

A TEORIA DO RISCO TECNOAMBIENTAL – ANÁLISE DA RESPONSABILIDADE CIVIL POR DANOS AO MEIO AMBIENTE PROVOCADO POR ROBÔS

THE THEORY OF TECHNO-ENVIRONMENTAL RISK – ANALYSIS OF CIVIL LIABILITY FOR ENVIRONMENTAL DAMAGE CAUSED BY ROBOTS

Élcio Nacur Rezende*
Flávio Ribeiro Fortunato**

RESUMO: O presente estudo analisa os desafios jurídicos da Quinta Revolução Industrial, com foco na responsabilidade civil por danos ambientais causados por robôs autônomos e sistemas de Inteligência Artificial. Parte-se da premissa de que, embora o ordenamento jurídico brasileiro adote a Teoria do Risco Integral como base da responsabilidade civil ambiental, ainda faltam mecanismos adequados frente às novas realidades tecnológicas. Adota-se o método hipotético-dedutivo e a análise comparativa de legislações estrangeiras (Japão, Coreia do Sul, Rússia e União Europeia) para avaliar a eficácia normativa e propor soluções inovadoras. Como principal contribuição teórica, propõe-se a Teoria do Risco Tecnoambiental, que busca integrar os princípios clássicos do direito ambiental às exigências da era digital, promovendo equilíbrio entre inovação, segurança jurídica e proteção ecológica. Defende-se a flexibilização do regime de responsabilidade, com base no artigo 12 do Código de Defesa do Consumidor, priorizando a responsabilização do fabricante e dos demais agentes da cadeia produtiva. Os testes com um *bot* fundamentado em modelos matemáticos,

ABSTRACT: This study analyzes the legal challenges of the Fifth Industrial Revolution, focusing on civil liability for environmental damage caused by autonomous robots and Artificial Intelligence systems. It starts from the premise that, although the Brazilian legal system adopts the Theory of Integral Risk as the basis for environmental civil liability, adequate mechanisms are still lacking to address new technological realities. The hypothetical-deductive method and a comparative analysis of foreign legislation (Japan, South Korea, Russia, and the European Union) are used to evaluate normative effectiveness and propose innovative solutions. As a main theoretical contribution, the Theory of Techno-environmental Risk is proposed, which seeks to integrate the classic principles of environmental law with the demands of the digital age, promoting a balance between innovation, legal certainty, and ecological protection. The study advocates for the flexibilization of the liability regime, based on Article 12 of the Consumer Protection Code, prioritizing the liability of the manufacturer and other agents in the production chain. Tests with a bot based on

* Possui Graduação em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais (1997), Graduação em Administração pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (1994), Especialização em Direito pela Universidade Gama Filho (1998), Mestrado em Direito pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (2003) e Doutorado em Direito pela mesma instituição (2009). Tem Pós-Doutorado em Direito pela Universidade de Messina/Itália. Tem experiência na área de Direito, com ênfase em Direito das Coisas, Responsabilidade Civil e Ambiental. É Editor da Revista Veredas do Direito (Qualis A1), membro do Conselho Editorial Científico da Revista Eletrônica do Curso de Direito da PUC/Minas - Serro, membro do Conselho Editorial da Revista Brasileira de Direito Ambiental, membro da Comissão Editorial da Revista Opinião Jurídica, membro da Comissão de Avaliadores da Revista Pensar - Revista de Ciências Jurídicas, Membro do Corpo de Pareceristas da Revista do Tribunal de Contas do Estado de Minas Gerais. Membro da Comissão de Avaliadores da Revista Direito Ambiental e Sociedade, membro fundador do Instituto Brasileiro de Estudos de Responsabilidade Civil (IBERC) e membro do Comitê Avaliador da Revista da Procuradoria-Geral da Fazenda Nacional. É avaliador de projetos da CAPES. É professor dos Programas de Pós-graduação em Direito da Escola Superior Dom Helder Câmara e das Faculdades Milton Campos. É Procurador da Fazenda Nacional. E-mail: elcionrezende@yahoo.com.br / ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2369-8945>

** Doutorando em Direito pelo Centro Universitário Dom Helder. Mestre Profissional em Administração pela Universidade Metodista de Piracicaba. Bacharel em Direito pelo Centro Universitário Atenas (2007), onde lecionou no ensino superior por 13 anos. Advogado e Analista Educacional do Estado de Minas Gerais, com ampla experiência nas áreas de Direito Civil, Direito do Consumidor, Direito Ambiental, Educação a Distância e Informática Aplicada ao Direito. Desenvolve pesquisas interdisciplinares que articulam tecnologia, sustentabilidade e responsabilidade civil, com participação em eventos acadêmicos e publicações na interface entre Direito, inovação e sociedade. E-mail: flaviofortunato@gmail.com / ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4965-0183>

inspirado nos estudos da professora Zhelezova, apresentaram resultados promissores na atribuição automatizada da responsabilidade jurídica ambiental, evidenciando o potencial da Inteligência Artificial para fortalecer a previsibilidade e a eficácia do sistema normativo ambiental.

Palavras-chave: Robôs. IA. Sustentabilidade. Risco Tecnambiental. Responsabilidade civil.

mathematical models, inspired by Professor Zhelezova's studies, have shown promising results in the automated attribution of environmental legal responsibility, highlighting the potential of Artificial Intelligence to strengthen the predictability and effectiveness of the environmental regulatory system.

Keywords: Robots. AI. Sustainability. Techno-environmental risk. Civil liability.

SUMÁRIO: Introdução. **1.** Entre algoritmos e deveres jurídicos: a responsabilidade civil na era da IA e dos robôs. **2.** Entre a culpa e o risco: a responsabilidade civil por danos ambientais causados por IA. **3.** Hipervulnerabilidade digital e IA: desafios jurídicos da responsabilidade civil na era da autonomia tecnológica. **4.** Neurônios artificiais, risco ambiental e responsabilização: uma análise da era da IA autônoma. **5.** Considerações Finais. Referências.

INTRODUÇÃO

Na era denominada por diversos autores futuristas¹ como a Quinta Revolução Industrial, marcada pela disseminação de robôs e pela crescente interação entre humanos e humanoides, torna-se imprescindível refletir sobre as implicações jurídicas decorrentes do desenvolvimento dessas máquinas autônomas, especialmente no que se refere à responsabilidade civil por danos ambientais provocados por tais dispositivos. Diante desse cenário, impõem-se as seguintes questões: à luz do sistema de responsabilidade civil vigente no ordenamento jurídico brasileiro, é possível atribuir diretamente responsabilidade civil aos robôs pelos danos ambientais causados? Seria viável a formulação de uma nova teoria do risco aplicável a essas tecnologias? Considerando, ainda, o regime tradicional baseado na culpa, seria possível distribuir a responsabilidade civil entre fabricantes, programadores e usuários dos robôs em casos de danos ambientais?

Para tanto, torna-se necessário explorar o impacto jurídico da tecnologia robótica na responsabilidade civil ambiental, com base em diversas produções científicas nacionais e internacionais. O objetivo é identificar novas teorias que possam regulamentar os sistemas de Inteligência Artificial (IA), analisar as regulamentações vigentes quanto à responsabilidade civil dos robôs e propor estratégias para a adequada atribuição de responsabilidades por danos causados por dispositivos autônomos na sociedade.

Partiu-se da hipótese de que a aplicação irrestrita da responsabilidade objetiva, fundamentada na Teoria do Risco Integral, pode gerar desproporcionalidade na atribuição de responsabilidades entre os diversos agentes que compõem a cadeia produtiva de robôs autônomos. Nesse contexto, destaca-se que a

¹ TAPARO, Edelir Tiago. Indústria 5.0: a nova era da integração homem-máquina no Brasil. *LinkedIn*, 17 jan. 2025; GOMES, Gabriela. Indústria 5.0: a revolução da integração entre humanos e máquinas na produção industrial. *Gestão Industrial*, 14 fev. 2025; NAHAVANDI, Saeid. Industry 5.0—A Human-Centric Solution. *Sustainability*, v. 11, n. 16, p. 4371, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11164371>. Acesso em: 6 mar. 2026; YAMADA, Naofumi; TAKASHIMA, Hironori; KIMURA, Yasunori. Rumo à realização de uma sociedade super inteligente (Sociedade 5.0): CPS/IoT e além. *Joho Kanri*, v. 60, n. 5, p. 325-334, 2017. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/johokanri/60/5/60_325/_article/-char/ja/. Acesso em: 6 mar. 2026.

utilização de *bots* jurídicos baseados em modelos matemáticos, como o desenvolvido a partir da obra de Zhelezova, revela-se tecnicamente viável para a atribuição objetiva de responsabilidade ambiental em casos que envolvam tecnologias autônomas.

O objetivo foi analisar criticamente os limites e desafios da aplicação da Teoria do Risco Integral na responsabilização civil ambiental por danos causados por robôs autônomos e sistemas de Inteligência Artificial, no contexto do ordenamento jurídico brasileiro. Ademais, propõe-se a Teoria do Risco Tecnoambiental como novo paradigma teórico-jurídico para a responsabilização de agentes tecnológicos autônomos por danos ambientais, buscando harmonizar inovação tecnológica, segurança jurídica e proteção ambiental na era pós-humana.²

Investigam-se, também, os limites e as potencialidades do uso de modelos matemáticos e *bots* jurídicos como instrumentos para a atribuição objetiva de responsabilidade ambiental envolvendo agentes tecnológicos autônomos. Nesse sentido, a pesquisa examina de que modo essas ferramentas, baseadas em algoritmos e critérios quantificáveis, podem contribuir para decisões equitativas e juridicamente fundamentadas, especialmente em contextos marcados pela complexidade técnica e pela opacidade algorítmica. A adoção de modelos computacionais, inspirados na proposta da autora russa Zhelezova, revela-se uma alternativa viável para suprir lacunas do sistema jurídico tradicional, permitindo maior previsibilidade, proporcionalidade e racionalidade na distribuição de responsabilidades entre os diferentes agentes envolvidos nas etapas de desenvolvimento, operação e supervisão dessas tecnologias.

Neste trabalho, utilizou-se o suporte de tecnologias baseadas em Modelos de Linguagem em Grande Escala (*Large Language Models – LLMs*) e em Modelos de Linguagem Multimodais (*Multimodal Language Models – MLMs*), capazes de processar e interpretar simultaneamente diferentes tipos de dados, como textos, imagens, gráficos e vídeos. Tais tecnologias possibilitaram uma análise ampla e integrada das informações, contribuindo significativamente para a compreensão interdisciplinar do tema.

Além disso, foram realizadas pesquisas bibliográficas em artigos científicos oriundos do Japão, Dinamarca, França, Coreia do Sul, Rússia e Brasil. Adotou-se o método hipotético-dedutivo, complementado por análise comparativa por similaridade, desenvolvimento de infraestrutura tecnológica e utilização de redes privadas virtuais (*VPNs*) para o acesso a publicações estrangeiras.

Apesar das limitações da pesquisa, especialmente no que se refere à testagem de alterações nas opções dos blocos e à aplicação em larga escala, os resultados obtidos revelaram-se significativamente promissores. Referidos achados podem contribuir para uma análise abrangente e fundamentada, sustentada por um conjunto ampliado de elementos capazes de promover uma compreensão mais consistente dos impactos das tecnologias emergentes na sociedade e no ordenamento jurídico.

Observa-se que o uso de robôs e sistemas de Inteligência Artificial tem se expandido em áreas com impacto direto sobre o meio ambiente. As normas vigentes, pautadas na responsabilização humana, mostram-se insuficientes para lidar com os danos causados por essas tecnologias, podendo gerar distorções, como a imputação de responsabilidade a agentes com baixa participação nos eventos danosos.

² FURUSAWA, Koyu. The Significance of Questioning Human Existence from Posthuman: For the Purpose of Building a “Synthetic Anthropology” [Essay, Part 3]. *Synthetic Anthropology*, v. 16, p. 149-160, 2022. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/synanthro/16/0/16_149/_article/-char/en. Acesso em: 4 nov. 2024.

Diante disso, esta pesquisa propõe a atualização do sistema jurídico por meio da Teoria do Risco Tecnoambiental, que visa permitir a responsabilização proporcional dos efetivos contribuidores do dano, promovendo um equilíbrio entre inovação, segurança jurídica e proteção ambiental.

1 ENTRE ALGORITMOS E DEVERES JURÍDICOS: A RESPONSABILIDADE CIVIL NA ERA DA IA E DOS ROBÔS

Para Cavalieri Filho³ todo fato humano pode ensejar responsabilidade jurídica. Mas, e quando tais atos são praticados por robôs? Nesse contexto, o estudo da responsabilidade civil adquire especial relevância diante das inovações disruptivas que vêm transformando a sociedade contemporânea. Entre essas inovações, destaca-se o avanço da Inteligência Artificial e dos robôs, tanto virtuais quanto físicos, como fenômenos de profundo impacto social, jurídico e ambiental. Nesse sentido, ressalta-se que “a tecnologia de IA no setor de ecologia e uso dos recursos naturais possui um potencial e uma perspectiva de desenvolvimento significativos”.⁴

Tais sistemas oferecem múltiplas vantagens. Dentre elas, conforme observa Kravchenko⁵, destaca-se a capacidade dos sistemas robotizados de neutralizar situações de risco, protegendo indivíduos contra ameaças à integridade física. Do mesmo modo, contribuem de forma significativa para a prevenção de infrações e para a aplicação equitativa de sanções legais. A utilização de tecnologias automatizadas em operações de segurança permite reduzir a exposição humana a contextos perigosos, mitigando perdas de vidas.

Nesse contexto, o avanço da robótica na era pós-humana tem se consolidado como uma realidade em diversos países. Diante desse cenário, Ulyanova e Sergeenko⁶ apontam que emergem relevantes desafios jurídicos, os quais exigem dos legisladores e operadores do direito uma avaliação crítica quanto à suficiência das abordagens normativas tradicionais para regulamentar a Inteligência Artificial ou, alternativamente, a necessidade de reformulação legislativa e desenvolvimento de novos paradigmas regulatórios.

De igual modo, levantam-se questões como a eventual atribuição de personalidade jurídica à Inteligência Artificial, a proteção legal dos resultados por ela gerados, a responsabilização por danos decorrentes de suas ações e a formulação de diretrizes éticas para seu uso. À medida que a IA passa a integrar o cotidiano das pessoas, torna-se necessária uma compreensão aprofundada desse novo fato social.

³ CAVALIERI FILHO, Sergio. *Programa de responsabilidade civil*. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

⁴ KURYACHAYA, Ju. D.; MALOLETKOVA, E. A. Digital transformation of the ecology and nature management industry: pros and cons, development prospects. *Voprosy rossiiskoi iustitsii*, [S.l.], n. 30, p. 253, 2024. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67208194>. Acesso em: 21 maio 2025. p. 253.

⁵ KRAVCHENKO, O. V. Peculiarities of the implementation of artificial intelligence in the field of civil legal relations and public administration. *Zakon i vlast*, n. 6, p. 190-195, 2024. ISSN 2587-831X. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80261236>. Acesso em: 19 maio 2025.

KAWAI, Yuji. Attribution of Causality and Responsibility to a Robot. *Journal of the Robotics Society of Japan*, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 32-36, 2020. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrsj/38/1/38_38_32/_article/-char/en. Acesso em: 21 maio 2025.

⁶ ULYANOVA, E. S.; SERGEENKO, P. S. Risk management in the use of artificial intelligence technologies: civil liability. In: *INTELLECTUALNAIA SOBSTVENNOST V SOVREMENNOM MIRE: VYZOVY VREMENI I PERSPEKTIVY RAZVITIIA – International Scientific and Practical Conference, 2.*, pt. 2, 2021, Minsk, 20 out. 2021. Proceedings [...]. Minsk: Alfa-kniga, 2021. p. 195-200. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48176144>. Acesso em: 19 maio 2025.

Segundo uma concepção russa apresentada por Mkhitaryan e Tolochkova⁷, a IA pode ser definida como um conjunto de soluções tecnológicas capazes de imitar funções cognitivas humanas, incluindo o autoaprendizado e a busca de soluções sem a necessidade de um algoritmo pré-definido, alcançando, na execução de tarefas específicas, resultados comparáveis, ao menos, aos da atividade intelectual humana. Kolosov complementa este entendimento ao esclarecer que “a IA representa um dispositivo físico (como computador, telefone, robô etc.) ou virtual (como programas especializados, redes de computadores, servidores virtuais etc.)”⁸.

Ao analisar a base legislativa, Kandaurova e Konnov⁹ observam que, apesar das diversas críticas, o conceito de Inteligência Artificial já se encontra definido e consolidado em documentos normativos. Segundo estes autores, destaca-se a Estratégia Nacional de Desenvolvimento da IA até 2030, aprovada pelo Decreto nº 490, de 10 de outubro de 2019, do Presidente da Federação Russa¹⁰, que estabelece as diretrizes para o avanço da IA no país. As referidas definições refletem a complexidade desses sistemas e sua capacidade de substituir atividades anteriormente desempenhadas exclusivamente por seres humanos.

A Inteligência Artificial, surgida nos Estados Unidos em 1956, foi definida como “máquinas que imitam a inteligência humana”¹¹. Essa tecnologia tem impulsionado a Quinta Revolução Industrial por meio de inovações como a robótica integrada à indústria e ao convívio humano.

Autores dinamarqueses Alexander Dietz e Magnus¹² apontam que a definição do conceito de Inteligência Artificial tem se revelado notoriamente complexa. Como exemplo, citam a analogia proposta pelo jurista britânico Jacob Turner, que compara essa tarefa à tentativa de alcançar o horizonte: à medida que se parece estar próximo de uma definição, o próprio objeto já se transformou. Essa dificuldade decorre do caráter dinâmico e em constante evolução da IA, impulsionado pelo contínuo progresso tecnológico, o que inviabiliza a formulação de uma conceituação estática.

Segundo Audit¹³, embora as bases teóricas das redes neurais artificiais tenham surgido na segunda metade do século XX, o aprendizado profundo só avançou significativamente após 2010, com o

⁷ MKHITARYAN, N.; TOLOCHKOVA, I. Artificial intelligence and legal responsibility: challenges and perspectives for civil law. In: ANNUAL SCIENTIFIC CONFERENCE, 17., 2023, Yerevan. *Proceedings of the Scientific Conference*. Yerevan: Russian-Armenian (Slavonic) University, 2024. p. 152. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80399826>. Accessed on: 19 maio 2025.

⁸ KOLOSOV, A. V. The use of artificial intelligence as the basis for sustainable human development: features of international legal regulation. *Moskovskii zhurnal mezhdunarodnogo prava*, [S.l.], n. 4, p. 106–118, 2024. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=79493800>. Acesso em: 21 maio 2025.

⁹ KANDAUROVA, M. A.; KONNOV, R. R. Application and responsibility of artificial intelligence in civil law and judicial proceedings. In: SCIENTIFIC SYMPOSIUM ON CONTEMPORARY LEGAL ISSUES, 2024. Proceedings [...]. *Moscow: FGBOUVO RGUP*, 2024. p. 237. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68610181>. Acesso em: 19 maio 2025.

¹⁰ Указ Президента РФ от 10.10.2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (вместе с «Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года») // «Собрание законодательства Российской Федерации». — 14.10.2019. — № 41. — ст. 5700.

¹¹ CHOI, Dong Jun. A Systematic Literature Review on Legal Issues Related to Artificial Intelligence. *法學論文集 (CAUJLS)*, [S.l.], v. 49, n. 1, p. 68, 2025. DOI: 10.22853/caujls.2025.49.1.67. Disponível em: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART003198902>. Acesso em: 21 jun. 2025.

¹² PAGTER, Alexander Dietz; ELLERMANN, Magnus. Erstatningsansvar for skader forvoldt af AI-systemer. Aalborg Universitet, 2022. Disponível em: https://projekter.aau.dk/projekter/files/473989458/Kandidatspeciale__erstatningsansvar_for_AI_systemer.pdf. Acesso em: 11 jul. 2025.

¹³ AUDIT, Pierre-Emmanuel. Faut-il conférer la personnalité juridique aux (robots) androïdes? 2024. p. 01-64. Disponível em: <https://hal.science/hal-04541223v1/document>. Acesso em: 7 jul. 2025. p. 50.

expressivo crescimento da disponibilidade de dados e do poder computacional para processá-los. Na última década, as contribuições teóricas que possibilitaram o aprimoramento das redes de neurônios artificiais têm promovido transformações profundas e aceleradas nas dinâmicas sociais, econômicas e comunicacionais. Entretanto, a massificação do uso dessas tecnologias também apresenta o potencial de intensificar violações aos deveres jurídicos relacionados à proteção da natureza.

Parte-se do pressuposto de que, diante da violação de um dever jurídico, sempre haverá a responsabilização de algum agente. Neste estudo, tomam-se como referência os deveres jurídicos estabelecidos no artigo 225 da Constituição Federal¹⁴, na Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981)¹⁵, na Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998)¹⁶ e em demais normas ambientais pertinentes.

De acordo com Cavalieri Filho¹⁷, a responsabilidade jurídica decorre da violação de um dever jurídico dirigido à consciência dos indivíduos. Nesse contexto, a obrigação configura-se como um dever originário, enquanto a responsabilidade constitui um dever sucessivo, do qual emerge a obrigação de indenizar. O autor ainda observa que as fontes dessa obrigação podem decorrer tanto de atos lícitos quanto da violação de deveres de incolumidade.

Na doutrina brasileira, identificam-se situações específicas que autorizam a imputação de responsabilidade, sendo essencial, como ponto de partida, a identificação do dever jurídico transgredido. A partir dessa verificação, torna-se possível determinar o agente responsável pela violação. Diferentemente da doutrina brasileira, que discute a possibilidade de aplicar sistemas que impõem ao causador do dano a responsabilidade pelo prejuízo efetivamente causado, considerando a reparação como forma de sanção ou de prevenção geral, a jurisprudência japonesa adota outra postura. Segundo Kurita¹⁸, a Suprema Corte do Japão declarou que esse tipo de sistema é incompatível com os princípios fundamentais do regime de responsabilidade civil por atos ilícitos vigente no país, razão pela qual negou sua eficácia no território japonês. Conclui-se, portanto, que o Japão adota um sistema de reparação exclusivamente patrimonial, fundamentado em princípios éticos e orientado pela priorização de valores econômicos no processo de responsabilização.

Cordeiro e Rezende¹⁹ destacam que as transformações sociais contemporâneas ocorrem em ritmo acelerado. Nesse contexto, observa-se que a computação binária, dominante por décadas, tende a ser

¹⁴ BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. "Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações." Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 6 mar. 2026.

¹⁵ BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. *Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências*. Brasília, DF: Presidência da República, 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm. Acesso em: 6 mar. 2026.

¹⁶ BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. *Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências*. Brasília, DF: Presidência da República, 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm. Acesso em: 6 mar. 2026.

¹⁷ CAVALIERI FILHO, Sergio. *Programa de responsabilidade civil*. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

¹⁸ KURITA, Masahiro. Civil Liability for Robot Accident. *Journal of the Robotics Society of Japan*, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 41, 2020. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrsj/38/1/38_38_41/_article/-char/en. Acesso em: 21 maio 2025.

¹⁹ CORDEIRO, Luiz Felipe de Freitas; REZENDE, Elcio Nacur. O uso da inteligência artificial como instrumento facilitador ao acesso à justiça – Uma análise à luz da experiência do STF. *Revista Cidadania e Acesso à Justiça*, Florianópolis, Brasil,

gradualmente substituída pela computação quântica. Paralelamente, verifica-se a progressiva substituição de seres humanos por humanoides em diversas atividades. Atualmente em fase de ampla adoção, essas tecnologias impõem novos desafios, mas também oferecem oportunidades significativas aos sistemas jurídicos estatais, especialmente diante da redução de custos e da otimização do tempo na prestação de serviços e na aplicação célere e justa do Direito.

Em relação aos desafios, observa-se que a doutrina, tanto nacional quanto estrangeira, ainda não alcançou um consenso acerca das implicações jurídicas decorrentes da aceleração tecnológica e do uso de sistemas plenamente autônomos. Essa lacuna evidencia a urgência de investigações aprofundadas, voltadas à formulação de teorias jurídicas capazes de fundamentar decisões que sejam, simultaneamente, justas e ecologicamente sustentáveis. Diante desse cenário de rápidas e profundas inovações, o papel do Direito revela um caráter inovador, ao se incumbir da função de regular, acompanhar e orientar o uso ético, seguro e responsável dessas novas tecnologias. Para Kishimoto,²⁰ o advento da inteligência artificial aumentou tanto "o que se quer proteger" quanto "o que ameaça".

Nessa perspectiva, Choi²¹ relata um estudo realizado na Coreia do Sul, que analisou o período de 2013 a 2022, e concluiu que o número total de pedidos de patente relacionados às tecnologias chegou a 151.218. Dentre esses, destacam-se as patentes relativas à inteligência artificial e ao *big data*, abrangendo áreas como Internet das Coisas, saúde digital, biomarcadores, robôs inteligentes, veículos autônomos e impressão 3D. Esse fator é considerado um dos elementos relevantes para a guerra tarifária imposta pelos Estados Unidos ao Brasil, a qual se justifica, em parte, pela morosidade do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) no registro de patentes.

No que se refere ao financiamento dessa nova tecnologia, segundo Ulyanova e Sergeenko²², em 2021, os Estados Unidos (38%) e a China (48%) ocupavam posições de liderança no financiamento de startups relacionadas à inteligência artificial, com um crescimento geral dos investimentos, em 2020, de 40%. Cabe mencionar, os autores informam que mais de 60 países já lançaram estratégias nacionais para o desenvolvimento da IA, entre eles Alemanha, França, Austrália, China, Japão, entre outros. Somando-se a esses investimentos, segundo Song²³ o mercado global de robôs industriais ultrapassa 590 mil unidades,

v. 9, n. 2, 2024. DOI: 10.26668/IndexLawJournals/2526-026X/2023.v9i2.10034. Disponível em: <https://www.indexlaw.org/index.php/acessojustica/article/view/10034>. Acesso em: 28 jul. 2025.

²⁰ FURTUNATO, Flávio Ribeiro; PEREIRA, Jardel de Paula. Filosofia ecológica, a eco-tecnologia: da paradigmas modernos à ética da sustentabilidade. In: CAMPELLO, Livia Gaschiher Rosso; GOMES, Magno Frederic; NUNES, Danilo Henrique (org.). *Direito e sustentabilidade II*. Florianópolis: CONPEDI, 2025. p. 327-346. Disponível em: <https://site.conpedi.org.br/publicacoes/06n3kw94/b5sltl68/PXudeZxGoDTet39p.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2025.

²¹ CHOI, Dong Jun. A Systematic Literature Review on Legal Issues Related to Artificial Intelligence. *法學論文集* (CAUJLS), [S.l.], v. 49, n. 1, p. 68, 2025. DOI: 10.22853/caujls.2025.49.1.67. Disponível em: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART003198902>. Acesso em: 21 jun. 2025.

²² ULYANOVA, E. S.; SERGEENKO, P. S. Risk management in the use of artificial intelligence technologies: civil liability. In: *INTELLECTUALNAIA SOBSTVENNOST V SOVREMENNOM MIRE: VYZOVY VREMENI I PERSPEKTIVY RAZVITIIA – International Scientific and Practical Conference*, 2., pt. 2, 2021, Minsk, 20 out. 2021. Proceedings [...]. Minsk: Alfa-kniga, 2021. p. 195–200. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48176144>. Acesso em: 19 maio 2025. p. 196.

²³ SONG, H. A study on the relationship between measurement indicators for each type of AI robots risk and AI ethics principles. *Journal of Internet Computing and Services*, v. 26, n. 1, p. 117, fev. 2025. Disponível em: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202509439605137.page>. Acesso em: 22 maio 2025.

sendo que a Coreia do Sul, com mais de 30 mil unidades em 2022, tornou-se o quarto maior mercado de robôs do mundo, atrás apenas da China, Japão e Estados Unidos.

Tais inovações tecnológicas contribuíram para a ampliação da eficiência, da praticidade e da agilidade nas atividades cotidianas, o que tem aumentado a demanda por esses dispositivos. Nesse sentido, Yoon²⁴ noticia que a Microsoft, por exemplo, anunciou que investirá até 80 bilhões de dólares em inteligência artificial até 2025. Adicionalmente, para Hong e Choi,²⁵ no primeiro semestre de 2024, estima-se que os investimentos relacionados à IA, realizados pelas principais *big techs* — Microsoft, Amazon, Meta e Google —, totalizaram cerca de 106 bilhões de dólares, um aumento de 50% em relação ao mesmo período do ano anterior.

Associado a esse contexto, o desenvolvimento de robôs humanoides, veículos autônomos e robôs industriais pode acarretar um aumento significativo no número de acidentes causados por essas tecnologias. A esse respeito, o autor Langlais²⁶ menciona que “desde o primeiro acidente fatal registrado entre um carro autônomo da Uber-Volvo XC90 e um pedestre nos Estados Unidos (março de 2018), centenas de casos semelhantes ocorreram ao redor do mundo”. Situação semelhante ocorreu com o avanço do maquinismo no século XX, como leciona Sérgio Cavalieri Filho²⁷, quando os tribunais passaram, inicialmente, a presumir a culpa com base na própria atividade danosa e, posteriormente, a adotar uma abordagem centrada na Teoria do Risco Criado.

Diante da criação e disseminação dos robôs, esse novo fenômeno jurídico precisa ser devidamente investigado, com vistas à construção de um arcabouço normativo adequado aos desafios da era tecnológica. Conforme demonstrado por Audit²⁸, após um longo intervalo histórico, ainda que marcado por avanços pontuais, o antigo ideal do robô humanóide, ou andróide, começa a se concretizar. A título de exemplo, menciona-se que, em 2020, esse fenômeno ainda se manifestava de forma esporádica; contudo, sua evolução não deve ser subestimada, uma vez que a inserção de robôs humanoides na sociedade já está em curso e configura-se, progressivamente, como um processo inexorável.

É notório que o sistema jurídico tradicional não tem conseguido acompanhar, de forma eficaz, as profundas transformações provocadas pelos avanços tecnológicos. Essa defasagem é particularmente evidente no Brasil, no plano normativo-tecnológico, onde se observa a ineficiência de leis ultrapassadas, produzidas pelo Poder Legislativo, bem como a morosidade do Poder Judiciário em oferecer respostas tempestivas aos desafios impostos por uma sociedade marcada pelo risco aumentado.

²⁴ YOON, Seok-Chan. A Study on Civil Liability in the So-Called ‘Strong Artificial Intelligence’ Area – focusing on the Sports and Entertainment Industry. *스포츠엔터테인먼트와 법 (JSEL)*, [S.l.], v. 28, n. 1, p. 23, 2025. Disponível em: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artid=ART003183039>. Acesso em: 21 jun. 2025.

²⁵ HONG, Areum; CHOI, Gaeun. Key trends and issues in artificial intelligence. *Electronics and Telecommunications Trends*, v. 40, n. 1, p. 74–82, fev. 2025. Disponível em: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202550536006324.page>. Acesso em: 22 maio 2025.

²⁶ LANGLAIS, Eric; LI, Nanxi. Which liability laws for robots? *La Revue Économique*, v. 76, n. 1, p. 14, 2025. Disponível em: https://shs.cairn.info/article/RECO_761_0013/pdf?lang=en. Acesso em: 7 jul. 2025.

²⁷ CAVALIERI FILHO, Sergio. *Programa de responsabilidade civil*. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

²⁸ AUDIT, Pierre-Emmanuel. Faut-il conférer la personnalité juridique aux (robots) androïdes? 2024. p. 01-64. Disponível em: <https://hal.science/hal-04541223v1/document>. Acesso em: 7 jul. 2025. p. 15.

2 ENTRE A CULPA E O RISCO: A RESPONSABILIDADE CIVIL POR DANOS AMBIENTAIS CAUSADOS POR IA

É evidente que o modelo atual de responsabilidade civil ainda carece de instrumentos adequados para embasar decisões justas diante dos novos desafios impostos pelas inovações tecnológicas. Um dos problemas persistentes reside na limitação da teoria clássica da culpa, que, conforme observa Gagliano²⁹, “não conseguia atender à imensa gama de casos concretos em que os danos se perpetuavam sem reparação, pela impossibilidade de comprovação do elemento anímico”; foi justamente diante dessa lacuna que surgiu a Teoria do Risco Criado. Torna-se, portanto, imprescindível distinguir com maior clareza, no âmbito do ordenamento jurídico brasileiro, no que se refere aos danos causados por máquinas autônomas, os sujeitos submetidos ao regime de responsabilidade objetiva daqueles que devem responder com base na responsabilidade subjetiva.

No entanto, no que tange à esfera ambiental no Brasil, tanto o Supremo Tribunal Federal (STF) quanto o Superior Tribunal de Justiça (STJ) adotam a Teoria do Risco Integral, conforme entendimento firmado nos Temas 681³⁰ e 707³¹. Em 2022, o STJ reiterou essa posição ao julgar o REsp 1.612.887/PR³², reafirmando que a responsabilidade por danos ambientais é objetiva, fundada nos arts. 225, § 3º, da Constituição Federal, ou seja, “as condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados”. Constata-se que a interpretação legal está em conformidade com a jurisprudência dos Tribunais Superiores, uma vez que o Superior Tribunal de Justiça, no REsp 650.728/SC (Brasil, 2009b)³³, já reconheceu a responsabilidade ambiental como objetiva e solidária³⁴. Esse entendimento fundamenta-se na aplicação da teoria do risco integral ao poluidor, conforme disposto no § 1º do art. 14 da Lei nº 6.938/81, em consonância com o art. 942 do Código Civil de 2002.

²⁹ GAGLIANO, Pablo Stolze; PAMPLONA FILHO, Rodolfo. *Novo curso de direito civil: responsabilidade civil*. 7. ed. São Paulo: Saraiva, 2009. p. 12.

³⁰ SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA (Brasil). *Tema 681*. Responsabilidade civil por dano ambiental. Aplicação da teoria do risco integral, afastando excludentes de responsabilidade. Brasília, DF: Superior Tribunal de Justiça. Disponível em: https://processo.stj.jus.br/repetitivos/temas_repetitivos/pesquisa.jsp. Acesso em: 6 mar. 2026.

³¹ SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA (Brasil). *Tema 707*. Responsabilidade civil por dano ambiental. Aplicação da teoria do risco integral em matéria ambiental. Brasília, DF: Superior Tribunal de Justiça. Disponível em: https://processo.stj.jus.br/repetitivos/temas_repetitivos/pesquisa.jsp. Acesso em: 6 mar. 2026.

³² BRASIL. Superior Tribunal de Justiça. *Recurso Especial nº 1.612.887 - PR (2016/0130638-4)*. Relatora: Ministra Nancy Andrighi. Terceira Turma, julgado em 28 de abril de 2020. Disponível em: <https://informativos.trilhante.com.br/julgados/stj-resp-1612887-pr>. Acesso em: 6 mar. 2024.

³³ BRASIL. Superior Tribunal de Justiça. *Recurso Especial nº 650.728 - SC (2003/0221786-0)*. Relator: Ministro Herman Benjamin. Brasília, DF, [data do julgamento ou publicação]. Disponível em: https://www.stj.jus.br/websecstj/cgi/revista/REJ/cgi/ATC?seq=3463400&tipo=5&nreg=200302217860&SeqCqrmaSessao=&CodOrgao_jdr=8&dt=20091202&formato=PDF&salvar=false. Acesso em: 6 mar. 2024.

³⁴ MELO, D. C. P.; AMMIRABILE, P. C. A. C. A. A responsabilização civil solidária do Estado – PL 2159/2021. *Veredas do Direito*, Belo Horizonte, v. 21, e212664, 2024. Disponível em: <http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/2664>. Acesso em: 28 jul. 2025.

No que tange à Teoria do Risco Integral, Farias e Rosenthal³⁵ lecionam que os pressupostos e os excludentes tradicionais da responsabilidade civil, como o caso fortuito, a força maior, o fato da vítima ou de terceiros, não afastam a obrigação de indenizar, desde que presentes os elementos essenciais: a conduta do agente, o nexo causal (fático) e a ocorrência do dano. Nessas hipóteses, a responsabilização prescinde da comprovação de culpa.

Na perspectiva tecnológica, a elaboração da doutrina jurídica responsável pela normatização das relações sociais demanda uma abordagem distinta. Kamyshevskiy³⁶ assinala que tal exigência decorre do fato de que o direito contemporâneo se fundamenta na regulação de relações baseadas na vontade dos indivíduos e de suas organizações, levando em consideração fatores previsíveis que podem influenciar essa vontade e sua manifestação externa por meio de declarações formais.

Em acréscimo, é fundamental esclarecer que, na norma pátria, imputar significa atribuir responsabilidade a outrem. No sistema jurídico brasileiro, o artigo 186 do Código Civil (Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002) dispõe: “Aquele que, por ação ou omissão voluntária, negligência ou imprudência, violar direito e causar dano a outrem, ainda que exclusivamente moral, comete ato ilícito.” Contudo, conforme leciona Cavalieri Filho³⁷, o elemento volitivo, ou seja, a vontade do agente, é considerado essencial para a configuração da responsabilidade civil.

Entretanto, diante da atuação de robôs, sistemas automatizados e do avanço das redes neurais artificiais, todos desprovidos de vontade própria, surge um impasse relevante: qual seria, nesse contexto, o elemento capaz de fundamentar a responsabilização jurídica? Essa questão desafia os paradigmas clássicos da responsabilidade civil, exigindo novas abordagens teóricas que levem em consideração a autonomia operacional das máquinas e seus impactos jurídicos. Por esse motivo, Usoltseva, Charkovskaya e Choi³⁸ sugerem que no momento em que se prevê o surgimento de uma inteligência artificial avançada e de robôs sofisticados, especialmente sistemas ciberfísicos, redes neurais e assistentes inteligentes, está em curso uma reavaliação ampla e diversificada do sistema jurídico vigente, estruturado historicamente com foco no ser humano.

Contudo, Sakuma³⁹ adverte que, mesmo que, em um futuro distante, a inteligência artificial de uso geral se torne comum, se ela não puder ser titular independente de patrimônio, não poderá sequer ser considerada sujeito de responsabilidade civil, especialmente no que se refere à obrigação de indenizar por danos causados. Corroborando esse entendimento, Isakova e Tebryaev⁴⁰ indicam que tecnologias de

³⁵ FARIAS, Cristiano Chaves de; ROSENVALD, Nelson. *Curso de direito civil: responsabilidade civil*. 4. ed. rev. e atual. Salvador: Ed. JusPodivm, 2017. 976 p. ISBN 978-85-442-1101-4.

³⁶ KAMYSHANSKIY, V. P. On the legal nature of a robot with artificial intelligence. *Vlast Zakona*, [s. l.], v. 4, n. 36, p. 25, 2018. ISSN 2079-0295. Disponível em: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39346422>. Acesso em: 18 fev. 2025.

³⁷ CAVALIERI FILHO, Sergio. *Programa de responsabilidade civil*. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

³⁸ USOLTSEVA, N. A.; CHARKOVSKAYA, N. I. Issues of civil liability of artificial intelligence [...], p. 115–120; CHOI, Dong Jun. A Systematic Literature Review on Legal Issues Related to Artificial Intelligence [...], p. 68.

³⁹ SAKUMA, O. The Responsibility of Artificial Intelligence as Electronic Agents. *Journal of Criminal Law*, [S.l.], v. 59, n. 2, p. 296–307, 2020. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcl/59/2/59_296/_article/-char/en. Acesso em: 21 maio 2025. DOI: https://doi.org/10.34328/jcl.59.2_296.

⁴⁰ ISAKOVA, E. M.; TEBRYAEV, A. A. Subject of civil liability for harm caused by artificial intelligence technologies. *Atualnye problemy nauki i praktiki*, n. 4 (33), p. 69, 2023. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=64321237>. Acesso em: 19 maio 2025.

inteligência artificial não podem possuir consciência, percepção sensorial, elementos emocionais e volitivos, tampouco a capacidade de estabelecer objetivos como o ser humano.

Em complemento a essa concepção, o Código Civil Brasileiro (Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002) estabelece, em seu artigo 1º, que toda pessoa é capaz de direitos e deveres na ordem civil; e, no artigo 2º, que a personalidade civil da pessoa começa com o nascimento com vida, sendo resguardados, desde a concepção, os direitos do nascituro. Esses dispositivos evidenciam que não há, conforme o ordenamento jurídico brasileiro, possibilidade de reconhecimento da responsabilidade jurídica de robôs. Indo além, Usoltseva e Charkovskaya⁴¹, ao apresentarem as principais tendências de pesquisa, apontam três possibilidades: a inteligência artificial como sujeito pleno das relações jurídicas; como quase-sujeito das relações jurídicas; ou como produto, isto é, objeto das relações jurídicas.

Neste cenário, Brasil, Coreia do Sul, França, Dinamarca, Rússia, União Europeia e outros países discutem a necessidade de adequação da doutrina, da jurisprudência e dos tratados internacionais em face dessa nova realidade tecnológica. Um exemplo significativo é a aprovação, pelo Parlamento Europeu, em 20 de outubro de 2020, da Resolução P9_TA (2020) 0276⁴², que apresentou recomendações à Comissão Europeia sobre o regime de responsabilidade civil aplicável à inteligência artificial. Deste modo, Usoltseva e Charkovskaya⁴³ indicam que no anexo referente aos parâmetros de responsabilização, estabeleceu-se a aplicação da responsabilidade objetiva aos operadores de sistemas de IA classificados como de alto risco, enquanto a responsabilidade subjetiva, baseada na culpa, foi atribuída aos operadores de demais categorias de IA.

A contínua discussão científica sobre os princípios que regem a responsabilidade pelos danos causados por sistemas de inteligência artificial evidencia a necessidade de desenvolver uma abordagem normativa abrangente. Tal abordagem deve ser capaz de equilibrar a proteção ao meio ambiente e aos direitos fundamentais com a preservação de um ambiente econômico favorável à inovação, de modo a não inviabilizar nem afastar empresas do território nacional.

3 HIPERVULNERABILIDADE DIGITAL E IA: DESAFIOS JURÍDICOS DA RESPONSABILIDADE CIVIL NA ERA DA AUTONOMIA TECNOLÓGICA

Um fenômeno relevante associado ao uso de sistemas eletrônicos, compostos por hardwares e softwares, tem sido descrito na literatura especializada como hipervulnerabilidade. Esses mecanismos

⁴¹ USOLTSEVA, N. A.; CHARKOVSKAYA, N. I. *Issues of civil liability of artificial intelligence*. In: SIBERIAN LEGAL READINGS, 6., 2024, Tyumen. Law in the Age of Artificial Intelligence: Promising Challenges and Current Tasks. Tyumen: TyumGU-Press, 2024. p. 115-120. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80285225>. Acesso em: 21 jun. 2025.

⁴² UNIÃO EUROPEIA. Parlamento Europeu. Resolução do Parlamento Europeu, de 20 de outubro de 2020, que contém recomendações à Comissão sobre o regime de responsabilidade civil aplicável à inteligência artificial (2020/2014(INL)). Estrasburgo: Parlamento Europeu, 2020. Disponível em: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2020-0276_EN.pdf. Acesso em: 6 mar. 2026.

⁴³ USOLTSEVA, N. A.; CHARKOVSKAYA, N. I. *Issues of civil liability of artificial intelligence*. In: SIBERIAN LEGAL READINGS, 6., 2024, Tyumen. Law in the Age of Artificial Intelligence: Promising Challenges and Current Tasks. Tyumen: TyumGU-Press, 2024. p. 115-120. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80285225>. Acesso em: 21 jun. 2025. p. 197.

tendem a potencializar fragilidades estruturais, cuja incidência se observa em diversos domínios, como o comercial, por meio do comércio eletrônico; o social, por meio das redes digitais; e o governamental, por meio da digitalização de serviços públicos.

Segundo Ulyanova e Sergeenko⁴⁴, bem como Khalitova e Tebryaev⁴⁵, no momento, para fins de aplicação de medidas de responsabilidade civil, é mais apropriado considerar a inteligência artificial como uma fonte de perigo aumentado (FPA) nos casos em que representa um risco elevado para terceiros — como ocorre com drones, veículos autônomos e sistemas inteligentes baseados em tecnologias de aprendizado de máquina, entre outros. Embora os juristas abordem de diferentes formas o conceito de fonte de perigo aumentado, na opinião dos autores russos Isakova e Tebryaev⁴⁶, entre outros, a concepção teórica consolidada nesse domínio é a denominada “Teoria do Objeto”. Segundo essa abordagem, a fonte de risco agravado é identificada como um objeto material que, por sua própria natureza, possui o potencial de causar danos, independentemente da intervenção direta de um agente humano.

Adicionalmente, Song⁴⁷ considera que a robótica com inteligência artificial é uma área em constante expansão, os indicadores de medição por tipo de risco têm o potencial de se tornar fundamentos relevantes para legislações, regulamentações, certificações, políticas públicas e programas educacionais voltados ao desenvolvimento e ao controle de robôs com IA.

Seguindo esse prisma, na Coreia do Sul, a expansão comercial de robôs com inteligência artificial tornou-se uma estratégia essencial à sobrevivência das empresas, que disputam de forma acirrada o mercado por meio do uso de tecnologias científicas avançadas voltadas à geração de valor econômico. Song⁴⁸ registra, que no CES 2024, foram apresentados robôs domésticos com função de companhia; já no CES 2025, robôs bípedes voltados à inspeção e ao controle de qualidade na indústria demonstraram um nível ainda mais elevado de desenvolvimento. Esses avanços ressaltam a crescente dependência humana de robôs, os quais vêm sendo incorporados a diversas áreas da vida cotidiana.

Inclusive, Yoon⁴⁹ registra que com a ascensão da inteligência artificial generativa, bem como dos robôs humanóides dotados de IA, já é possível considerar que seu uso se torne uma realidade nas indústrias do esporte e do entretenimento. Outrossim, apesar da existência de numerosos estudos em andamento e já

⁴⁴ USOLTSEVA, N. A.; CHARKOVSKAYA, N. I. Issues of civil liability of artificial intelligence. In: SIBERIAN LEGAL READINGS, 6., 2024, Tyumen. *Law in the Age of Artificial Intelligence: Promising Challenges and Current Tasks*. Tyumen: TyumGU-Press, 2024. p. 115-120. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80285225>. Acesso em: 21 jun. 2025. p. 119.

⁴⁵ KHALITOVA, E. M.; TEBRYAEV, A. A. Subject of civil liability for harm caused by artificial intelligence technologies. *Pravovaia reforma*, n. 2, p. 79-83, 2024. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=66274627>. Acesso em: 19 maio 2025.

⁴⁶ ISAKOVA, E. M.; TEBRYAEV, A. A. Subject of civil liability for harm caused by artificial intelligence technologies. *Atualnye problemy nauki i praktiki*, n. 4 (33), p. 65-70, 2023. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=64321237>. Acesso em: 19 maio 2025.

⁴⁷ SONG, H. *A study on the relationship between measurement indicators for each type of AI robots risk and AI ethics principles*. *Journal of Internet Computing and Services*, v. 26, n. 1, p. 117-128, fev. 2025. Disponível em: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202509439605137.page>. Acesso em: 22 maio 2025. p. 126.

⁴⁸ SONG, H. *A study on the relationship between measurement indicators for each type of AI robots risk and AI ethics principles*. *Journal of Internet Computing and Services*, v. 26, n. 1, p. 117-128, fev. 2025. Disponível em: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202509439605137.page>. Acesso em: 22 maio 2025. p. 135.

⁴⁹ YOON, Seok-Chan. *A Study on Civil Liability in the So-Called ‘Strong Artificial Intelligence’ Area – focusing on the Sports and Entertainment Industry*. *스포츠엔터테인먼트와 법 (JSEL)*, [S.l.], v. 28, n. 1, p. 3-28, 2025. Disponível em: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artid=ART003183039>. Acesso em: 21 jun. 2025. p. 19.

concluídos, o conhecimento consolidado acerca dos riscos inerentes aos sistemas de inteligência artificial, em suas distintas áreas de aplicação, ainda é limitado.

No plano regulatório, um avanço notável é a promulgação da Lei Básica de Inteligência Artificial na Coreia do Sul citada por Song⁵⁰. No contexto europeu, destaca-se a aprovação, em março de 2024, do chamado “AI Act”⁵¹, considerada a primeira legislação mundial voltada especificamente à regulamentação da inteligência artificial. Essa norma classifica os riscos da IA por níveis, reforça exigências de transparência e impõe sanções às empresas que descumprirem suas disposições, despertando grande interesse e repercussão no meio científico. Em escala global, Kim⁵² adverte que, nos Estados Unidos, concentram-se os impactos da IA sobre o mercado de trabalho; a China intensifica sua transformação digital; e a União Europeia impõe regulamentações específicas por meio do AI Act.

Segundo a abordagem de Song⁵³, a análise estatística dos resultados obtidos por meio das pesquisas Delphi e de campo permitiu identificar os componentes dos princípios éticos da inteligência artificial, relacionados a 52 indicadores de medição de risco. Esses indicadores foram classificados nos seguintes tipos: riscos físicos ao corpo humano, riscos aos direitos humanos, riscos de perdas patrimoniais e riscos sociais. No âmbito da responsabilidade por riscos associados a robôs humanóides, Yoon⁵⁴ destaca que as fontes de risco envolvem a possibilidade de falhas ou mau funcionamento, o risco potencial decorrente da autonomia, além da possibilidade de ataques contra usuários ou terceiros.

Ulyanova e Sergeenko⁵⁵ relatam que, na União Europeia, o Departamento de Políticas de Direitos dos Cidadãos e Assuntos Constitucionais do Parlamento Europeu publicou o relatório intitulado IA e Responsabilidade Civil. Esses autores descrevem que o documento propõe uma abordagem regulatória fundamentada na gestão de riscos, segundo a qual distintas categorias de sistemas de IA devem estar sujeitas a regimes específicos de responsabilidade. Nessa perspectiva, a responsabilização deve recair sobre o agente que: (1) possui a capacidade de identificar o risco, (2) exerce controle sobre ele e (3) é capaz de gerenciá-lo de forma eficaz.

⁵⁰ SONG, H. *A study on the relationship between measurement indicators for each type of AI robots risk and AI ethics principles*. Journal of Internet Computing and Services, v. 26, n. 1, p. 117–128, fev. 2025. Disponível em: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202509439605137.page>. Acesso em: 22 maio 2025. p. 136.

⁵¹ UNIÃO EUROPEIA. *Regulamento (UE) 2024/1689 do Parlamento Europeu e do Conselho*, de 13 de junho de 2024, que estabelece regras harmonizadas em matéria de inteligência artificial (Regulamento Inteligência Artificial). Bruxelas: Parlamento Europeu, 2024. Disponível em: <https://regulations.ai/regulations/RAI-EU-NA-E2AIXXX-2024>. Acesso em: 6 mar. 2026.

⁵² KIM, Y. Global trends in applied technologies for AI transformation. Journal of Korea Society of Digital Industry and Information Management, v. 21, n. 1, p. 1–14, mar. 2025. Disponível em: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202510861205743.page>. Acesso em: 22 maio 2025.

⁵³ SONG, H. *A study on the relationship between measurement indicators for each type of AI robots risk and AI ethics principles*. Journal of Internet Computing and Services, v. 26, n. 1, p. 117–128, fev. 2025. Disponível em: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202509439605137.page>. Acesso em: 22 maio 2025. p. 125.

⁵⁴ YOON, Seok-Chan. *A Study on Civil Liability in the So-Called ‘Strong Artificial Intelligence’ Area – focusing on the Sports and Entertainment Industry*. 스포츠엔터테인먼트와 법 (JSEL), [S.l.], v. 28, n. 1, p. 3–28, 2025. Disponível em: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artilId=ART003183039>. Acesso em: 21 jun. 2025. p. 22.

⁵⁵ USOLTSEVA, N. A.; CHARKOVSKAYA, N. I. Issues of civil liability of artificial intelligence. In: SIBERIAN LEGAL READINGS, 6., 2024, Tyumen. *Law in the Age of Artificial Intelligence: Promising Challenges and Current Tasks*. Tyumen: TyumGU-Press, 2024. p. 115–120. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80285225>. Acesso em: 21 jun. 2025. p. 115-120.

Para tanto, observa-se que os critérios atualmente utilizados ainda se baseiam exclusivamente na noção de culpa. Dessa forma, a complexidade das diversas cadeias de produção torna difícil a demonstração efetiva dessa culpa. Diante disso, evidencia-se a necessidade de modelos teóricos aprimorados, capazes de refletir com maior precisão a realidade social gerada pelos sistemas de inteligência artificial.

Nos debates científicos, manifestam-se opiniões no sentido da redefinição do sujeito da responsabilidade civil nos casos de danos causados por IA. Serafimov, Sakharova e Stankina⁵⁶ ressaltam que, quando o dano for causado a terceiros por um sistema de IA, a responsabilidade deverá recair sobre o criador ou detentor dos direitos sobre essa IA, com base nas normas gerais do artigo 1064⁵⁷ e do Capítulo 58 do Código Civil da Federação Russa. No mesmo sentido, informam que, se o dano decorrer de falhas inerentes à própria IA, aplicar-se-ão as normas relativas à responsabilidade por danos causados por defeitos de produtos.

No Brasil, os danos causados por dispositivos eletrônicos autônomos, de acordo com a lógica do Código de Defesa do Consumidor Lei nº 8.078⁵⁸, de 11 de Setembro de 1990, são regidos pelos artigos 12 e 14, que estabelecem a responsabilidade civil por defeito do produto e do serviço, a qual recai sobre o “fabricante”. No entanto, quando se trata de relações ambientais, a responsabilidade é prevista na Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) e na Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998). Os princípios aplicáveis nesses casos são: da Prevenção e da Precaução, do Poluidor-pagador, da Função socioambiental da propriedade, da Responsabilidade objetiva e solidária dos causadores do dano, além da possibilidade de inversão do ônus da prova.

Ademais, para reforçar a percepção das vulnerabilidades associadas às novas tecnologias, Lee⁵⁹ destaca a ameaça crescente dos crimes cibernéticos, que representam um risco não apenas para países isolados, mas para toda a comunidade internacional, principalmente países em desenvolvimento como o Brasil que não possuem tecnologia de produção destas máquinas.

À luz dessa perspectiva, no que se refere à autonomia dos robôs, embora esta não se equipare à autonomia humana, Asada⁶⁰ confirma que essa característica é amplamente desejável nos sistemas robóticos, mesmo quando não plenamente desenvolvida. Essa abordagem parte do próprio entendimento da autonomia humana, que também não configura um livre-arbítrio absoluto. Este estudo, que aborda a

⁵⁶ SERAFIMOV, F. A.; SAKHAROVA, J. U. K.; STANKINA, L. N. Artificial intelligence and civil liability. Санкт-Петербургский филиал Российской таможенной академии. *Journal*, n. 4, p. 149, 2025. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80332768>. Acesso em: 19 maio 2025.

⁵⁷ RÚSSIA. *Código Civil da Federação Russa*: Partes I-III. Adotado pela Duma em 21 de outubro de 1994, 22 de dezembro de 1995 e 1 de novembro de 2001. Tradução de Maxim Polyakov. Disponível em: https://arbitratus.ru/english/rf_codes/civil.shtml. Acesso em: 6 mar. 2026.

⁵⁸ BRASIL. Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990. *Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências*. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 12 set. 1990. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8078compilado.htm.

⁵⁹ LEE, Soo Kyoung. A study on civil liability of Artificial Intelligence. *민사법학*, [S.l.], v. 107, p. 225–261, 2024. Disponível em:

<https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART003097203>. Acesso em: 21 jun. 2025.

⁶⁰ ASADA, Minoru. Rethinking Autonomy of Humans and Robots. *Journal of the Robotics Society of Japan*, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 7–12, 2020. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrsj/38/1/38_38_7/_article/-char/en. Acesso em: 21 maio 2025. DOI: <https://doi.org/10.7210/jrsj.38.7>.

neurociência, reforça essa premissa ao demonstrar que muitos dos processos conscientes são, na realidade, ajustes posteriores a decisões previamente tomadas de forma inconsciente.

O problema se intensifica com o advento de sistemas de inteligência artificial baseados em *machine learning* ou *deep learning*, os quais são capazes de aprender e agir sem intervenção humana, operando de forma autônoma — o que implica, também, o risco de causarem danos físicos ou virtuais segundo Pagter⁶¹. Como explica Kurita⁶², nesse modelo de IA, a aquisição de características ocorre de forma automatizada, tornando o processo entre a entrada e a saída de dados praticamente incompreensível para os seres humanos, fenômeno conhecido como “problema da caixa-preta”. A esse respeito, Lee⁶³ esclarece que, como a IA alcança seus resultados por meio do reconhecimento de padrões e do aprendizado baseado em grandes volumes de dados, até mesmo os próprios desenvolvedores frequentemente enfrentam dificuldades para prever, com precisão, os resultados que o sistema poderá produzir. Por esse motivo, afirma-se que a IA atua autonomamente, com base em seu próprio “juízo”.

Outro desafio que se impõe é o da personalidade jurídica. De acordo com o ordenamento jurídico brasileiro, apenas o indivíduo é capaz de contrair direitos e obrigações. Sakuma⁶⁴, ao analisar se a IA pode ou não ser considerada um sujeito jurídico, afirma que a maioria das opiniões é negativa. E explica: “em outras palavras, mesmo uma IA autônoma equipada com função de locomoção própria não é uma entidade que possa ser equiparada ao ser humano, isso é apenas um sonho fantasioso”.

Com base na experiência internacional, Yoon⁶⁵ destaca que, no caso de sistemas de inteligência artificial, no que se refere à responsabilidade civil por danos causados por esses sistemas, deve-se aplicar a teoria da responsabilidade objetiva ou da responsabilidade por risco, a qual presume a obrigação de indenizar independentemente da comprovação de culpa.

4. IA: NEURÔNIO ARTIFICIAIS, RISCO AMBIENTAL E RESPONSABILIZAÇÃO: UMA ANÁLISE DA ERA DA IA AUTÔNOMA

Essa perspectiva torna-se ainda mais relevante diante da contínua evolução tecnológica. Com o avanço dessas tecnologias, estudos indicam que, no futuro, à medida que a inteligência artificial e os robôs

⁶¹ PAGTER, Alexander Dietz; ELLERMANN, Magnus. *Erstatningsansvar for skader forvoldt af AI-systemer*. Aalborg Universitet, 2022. Disponível em: https://projekter.aau.dk/projekter/files/473989458/Kandidatspeciale__erstatningsansvar_for_AI_systemer.pdf. Acesso em: 11 jul. 2025. p. 13.

⁶² KURITA, Masahiro. Civil Liability for Robot Accident. *Journal of the Robotics Society of Japan*, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 42, 2020. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrsj/38/1/38_38_41/_article/-char/en. Acesso em: 21 maio 2025.

⁶³ LEE, Soo Kyoung. A study on civil liability of Artificial Intelligence. *민사법학*, [S.l.], v. 107, p. 228, 2024. Disponível em: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART003097203>. Acesso em: 21 jun. 2025.

⁶⁴ SAKUMA, O. The Responsibility of Artificial Intelligence as Electronic Agents. *Journal of Criminal Law*, [S.l.], v. 59, n. 2, p. 297, 2020. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcl/59/2/59_296/_article/-char/en. Acesso em: 21 maio 2025. DOI: https://doi.org/10.34328/jcl.59.2_296.

⁶⁵ YOON, Seok-Chan. A Study on Civil Liability in the So-Called ‘Strong Artificial Intelligence’ Area – focusing on the Sports and Entertainment Industry. *스포츠엔터테인먼트와 법 (JSEL)*, [S.l.], v. 28, n. 1, p. 23, 2025. Disponível em: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART003183039>. Acesso em: 21 jun. 2025. p. 19.

adquirirem plena autonomia e se tornarem parte do cotidiano, a definição de quem deve ser responsabilizado por acidentes envolvendo essas máquinas poderá se tornar cada vez mais incerta. Essa incerteza se intensifica, especialmente, com o aprofundamento dos conhecimentos sobre redes neurais artificiais, cuja complexidade desafia tanto a compreensão quanto o controle humano.

Do ponto de vista técnico, o funcionamento dos chamados neurônios artificiais corresponde a um conjunto de funções matemáticas interconectadas. A denominação decorre do fato de que seu modelo operacional foi concebido a partir da observação do comportamento dos neurônios biológicos, como sugere a própria designação, conforme observa Audit⁶⁶. Nesse cenário, a tendência é que robôs dotados de inteligência artificial avançada deixem de ser vistos apenas como ferramentas, passando a ser percebidos como agentes com certo grau de capacidade decisória.

Dmitriy Andreevich,⁶⁷ analisando os aspectos filosóficos do meio ambiente informa que o avanço científico e tecnológico contemporâneo impacta diretamente a dinâmica econômica da sociedade, promove a reconfiguração dos valores globais, orienta a seleção de princípios essenciais à resolução dos desafios universais da humanidade e influencia a formulação das políticas internacionais. Assim, num futuro próximo, diante das inúmeras transformações tecnológicas, é natural que o número de eventos danosos envolvendo robôs se amplifique. Com isso, cresce também a possibilidade de ocorrência de erros algorítmicos. De acordo com a definição dos autores dinamarqueses Pagter e Ellermann⁶⁸, “um algoritmo é uma determinação de uma sequência de passos de cálculo. Essa sequência definida de passos pode, ao ser combinada com dados, levar a uma solução para um determinado problema”. Nesse contexto, Kawai⁶⁹ assevera que em caso de acidentes, é possível que as pessoas busquem atribuir a culpa não apenas a si mesmas, mas também ao robô ou à empresa responsável por seu desenvolvimento, mesmo quando a relação entre a ação da máquina e o evento danoso não for direta.

Por outro lado, erros nos algoritmos de IA e nos respectivos processos decisórios podem resultar em injustiças ambientais e sociais. Para completar, Zhuk⁷⁰ adverte que as tecnologias de inteligência artificial têm o potencial de perturbar os ecossistemas naturais, colocando em risco o habitat da vida selvagem e alterando padrões de migração.

⁶⁶ AUDIT, Pierre-Emmanuel. Faut-il conférer la personnalité juridique aux (robots) androïdes? 2024. p. 01-64. Disponível em: <https://hal.science/hal-04541223v1/document>. Acesso em: 7 jul. 2025. p. 50.

⁶⁷ LUNIOV, Dmitriy Andreevich. Aspectos filosóficos do meio ambiente. n. 11, 2022. Kaliningrado: Universidade Financeira e Jurídica de Moscou, Filial de Kaliningrado. Sedição eletrônica, revista científico-prática eletrônica. Disponível em: <https://web.snauka.ru/issues/2022/11/99177>. Acesso em: 12 out. 2024.

⁶⁸ PAGTER, Alexander Dietz; ELLERMANN, Magnus. *Erstatningsansvar for skader forvoldt af AI-systemer*. Aalborg Universitet, 2022. Disponível em: https://projekter.aau.dk/projekter/files/473989458/Kandidatspeciale__erstatningsansvar_for_AI_systemer.pdf. Acesso em: 11 jul. 2025. p. 13.

⁶⁹ KAWAI, Yuji. Attribution of Causality and Responsibility to a Robot. *Journal of the Robotics Society of Japan*, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 32, 2020. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrsj/38/1/38_38_32/_article/-char/en. Acesso em: 21 maio 2025.

⁷⁰ ZHUK, A. Vozdeystvie iskusstvennogo intellekta na okruzhayushchuyu sredu: skrytye ekologicheskie izderzhki i etiko-pravovye voprosy. *Journal of Digital Technologies and Law*, v. 1, n. 4, p. 932-954, 2023. Disponível em: <https://elibrary.ru/item.asp?id=56570603>. DOI: 10.21202/jdtl.2023.40. Acesso em: 15 out. 2024.

Na Coreia do Sul, o Projeto de Lei sobre Responsabilidade e Regulação da IA, proposto pelo deputado Ahn Cheol-soo e analisado por Park⁷¹, estabelece diretrizes rigorosas para a utilização ética e segura da inteligência artificial, classificando-a de acordo com seu nível de risco. Complementando esse entendimento Seo e Song⁷², consideraram pertinente a inclusão, no escopo dos danos ampliados reconhecidos pela Lei de Responsabilidade por Produtos, tanto dos danos morais quanto daqueles relacionados a bens utilizados em atividades comerciais do prejudicado, com base nos princípios da responsabilidade civil por ato ilícito.

De modo análogo, a flexibilidade entre os regimes de responsabilidade objetiva e subjetiva revela-se um elemento central nas estratégias normativas voltadas à proteção ambiental. Nesse sentido, conforme analisado por Kokke, Rezende e Gonçalves⁷³, a Diretiva 2004/35/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia adota uma estrutura dual, contemplando tanto a responsabilidade subjetiva, condicionada à comprovação de culpa, quanto a responsabilidade objetiva, cuja imputação prescinde da verificação de dolo ou culpa.

Apesar de toda a proteção conferida ao meio ambiente pela Teoria do Risco Integral, o indivíduo que contribui de forma mínima para a ocorrência do dano pode acabar sendo responsabilizado de maneira desproporcional, em grau superior à gravidade da violação jurídica efetivamente praticada. Para que se assegurasse a proporcionalidade, a responsabilização deveria considerar a capacidade econômica do agente causador do dano.

A situação econômica das grandes empresas de tecnologia revela um cenário de concentração de mercado sem precedentes. Um exemplo marcante é o da NVIDIA, que, em 2025, alcançou a impressionante marca de US\$ 4 trilhões em valor de mercado. A empresa detém mais de 80% do mercado global de chips voltados para centros de dados de inteligência artificial, chegando a dominar 92% do segmento de GPUs para IA, segundo relatório da IoT Analytics publicado no portal VKTR.com.

Nessa perspectiva, os programadores independentes e as pequenas empresas, especialmente aquelas com limitações técnicas ou desconhecimento tecnológico, são considerados partes vulneráveis na relação jurídica e econômica. Por essa razão, a apuração das responsabilidades deve considerar o grau de culpabilidade envolvido. No caso dos fabricantes, a atribuição de responsabilidade deve ser direta, tendo em vista sua posição central na cadeia de desenvolvimento e fornecimento da tecnologia, em conformidade com a lógica prevista no Código de Defesa do Consumidor brasileiro.

⁷¹ PARK, Shin-Uk. Verbraucherprodukte mit künstlicher Intelligenz und Geschäftsverantwortung – Fokussierung auf das Künstliche-Intelligenz-Haftungsgesetz. *소비자법연구* (jcl), [S.l.], v. 10, n. 1, p. 35-61, 2024. DOI: 10.22820/jcl.10.1.202402.35. Disponível em: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART003060075>. Acesso em: 21 jun. 2025.

⁷² SEO, Chang-Bae; SONG, Moon-Ho. The Current Legal Framework for AI Product Liability and the Need for New Legislation. *법학연구*, [S.l.], v. 32, n. 4, p. 106, 2024. Disponível em: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART003137571>. Acesso em: 21 jun. 2025.

⁷³ KOKKE, M.; REZENDE, E. N.; GONÇALVES, R. M. Tutela ambiental sancionatória e reparatória: análise comparativa Brasil e Espanha. *Veredas do Direito*, Belo Horizonte, v. 22, e222755, 2025. Disponível em: <http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/2755>. Acesso em: 28 jul. 2025.

Sobretudo no contexto atual, os avanços na programação, impulsionados pelo uso de inteligências artificiais, têm possibilitado que indivíduos sem formação técnica realizem tarefas de codificação algorítmica por meio de linguagem natural. Contudo, observa-se que, mesmo entre programadores altamente qualificados, é comum a ausência de domínio pleno sobre o código-fonte gerado por sistemas de IA. Esse cenário evidencia uma nova modalidade de hipossuficiência tecnológica, marcada pela opacidade algorítmica e pela assimetria no acesso ao conhecimento técnico especializado.

No contexto jurídico brasileiro, ao se analisar a inteligência artificial como software, observa-se que o artigo 8º da Lei nº 9.609/1998⁷⁴ impõe aos titulares dos direitos sobre programas de computador, sejam eles detentores da propriedade intelectual ou apenas dos direitos de comercialização, o dever de prestar suporte técnico complementar aos usuários, garantindo o pleno funcionamento do software conforme suas especificações. Essa obrigação se mantém durante todo o período de validade técnica da versão comercializada, independentemente de sua retirada do mercado, salvo nos casos em que houver justa indenização pelos prejuízos eventualmente causados. Essa previsão normativa reforça a proteção dos consumidores e reconhece a vulnerabilidade técnica dos usuários diante da complexidade dos sistemas computacionais.

E se o dano ambiental ocorrer em decorrência de um erro de software? Nessa hipótese, torna-se necessário apurar quem praticou a conduta omissiva ou comissiva, bem como estabelecer o nexo de causalidade entre o comportamento do proprietário e o dano verificado. Seguindo essa linha de raciocínio, Isakova e Tebryaev⁷⁵ observam que, caso o artigo 1081⁷⁶ do Código Civil da Federação Russa fosse aplicado de forma equivocada, por meio do qual se prevê o direito de regresso do proprietário contra o fabricante, o desenvolvedor ou o usuário, isso poderia dificultar seriamente a prática jurídica, prolongar o trâmite judicial e aumentar os custos processuais para o proprietário. A partir dessa realidade, a pesquisa buscou ir além da análise teórica, incorporando uma aplicação prática capaz de ilustrar os conceitos desenvolvidos, por meio de um modelo matemático e de uma infraestrutura tecnológica apta a analisar, de forma automatizada, a responsabilidade civil com base em inúmeros atributos.

Assim, com base nesses dados, propõe-se a Teoria do Risco Tecnoambiental, cujo objetivo é integrar os fundamentos clássicos do direito ambiental às novas exigências regulatórias da era digital, promovendo equilíbrio entre inovação tecnológica, segurança jurídica e proteção ecológica.

No âmbito deste estudo, a Teoria do Risco Tecnoambiental é definida como um arcabouço de princípios e técnicas jurídicas, interdisciplinarmente aliado à matemática e a demais ciências, cujo fundamento repousa em uma infraestrutura tecnológica.

⁷⁴ Lei nº 9.609, de 19 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre a proteção da propriedade intelectual de software e dá outras providências. Art. 8º: “Aquele que comercializar programa de computador, quer seja titular dos direitos do programa, quer seja titular dos direitos de comercialização, fica obrigado, no território nacional, durante o prazo de validade técnica da respectiva versão, a assegurar aos respectivos usuários a prestação de serviços técnicos complementares relativos ao adequado funcionamento do programa, consideradas as suas especificações.” Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19609.htm. Acesso em: 6 mar. 2026.

⁷⁵ ISAKOVA, E. M.; TEBRYAEV, A. A. Subject of civil liability for harm caused by artificial intelligence technologies. *Atualnye problemy nauki i praktiki*, n. 4 (33), p. 65-70, 2023. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=64321237>. Acesso em: 19 maio 2025.

⁷⁶ RÚSSIA. [Código Civil (1994)]. The Civil Code of the Russian Federation: Parts I-III. Adotado pela Duma em 21 de out. 1994. Tradução de Maxim Polyakov. Disponível em: https://arbitratus.ru/english/rf_codes/civil.shtml. Acesso em: 6 mar. 2026. Art. 1081: The Right of Recourse to the Person Who Has Inflicted Injury.

Assim, os princípios estruturantes são:

- O Princípio do Suporte Tecnológico do Maior ao Menor estabelece que, em cadeias de tecnologias de alto risco, a empresa maior atua como guardiã do fornecedor menor, supervisionando, orientando e oferecendo suporte. A responsabilidade solidária ou subsidiária depende do controle e benefício obtido, equilibrando prevenção de danos e incentivo à inovação.
- Responsabilidade Tecnoestrutural: a responsabilização por danos ambientais deve abranger toda a estrutura tecnológica do sistema inteligente, não se limitando ao agente humano.
- Proporcionalidade Tecnoambiental: a atribuição de responsabilidade civil deve considerar o risco tecnológico, a capacidade econômica do agente e o controle efetivo sobre o sistema.
- Transparência Algorítmica Ambiental: sistemas de IA com impactos ambientais relevantes devem permitir rastreabilidade das decisões e identificação das causas tecnológicas de danos.

Assim, o Direito Ambiental, historicamente orientado pelos princípios da prevenção, precaução e reparação integral, estruturou-se com base em teorias de risco voltadas principalmente às atividades humanas diretas. Entre essas formulações destacam-se a teoria do risco criado, a teoria do risco administrativo e, no âmbito brasileiro, a teoria do risco integral, amplamente aplicada na responsabilização por danos ambientais.

Entretanto, a emergência de tecnologias dotadas de capacidade adaptativa e decisória autônoma desafia essas estruturas clássicas, pois introduz novas formas de causalidade distribuída, opacidade algorítmica e múltiplos níveis de intervenção tecnológica. Nesses cenários, o dano ambiental pode resultar não apenas de uma conduta humana direta, mas também de processos decisórios intermediados por sistemas de inteligência artificial que operam com elevado grau de autonomia operacional.

A Teoria do Risco Tecnoambiental baseia-se em três premissas fundamentais. A primeira reconhece que os sistemas tecnológicos contemporâneos ampliam o espectro de riscos ambientais, pois decisões antes tomadas exclusivamente por seres humanos passam a ser executadas ou mediadas por sistemas algorítmicos capazes de aprender, adaptar-se e interagir com o ambiente. A segunda premissa trata da causalidade distribuída nos sistemas baseados em inteligência artificial, em que o dano ambiental pode emergir da interação entre desenvolvedores de software, fabricantes de hardware, operadores humanos, proprietários dos sistemas e os próprios algoritmos responsáveis pelas decisões operacionais. A terceira premissa ressalta a necessidade de proporcionalidade na responsabilização jurídica: embora o Direito Ambiental brasileiro adote majoritariamente a teoria do risco integral, sua aplicação indiscriminada em contextos tecnológicos complexos pode gerar distorções, imputando responsabilidade desproporcional a agentes com participação mínima no evento danoso, que, muitas vezes, são financeiramente hipossuficientes.

Analisando sob uma perspectiva matemática, a situação pode ser modelada como uma estrutura dividida em blocos, cada um contendo especificações detalhadas sobre os agentes a serem

responsabilizados e a extensão da responsabilidade. Essa abordagem é particularmente relevante quando os danos provocados por robôs envolvem riscos aumentados, permitindo quantificar e alocar responsabilidades de forma proporcional à participação e à magnitude do risco.

Para tanto, Zhelezova⁷⁷ representa a medida de responsabilidade jurídica como uma função matemática da forma: $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, em que f corresponde à medida jurídica da responsabilidade, e x_1, x_2, \dots, x_n são os fatores que influenciam sua determinação. Esse modelo utiliza um indicador integral para obter um valor composto que reflita a influência total ponderada dos diferentes fatores, onde cada x_i é um fator que influencia a severidade da sanção (como gravidade do ato, condições pessoais do agente, contexto do crime etc.). Neste modelo, a fórmula final para o Indicador Integral (I) é: $I = 0,417 \times k_1 + 0,083 \times k_2 + 0,375 \times k_3 + 0,125 \times k_4$

Com base nessa metodologia, a responsabilidade jurídica pode ser expressa por uma função matemática que representa a influência de múltiplos elementos, agrupados em quatro blocos principais: (I) características do objeto do dano, (II) características objetivas do dano, (III) características do agente causador e (IV) aspectos subjetivos da conduta. Cada bloco possui um peso específico, proporcional à quantidade e à relevância dos fatores que o compõem.

Adaptado ao contexto jurídico ambiental, o sistema proposto organiza a análise do dano em quatro blocos funcionais. O primeiro bloco avalia as características do bem afetado, considerando aspectos como sua relevância ecológica, grau de vulnerabilidade, impacto sobre comunidades humanas e natureza jurídica. O segundo bloco concentra-se nas características objetivas do dano, incluindo a forma como ocorreu, sua gravidade, a possibilidade de recuperação e a necessidade de adoção de medidas emergenciais. O terceiro bloco examina o agente causador, levando em consideração o tipo de agente, sua capacidade econômica, histórico de conduta ambiental e o grau de risco inerente à atividade exercida. Por fim, o quarto bloco trata dos aspectos subjetivos da conduta, como a existência de culpa ou dolo, a motivação do ato e a adoção (ou não) de medidas preventivas, mesmo em contextos de responsabilidade objetiva. Cada bloco possui um peso específico proporcional à quantidade de fatores que o compõem.

Neste sentido, foi adotado, com as devidas adaptações ao contexto ambiental, o modelo matemático proposto por Zhelezova⁷⁸. A partir dessa adaptação, desenvolveu-se um *bot* com acesso integrado ao site <http://jusrc.com.br>, capaz de apurar a responsabilidade ambiental de forma automatizada, com possibilidade de ajustes e atualizações conforme o avanço de futuras pesquisas, e contribuições de outras áreas científicas.

No referido sistema, a estrutura foi organizada em blocos funcionais, distribuídos da seguinte forma:

Bloco I – Características do objeto do dano ambiental
(Equivalente ao bloco sobre o "objeto da infração")

⁷⁷ ZHELEZOVA, L. Yu. The possibility of using mathematical models when designing a measure of legal responsibility by the legislator. *Trudy Akademii Upravleniya MVD Rossii*, Moscow, n. 1(73), p. 85–94, 2025. Disponível em: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80560210>. Acesso em: 11 jul. 2025.

⁷⁸ ZHELEZOVA, L. Yu. The possibility of using mathematical models when designing a measure of legal responsibility by the legislator. *Trudy Akademii Upravleniya MVD Rossii*, Moscow, n. 1(73), p. 85–94, 2025. Disponível em: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80560210>. Acesso em: 11 jul. 2025. p. 89.

Adaptação:

1. Relevância ecológica do bem ambiental afetado: importância ecológica, raridade do ecossistema, área de preservação permanente etc.
2. Vulnerabilidade do bem lesado: resiliência ecológica, capacidade de autorregeneração.
3. Número de seres humanos afetados ou comunidades tradicionais impactadas.
4. Natureza jurídica do bem lesado: se é bem de uso comum do povo (ex: água, ar, biodiversidade).

Bloco II – Características objetivas do dano

(Equivalente ao “aspecto objetivo”)

Adaptação:

1. Modo de ocorrência do dano: ação direta, omissão, falha tecnológica.
2. Extensão e gravidade do dano ambiental: área degradada, espécies afetadas, duração do impacto.
3. Possibilidade de reversão ou recuperação do dano.
4. Necessidade de medidas emergenciais ou de contenção.

Bloco III – Características do agente causador

(Equivalente ao “sujeito da infração”)

Adaptação:

1. Tipo de agente: pessoa física, jurídica, empresa pública, empresa privada, cooperativa, autarquia.
2. Capacidade econômica do infrator: relevante para a fixação da multa e obrigação de reparar.
3. Histórico de condutas ambientais: reincidência, programas de compliance ambiental.
4. Atividade de risco exercida: quanto maior o risco da atividade, maior a responsabilidade.
5. Vínculo entre infratores: consórcio, terceirização, responsabilidade solidária.

Bloco IV – Aspectos subjetivos do ato

(Equivalente ao “aspecto subjetivo”)

Adaptação (mesmo em responsabilidade objetiva, para fins sancionatórios ou civis complementares):

1. Grau de culpa (negligência, imprudência, imperícia), dolo ou má-fé.
2. Finalidade da conduta: lucro, descaso, pressões econômicas.
3. Existência de medidas preventivas ou de mitigação anteriores ao dano.

Adaptada ao contexto ambiental, essa sistemática oferece maior transparência e objetividade na definição de respostas jurídicas proporcionais, em consonância com os princípios da precaução, da prevenção e da reparação integral consagrados no Direito Ambiental brasileiro.

Essas adaptações foram aplicadas ao bot disponibilizado em <http://jusrc.com.br>. Em resumo, os testes realizados com o *Bot TecnoAmbiental*, desenvolvido com base no modelo GPT-4o da OpenAI a partir de casos simulados gerados pela própria IA, mostraram-se satisfatórios em termos de aplicabilidade e

coerência lógica. No entanto, ainda foram observadas limitações na precisão da atribuição de responsabilidade e na análise de elementos subjetivos, o que exige ajustes e aperfeiçoamentos. Isso torna a aplicação da sanção mais objetiva, coerente e justificável, embora a própria autora ressalta que não se trata de uma medida exata, pois a subjetividade ainda existe na escolha e valoração dos fatores.

Apesar dessas limitações, a ferramenta representa um avanço importante na busca por soluções jurídicas mais justas, ao integrar um conjunto amplo e interligado de critérios, superando os obstáculos dos modelos tradicionais baseados apenas na responsabilidade objetiva ou subjetiva. Para que esse tipo de tecnologia possa ser adotado com segurança, é fundamental a criação de uma regulamentação eficaz, que acompanhe a evolução tecnológica, estabeleça parâmetros claros e assegure a proteção de direitos fundamentais e do meio ambiente.

Desse modo, o modelo proposto não apenas contribui para corrigir os excessos da Teoria do Risco Integral, mas também inaugura novas possibilidades para a responsabilização jurídica na era pós-humana, marcada pela necessidade de respostas inovadoras, tecnicamente embasadas e juridicamente equilibradas.

Por fim, a teoria proposta propõe diferenciar condutas, distinguindo a falha de projeto (atribuível aos desenvolvedores) do comportamento emergente e autônomo do robô. Diante de desvios operacionais que ameaçam o equilíbrio ecológico, a resposta jurídica deve oscilar entre o ajuste técnico imediato dos parâmetros algorítmicos, visando corrigir a trajetória de risco, e a eliminação da autonomia do sistema, caso a imprevisibilidade de sua conduta se mostre incompatível com a segurança ambiental. Dessa forma, a responsabilidade civil deixa de ser meramente repressiva e passa a atuar como uma ferramenta de governança ativa, abrangendo tanto a cadeia de agentes quanto a operabilidade da máquina.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa evidenciam que a crescente presença de robôs e sistemas de inteligência artificial na era pós-humana impõe novos desafios jurídicos, éticos e ambientais. A análise de países como Brasil, Japão, Dinamarca, Coreia do Sul e Rússia revela a ausência de um marco normativo comum sobre a responsabilidade civil por danos ambientais causados por agentes autônomos.

No caso brasileiro, a responsabilidade civil ambiental fundamenta-se na Teoria do Risco Integral, que estabelece a responsabilização objetiva e solidária dos envolvidos. Esse modelo tem como finalidade assegurar a reparação integral do meio ambiente e a proteção de bens coletivos. Contudo, sua aplicação pode gerar excessos, sobretudo em cenários marcados por elevada complexidade tecnológica, nos quais a causalidade e a culpabilidade são difíceis de delimitar.

Observou-se que, embora a legislação brasileira limite a personalidade jurídica às pessoas humanas e jurídicas tradicionais, autores como Usoltseva e Charkovskaya propõem o reconhecimento da personalidade eletrônica como forma de suprir lacunas jurídicas diante do avanço da inteligência artificial. Essa proposta, no entanto, enfrenta críticas severas, como as formuladas por Sakuma (2020), que a considera incompatível com os princípios fundamentais do direito penal e civil. Ainda assim, Usoltseva e Charkovskaya defendem que, sob a ótica da digitalização do direito, uma inteligência artificial forte poderá, futuramente, ser reconhecida como sujeito de direito.

Outro resultado relevante da pesquisa foi a constatação de que, embora os danos ambientais causados por robôs ainda não sejam amplamente relatados nos sistemas judiciais, sua probabilidade de ocorrência é crescente, sobretudo diante da expansão do uso de humanoides, veículos autônomos e robôs industriais em setores como mineração, agricultura, transporte e segurança. Assim, a prevenção desses danos exige a adoção de marcos regulatórios proativos, capazes de lidar com os riscos antes que se concretizem de forma irreversível.

Trata-se de uma abordagem que visa compatibilizar a proteção ambiental com a complexa realidade dos sistemas tecnológicos contemporâneos, promovendo uma distribuição mais proporcional e eficaz da responsabilidade. Nesse contexto, afirma-se que aquele que auferir os maiores benefícios deve assumir integralmente os ônus decorrentes.

Os resultados da pesquisa confirmaram as hipóteses inicialmente formuladas. Verificou-se que a aplicação irrestrita da responsabilidade objetiva pode ocasionar distorções na atribuição de culpa entre os agentes envolvidos. Além disso, demonstrou-se a viabilidade do uso de modelos matemáticos e *bots* jurídicos, inspirados na proposta de Zhelezova, como instrumentos eficazes para a apuração de responsabilidade ambiental. Por fim, a Teoria do Risco Tecnoambiental revelou-se uma proposta pertinente e promissora para conciliar inovação tecnológica, segurança jurídica e preservação ambiental.

A análise comparativa com outras legislações, em especial da União Europeia, Coreia do Sul, Rússia e Japão, evidenciou uma tendência internacional de adaptação dos sistemas jurídicos às transformações tecnológicas, seja por meio da criação de classificações normativas baseadas no grau de risco, seja pela proposição de novas categorias jurídicas, como a personalidade eletrônica, ainda que objeto de intensos debates.

Diante dessa realidade, a proposta de uma Teoria do Risco Tecnoambiental surge como uma alternativa teórica e normativa capaz de articular os princípios da responsabilidade ambiental, tais como prevenção, precaução, poluidor-pagador e reparação integral, aos desafios impostos pelas novas tecnologias. Essa teoria busca promover um equilíbrio entre a proteção ambiental, a segurança jurídica e a inovação tecnológica, oferecendo critérios objetivos para a responsabilização de fabricantes, programadores, operadores e demais agentes envolvidos na cadeia de produção e uso de tecnologias robóticas.

Conclui-se, portanto, que o Direito, diante das transformações tecnocientíficas em curso, deve adotar uma postura proativa na formulação de novas categorias e modelos teóricos que permitam regular, de maneira eficaz, justa e sustentável, os riscos decorrentes da atuação de sistemas autônomos. A Teoria do Risco Tecnoambiental representa, nesse sentido, um avanço relevante na construção de um novo paradigma jurídico-ambiental, condizente com a complexidade e as exigências do mundo contemporâneo, especialmente diante do risco aumentado gerado por robôs autônomos guiados por inteligência artificial, cujas decisões e ações podem gerar impactos ambientais significativos e imprevisíveis, exigindo mecanismos de responsabilidade compartilhada e supervisão cuidadosa por parte de agentes corporativos e humanos.

REFERÊNCIAS

ASADA, Minoru. *Rethinking Autonomy of Humans and Robots*. Journal of the Robotics Society of Japan, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 7–12, 2020. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrsj/38/1/38_38_7/_article/-char/en. Acesso em: 21 maio 2025. DOI: <https://doi.org/10.7210/jrsj.38.7>.

AUDIT, Pierre-Emmanuel. *Faut-il conférer la personnalité juridique aux (robots) androïdes?*. 2024. p. 01-64. Disponível em: <https://hal.science/hal-04541223v1/document>. Acesso em: 7 jul. 2025.

BRASIL. Código Civil. Lei n. 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 11 jan. 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10406.htm. Acesso em: 21 jul. 2025.

BRASIL. Código de Defesa do Consumidor. Lei n. 8.078, de 11 de setembro de 1990. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 12 set. 1990. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18078.htm. Acesso em: 21 jul. 2025.

BRASIL. Superior Tribunal de Justiça. Jurisprudência em teses: responsabilidade por dano ambiental. Edição n. 119. Brasília, 22 fev. 2019. Disponível em: https://www.stj.jus.br/internet_docs/jurisprudencia/jurisprudenciaemteses/Jurisprud%C3%Aancia%20em%20Teses%20119%20-%20Responsabilidade%20Por%20Dano%20Ambiental.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 18 jul. 2025.

CAVALIERI FILHO, Sergio. *Programa de responsabilidade civil*. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

CHOI, Dong Jun. *A Systematic Literature Review on Legal Issues Related to Artificial Intelligence*. 法學論文集 (CAUJLS), [S.l.], v. 49, n. 1, p. 3, 2025. DOI: 10.22853/caujls.2025.49.1.67. Disponível em: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART003198902>. Acesso em: 21 jun. 2025.

CORDEIRO, Luiz Felipe de Freitas; REZENDE, Elcio Nacur. *O uso da inteligência artificial como instrumento facilitador ao acesso à justiça – Uma análise à luz da experiência do STF*. Revista Cidadania e Acesso à Justiça, Florianópolis, Brasil, v. 9, n. 2, 2024. DOI: 10.26668/IndexLawJournals/2526-026X/2023.v9i2.10034. Disponível em: <https://www.indexlaw.org/index.php/acessojustica/article/view/10034>. Acesso em: 28 jul. 2025.

FARIAS, Cristiano Chaves de; ROSENVALD, Nelson. *Curso de direito civil: responsabilidade civil*. 4. ed. rev. e atual. Salvador: Ed. JusPodivm, 2017. 976 p. ISBN 978-85-442-1101-4.

FRØSETH, Anne Marie. *Betydningen av menneskelige forutsetninger ved ansvar for bruk av kunstig intelligens etter den norske culpanormen*. 2024. Disponível em: <https://bora.uib.no/bora-xmlui/bitstream/handle/11250/3149638/Betydningen%20av%20menneskelige%20forutsetninger%20ved%20ansvar%20for%20bruk%20av%20kunstig%20intelligens.%20WP.pdf?sequence=6>. Acesso em: 11 jul. 2025.

FURTUNATO, Flávio Ribeiro; PEREIRA, Jardel de Paula. *Filosofia ecológica, a eco-tecnologia: dos paradigmas modernos à ética da sustentabilidade*. In: CAMPELLO, Livia Gaschiher Rosso; GOMES, Magno Frederic; NUNES, Danilo Henrique (org.). Direito e sustentabilidade II. Florianópolis: CONPEDI, 2023. p. 227-246. Disponível em: <https://site.conpedi.org.br/publicacoes/06n3kw94/b5s1t168/PXudeZxGoDTet39p.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2025.

FURUSAWA, Koyu. *The Significance of Questioning Human Existence from Posthuman: For the Purpose of Building a “Synthetic Anthropology”* [Essay, Part 3]. Synthetic Anthropology, v. 16, p. 149-160, 2022.

Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/synanthro/16/0/16_149/_article/-char/en. Acesso em: 4 nov. 2024.

GAGLIANO, Pablo Stolze; PAMPLONA FILHO, Rodolfo. *Novo curso de direito civil: responsabilidade civil*. 7. ed. São Paulo: Saraiva, 2009.

GOMES, Gabriela. *Indústria 5.0: a revolução da integração entre humanos e máquinas na produção industrial*. *Gestão Industrial*, 14 fev. 2025. Disponível em: <https://gestao.ind.br/blog/industria-4-0/industria-50-a-revolucao-da-integracao-entre-humanos-e-maquinas-na-producao-industrial>. Acesso em: 18 jul. 2025.

HONG, Areum; CHOI, Gaeun. Key trends and issues in artificial intelligence. *Electronics and Telecommunications Trends*, v. 40, n. 1, p. 74–82, fev. 2025. Disponível em: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202550536006324.page>. Acesso em: 22 maio 2025.

ISAKOVA, E. M.; TEBRYAEV, A. A. *Subject of civil liability for harm caused by artificial intelligence technologies*. *Atualnye problemy nauki i praktiki*, n. 4 (33), p. 65-70, 2023. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=64321237>. Acesso em: 19 maio 2025.

IOT ANALYTICS. *Generative AI: Market share of leading vendors*. March 2025. Available at: https://iot-analytics.com/leading-generative-ai-companies/?utm_source=chatgpt.com. Accessed on: 9 jul. 2025.

KAMYSHANSKIY, V. P. *On the legal nature of a robot with artificial intelligence*. *Vlast Zakona*, [s.l.], v. 4, n. 36, p. 21-32, 2018. ISSN 2079-0295. Disponível em: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39346422>. Acesso em: 18 fev. 2025.

KANDAUROVA, M. A.; KONNOV, R. R. *Application and responsibility of artificial intelligence in civil law and judicial proceedings*. In: SCIENTIFIC SYMPOSIUM ON CONTEMPORARY LEGAL ISSUES, 2024. Proceedings [...]. Moscow: FGBOUVO RGUP, 2024. p. 237-241. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68610181>. Acesso em: 19 maio 2025.

KRAVCHENKO, O. V. Peculiarities of the implementation of artificial intelligence in the field of civil legal relations and public administration. *Zakon i vlast*, n. 6, p. 190-195, 2024. ISSN 2587-831X. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80261236>. Acesso em: 19 maio 2025.

KAWAI, Yuji. *Attribution of Causality and Responsibility to a Robot*. *Journal of the Robotics Society of Japan*, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 32–36, 2020. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrsj/38/1/38_38_32/_article/-char/en. Acesso em: 21 maio 2025.

KHALITOVA, E. M.; TEBRYAEV, A. A. *Subject of civil liability for harm caused by artificial intelligence technologies*. *Pravovaia reforma*, n. 2, p. 79-83, 2024. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=66274627>. Acesso em: 19 maio 2025.

KIM, Y. *Global trends in applied technologies for AI transformation*. *Journal of Korea Society of Digital Industry and Information Management*, v. 21, n. 1, p. 1–14, mar. 2025. Disponível em: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202510861205743.page>. Acesso em: 22 maio 2025.

KOKKE, M.; REZENDE, E. N.; GONÇALVES, R. M. *Tutela ambiental sancionatória e reparatória: análise comparativa Brasil e Espanha*. *Veredas do Direito*, Belo Horizonte, v. 22, e222755, 2025. Disponível em: <http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/2755>. Acesso em: 28 jul. 2025.

KOLOSOV, A. V. *The use of artificial intelligence as the basis for sustainable human development: features of international legal regulation*. *Moskovskii zhurnal mezhdunarodnogo prava*, [S.l.], n. 4, p. 106–118, 2024. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=79493800>. Acesso em: 21 maio 2025.

KURYACHAYA, Ju. D.; MALOLETKOVA, E. A. Digital transformation of the ecology and nature management industry: pros and cons, development prospects. *Voprosy rossiiskoi iustitsii*, [S.l.], n. 30, p. 248–255, 2024. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67208194>. Acesso em: 21 maio 2025.

KURITA, Masahiro. Civil Liability for Robot Accident. *Journal of the Robotics Society of Japan*, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 41–46, 2020. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrsj/38/1/38_38_41/_article/-char/en. Acesso em: 21 maio 2025.

LANGLAIS, Eric; LI, Nanxi. *Which liability laws for robots? La Revue Économique*, v. 76, n. 1, p. 13–34, 2025. Disponível em: https://shs.cairn.info/article/RECO_761_0013/pdf?lang=en. Acesso em: 7 jul. 2025.

LEE, Soo Kyoung. *A study on civil liability of Artificial Intelligence*. 민사법학, [S.l.], v. 107, p. 225–261, 2024. Disponível em: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART003097203>. Acesso em: 21 jun. 2025.

LUNIOV, Dmitriy Andreevich. *Aspectos filosóficos do meio ambiente*. n. 11, 2022. Kaliningrado: Universidade Financeira e Jurídica de Moscou, Filial de Kaliningrado. Sedição eletrônica, revista científico-prática eletrônica. Disponível em: <https://web.snauka.ru/issues/2022/11/99177>. Acesso em: 12 out. 2024.

MELO, D. C. P.; AMMIRABILE, P. C. A. C. A. *A responsabilização civil solidária do Estado – PL 2159/2021*. Veredas do Direito, Belo Horizonte, v. 21, e212664, 2024. Disponível em: <http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/2664>. Acesso em: 28 jul. 2025.

MKHITARYAN, N.; TOLOCHKOVA, I. *Artificial intelligence and legal responsibility: challenges and perspectives for civil law*. In: ANNUAL SCIENTIFIC CONFERENCE, 17., 2023, Yerevan. Proceedings of the Scientific Conference. Yerevan: Russian-Armenian (Slavonic) University, 2024. p. 151–157. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80399826>. Accessed on: 19 maio 2025.

NAHAVANDI, Saeid. *Industry 5.0—A Human-Centric Solution*. Sustainability, v. 11, n. 16, p. 4371, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11164371>. Acesso em: 6 mar. 2026.

PAGTER, Alexander Dietz; ELLERMANN, Magnus. *Erstatningsansvar for skader forvoldt af AI-systemer*. Aalborg Universitet, 2022. Disponível em: https://projekter.aau.dk/projekter/files/473989458/Kandidatspeciale__erstatningsansvar_for_AI_systemer.pdf. Acesso em: 11 jul. 2025.

PARK, Shin-Uk. *Verbraucherprodukte mit künstlicher Intelligenz und Geschäftsverantwortung – Fokussierung auf das Künstliche-Intelligenz-Haftungsgesetz*. 소비자법연구 (jcl), [S.l.], v. 10, n. 1, p. 35–61, 2024. DOI: 10.22820/jcl.10.1.202402.35. Disponível em: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART003060075>. Acesso em: 21 jun. 2025.

REUTERS. *Nvidia becomes first company to clinch \$4 trillion market value*. 09 jul. 2025. Available at: https://www.reuters.com/world/china/nvidia-becomes-first-company-clinch-4-trillion-market-value-2025-07-09/?utm_source=chatgpt.com. Accessed on: 9 jul. 2025.

SAKUMA, O. *The Responsibility of Artificial Intelligence as Electronic Agents*. Journal of Criminal Law, [S.l.], v. 59, n. 2, p. 296–307, 2020. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcl/59/2/59_296/_article/-char/en. Acesso em: 21 maio 2025. DOI: https://doi.org/10.34328/jcl.59.2_296.

SEO, Chang-Bae; SONG, Moon-Ho. *The Current Legal Framework for AI Product Liability and the Need for New Legislation*. 법학연구, [S.l.], v. 32, n. 4, p. 99–126, 2024. Disponível em: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART003137571>. Acesso em: 21 jun. 2025.

SERAFIMOV, F. A.; SAKHAROVA, J. U. K.; STANKINA, L. N. *Artificial intelligence and civil liability*. Санкт-Петербургский филиал Российской таможенной академии. Journal, n. 4, p. 145–151, 2025. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80332768>. Acesso em: 19 maio 2025.

SONG, H. *A study on the relationship between measurement indicators for each type of AI robots risk and AI ethics principles*. Journal of Internet Computing and Services, v. 26, n. 1, p. 117–128, fev. 2025. Disponível em: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202509439605137.page>. Acesso em: 22 maio 2025.

TAPARO, Edelir Tiago. Indústria 5.0: a nova era da integração homem-máquina no Brasil. LinkedIn, 17 jan. 2025. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/ind%C3%BAstria-50-nova-era-da-integra%C3%A7%C3%A3o-homem-m%C3%A1quina-taparo-msc-zyfaf>. Acesso em: 18 jul. 2025.

USOLTSEVA, N. A.; CHARKOVSKAYA, N. I. *Issues of civil liability of artificial intelligence*. In: SIBERIAN LEGAL READINGS, 6., 2024, Tyumen. Law in the Age of Artificial Intelligence: Promising Challenges and Current Tasks. Tyumen: TyumGU-Press, 2024. p. 115-120. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80285225>. Acesso em: 21 jun. 2025.

ULYANOVA, E. S.; SERGEENKO, P. S. *Risk management in the use of artificial intelligence technologies: civil liability*. In: INTELLECTUALNAIA SOBSTVENNOST V SOVREMENNOM MIRE: VYZOVY VREMENI I PERSPEKTIVY RAZVITIIA – International Scientific and Practical Conference, 2., pt. 2, 2021, Minsk, 20 out. 2021. Proceedings [...]. Minsk: Alfa-kniga, 2021. p. 195-200. Disponível em: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48176144>. Acesso em: 19 maio 2025.

YAMADA, Naofumi; TAKASHIMA, Hironori; KIMURA, Yasunori. *Rumo à realização de uma sociedade super inteligente (Sociedade 5.0): CPS/IoT e além*. Joho Kanri, v. 60, n. 5, p. 325-334, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1241/johokanri.60.325>. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/johokanri/60/5/60_325/_article/-char/ja/. Acesso em: 6 mar. 2026.

YOON, Seok-Chan. *A Study on Civil Liability in the So-Called 'Strong Artificial Intelligence' Area – focusing on the Sports and Entertainment Industry*. 스포츠엔터테인먼트와 법 (JSEL), [S.l.], v. 28, n. 1, p. 3-28, 2025. Disponível em: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART003183039>. Acesso em: 21 jun. 2025.

ZHELEZOVA, L. Yu. *The possibility of using mathematical models when designing a measure of legal responsibility by the legislator*. Trudy Akademii Upravleniya MVD Rossii, Moscow, n. 1(73), p. 85-94, 2025. Disponível em: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80560210>. Acesso em: 11 jul. 2025.

ZHUK, A. *Vozdeystvie iskusstvennogo intellekta na okruzhayushchuyu sredu: skrytye ekologicheskie izderzhki i etiko-pravovye voprosy*. Journal of Digital Technologies and Law, v. 1, n. 4, p. 932-954, 2023. Disponível em: <https://elibrary.ru/item.asp?id=56570603>. DOI: 10.21202/jdtl.2023.40. Acesso em: 15 out. 2024.



Este artigo está licenciado sob a licença *Creative Commons* Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0). Para mais informações sobre os termos desta licença, consulte: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.pt>

Recebido em:
29/01/2026.

Aprovado em:
20/03/2026.

Como citar segundo a NBR 6023/ABNT:

REZENDE, Élcio Nacur; FORTUNATO, Flávio Ribeiro. Teoria do risco tecnoambiental: análise da responsabilidade civil por danos ao meio ambiente provocado por robôs. **Revista IBERC**, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, p. 83-109, jan./abr. 2026.