

## **IMPACTOS AMBIENTAIS INVISÍVEIS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: PEGADA DE CARBONO, CONSUMO DE ÁGUA E DESAFIOS REGULATÓRIOS**

Livia Maria Bianchini Mazziero<sup>1</sup>

Nicoló Basigli<sup>2</sup>

### **INTRODUÇÃO**

Com a evolução do mundo analógico para um mundo digital, o meio ambiente não mais se reduz aos espaços físicos, mas integra também o meio ambiente digital e as relações que dele decorrem, sobretudo com os avanços da inteligência artificial. De fato, a Inteligência Artificial (IA) é uma das principais ferramentas de transformação digital, influenciando o crescimento econômico e o ambiente digital. Entretanto, o crescimento acelerado da IA traz consigo um aspecto negligenciado: os impactos ambientais decorrentes de seu desenvolvimento e operação.

Nesse sentido, a presente pesquisa busca analisar a pegada ecológica da IA, considerando as emissões de carbono associadas ao ciclo de vida tecnológico, o consumo intensivo de água, essencial para o resfriamento e funcionamento dos sistemas, e também a dimensão geopolítica desses impactos, aprofundando as desigualdades ambientais e a concentração de custos ecológicos em regiões vulneráveis. No âmbito regulatório, verifica-se um vácuo normativo que compromete tanto o monitoramento quanto a

---

<sup>1</sup> Mestranda em Ciência Jurídica pela Universidade do Vale do Itajaí, com auxílio de bolsa CAPES. Pós-Graduanda em Direito Empresarial pela PUC/RS. Advogada (OAB/SC 74.032). E-mail: lbmazziero@edu.univali.br. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4615353900600127>. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9933-6070>.

<sup>2</sup> Graduado em Direito pela Università degli Studi di Perugia, Itália, Mestrado em Direito pela Università degli Studi di Perugia (Master Integrated), participante do programa Erasmus Europeu na Universidad de Alicante, Espanha, Doutorado em Ciências Jurídicas pela Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, em dupla titulação com a Università degli Studi di Perugia, Itália; post-doutorando pela Univali no projeto de pesquisa “Impactos das Enchentes no Brasil: A Implementação das Cidades-Esponja como proposta para evitar acidentes ambientais e eventos extremos”. Professor do programa de Pós-Graduação em Ciência Jurídica – PPCJ da UNIVALI, email: nicolo\_basigli@univali.br.

responsabilização dos agentes envolvidos, desafio que se agrava diante da transnacionalidade inerente ao meio ambiente digital.

A pesquisa alia-se aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU, sobretudo os ODS 6, 7, 9, 12 e 13, reforçando a necessidade de repensar a governança global digital a partir de uma perspectiva sustentável.

Dessa forma, tem-se como objetivo geral analisar os impactos ambientais da IA, com foco na pegada ecológica do consumo energético, uso intensivo de água e as implicações geopolíticas e regulatórias associadas, considerando a invisibilidade desses efeitos no meio ambiente digital e os desafios decorrentes da transnacionalidade e do vácuo normativo.

Com base nisso, o artigo aborda inicialmente a ascensão da IA e sua centralidade na economia digital, bem como a infraestrutura por trás dela. Em um segundo momento, aborda-se a pegada ecológica da IA, citando a pegada de carbono, com as emissões diretas e indiretas no ciclo de vida tecnológico, a pegada hídrica, ressaltando os impactos locais e regionais do uso da água nas operações de IA, e a desigualdade ambiental decorrente da geopolítica da IA. Por fim, estudam-se os desafios regulatórios decorrentes da invisibilização e falta de transparência dos impactos ambientais, com propostas de princípios reguladores e *accountability* na criação de uma governança sustentável da IA.

Para tanto, será realizado estudo com base em artigos científicos, literatura doutrinária, documentos institucionais e dados já existentes sobre o impacto ambiental da inteligência artificial, com enfoque especial aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU. Portanto, para a realização da pesquisa, será utilizada a base lógica indutiva com as técnicas do referente, da categoria, do conceito operacional e da pesquisa bibliográfica.

## **1. A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: ENTRE O SOFTWARE E O HARDWARE NECESSÁRIO**

A ideia de um conceito unificado de Inteligência Artificial (IA) ainda é distante, principalmente em razão da rapidez de transformações tecnológicas e

da dificuldade de concentrar todos os vieses da IA em uma só definição. Para alguns, a IA é um sistema que pensa como os seres humanos<sup>3</sup>, para outros, sistemas que atuam como seres humanos<sup>4</sup>, ou ainda pode ser conceituada como sistemas que pensam<sup>5</sup> ou atuam<sup>6</sup> racionalmente.

A IA é, portanto, um ramo da ciência da computação, “cujo interesse é fazer com que os computadores pensem ou se comportem de forma inteligente<sup>7</sup>”. Trata-se de uma “disciplina científica que utiliza as capacidades de processamento de símbolos de computação com o fim de encontrar métodos genéricos para automatizar atividades<sup>8</sup>”.

Segundo Stuart Russel<sup>9</sup> uma entidade é inteligente na medida em que o que faz é capaz de alcançar o que deseja. O autor afirma que “todas essas outras características da inteligência – perceber, pensar, aprender, inventar e assim por diante – podem ser compreendidas por meio das suas contribuições para nossa capacidade de agir com sucesso”.

Marvin Minsky, um dos fundadores do campo da IA, não considera a “inteligência” como uma prerrogativa humana. Ele afirma que os sistemas de IA têm habilidades, mesmo que limitadas, de aprendizagem e raciocínio<sup>10</sup>.

---

<sup>3</sup> HAUGELAND, John. Artificial Intelligence: The Very Idea. Massachusetts: **The MIT Press**, 1985.

<sup>4</sup> KURZWEIL, Ray. The Age of Spiritual Machines. Massachusetts: **The MIT Press**, 1990.

<sup>5</sup> CHARNIAK, Eugene; MCDERMOTT, Drew. **A Bayesian Model of Plan Recognition**. Massachusetts: Addison-Wesley, 1985.

<sup>6</sup> POOLE, D.; MACKWORTH, A. K.; GOEBEL, R. Computational Intelligence: A Logical Approach. **Oxford**: Oxford University, 1998.

<sup>7</sup> GOMES, Dennis dos Santos. Inteligência Artificial: Conceitos e Aplicações. **Revista Olhar Científico** – Faculdades Associadas de Ariquemes, v. 01, n. 2, ago./dez. 2010.

<sup>8</sup> MONIZ PEREIRA, Luís. Inteligência Artificial: mito e ciência. **Revista Clóquio-Ciências**. out. 2003. Disponível em: [https://www.onlysoftinstituto.com/pdf/Inteligencia\\_Artificial\\_Mito\\_e\\_Ciencia.pdf](https://www.onlysoftinstituto.com/pdf/Inteligencia_Artificial_Mito_e_Ciencia.pdf). Acesso em: 11 set. 2025.

<sup>9</sup> RUSSEL, Stuart. **Human Compatible: Artificial Intelligence and the Problem of Control**. New York: Viking. Penguin, 2019.

<sup>10</sup> KAUFMAN, Dora. **Desmistificando a Inteligência Artificial**. Belo Horizonte: Autêntica, 2022, p. 16.

A Nvidia, empresa líder em computação de inteligência artificial, conceitua a inteligência artificial como a capacidade de um programa de computador ou de uma máquina pensar, aprender e tomar ações, e pode ser pensada como a capacidade de um dispositivo de executar tarefas autonomamente, ao “ingerir e analisar enorme quantidade de dados, e depois reconhecer padrões nesses dados”<sup>11</sup>. Desse modo, tem-se que o propósito da IA é “criar sistemas que reproduzam a capacidade humana de análise de dados, raciocínio lógico e aprendizado”<sup>12</sup>.

Nesse sentido, o computador torna possível a inteligência artificial por ser uma máquina que processa símbolos de forma automatizada e eficiente. Aqui, é importante distinguir o software do hardware. O hardware é o nível físico, refere-se aos componentes projetados para os sistemas de IA. Os sistemas de IA exigem hardwares para o processamento de grande conjunto de dados, utilizados por aprendizado de máquina, deep learning ou outros tipos de algoritmos de IA para “replicar a forma como os seres humanos pensam, aprendem e resolvem problemas”<sup>13</sup>.

Todo esse hardware, combinado com o software, gera os sistemas de IA que conhecemos hoje. De fato, a IA permeia a sociedade moderna: chatbots são usados por empresas para contato com clientes, mecanismos de busca na internet dependem da IA para funcionar, casas inteligentes, sistemas de navegação e reconhecimento facial são alguns exemplos do uso dessa tecnologia na nossa vida cotidiana.

Nesse sentido, Dora Kaufmann, ao afirmar que a IA faz parte da nossa vida cotidiana, cita que, diariamente, acessamos sistemas inteligentes para

---

<sup>11</sup> CLAYTON, Jesse. AI Decoded: Demystifying AI and the Hardware, Software and Tools That Power It. **NVIDIA Blog**, 06 mar. 2024. Disponível em: <https://blogs.nvidia.com/blog/ai-decoded-rtx-pc/>. Acesso em: 11 set. 2025.

<sup>12</sup> PEREIRA FILHO, Nivanildo; LIMA, Rogerio de Araujo. Governança Algorítmica e Políticas Públicas: Desafios éticos e impactos da Inteligência Artificial na tomada de decisão governamental. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 6, n. 1, 2025.

<sup>13</sup> SCHNEIDER, Josh; SMALLEY, Ian. O que é hardware de IA? **IBM Think**, 20 maio 2025. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/ai-hardware>. Acesso em: 11 set. 2025.

programar rotas com o Waze, pesquisar no Google e receber da Netflix e do Spotify recomendações de músicas e filmes. Ainda, cita as interações com plataformas como a Siri, da Apple, a Alexa, da Amazon, que são assistentes pessoais digitais inteligentes que nos ajudam a localizar informações úteis com acesso por meio de voz<sup>14</sup>. Assim, a autora afirma:

Na última década, a IA tornou-se a tecnologia de propósito geral do século XXI. A tendência é que a lógica da IA torne-se hegemônica na geração de riqueza, criando um valor econômico sem precedentes. Estamos migrando, aceleradamente, para a Economia de Dados, ou Capitalismo “Dadocêntrico”, termos que expressam um modelo econômico cuja matéria-prima estratégica são os dados<sup>15</sup>.

Diante desse cenário, percebe-se que a Inteligência Artificial não possui uma definição única, de modo que abrange diferentes perspectivas teóricas e práticas – desde a ideia de sistemas que pensam ou agem como humanos até a concepção de máquinas capazes de agir racionalmente. A sua evolução histórica e conceitual revela que a IA é, ao mesmo tempo, um capo científico, uma tecnologia aplicada e um motor de transformação social e econômica.

Nesse contexto, a IA consolida-se como uma tecnologia de propósito geral, reconfigurando processos produtivos, hábitos sociais e relações econômicas, de modo que compreendê-la é fundamental para interpretar os rumos da sociedade contemporânea e os desafios que emergem em um mundo cada vez mais orientado por dados.

## 2. A PEGADA ECOLÓGICA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Em “Sociedade de Risco”, Ulrich Beck já alerta que “na modernidade tardia, a produção de riqueza é acompanhada sistematicamente pela produção social de riscos<sup>16</sup>”. A Inteligência Artificial, como ferramenta de grande potencial

<sup>14</sup> KAUFMAN, Dora. **Desmistificando a Inteligência Artificial**, 2022, p. 25.

<sup>15</sup> KAUFMAN, Dora. **Desmistificando a Inteligência Artificial**, 2022, p. 24.

<sup>16</sup> BECK, Ulrich. **Sociedade de risco: rumo a uma outra modernidade**. Tradução de Sebastião Nascimento. São Paulo: Editora 34, 2010, p. 23.

gerador de riquezas, traz consigo também riscos: éticos, sociais, econômicos, de privacidade e segurança cibernética, vieses algorítmicos e de centralização de poder. Todavia, há uma espécie de risco da IA que é pouco debatida e muito desconhecida: os riscos ambientais.

De fato, a ascensão e a centralidade da inteligência artificial na atualidade são fatos inegáveis, mas os impactos ambientais trazidos pelo avanço desenfreado das tecnologias de IA ainda são amplamente desconhecidos. Todavia, é necessário que informações concretas sobre a pegada ecológica da inteligência artificial sejam efetivamente divulgadas e analisadas com cautela, diante da já preocupante crise climática que permeia o planeta.

Com efeito, as instalações de inteligência artificial demandam muitos recursos naturais, que podem causar significativos impactos no planeta. Conforme relatório das Nações Unidas de 2024<sup>17</sup>, os componentes eletrônicos que os data centers abrigam dependem de grandes quantidades de grãos: para fabricação de um computador de dois quilos, são necessários 800 quilos de matérias-primas. Ademais, o relatório destaca que os microchips que alimentam a IA precisam de elementos de terras raras, extraídos de maneiras destrutivas para o meio ambiente.

O mesmo relatório ainda revela que, em breve, a infraestrutura da IA poderá consumir seis vezes mais água do que a Dinamarca, país de seis milhões de habitantes, de acordo com estimativas. Nesse sentido, o último relatório ambiental da Microsoft mostra que o consumo de água aumentou 34% de 2021 para 2022, e o Google relata aumento de 22% no mesmo período<sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development. **Digital economy report 2024**: Shaping an environmentally sustainable and inclusive digital future. Geneva: UNCTAD, 2024. Disponível em: <https://unctad.org/publication/digital-economy-report-2024>. Acesso em: 01 set. 2025.

<sup>18</sup> COLLIER, Andrew. Artificial Intelligence is Using a Ton of Water. Here's How to Be More Resourceful. **Veolia Water Technologies & Solutions**, 22 ago. 2024. Disponível em: <https://www.watertechnologies.com/blog/artificial-intelligence-using-ton-water-heres-how-be-more-resourceful>. Acesso em: 01 set. 2025.

Esse aumento do consumo de água decorre da necessidade de manutenção de temperaturas ideais para os servidores dos data centers, compactados em racks de hardware de computação. Os componentes existentes nesse hardware geram imensas quantidades de calor, e o superaquecimento pode causar galha no sistema, corrupção de dados e tempo de inatividade. Além disso, os data centers utilizam água para sistemas de umidificação que mantêm faixa de umidade específica para assegurar a funcionalidade de todos os equipamentos<sup>19</sup>.

Os dados são tão alarmantes que a World Wildlife Federation projetou que 66% da população global provavelmente enfrentará escassez de água até o próximo ano<sup>20</sup>.

Ainda, é necessária grande quantidade de energia para hospedar essas tecnologias, que vem, na maioria das vezes, da queima de combustíveis fósseis – produzindo gases de efeito estufa. Nesse sentido, relatório da International Energy Agency de 2024<sup>21</sup> afirma que uma solicitação feita por meio do ChatGPT consome dez vezes mais eletricidade do que uma pesquisa no Google.

A mesma agência afirma que, em 2022, os centros de processamento de dados consumiram 460 terawatt-hora (TWh) de energia no mundo, e estima que com o crescimento da IA, esse consumo pode aumentar para 1.050 TWh até 2026<sup>22</sup>.

---

<sup>19</sup> COLLIER, Andrew. Artificial Intelligence is Using a Ton of Water. Here's How to Be More Resourceful. Water Tech Blog – **Veolia Water Technologies & Solutions**, 22 ago. 2024. Disponível em: <https://www.watertechnologies.com/blog/artificial-intelligence-using-ton-water-heres-how-be-more-resourceful>. Acesso em: 01 set. 2025.

<sup>20</sup> WORLD WILDLIFE FUND (WWF). **Water Scarcity Threats**. Disponível em: <https://www.worldwildlife.org/threats/water-scarcity>. Acesso em: 01 set. 2025.

<sup>21</sup> INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Electricity 2024: Analysis and forecast to 2026**. Revised version, January 2024. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/6b2fd954-2017-408e-bf08-952fdd62118a/Electricity2024-Analysisandforecastto2026.pdf>. Acesso em: 01 set. 2025.

<sup>22</sup> LEME, Mariane. **A relação entre consumo de água e energia com a inteligência artificial**. Água.org.br, 20 jun. 2024. Disponível em: <https://agua.org.br/blog/a-relacao-entre-consumo-de-agua-e-energia-com-a-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 01 set. 2025.

Ainda com relação ao uso de energia, um relatório da União Internacional de Telecomunicações (UIT) revela que o consumo de eletricidade pelos centros de dados que sustentam a IA aumentou 12% a cada ano de 2017 a 2023<sup>23</sup>.

E esses dados tendem a crescer: o número de data centers no mundo aumentou de quinhentos mil em 2012 para 8 milhões em 2024. No Brasil, existem hoje 162 data centers, conforme a Associação Brasileira de Data Centers, com capacidade instalada de 750MW e 800MW – consumo semelhante ao de uma cidade de cerca de dois milhões de habitantes, conforme estimativa da Empresa de Pesquisa Energética (EPE)<sup>24</sup>.

Um estudo da Universidade de Stanford de 2019 revelou que o treinamento de um sistema padrão de processamento de linguagem de inteligência artificial gera a mesma quantidade de emissão de carbono produzida por uma pessoa em uma viagem de ida e volta entre Nova York e São Francisco. O mesmo estudo demonstrou que o processo completo de construir e treinar esse sistema pode gerar, dependendo da fonte de energia, o dobro de emissão de carbono de um americano médio ao longo de toda a sua vida<sup>25</sup>.

Emma Strubell, pesquisadora da Universidade de Massachusetts Amherst, estimou que para rodar um modelo de natural language processing (NLP), se produzi cerca de 660 mil libras de emissões de dióxido de carbono – equivalente a cinco carros movidos a gasolina durante toda a sua vida útil, ou cento e vinte e cinco voos de ida e volta de Nova York a Pequim<sup>26</sup>.

<sup>23</sup> NAÇÕES UNIDAS. Alto consumo de eletricidade pela inteligência artificial representa risco ambiental. **ONU News**, 6 jun. 2025. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2025/06/1849246>. Acesso em: 02 set. 2025.

<sup>24</sup> EXAME. Entenda por que a inteligência artificial exige o consumo de água. **Esfera Brasil**, 23 abr. 2025. Disponível em: <https://exame.com/esferabrasil/entenda-por-que-a-inteligencia-artificial-exige-o-consumo-de-agua/>. Acesso em: 01 set. 2025.

<sup>25</sup> KAUFMAN, Dora. **Desmistificando a Inteligência Artificial**. Belo Horizonte: Autêntica, 2022, p. 223.

<sup>26</sup> STRUBBEL, Emma; GANESH, Ananya; McCALLUM, Andrew. Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NPL. In: **Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics**, jan. 2019.

Nesse sentido, percebe-se que a pegada ecológica da inteligência artificial é significativa, e não pode ser esquecida. Com efeito, Kate Crawford, cofundadora do instituto de pesquisa AI Now, da Universidade de Nova York, alerta que as externalidades negativas da IA transcendem questões éticas, já que produzem mudanças geomórficas profundas e duradouras ao planeta, destacando o protagonismo do lítio, cada vez mais escasso, e da energia<sup>27</sup>.

Crawford ainda denuncia um “mito da tecnologia limpa” das grandes empresas de tecnologia, particularmente, das plataformas de nuvem (Amazon, Microsoft, Google Cloud e IBM Cloud), que divulgam políticas ambientais e iniciativas de sustentabilidade, mas escondem os danos da extração de lítio e do consumo de quantidades absurdas de energia.

A importância do debate dos riscos ambientais da IA é ainda maior no momento em que a crise climática intensifica-se cada vez mais. Durante o Seminário Internacional “Inteligência Artificial e Mudança do Clima”, Tomas Lamanauskas, secretário-geral da União Internacional de Tecnologia (UIT) destaca que 2024 foi registrado o ano mais quente, e considerou que presenciamos um momento desafiador para falar sobre uma tecnologia cujas mudanças estão acontecendo de maneira drástica<sup>28</sup>.

E, com o aumento significativo da crise climática, o planeta passa a se tornar mais propenso a desastres climáticos – que empurram anualmente vinte e seis milhões de pessoas para a pobreza<sup>29</sup>. Tais dados demonstram que os impactos da Inteligência Artificial no meio ambiente e, conseqüentemente, no

<sup>27</sup> KAUFMAN, Dora. **Desmistificando a Inteligência Artificial**. Belo Horizonte: Autêntica, 2022, p. 228.

<sup>28</sup> **BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)**. *Como a inteligência artificial pode acelerar as ações climáticas?* Coordenadoria-Geral de Clima (CGCL), Painel “Fomentando soluções de IA para a Missão 1.5”, 28 jan. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/noticias/como-a-inteligencia-artificial-pode-acelerar-as-acoes-climaticas>. Acesso em: 02 set. 2025

<sup>29</sup> NIXON-SAINTIL, Justina. Entenda a relação entre a justiça ambiental e a inteligência artificial. **Revista Exame**, 5 out. 2023. (última atualização em 23 out. 2023). Disponível em: <https://exame.com/revista-exame/a-justica-ambiental-e-a-ia/>. Acesso em: 02 set. 2025.

avanço da crise climática, contribui também para o maior aumento das desigualdades e afastamento da justiça climática.

De fato, ainda existe grande disparidade na maneira como diferentes regiões são afetadas pelos impactos ambientais da IA. À título exemplificativo, em 2022, o Google operou seu data center na Finlândia com 97% de energia livre de carbono – mas esse número cai para 4% a 18% em seus data centers localizados em regiões da Ásia<sup>30</sup>. Tal dado demonstra a disparidade no consumo local de combustíveis fósseis e na geração de poluição do ar.

De forma semelhante, a taxa de consumo de água para resfriamento em data centers pode ser proporcionalmente maior em regiões afetadas pela secas, em razão dos climas mais quentes. Assim, a implantação e o gerenciamento da computação por trás da IA podem agravar a desigualdade ambiental, aumentando ainda mais as disparidades socioeconômicas entre as regiões.

Com efeito, Petra Schonhofer<sup>31</sup>, jornalista alemã especializada em mudanças climáticas, afirma que as corporações europeias danificam e destroem o meio ambiente e exploram comunidades locais marginalizadas, de modo que o mundo natural na África, Ásia e América Latina foi destruído pelos sistemas capitalistas implantados pelo Norte Global. Estes, por sua vez, normalizaram, expandiram e fortaleceram o consumo excessivo. A autora cita o sociólogo Stephan Lessnich, que discute de que maneira as nações emergentes fortalecem as matérias primas das quais os países industrializados dependem para esse crescimento excessivo, “enquanto agem como seus lixões”.

Logo, o avanço tecnológico desenfreado que não leva em consideração as consequências ambientais reforçam as desigualdades globais, inviabilizando a efetivação da justiça climática – uma justiça intergeracional: que não se limita

<sup>30</sup> REN, Shaolei; WIERMAN, Adam. The uneven distribution of AI's environmental impacts. **Harvard Business Review**, 15 jul. 2024. Disponível em: <https://hbr.org/2024/07/the-uneven-distribution-of-ais-environmental-impacts>. Acesso em: 02 set. 2025

<sup>31</sup> SCHÖNHÖFER, Petra. **Climate colonialism as a new hegemonic structure**. Goethe-Institut. (Oct. 2019). Disponível em: <https://www.goethe.de/ins/br/pt/kul/fok/pkl/21689473.html> Acesso em 20 set. 2025.

ao futuro, mas deve levar em consideração, também, o passado histórico dessas desigualdades globais<sup>32</sup>.

Esse cenário, além de afastar a justiça climática, faz nascer o neocolonialismo climático, conforme Vieira e Bauer:

More than the question “what is sustainable?”, we must ask “for whom is this sustainable?”. Moreover, historically, the big question is, “Is this fair from a climate and intergenerational point of view?” This colonial historical influence of considering in the climate pacts the needs of the metropolises – major causes of climate change due to the Industrial Revolution – to the detriment of the weight that these same changes (forming the welfare capital of the Northern Hemisphere) have for the developing peoples, mainly black and indigenous populations, is what we call Climate Neocolonialism.<sup>33</sup>

Diante desse panorama, verifica-se que a inteligência artificial, ao mesmo tempo em que representa um marco tecnológico com potencial de transformação econômica e social, impõe também um conjunto de riscos ambientais que não podem ser negligenciados. A extração intensiva de recursos naturais, o consumo crescente de água e energia, a emissão de gases de efeito estufa e a intensificação das desigualdades ambientais revelam que a IA está intrinsecamente ligada à crise climática global.

Logo, é imprescindível que novas medidas sejam tomadas para promover maior transparência, regulamentação e investimentos em tecnologias realmente sustentáveis, para que a inovação digital não se torne mais um vetor de degradação ambiental, mas uma aliada na busca por justiça climática e equilíbrio ecológico.

### 3. DESAFIOS REGULATÓRIOS E CAMINHOS PARA UMA GOVERNANÇA SUSTENTÁVEL DA IA

<sup>32</sup> VIEIRA, Ricardo Stanzola; BAUER, Luciana. Climate neocolonialism: the carbon metric under the intergenerational justice. Florianópolis, **Revista Sequência**, vol. 44, n. 95. Disponível em; <https://research.ebsco.com/c/ldat7c/search/details/lgb3nqh6ar?db=aph&modal=details-bulk-download>. Acesso em 20 set. 2025.

<sup>33</sup> VIEIRA, Ricardo Stanzola; BAUER, Luciana. Climate neocolonialism: the carbon metric under the intergenerational justice.

Como visto, a relação entre a IA e a sustentabilidade ambiental tem ganhado espaço no debate contemporâneo, revelando-se como um grande desafio do século XXI. Embora seja reconhecida como uma tecnologia de propósito geral, capaz de transformar economias e sociedades, ainda há um lapso significativo no que diz respeito à sua integração nas discussões sobre mudanças climáticas.

Nesse viés, afirma Dora Kaufmann:

A sociedade encontra-se em um ponto crítico das duas agendas - mudanças climáticas e tecnologias de inteligência artificial -, ambas estratégicas para garantir um futuro sustentável para a humanidade. Atualmente, a IA é pouco considerada nas reflexões éticas e sociais dos pensadores das questões climáticas; prevalece uma abordagem instrumental da IA. É urgente mudar essa visão e estabelecer uma sólida aliança entre as duas agendas.<sup>34</sup>

Iniciativas globais já vêm sinalizando a necessidade de mudanças: o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) fez cinco recomendações principais para controle das consequências ambientais da IA<sup>35</sup>. Inicialmente, recomenda-se que os países estabeleçam procedimentos padronizados para medir o impacto ambiental da IA, já que a escassez de informações confiáveis sobre o assunto é um grande obstáculo para que sejam tomadas medidas eficazes.

O PNUMA também recomenda que os governos desenvolvam regulamentações que exijam que empresas divulguem as consequências ambientais diretas dos produtos e serviços baseados em IA. Ainda, recomenda-se que as empresas de tecnologia tornem os algoritmos de IA mais eficientes,

<sup>34</sup> KAUFMAN, Dora. **Desmistificando a Inteligência Artificial**. Belo Horizonte: Autêntica, 2022, p. 232.

<sup>35</sup> PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). A IA gera um problema ambiental. Veja o que o mundo pode fazer a respeito. **UNEP – Notícias e Reportagens**, 21 set. 2024. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/ia-gera-um-problema-ambiental-veja-o-que-o-mundo-pode-fazer>. Acesso em: 01 set. 2025.

reduzindo sua demanda por energia, adotando medidas como a reutilização de água e componentes quando possível.

Em quarto lugar, o PNUMA recomenda que os países incentivem empresas a tornar seus data centers mais ecológicos, utilizando energias renováveis e compensando suas emissões de carbono. E, por fim, recomenda-se que os países insiram suas políticas relacionadas à IA em regulamentações ambientais mais amplas.

Portanto, ao reconhecer tanto o potencial transformador quanto os riscos ambientais associados à IA, torna-se imprescindível integrar essa tecnologia às estratégias globais de sustentabilidade. A consolidação de políticas públicas, regulamentações e práticas empresariais responsáveis pode assegurar que a IA contribua para a mitigação das mudanças climáticas, ao invés de agravá-las.

A partir disso, a articulação entre governos, organismos internacionais, empresas e sociedade civil é fundamental para que a IA não seja apenas uma ferramenta de inovação, mas um instrumento a favor da preservação ambiental e da construção de um futuro sustentável.

Todavia, um dos maiores entraves para a formulação de regulamentações e políticas públicas eficazes relacionadas à IA e ao meio ambiente é a própria natureza não territorial do espaço digital, e da transnacionalidade dos problemas ambientais.

Conforme Floridi<sup>36</sup>, o mundo digital está transformando profundamente a realidade. O autor considera a desconexão entre a lei e a territorialidade, afirmando que, desde a Paz de Westfália, em 1648, a geografia proporciona à jurisprudência respostas fáceis para questões de abrangência: a lei deve ser aplicada dentro das fronteiras nacionais. Todavia, o mundo digital não é um

---

<sup>36</sup> FLORIDI, Luciano. **Ética da Inteligência Artificial**: princípios, desafios e oportunidades. Tradução de Juliana Vermelho Martins. Curitiba: PUCPRESS, 2024.

espaço físico – e a questão da territorialidade aparece com um desalinhamento entre o espaço normativo, o espaço físico da geografia e o espaço digital.

Assim, enquanto as legislações tradicionais baseiam-se sempre nos limites geográficos, a realidade virtual e interconectada da IA ultrapassa fronteiras, dificultando uma aplicação uniforme das normas e a responsabilização de atores globais. Essa ausência de territorialidade cria zonas cinzentas jurídicas e regulatórias, nas quais interesses econômicos e tecnológicos avançam mais rápido que a capacidade dos Estados de regular.

É nessa lacuna que se destaca a necessidade da implementação de uma governança ambiental digital, capaz de articular princípios éticos e jurídicos em âmbito transnacional, estabelecendo parâmetros comuns que conciliem a inovação tecnológica e a sustentabilidade planetária.

A governança ambiental digital, portanto, deve ser orientada por princípios sólidos, como accountability, transparência, participação social e cooperação internacional. A criação de mecanismos de responsabilização claros é essencial para que empresas e governos prestem contas sobre os impactos ambientais decorrentes do uso da IA, garantindo que decisões tomadas no espaço digital tenham correspondência em compromissos concretos no espaço físico.

Da mesma forma, a transparência em processos de coleta, análise e utilização de dados ambientais, assim como nos algoritmos que os processam, é um passo fundamental para evitar abusos, reduzir assimetrias de poder e fortalecer a confiança pública. Ao lado disso, a participação de diferentes atores sociais, incluindo comunidades locais, pesquisadores, organizações da sociedade civil e organismos internacionais amplia a legitimidade das decisões e fortalece a construção de soluções globais mais equitativas.

Um exemplo paradigmático de governança regulatória em matéria de inteligência artificial é o AI Act da União Europeia<sup>37</sup>, aprovado em 2024, que se

---

<sup>37</sup> UNIÃO EUROPEIA. Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence and amending

consolidou como o primeiro marco legal abrangente sobre a matéria no mundo. O regulamento adota uma abordagem baseada em risco, classificando os sistemas de IA em categorias que vão do risco mínimo ao risco inaceitável, com diferentes níveis de exigências jurídicas.

Embora o foco principal seja a proteção de direitos fundamentais e a mitigação de riscos éticos e de segurança, o AI Act também dialoga com a sustentabilidade ambiental, ao impor requisitos de transparência e eficiência que repercutem na redução da pegada ecológica da tecnologia. Ao exigir que fornecedores de IA documentem o consumo de recursos e implementem práticas responsáveis, a União Europeia demonstra que a regulação da IA não pode ser dissociada da proteção ambiental, servindo de referência global para a construção de uma governança ambiental digital.

Nesse sentido, a governança ambiental digital deve se consolidar como um marco regulatório transnacional que vá além das fronteiras geográficas e responda à natureza interconectada dos desafios ambientais contemporâneos. Esse cenário exige o estabelecimento de parâmetros gerais e padronizados para medir, reportar e mitigar os impactos ambientais da IA, ao mesmo tempo em que se preserva o espaço físico para adaptações locais.

Assim, torna-se possível alinhar inovação tecnológica com responsabilidade socioambiental, garantindo que a inteligência artificial atue não apenas como vetor de progresso econômico, mas também como aliada na preservação da vida e do equilíbrio do planeta.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida ao longo deste artigo evidencia que a inteligência artificial, embora se apresente como uma das maiores inovações tecnológicas

---

Regulations (EC) No 300/2008, (EU) No 167/2013, (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 and (EU) 2019/2144 and Directives 2014/90/EU, (EU) 2016/797 and (EU) 2020/1828 (Artificial Intelligence Act). **Official Journal of the European Union**, Regulation EU 2024/1689, L series, No. 1689, 12 Jul. 2024. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj/eng>. Acesso em: 11 set. 2025.

do século XXI, não pode ser compreendida apenas sob a ótica de sua eficiência, aplicabilidade ou potencial de transformação econômica e social. Sua infraestrutura de hardware e software, sustentada por cadeias produtivas intensivas em recursos naturais e energéticos, revela um lado oculto: a significativa pegada ecológica decorrente do seu funcionamento.

Os dados sobre emissões de carbono, consumo crescente de água e eletricidade, além da extração predatória de minerais, comprovam que a IA não é neutra do ponto de vista ambiental. Ao contrário, ela se insere no conjunto de fatores que intensificam a crise climática global, ampliando desigualdades regionais e aprofundando a injustiça ambiental. Dessa forma, torna-se imprescindível desconstruir a ideia de neutralidade ou de “tecnologia limpa”, frequentemente propagada pelas grandes corporações, para encarar de maneira transparente e crítica os reais custos ecológicos do desenvolvimento da IA.

Nesse contexto, os riscos ambientais associados à inteligência artificial devem ser tratados como parte indissociável do debate sobre sustentabilidade e justiça climática. A Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável fornecem um marco importante para alinhar a inovação digital com compromissos ambientais globais. Contudo, como apontado, ainda prevalece um vácuo regulatório e normativo que compromete a responsabilização de agentes e a implementação de medidas eficazes.

Esse vazio é agravado pela transnacionalidade e pela natureza não territorial do espaço digital, que dificulta a aplicação uniforme de regras e a criação de políticas públicas nacionais isoladas. Assim, apenas a cooperação internacional e a criação de parâmetros comuns podem responder à dimensão global dos impactos ambientais da IA. Nesse sentido, a governança ambiental digital se apresenta como um imperativo ético e jurídico para assegurar que a IA esteja a serviço da preservação ambiental e da dignidade humana.

Para ser efetiva, essa governança deve apoiar-se em princípios estruturantes como accountability, transparência, participação social e cooperação internacional. Isso implica a adoção de mecanismos claros de

responsabilização das empresas de tecnologia, a exigência de relatórios públicos sobre impactos ambientais, a eficiência energética de algoritmos e data centers, e o incentivo ao uso de energias renováveis. Mais que uma questão técnica, trata-se de um desafio político e social, que exige a articulação de múltiplos atores: governos, organismos multilaterais, empresas, universidades, organizações da sociedade civil e comunidades locais. Essa articulação deve buscar não apenas mitigar os danos já produzidos, mas também antecipar riscos, prevenindo que a expansão da IA agrave ainda mais a crise ambiental e as desigualdades globais.

Por fim, cabe reconhecer que a inteligência artificial, enquanto tecnologia de propósito geral, é inevitavelmente parte do futuro da humanidade. O desafio reside em moldar seu desenvolvimento de maneira ética e sustentável, de modo que contribua para a proteção da vida e do equilíbrio ecológico, ao invés de se tornar um fator de degradação irreversível. A consolidação de uma governança ambiental digital, construída sobre valores de responsabilidade, justiça e solidariedade, representa a oportunidade de alinhar inovação tecnológica e preservação ambiental. Somente assim será possível garantir que a IA desempenhe um papel positivo na construção de um futuro sustentável, justo e equitativo, no qual os avanços digitais caminhem lado a lado com o cuidado ao planeta e às gerações vindouras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECK, Ulrich. **Sociedade de risco**: rumo a uma outra modernidade. Tradução de Sebastião Nascimento. São Paulo: Editora 34, 2010, p. 23.

**BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI).** *Como a inteligência artificial pode acelerar as ações climáticas?* Coordenadoria-Geral de Clima (CGCL), Painel “Fomentando soluções de IA para a Missão 1.5”, 28 jan. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/noticias/como-a-inteligencia-artificial-pode-acelerar-as-acoes-climaticas>. Acesso em: 02 set. 2025

CHARNIAK, Eugene; MCDERMOTT, Drew. **A Bayesian Model of Plan Recognition**. Massachusetts: Addison-Wesley, 1985.

CLAYTON, Jesse. AI Decoded: Demystifying AI and the Hardware, Software and Tools That Power It. **NVIDIA Blog**, 06 mar. 2024. Disponível em: <https://blogs.nvidia.com/blog/ai-decoded-rtx-pc/>. Acesso em: 11 set. 2025.

**COLLIER, Andrew.** *Artificial Intelligence is Using a Ton of Water. Here's How to Be More Resourceful.* Veolia Water Technologies & Solutions, 22 ago. 2024. Disponível em: <https://www.watertechnologies.com/blog/artificial-intelligence-using-ton-water-heres-how-be-more-resourceful>. Acesso em: 01 set. 2025.

**COLLIER, Andrew.** *Artificial Intelligence is Using a Ton of Water. Here's How to Be More Resourceful.* Water Tech Blog – Veolia Water Technologies & Solutions, 22 ago. 2024. Disponível em: <https://www.watertechnologies.com/blog/artificial-intelligence-using-ton-water-heres-how-be-more-resourceful>. Acesso em: 01 set. 2025.

FLORIDI, Luciano. **Ética da Inteligência Artificial:** princípios, desafios e oportunidades. Tradução de Juliana Vermelho Martins. Curitiba: PUCPRESS, 2024.

GIATTINO, Charlie; MATHIEU, Edouard; SAMBORSKA, Veronika; ROSER, Max. Artificial Intelligence. **OurWorldInData**, 2023. Disponível em: <https://ourworldindata.org/artificial-intelligence>. Acesso em: 11 set. 2025.

GOMES, Dennis dos Santos. Inteligência Artificial: Conceitos e Aplicações. **Revista Olhar Científico** – Faculdades Associadas de Ariquemes, v. 01, n. 2, ago./dez. 2010.

HAUGELAND, John. Artificial Intelligence: The Very Idea. Massachusetts: **The MIT Press**, 1985.

**INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA).** *Electricity 2024: Analysis and forecast to 2026.* Revised version, January 2024. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/6b2fd954-2017-408e-bf08-952fdd62118a/Electricity2024-Analysisandforecastto2026.pdf>. Acesso em: 01 set. 2025.

KAUFMAN, Dora. **Desmistificando a Inteligência Artificial.** Belo Horizonte: Autêntica, 2022.

KURZWEIL, Ray. The Age of Spiritual Machines. Massachusetts: **The MIT Press**, 1990

**LEME, Mariane.** *A relação entre consumo de água e energia com a inteligência artificial.* Água.org.br, 20 jun. 2024. Disponível em: <https://agua.org.br/blog/a-relacao-entre-consumo-de-agua-e-energia-com-a-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 01 set. 2025.

MONIZ PEREIRA, Luís. Inteligência Artificial: mito e ciência. **Revista Clóquio-Ciências**. out. 2003. Disponível em:

[https://www.onlysoftinstituto.com/pdf/Inteligencia\\_Artificial\\_Mito\\_e\\_Ciencia.pdf](https://www.onlysoftinstituto.com/pdf/Inteligencia_Artificial_Mito_e_Ciencia.pdf).

Acesso em: 11 set. 2025.

**NAÇÕES UNIDAS**. Alto consumo de eletricidade pela inteligência artificial representa risco ambiental. *ONU News*, 6 jun. 2025. Disponível em:

<https://news.un.org/pt/story/2025/06/1849246>. Acesso em: 02 set. 2025.

**NIXON-SAINTIL, Justina**. *Entenda a relação entre a justiça ambiental e a inteligência artificial*. Revista Exame, 5 out. 2023. (última atualização em 23 out. 2023). Disponível em: <https://exame.com/revista-exame/a-justica-ambiental-e-a-ia/>. Acesso em: 02 set. 2025.

PEREIRA FILHO, Nivanildo; LIMA, Rogerio de Araujo. Governança Algorítmica e Políticas Públicas: Desafios éticos e impactos da Inteligência Artificial na tomada de decisão governamental. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 6, n. 1, 2025.

POOLE, D.; MACKWORTH, A. K.; GOEBEL, R. Computational Intelligence: A Logical Approach. Oxford: Oxford University, 1998.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). A IA gera um problema ambiental. Veja o que o mundo pode fazer a respeito.

**UNEP – Notícias e Reportagens**, 21 set. 2024. Disponível em:

<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/ia-gera-um-problema-ambiental-veja-o-que-o-mundo-pode-fazer>. Acesso em: 01 set. 2025

REN, Shaolei; WIERMAN, Adam. The uneven distribution of AI's environmental impacts. **Harvard Business Review**, 15 jul. 2024. Disponível em:

<https://hbr.org/2024/07/the-uneven-distribution-of-ais-environmental-impacts>.

Acesso em: 02 set. 2025

RUSSEL, Stuart. **Human Compatible: Artificial Intelligence and the Problem of Control**. New York: Viking. Penguin, 2019.

SCHNEIDER, Josh; SMALLEY, Ian. O que é hardware de IA? **IBM Think**, 20 maio 2025. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/ai-hardware>. Acesso em: 11 set. 2025.

SCHÖNHÖFER, Petra. **Climate colonialism as a new hegemonic structure**. Goethe-Institut. (Oct. 2019). Disponível em: <https://www.goethe.de/ins/br/pt/kul/fok/pkl/21689473.html> Acesso em 20 set. 2025.

STRUBBEL, Emma; GANESH, Ananya; McCALLUM, Andrew. Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NPL. In: **Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics**, jan. 2019.

**UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development.** *Digital economy report 2024: Shaping an environmentally sustainable and inclusive digital future.* Geneva: UNCTAD, 2024. Disponível em: <https://unctad.org/publication/digital-economy-report-2024>. Acesso em: 01 set. 2025.

UNIÃO EUROPEIA. Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence and amending Regulations (EC) No 300/2008, (EU) No 167/2013, (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 and (EU) 2019/2144 and Directives 2014/90/EU, (EU) 2016/797 and (EU) 2020/1828 (Artificial Intelligence Act). **Official Journal of the European Union**, Regulation EU 2024/1689, L series, No. 1689, 12 Jul. 2024. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj/eng>. Acesso em: 11 set. 2025.

VIEIRA, Ricardo Stanziola; BAUER, Luciana. Climate neocolonialism: the carbon metric under the intergenerational justice. Florianópolis, **Revista Sequência**, vol. 44, n. 95. Disponível em: <https://research.ebsco.com/c/ldat7c/search/details/lgb3nqh6ar?db=aph&modal=details-bulk-download>. Acesso em 20 set. 2025.

**WORLD WILDLIFE FUND (WWF).** Water Scarcity | Threats. Disponível em: <https://www.worldwildlife.org/threats/water-scarcity>. Acesso em: 01 set. 2025.