-atual-situacao-da-nanotecnologia-no-brasil/apresentacao-draarline-arcuri/view> Acesso em: 12 jul. 2024.

ARCURI, Arline Sydneia Abel; PONTES, Jorge Marques. **Nanotecnologia e seus impactos na saúde, meio ambiente e no mundo do trabalho**. In: HESS, Sonia Corina (Org.). Ensaios sobre poluição e doenças no Brasil. 1. ed. – São Paulo: Outras Expressões, 2018, p. 315-336.

BATISTA, Ariane de Jesus Sousa; PEPE, Vera Lúcia Edais. Os desafios da nanotecnologia para a vigilância sanitária de medicamentos. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 7, p. 2105–2114, jul. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/6LP8kx7nsFdvtnwJVWBq4Mg/#> Acesso em: 27 jun. 2024.

BLUM, Renato Opice; RODRIGUES, Paula Marques. Nanotecnologia e inteligência artificial: desafios e perspectivas. In: BARBOSA, Mafalda Miranda; BRAGA NETTO, Felipe; SILVA, Michael César; FALEIROS JÚNIOR, José Luiz de Moura (Coords.). **Direito digital e inteligência artificial**: diálogos entre Brasil e Europa. Indaiatuba, SP: Editora Foco, 2021, p. 915-928.

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

BRASIL. Câmara dos Deputados Federais. **Projeto de lei nº 21, de 2020**. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2236340> Acesso em: 18 jul. 2024.

BRASIL. **Lei Federal nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002 (Código Civil)**. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2002/110406compilada.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/110406compilada.htm) Acesso em: 02 jul. 2024.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de lei nº 880, de 19 de fevereiro de 2019**. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/135353>. Acesso em: 06 jun. 2024.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de lei nº 2338, de 2023**. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/157233> Acesso em: 18 jul. 2024.

COSTA, Cleber Nonato Macedo *et al.* Farmacologia do futuro: avanços tecnológicos transformando o tratamento de doenças crônicas. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**. São Paulo, v.10. n.01. jan. 2024, p. 1643 - 1652. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/13001> Acesso em: 10 jul. 2024.

COZMAN, Fabio G.; NERI, Hugo. O que, afinal, é Inteligência Artificial? *In*: COZMAN, Fabio G.; PLONSKI, Guilherme Ary; NERI, Hugo (Orgs.) **Inteligência artificial: avanços e tendências** [livro eletrônico]. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados, 2021, p. 21-29.

DORA, Cristiana Lima; PRIMO, Fabian Teixeira; ARAÚJO, Gabriela de Moraes Soares. Reflexões bioéticas acerca da inovação em nanomedicamentos. **Revista de Bioética y Derecho – perspectivas bioéticas**. 2019; 45: 197-212. Disponível em: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1886-58872019000100014&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1886-58872019000100014&script=sci_abstract&tlng=pt) Acesso: 25 jun. 2024.

ENGELMANN, Wilson. O cenário inovador das nanotecnologias e da inteligência artificial em contextos tecnológicos não regrados pelo Estado. *In*: BARBOSA, Mafalda Miranda; BRAGA NETTO, Felipe; SILVA, Michael César; FALEIROS JÚNIOR, José Luiz de Moura (Coords.). **Direito digital e inteligência artificial: diálogos entre Brasil e Europa**. Indaiatuba, SP: Editora Foco, 2021, p. 897-913.

ENGELMANN, Wilson; LEAL, Daniele Weber S.; HOHENDORFF, Raquel Von. Nanotecnologias e a evolução das teorias sobre risco: a atenção para o nanowaste e sua adequada gestão. **Cadernos de Derecho Actual** Nº 10. Núm. Ordinario (2018), pp. 79-118. Disponível em: <http://www.cadernosdedereitoactual.es/ojs/index.php/cademos/article/view/328>. Acesso em: 15 jul. 2024.

FERREIRA, Versalhes Enos Nunes; FERREIRA, Vanessa Rocha; BRITO FILHO, José Claudio Monteiro de. Inteligência artificial e o trabalho humano: a necessidade de regulamentação. XXX Congresso Nacional do CONPEDI Fortaleza – Ceará - Direito do trabalho e meio ambiente do trabalho I - Organização CONPEDI – Florianópolis: CONPEDI, 2023, p. 59 – 75. Disponível em: <http://site.conpedi.org.br/publicacoes/pxt3v6m5/ov6f025y/qbMIC6j1V24YdaWs.pdf> Acesso em: 05 jul. 2024.

GOMES, Rafaela Cardoso *et al.* Aplicações da nanotecnologia na indústria de alimentos. Uma Revisão. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal** (v.9, n.1), p. 1-8 (2015). Disponível em: <http://www.higieneanimal.ufc.br/seer/index.php/higieneanimal/article/view/230> Acesso em: 02 jul. 2024.

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

NASCIMENTO, Maria Cândida Simon Azevedo; ENGELMANN, Wilson. NANOTECNOLOGIA E DIREITO: da estrutura jurídica tradicional ao diálogo entre as fontes do direito. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Direito da UFC**. v. 37.1, jan./jun. 2017, p. 199-221. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/28872> Acesso em: 20 jun. 2024.

National Nanotechnology Initiative. **About Nanotechnology**. 2024. Disponível em: <https://www.nano.gov/about-nanotechnology> Acesso em: 27 jun. 2024.

NILSSON, Nils J. **Inteligencia artificial: una nueva síntesis**. Madrid: McGraw Hill, 2001.

O'NEIL, Cathy. **Algoritmos de destruição em massa: como o big data aumenta a desigualdade e ameaça a democracia**. 1. ed. – Santo André, SP: Editora Rua do Sabão, 2020.

OLIVEIRA, Rafael Furlan de; MARTINEZ, Diego Stéfani Teodoro; FAZZIO, Adalberto. A nanotecnologia na saúde: a nanotecnologia e os nanomateriais são elementos centrais para a inovação e solução de problemas na área da saúde. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 74, n. 4, p. 01-10, Dec. 2022. Disponível em: [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252022000400006&lng=en&nrm=iso](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252022000400006&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 20 jul. 2024.

RUSSELL, Stuart J.; NORVIG, Peter. **Inteligência artificial**. Tradução de Regina Célia Simille – Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

SANTOS, Andressa Maxwara Jovino dos; DEL VECHIO, Gustavo Henrique. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, DEFINIÇÕES E APLICAÇÕES: o uso de sistemas inteligentes em benefício da medicina. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 129–139, 2020. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/782>. Acesso em: 19 jul. 2024.

SOARES, Flaviana Rampazzo. Levando os algoritmos a sério. *In*: BARBOSA, Mafalda Miranda; BRAGA NETTO, Felipe; SILVA, Michael César; FALEIROS JÚNIOR, José Luiz de Moura (Coords.). **Direito digital e inteligência artificial: diálogos entre Brasil e Europa**. Indaiatuba, SP: Editora Foco, 2021, p. 43 - 64.

SOUSA, Cesar Romero Soares *et al.* NANOTECNOLOGIA E NANOCIÊNCIA: considerações histórica e interdisciplinar. **Hegemonia – Revista Eletrônica do Programa de Mestrado em Direitos Humanos, Cidadania e Violência/Ciência Política do Centro Universitário Unieuro**. ISSN: 1809-1261, Brasília, número 25 (Especial), 2018, pp. 150-178. Disponível em: <https://revistahegemonia.emnuvens.com.br/hegemonia/article/view/255> Acesso em: 02 jul. 2024.

TOFFLER, Alvin. **O choque do futuro**. Tradução de Eduardo Francisco Alves – 6ª ed. – Rio de Janeiro: Record, 1998.