

# INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E PROTEÇÃO AMBIENTAL: A EXPERIÊNCIA DO PROGRAMA COPERNICUS DA UNIÃO EUROPEIA

MARCELO FERNANDES DE OLIVEIRA\*

VICTÓRIA EDUARDA FLAUZINO\*\*

**Resumo:** Este estudo demonstra como a inteligência artificial (IA) é utilizada na proteção ambiental pelo Programa Copernicus da União Europeia (UE). Principalmente no monitoramento e mitigação de desmatamento, poluição e mudanças climáticas. A metodologia é qualitativa (pesquisa bibliográfica, documental e estudos de caso). Os resultados foram: a) o uso da IA à proteção ambiental é uma experiência positiva na UE; ao b) engajar governos e empresas nessa tarefa; entretanto c) tem altos custos financeiros devido a UE não desenvolver tecnologia; e d) enfrenta resistências sobre o uso ético dessas ferramentas. As conclusões indicam que se fazem necessários investimentos públicos no desenvolvimento de IA open sourcing otimizadas ao contexto europeu e ao aprofundamento sobre as consequências éticas do uso delas. Assim, a UE estaria preparada para liderar a produção e o uso de IA à proteção ambiental e influenciar outros países a apoiarem diretrizes e regulamentações globais na área da sustentabilidade.

**Palavras-chave:** Inteligência Artificial; Proteção ambiental; União Europeia; Programa Copernicus.

**Abstract:** This study demonstrates how artificial intelligence (AI) is used in environmental protection by the Copernicus Program of the European Union (EU). Mainly in monitoring and mitigating deforestation, pollution and climate change. The methodology is qualitative (bibliographical, documentary and case study research). The results were: a) the use of AI for environmental protection is a positive experience in the EU; b) it engages governments and companies in this task; however c) it has high financial costs due to the EU not developing the technology; and d) it faces resistance over the ethical use of these tools. The conclusions indicate that there is a need for public investment in the development of open sourcing AI optimized for the European context and for more in-depth analysis of the ethical consequences of its use. In this way, the EU would be prepared to lead the production and use of AI for environmental protection and influence other countries to support global guidelines and regulations in the area of sustainability.

**Keywords:** Artificial Intelligence; Environmental protection; European Union; and Copernicus Programme.

---

\* Universidade Estadual Paulista «Júlio de Mesquita Filho» (UNESP). Email: marcelofernandes@unesp.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0707-9327>.

\*\* Universidade Estadual Paulista «Júlio de Mesquita Filho» (UNESP). Email: victoria.e.flauzino@unesp.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2465-7469>.

## INTRODUÇÃO

A inteligência artificial (IA) faz parte do cotidiano humano e já impactou diversos setores da sociedade, com potencial para gerar soluções inovadoras para problemas complexos, tais como a proteção ambiental.

O setor privado norte-americano vem investindo alto no desenvolvimento e aprimoramento da IA generativa e seus algoritmos. O investimento global projetado até 2030 é de US\$ 15 trilhões. A IA se tornará peça central na estratégia de inovação e crescimento das corporações em busca de vantagem competitiva (Bostrom 2014).

A IA consolidou-se como uma das tecnologias mais transformadoras do século XXI, figurando no centro dos debates sobre inovação, desenvolvimento econômico, regulação ética e, mais recentemente, sustentabilidade ambiental. Embora popularizada nas últimas décadas, a concepção de inteligência artificial remonta ao esforço milenar de compreender e reproduzir a lógica do pensamento humano por meio de instrumentos formais. Desde as figuras mitológicas gregas de autômatos até os primeiros dispositivos computacionais do século XX, a busca por uma «mente artificial» atravessa culturas e períodos históricos.

O nascimento da IA moderna ocorreu de forma mais concreta no período pós-Segunda Guerra Mundial, impulsionado pelo avanço da lógica simbólica, pela computação de Von Neumann e pela cibernetica. Alan Turing, com sua «máquina universal», estabeleceu os fundamentos teóricos que permitiriam imaginar a possibilidade de que máquinas pudessem «pensar». A partir dos anos 1950, com a conferência de Dartmouth (1956), o campo se institucionalizou como disciplina científica, com o desenvolvimento de programas capazes de realizar tarefas lógicas, resolver problemas matemáticos e até jogar xadrez. Autores como McCarthy, Minsky e Newell tornaram-se pioneiros na formulação de linguagens específicas de programação para IA e na construção de sistemas baseados em regras.

Contudo, os primeiros entusiasmos deram lugar à frustração nas décadas seguintes, com a ocorrência dos chamados «invernos da IA» — períodos marcados pela escassez de financiamento e desaceleração das pesquisas devido às limitações computacionais e à dificuldade de generalização dos modelos (Haenlein e Kaplan 2019; Luger e Stubblefield 1998). Foi apenas no início do século XXI que a IA ganhou novo fôlego, graças à emergência de *big data*, ao aumento da capacidade de processamento e ao desenvolvimento de técnicas de aprendizagem profunda (*deep learning*), que passaram a permitir o reconhecimento de padrões complexos e a tomada de decisões com base em grandes volumes de dados.

Essa evolução técnica coincidiu com uma transformação epistemológica: a IA deixou de ser apenas um campo voltado à simulação da cognição humana para tornar-se um agente estruturante de decisões sociais e políticas. O uso de algoritmos em setores críticos — como saúde, segurança pública, educação, justiça, organização

da informação e meio ambiente — conferiu à IA um novo papel: o de infraestrutura invisível do funcionamento social.

Nesse cenário, torna-se imprescindível refletir não apenas sobre sua eficácia técnica, mas também sobre suas implicações éticas, epistemológicas e geopolíticas. Como argumenta Floridi (2019), vivemos hoje uma «informacionalização» do mundo, na qual dados, modelos e inferências automatizadas moldam não apenas a realidade percebida, mas também as possibilidades de ação e de regulação sobre ela.

Paralelamente ao avanço do setor privado — sobretudo norte-americano — na corrida pelo domínio da IA comercial e militar, a esfera pública passou a adotar de maneira mais tímida, porém estratégica, soluções algorítmicas em políticas de interesse coletivo. Essa assimetria gerou um novo tipo de dependência tecnológica: Estados e instituições públicas passaram a recorrer a ferramentas desenvolvidas por empresas privadas, muitas vezes opacas e proprietárias, para resolver problemas sociais complexos. Diante disso, surgem iniciativas que buscam reverter esse quadro, apostando na soberania digital, na transparência de dados e na ciência aberta como fundamentos de uma IA pública.

Entre essas iniciativas, destaca-se o Programa Copernicus da União Europeia (UE). Lançado oficialmente em 2014, o Copernicus é um programa de observação da Terra baseado em dados abertos e geoinformação, com o objetivo de monitorar e organizar informações sobre o planeta em tempo real. A iniciativa integra imagens de satélites da série Sentinel, dados climáticos e modelos preditivos para fornecer informações atualizadas sobre desmatamento, qualidade do ar, nível dos oceanos, temperatura da superfície terrestre, entre outros indicadores ambientais relevantes (Muehlenbachs, Tappata e Tzanetis 2021; NASA 2023). Através da articulação entre satélites, sensores terrestres, algoritmos de IA e plataformas públicas de análise, o Copernicus constitui uma sofisticada infraestrutura de dados ambientais com abrangência continental e impacto global.

A integração da inteligência artificial ao Copernicus ocorre, sobretudo, por meio da utilização de técnicas de aprendizado de máquina para classificar áreas de risco, prever eventos extremos e otimizar a gestão de recursos naturais. Essa articulação entre sensoriamento remoto e IA, frequentemente chamada de Geospatial AI, permite que governos, cientistas e até cidadãos acessem e utilizem informações ambientais para tomada de decisão, planejamento urbano e ações de mitigação (Planet Labs [s.d.]; Google Earth Engine [s.d.]). A proposta europeia, nesse contexto, diferencia-se dos modelos centralizados e pouco transparentes, como o chinês, e dos modelos dependentes do setor privado, como o norte-americano. Ela se ancora em valores como a interoperabilidade de dados, a colaboração internacional e o compromisso com a sustentabilidade ambiental.

Essa escolha técnica e política evidencia o papel da União Europeia como possível líder de uma governança global da IA voltada à proteção ambiental. Através

do Copernicus, a UE não apenas monitora sua biodiversidade e áreas de risco, mas também estabelece parâmetros éticos, jurídicos e técnicos que podem influenciar legislações internacionais e pactos multilaterais. No entanto, essa liderança enfrenta desafios significativos: o alto custo da dependência tecnológica em *hardware* e *software* de fora do bloco, a resistência ética de organizações do terceiro setor quanto à vigilância algorítmica e o conflito geopolítico com narrativas negacionistas e autoritárias que ameaçam acordos ambientais internacionais (Savin 2020; Mittelstadt et al. 2016).

Propomos neste trabalho analisar de forma crítica a experiência da UE no uso de IA para fins ambientais a partir do estudo do Programa Copernicus, identificando suas potencialidades, limitações e implicações éticas. Partimos da hipótese de que esse modelo representa não apenas uma alternativa tecnológica, mas também uma visão de mundo em que a IA pode ser orientada pelo interesse público, pela ciência aberta e pela regulação democrática.

Para tanto, realizaremos uma abordagem qualitativa, combinando revisão bibliográfica, estudos de caso e análise documental, visando compreender como a IA, ao ser apropriada pelo setor público no bojo da UE, pode se tornar uma ferramenta estratégica de sustentabilidade, soberania digital e organização da informação na perspectiva da ciência aberta. Paralelamente, ainda na perspectiva metodológica, analisaremos também os impactos dessas iniciativas em regulamentações e diretrizes globais ambientais à luz da Filosofia da Informação.

O trabalho está organizado da seguinte maneira: na seção 1, apresentamos a metodologia utilizada. Na segunda seção, tratamos dos fundamentos teóricos da Filosofia da Informação que subsidiarão o estudo. Na terceira seção, relatamos a experiência da UE no uso da IA à proteção ambiental e a potencialidade para sua irradiação para o mundo e, especificamente na perspectiva de países em desenvolvimento, tais como o Brasil. Por fim, realizamos nossas conclusões.

## 1. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa possui uma natureza exploratória com abordagem qualitativa e aplicação prática. Segundo Gil (2008), utiliza-a em estudos de campo, estudos de caso, pesquisa-ação ou pesquisa participante. Porque essa abordagem permite destacar características e elementos da realidade não observáveis apenas pelos estudos quantitativos. A estratégia metodológica consiste em uma pesquisa bibliográfica e documental, complementada por análise de estudos de caso.

A pesquisa bibliográfica foi realizada no IEEE Xplore e Google Scholar, onde priorizamos artigos científicos, revisões sistemáticas e estudos técnicos relacionados à aplicação de IA na proteção ambiental e suas implicações éticas e políticas. Enquanto a pesquisa documental focou relatórios, documentos oficiais, publicações

de organizações não governamentais, governamentais e empresariais, assim como normativas e tratados internacionais relacionados ao tema.

A análise dos estudos de caso está focada em experiências em andamento na UE, tais como Sistema de Monitoramento de Emissões e Poluição; Plataforma de Dados Ambientais; Inteligência Artificial e Gestão de Recursos Hídricos; Análise de Dados para Política Ambiental; e Sistema de Alerta e Intervenção. Nessas experiências procuramos avaliar o padrão da organização de informação no âmbito do Programa *Copernicus* da UE em uma perspectiva de tecnologias de informação e comunicação com uso de IA *open sourcing* para uso público não proprietário.

Em seguida, avaliamos como a transferência de tecnologia de inteligência artificial na forma de acordos de cooperação técnica internacional entre União Europeia e Brasil vem sendo realizada à luz das implicações éticas tratadas em estudos de Filosofia da Informação.

## 2. O USO DA IA NO PROGRAMA COPERNICUS E SUA INTERNACIONALIZAÇÃO

O programa *Copernicus* da UE utiliza dados de satélites combinados com algoritmos de IA para monitorar emissões e padrões de poluição atmosférica em tempo real (*Copernicus* 2024). Essas informações têm sido organizadas para serem utilizadas no ajuste de políticas ambientais e responder rapidamente a crises locais e regionais, demonstrando como a IA pode subsidiar decisões políticas com maior precisão técnica (UNFCCC 2021).

A UE tem adotado a IA como uma ferramenta estratégica para fortalecer suas políticas de sustentabilidade e garantir o cumprimento das regulamentações ambientais. A integração da IA em suas políticas é evidenciada por vários projetos e iniciativas para monitorar e gerenciar questões ambientais eficazmente. Como exemplos podemos citar:

- Sistema de Monitoramento de Emissões e Poluição: é um conjunto de sistemas avançados de monitoramento baseados em IA para rastrear as emissões de poluentes e a qualidade do ar em tempo real. A IA é usada para processar grandes volumes de dados e fornecer informações detalhadas sobre as fontes de poluição e seus impactos (European Commission 2024). Isso permite que as autoridades europeias respondam rapidamente a eventos de poluição e ajustem as políticas de controle conforme as necessidades locais e regionais.
- Plataforma de Dados Ambientais: essa plataforma utiliza IA para organizar, consolidar e analisar dados ambientais provenientes de diferentes fontes, incluindo sensores, satélites e relatórios de monitoramento (European Environment Agency 2024). Ela fornece uma visão integrada da situação ambiental na Europa e facilita a identificação de áreas que estão em desacordo com as

regulamentações ambientais. A IA ajuda a identificar padrões e anomalias que podem indicar problemas de conformidade ou áreas que necessitam de intervenção urgente.

- Inteligência Artificial e Gestão de Recursos Hídricos: a UE tem implementado tecnologias de IA para monitorar a qualidade da água e gerenciar a distribuição de recursos hídricos. Projetos como o Horizon 2020 Water-IF utilizam IA para analisar dados de sensores em tempo real e prever possíveis crises relacionadas à água, como secas e poluição (Horizon 2020), permitindo uma gestão mais eficiente dos recursos e uma resposta rápida a problemas emergentes.
- Análise de Dados para Política Ambiental: pesquisadores europeus estão utilizando tecnologias avançadas de IA para monitorar e proteger *habitats* e espécies ameaçadas. Essas ferramentas auxiliam no rastreamento de mudanças em ecossistemas e fornecem dados valiosos para apoiar políticas de conservação (Horizon Magazine – European Commission 2025).

Como podemos observar, a utilização de IA pela UE para o monitoramento e a aplicação das regulamentações ambientais demonstra o potencial da tecnologia para melhorar a governança ambiental e promover a cooperação internacional em uma perspectiva aberta, sem viés proprietário.

Nesse sentido, o uso da IA pela UE na temática ambiental vem sendo suportado por uma constelação de satélites próprios e colaboração de redes de satélites comerciais e públicos. No bojo do Programa Copernicus, desde o lançamento do Sentinel-1A, em 2014, a UE vem colocando satélites em órbita. A perspectiva é ter 20 satélites em operação até 2030. Essa infraestrutura tem altos custos que a maioria dos países não possui condições de suportar (Copernicus 2024).

Em outras palavras, a adoção de IA em políticas ambientais, ainda que promissora, enfrenta uma série de desafios significativos em países em desenvolvimento, que frequentemente estão ligados a questões de acesso, implementação e capacidade técnica. Esses desafios podem criar disparidades consideráveis na forma como diferentes países alcançam metas ambientais globais. Inclusive, ao Brasil.

Os países em desenvolvimento frequentemente enfrentam dificuldades em acessar tecnologias avançadas de IA devido às limitações econômicas e falta de infraestrutura. O alto custo dos equipamentos e softwares necessários pode ser proibitivo, e muitas das tecnologias mais avançadas são desenvolvidas e mantidas por empresas privadas de países desenvolvidos (ISRO 2019).

Além disso, mesmo quando as tecnologias estão disponíveis, a falta de infraestrutura adequada e capacitação técnica humana pode limitar a implementação eficaz. No Brasil, por exemplo, a escassez de especialistas em tecnologia e a falta de

treinamento adequado têm impedido uma adoção mais ampla e eficaz de IA em políticas ambientais (Cesar, Almeida e Silva 2021).

Essas barreiras no acesso e na implementação de IA podem afetar negativamente o cumprimento das metas ambientais globais. Países em desenvolvimento que lutam para adotar e implementar tecnologias de IA podem enfrentar dificuldades em monitorar e reduzir suas emissões de gases de efeito estufa e em gerenciar seus recursos naturais de maneira sustentável. A falta de dados precisos e a capacidade limitada para responder a crises ambientais podem resultar em um progresso mais lento em relação às metas globais, exacerbando as desigualdades e comprometendo os esforços internacionais para enfrentar desafios ambientais (UNFCCC 2021).

Portanto, podemos afirmar que a implementação de IA em países em desenvolvimento enfrenta barreiras significativas relacionadas a custos, infraestrutura e capacitação humana, o que pode criar disparidades no cumprimento das metas ambientais globais. Isso evidencia a necessidade de apoio internacional e iniciativas colaborativas para garantir uma adoção mais equitativa e eficaz das tecnologias de IA.

Neste contexto, o Programa Copernicus não apenas consolida uma estratégia de uso da inteligência artificial voltada à proteção ambiental na UE em perspectiva pública, com tecnologia *open sourcing*, bem como pode ser compreendido como um embrião para a universalização da IA ambiental, especialmente para países em desenvolvimento como o Brasil. A abrangência e sofisticação tecnológica do Copernicus, aliadas à abertura de seus dados e à sua articulação com princípios éticos, oferecem um modelo replicável em outros contextos, desde que acompanhado de cooperação técnica, financiamento internacional e suporte regulatório.

É nesse ponto que ganham destaque os estudos oriundos da Filosofia da Informação, em especial aqueles conduzidos por pensadores como Luciano Floridi. Essa corrente filosófica analisa o impacto da informação enquanto categoria ontológica, ética e política, e propõe que sociedades informacionais devem desenvolver infraestruturas éticas de decisão e controle sobre os sistemas baseados em IA (Floridi 2019). A IA, nesse sentido, não é apenas uma ferramenta técnica, mas também uma tecnologia que redistribui poder, redefine relações institucionais e exige marcos normativos centrados na dignidade, autonomia e justiça social.

Ao aplicar essa lógica ao uso da IA ambiental, o que está em jogo é mais do que a eficiência da modelagem preditiva: trata-se de garantir que as decisões automatizadas respeitem direitos humanos, não agravem desigualdades socioambientais e estejam ancoradas em processos transparentes, auditáveis e participativos. A ética da informação, nesse caso, pode ser o fundamento para a construção de um consenso internacional que transcendia fronteiras nacionais e legitime a atuação de instâncias supranacionais na definição de diretrizes e práticas sustentáveis para o uso da IA.

Dentro desse panorama, a UE tem se destacado como um dos poucos blocos econômicos que busca avançar não apenas em soluções técnicas, mas também em regulação responsável da IA. Iniciativas como a Regulamentação Geral sobre a Proteção de Dados (GDPR) e o Regulamento Europeu sobre Inteligência Artificial (AI Act) são exemplos de como é possível equilibrar inovação com proteção de direitos fundamentais e com o interesse público.

O GDPR já estabeleceu parâmetros mundiais para o tratamento de dados pessoais, ao exigir consentimento, direito ao esquecimento e transparência na coleta, na organização e no uso de informações. Já o AI Act inaugurou uma tipologia de riscos para sistemas de IA, exigindo que tecnologias aplicadas a áreas sensíveis (saúde, segurança e meio ambiente) sejam sujeitas a auditorias éticas, avaliações de impacto social e mecanismos de explicabilidade algorítmica (European Commission 2021). Ambos os regulamentos sinalizam um compromisso ético com a governança da IA e criam um ambiente regulatório robusto para evitar abusos e promover o uso equitativo dessas tecnologias.

Contudo, a aplicação concreta desses marcos regulatórios em países em desenvolvimento ainda enfrenta desafios consideráveis. Estruturas jurídicas frágeis, falta de interoperabilidade regulatória, ausência de especialistas em governança algorítmica e limitação de recursos institucionais dificultam a transposição desses modelos para outras realidades. Por exemplo, no Brasil, apesar de haver iniciativas relevantes em monitoramento ambiental via satélites (como o DETER-B e o MapBiomas), a integração com sistemas baseados em IA ainda é incipiente e depende de parcerias internacionais e do acesso a tecnologias abertas.

Nesse cenário, cabe à UE exercer um papel ativo na diplomacia tecnológica e ambiental, promovendo parcerias colaborativas. Isso inclui não apenas compartilhamento de dados e transferência de conhecimento técnico, mas também formação de capacidades locais, desenvolvimento de infraestrutura digital e financiamento de projetos-piloto que testem o uso responsável da IA ambiental em contextos tropicais e de alta vulnerabilidade climática.

Além disso, os princípios normativos do AI Act e do GDPR podem servir de referência à criação de legislações nacionais, desde que adaptadas às realidades culturais, políticas e socioeconômicas locais. A promoção de estruturas de governança da IA que envolvam sociedade civil, universidades, setor público e comunidades afeitas é fundamental para evitar a reprodução de desigualdades e garantir a inclusão epistêmica no debate sobre sustentabilidade algorítmica (Ganascia 2010; Mittelstadt et al. 2016).

Dessa maneira, o Programa Copernicus pode ser visto não apenas como um projeto europeu, mas também como um modelo normativo e tecnológico de cooperação internacional multilateral. Ele exemplifica como a IA pode ser aplicada de forma

responsável, aberta e colaborativa à proteção ambiental, e como políticas de dados e ética informacional são cruciais para assegurar que os benefícios dessa tecnologia não se concentrem apenas nos países mais desenvolvidos. Ao favorecer alianças com países como o Brasil, a UE pode contribuir significativamente para reduzir as disparidades globais no acesso à IA, promover uma ecologia informacional mais justa e sustentar os pilares de uma governança ambiental algorítmica global.

**Tabela 1.** Comparação entre os modelos de uso da IA para proteção ambiental na UE e no Brasil

Dimensão	União Europeia	Brasil
<b>Infraestrutura tecnológica</b>	Constelação de satélites próprios (Sentinel), sensores terrestres e plataformas interoperáveis com IA embarcada	Dependência de satélites estrangeiros e projetos colaborativos (ex: DETER-B e MapBiomas)
<b>Capacidade computacional</b>	Alto poder de processamento em nuvem e integração com sistemas de modelagem preditiva avançados	Infraestrutura limitada, com acesso desigual entre instituições federais, estaduais e privadas
<b>Governança algorítmica</b>	Regulada por diretrizes robustas (AI Act e GDPR), com foco em ética, explicabilidade e mitigação de riscos	Ausência de um marco legal específico para IA; projetos isolados e pouco coordenados institucionalmente
<b>Abertura e acesso a dados</b>	Dados geoespaciais abertos, padronizados e atualizados continuamente (Open Copernicus Data)	Avanços em iniciativas abertas como MapBiomas, mas ainda fragmentação no acesso e padrões diversos
<b>Integração com políticas públicas</b>	Totalmente articulado a pactos ambientais e marcos regulatórios regionais (Green Deal, Climate Law, etc.)	Uso localizado em programas de monitoramento (ex: Ibama/INPE), com baixa articulação com marcos regulatórios
<b>Capacitação técnica local</b>	Programas europeus de formação continuada, parcerias interinstitucionais e incentivo à pesquisa aberta	Carência de especialistas em IA aplicada ao meio ambiente; escassez de formação técnica regionalizada
<b>Autonomia tecnológica</b>	Desenvolvimento e financiamento de soluções próprias com investimento estatal em soberania digital	Dependência de software estrangeiro e financiamento internacional; baixa autonomia em desenvolvimento
<b>Ética e Filosofia da Informação</b>	Inserção explícita de princípios éticos e filosóficos nas diretrizes	Debate ainda incipiente no campo da Filosofia da Informação aplicada ao uso ambiental da IA
<b>Relações internacionais</b>	Proativo em diplomacia digital e ambiental, promovendo cooperação com países parceiros (ex: África, América Latina)	Participa de acordos multilaterais, mas com limitações operacionais e dependência técnico-financeira
<b>Principais desafios</b>	Alto custo de manutenção da infraestrutura e resistência de grupos céticos sobre vigilância algorítmica	Fragilidade institucional, falta de regulação própria e lacunas de financiamento e continuidade

Fonte: Elaborado pelos autores

Esta tabela apresenta uma comparação entre os modelos europeu e brasileiro quanto à aplicação da inteligência artificial em políticas de proteção ambiental.

A UE, por meio do Programa Copernicus, demonstra um alto grau de estruturação tecnológica e normativa, com destaque para a integração entre dados abertos, algoritmos auditáveis e regulação ética (como o AI Act e o GDPR). O modelo brasileiro, embora apresente avanços em projetos de sensoriamento remoto como o DETER-B e MapBiomas, ainda enfrenta limitações institucionais, técnicas e jurídicas, além de dependência tecnológica externa. A comparação evidencia a importância da cooperação internacional e da transferência de conhecimento para superar as disparidades no uso da IA ambiental, especialmente em países em desenvolvimento.

### **3. RESULTADOS**

Os resultados obtidos a partir da análise bibliográfica e documental evidenciam que o uso da IA na UE, no contexto do Programa Copernicus, configura-se como uma das experiências mais estruturadas e promissoras no campo da proteção ambiental assistida por tecnologias digitais. A pesquisa demonstra que, ao integrar algoritmos sofisticados a uma robusta infraestrutura de observação terrestre por satélite, o Copernicus tem alcançado avanços expressivos no monitoramento em tempo real e na mitigação de fenômenos ambientais complexos, como o desmatamento, a degradação da qualidade do ar, as alterações climáticas e o gerenciamento de recursos hídricos.

A contribuição da IA no âmbito do Copernicus manifesta-se em três dimensões interligadas. Primeiro, no refinamento da capacidade analítica e preditiva das políticas públicas ambientais. Os algoritmos utilizados pelo sistema, alimentados por fluxos contínuos de dados multiespectrais e multitemporais oriundos de satélites da série Sentinel, permitem análises de alta resolução e previsão de cenários críticos com significativa antecipação. Essa dinâmica possibilita intervenções mais tempestivas, baseadas em evidências técnico-científicas, aumentando a eficácia das respostas governamentais a desastres e emergências ambientais.

Segundo, os dados analisados revelam que o Programa Copernicus tem exercido um papel relevante no engajamento de diferentes atores institucionais, especialmente órgãos estatais e empresas privadas, promovendo uma articulação intersetorial em torno da sustentabilidade. Tal constatação é sustentada pelo desenvolvimento de ferramentas como sistemas de alerta precoce, painéis de visualização integrados e plataformas de apoio à decisão, que vêm sendo incorporados a políticas ambientais em nível local, nacional e regional. Essa cooperação técnico-institucional fortalece a governança ambiental, uma vez que os tomadores de decisão passam a dispor de informações mais precisas, acessíveis e contextualizadas.

Terceiro, observamos que a inteligência artificial tem sido instrumentalizada na consolidação da governança ambiental multiescalar e intergovernamental. A aplicação das tecnologias do Copernicus vai além da UE, exercendo influência em fóruns internacionais, pactos multilaterais e projetos de cooperação técnica com países de

diferentes níveis de desenvolvimento. Assim, a IA é incorporada não apenas como um recurso computacional, mas também como um vetor de diplomacia ambiental e *soft power* regulatório, permitindo à UE posicionar-se como referência normativa, jurídica e tecnológica no enfrentamento das mudanças climáticas.

Contudo, apesar dos avanços alcançados, a análise crítica do material revela dois obstáculos estruturais relevantes à consolidação plena do modelo. O primeiro diz respeito aos altos custos financeiros e operacionais decorrentes da manutenção de uma infraestrutura tecnológica avançada. A constelação de satélites Sentinel, a manutenção de bases de dados massivas, a contratação de serviços computacionais em nuvem e o desenvolvimento de algoritmos próprios exigem contínuos e elevados investimentos. Soma-se a isso a dependência tecnológica da UE em relação a fornecedores privados internacionais, especialmente no que tange ao desenvolvimento de *chips*, sensores e arquiteturas de inteligência artificial. Isso compromete, em parte, os objetivos de soberania digital defendidos pelo bloco.

O segundo obstáculo está associado às preocupações éticas e políticas levantadas por organizações da sociedade civil e pesquisadores da Filosofia da Informação. Questões como a transparência das decisões algorítmicas, os riscos de vigilância ambiental sobre populações vulneráveis e a possibilidade de reprodução de desigualdades históricas por meio de classificações automatizadas têm sido apontadas como dilemas urgentes. A centralização do controle organizacional sobre fluxos informacionais e a possível opacidade dos sistemas inteligentes implicam o risco de se reforçarem assimetrias de poder sob o discurso da neutralidade tecnológica. Essa constatação reforça a necessidade de ampliação do debate público e do fortalecimento de mecanismos de auditoria, supervisão ética e participação social no desenvolvimento de sistemas de IA para fins ambientais.

Ao ampliar a análise para além da realidade europeia, a comparação com o contexto brasileiro traz contribuições significativas. A replicação integral de iniciativas como o Copernicus encontra limitações importantes nos países em desenvolvimento, entre elas a ausência de infraestrutura tecnológica adequada, a carência de profissionais especializados em IA e sensoriamento remoto, a fragmentação institucional e a escassez de políticas públicas com foco em governança algorítmica. No caso específico do Brasil, embora existam iniciativas relevantes, como o DETER-B (INPE) e o MapBiomass, ambas com forte potencial técnico e impacto ambiental positivo, ainda não se observa a integração plena dessas ferramentas com soluções baseadas em IA nem com marcos regulatórios robustos e interinstitucionais como os europeus.

A pesquisa demonstra que barreiras socioeconômicas, políticas e institucionais dificultam o acesso equitativo às tecnologias de IA nos países periféricos, comprometendo a capacidade desses Estados de alcançar as metas ambientais globais estabelecidas por tratados internacionais, como o Acordo de Paris. A falta de interoperabilidade

entre dados, a baixa cultura de dados em órgãos públicos e a dependência de plataformas estrangeiras geram fragilidade técnica e perda de autonomia estratégica.

Ainda assim, os achados apontam que o modelo europeu, baseado em infraestrutura pública, dados abertos e normatização ética, pode servir como referência adaptativa para países em desenvolvimento, desde que articulado a políticas de cooperação internacional, transferência de tecnologia, financiamento multilateral e formação de capacidades locais. A experiência do Copernicus, quando compreendida como uma política pública orientada por princípios da Filosofia da Informação — como transparência, equidade e justiça —, pode contribuir não apenas para a redução das desigualdades tecnológicas globais, mas também para a consolidação de uma ecologia informacional mais inclusiva e sustentável.

## CONCLUSÕES

A análise conduzida ao longo deste estudo permitiu demonstrar que a aplicação da IA no âmbito do Programa Copernicus da UE configura-se como uma experiência paradigmática de uso tecnológico voltado à proteção ambiental em larga escala. Por meio de uma abordagem qualitativa baseada em revisão bibliográfica e documental, foi possível sistematizar um conjunto de evidências que apontam para o elevado grau de sofisticação técnica, governança institucional e densidade normativa europeu.

Em primeiro lugar, concluímos que a inteligência artificial tem sido mobilizada como um instrumento estratégico para o aprimoramento da governança ambiental, tanto em nível local quanto regional e global. A articulação entre algoritmos de aprendizado de máquina, plataformas de dados abertos, sensoriamento remoto e modelagem preditiva permitiu à União Europeia desenvolver uma infraestrutura informacional robusta e interoperável, capaz de subsidiar a formulação de políticas públicas mais responsivas, baseadas em evidências e sensíveis às dinâmicas ambientais em tempo real.

Esse avanço tecnológico, no entanto, não se restringe a aspectos técnicos ou operacionais. O Programa Copernicus também representa um modelo normativo, ético e institucional de como a IA pode ser orientada por valores públicos, regulada por marcos jurídicos robustos (como o GDPR e o AI Act) e ancorada em uma perspectiva informacional comprometida com a justiça, a transparência e a equidade. Trata-se de uma abordagem que reconhece o papel da IA como vetor de poder e, por isso, exige mecanismos de controle social, *accountability* e deliberação democrática.

Em segundo lugar, identificamos que, apesar da sua eficácia, a experiência europeia enfrenta desafios estruturais importantes. O primeiro deles refere-se à dependência tecnológica externa em componentes-chave da cadeia de valor da IA, o que compromete a soberania digital e impõe custos financeiros elevados à manutenção da infraestrutura. O segundo, de natureza ética e política, diz respeito à resistência

de setores do terceiro setor quanto à opacidade de certos sistemas, à possibilidade de uso indevido de dados e à reprodução de desigualdades por mecanismos automatizados de tomada de decisão.

Diante desses desafios, torna-se evidente a necessidade de aprofundamento da discussão filosófica sobre a aplicação da IA no campo ambiental. A Filosofia da Informação, tal como delineada por autores como Floridi (2019), oferece uma base conceitual sólida para compreender a IA como infraestrutura moral e política, e não apenas técnica. Essa abordagem permite refletir criticamente sobre os impactos distributivos dos sistemas inteligentes, bem como sobre a necessidade de se instituir um modelo de governança algorítmica orientado por princípios de justiça informacional, inclusão epistêmica e sustentabilidade social.

Por fim, a análise comparativa com o caso brasileiro revelou que a transferência de modelos como o Copernicus para contextos de países em desenvolvimento requer um conjunto de condições institucionais, técnicas e financeiras ainda em consolidação. Embora existam iniciativas nacionais relevantes — como o DETER-B e o Map-Biomass —, elas operam com autonomia limitada, integração incompleta com a IA e baixo suporte legal em termos de regulação específica. A carência de infraestrutura tecnológica, a falta de formação especializada e a fragmentação institucional constituem barreiras relevantes à replicação dos benefícios da IA em políticas ambientais.

Em síntese, concluímos que, para IA contribuir efetivamente à mitigação das crises ambientais globais de forma justa e equitativa, são necessários investimentos públicos estratégicos em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de código aberto, adaptadas aos contextos regionais, bem como iniciativas internacionais de cooperação técnica e transferência de conhecimento. A UE, por meio do Copernicus, encontra-se em posição privilegiada para liderar esse movimento, desde que seus esforços estejam voltados não apenas à inovação técnica, mas também à construção de consensos éticos, políticos e informacionais globais, voltados à sustentabilidade, à justiça ambiental e à regulação democrática das tecnologias de IA *open sourcing* emergentes.

## REFERÊNCIAS

- BOSTROM, Nick, 2014. *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*. Oxford: Oxford University Press.
- CESAR, E., R. ALMEIDA, e T. SILVA, 2021. Desafios na implementação da Inteligência Artificial no Brasil: infraestrutura e capacitação técnica. *Revista Brasileira de Tecnologia e Sustentabilidade*. 5(3), 45-67.
- COPERNICUS, 2024. *European Union's Earth Observation Programme* [Em linha]. Bruxelas: Comissão Europeia [consult. 2025-07-07]. Disponível em: <https://www.copernicus.eu/en>.
- EUROPEAN COMMISSION, 2024. *Climate Report Shows the Largest Annual Drop in EU Greenhouse Gas Emissions for Decades* [Em linha]. Bruxelas: Comissão Europeia [consult. 2025-07-07]. Disponível em: [https://commission.europa.eu/news/climate-reportshows-largest-annual-drop-eu-greenhouse-gas-emissions-decades-2024-11-05\\_pt](https://commission.europa.eu/news/climate-reportshows-largest-annual-drop-eu-greenhouse-gas-emissions-decades-2024-11-05_pt).

- EUROPEAN COMMISSION, 2021. *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on Artificial Intelligence (COM(2021) 206 final)*. Bruxelas: Comissão Europeia.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2024. *Artificial intelligence and the environment* [Em linha]. Copenhaga: EEA [consult. 2025-07-07]. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu>.
- FLORIDI, Luciano, 2019. *The logic of information: a theory of philosophy as conceptual design*. Oxford: Oxford University Press.
- GANASCIA, Jean-Gabriel, 2010. *Éthique de l'intelligence artificielle*. Paris: Le Pommier.
- GIL, Antonio Carlos, 2008. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6.<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas.
- GOOGLE EARTH ENGINE, [s.d.]. *Google Earth Engine* [Em linha]. Google [consult. 2025-07-07]. Disponível em: <https://earthengine.google.com>.
- HAENLEIN, Michael, e Andreas KAPLAN, 2019. A brief history of artificial intelligence: on the past, present, and future of artificial intelligence. *California Management Review*. 61(4), 5-14.
- HORIZON 2020, 2020. *Water-IF Project: AI for Sustainable Water Management* [Em linha]. Bruxelas: Comissão Europeia [consult. 2025-07-07]. Disponível em: <https://www.h2020.net>.
- HORIZON MAGAZINE, 2025. *Researchers combine citizens' help and cutting-edge tech to track biodiversity* [Em linha]. Bruxelas: Comissão Europeia [consult. 2025-07-07]. Disponível em: <https://projects.research-and-innovation.ec.europa.eu/en/horizon-magazine/researchers-combine-citizens-help-and-cutting-edge-tech-track-biodiversity>.
- INDIAN SPACE RESEARCH ORGANISATION, 2024. *Indian Geo-Platform of ISRO (Bhuvan)* [Em linha]. Bengaluru: Organização Indiana de Pesquisa Espacial [consult. 2025-07-07]. Disponível em: <https://bhuvan.nrsc.gov.in>.
- INDIAN SPACE RESEARCH ORGANISATION, 2019. *Annual Report 2018-2019* [Em linha] [consult. 2025-10-10]. Disponível em: <https://www.isro.gov.in/sites/default/files/pdf/annualreport2018-19.pdf>.
- LUGER, George F., e William A. STUBBLEFIELD, 1998. *Artificial intelligence: structures and strategies for complex problem solving*. 3.<sup>a</sup> ed. Boston: Addison-Wesley.
- MITTELSTADT, Brent D., et al., 2016. The ethics of algorithms: mapping the debate. *Big Data & Society*. 3(2), 1-21.
- MUEHLENBACHS, Lucija, Marios TAPPATA, e Katerina TZANETIS, 2021. *Machine learning for environmental monitoring* [Em linha]. Resources for the Future, Discussion Paper 21-11 [consult. 2025-07-07]. Disponível em: <https://www.rff.org>.
- NASA, 2023. *National Aeronautics and Space Administration: Earth Science Data Systems* [Em linha] [consult. 2025-07-07]. Disponível em: <https://earthdata.nasa.gov>.
- PLANET LABS, [s.d.]. *Planet imagery and archive* [Em linha] [consult. 2025-07-07]. Disponível em: <https://www.planet.com>.
- SAVIN, Jean, 2020. *A emergência climática: tempo de agir*. São Paulo: Editora Unesp.
- UNESCO, 2021. *The UNESCO Framework for Ethical AI*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- UNFCCC. Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement (CMA), 2021. *Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement, third session, Glasgow, 2021* [Em linha] [consult. 2025-10-10]. Disponível em: <https://unfccc.int/documents/310475>.