

F U N D A Ç Ã O

F E R N A N D O
H E N R I Q U E
C A R D O S O

Glauco Arbix
Dora Kaufman
Patrícia Iglecias
Roberto Waack

Organização:

Alice Noujaim, Beatriz Kipnis e Isabel Penz

Cadernos Vale a Pena Perguntar: Inteligência Artificial e Meio Ambiente

VOL. 4
2025

Organização:

Alice Noujaim, Beatriz Kipnis e Isabel Penz

Edição:

Alice Noujaim, Beatriz Kipnis, Isabel Penz e Sergio Fausto

Projeto gráfico:

Lisia Lemes - Lilemes Comunicação

Diagramação:

Felipe Martins - Wonderweb

Copyright © Fundação FHC 2025

Cadernos Vale a Pena Perguntar: inteligência artificial e
meio ambiente / organização Alice Noujaim... [et al].
– 1. ed. -- São Paulo: Fundação FHC, 2025.

Vários autores.

23 p.

ISBN: 978-65-87503-52-3

1. Inteligência artificial. 2. Meio ambiente. 3. Mudança cli-
mática. I. Noujaim, Alice. II.
Fundação FHC. III. Série.

CDU: 004.8:502

Jéssica Almeida – Bibliotecária – CRB-8/10593

As entrevistas foram editadas para melhor
compreensão e concisão.

As opiniões dos entrevistados não refletem
necessariamente a opinião da Fundação FHC. Este
trabalho pode ser reproduzido gratuitamente, sem
fins comerciais, em sua totalidade ou em parte, sob
a condição de que sejam devidamente indicados a
publicação de origem e seu autor.



Apresentação



Mudança climática e Inteligência Artificial. À primeira vista, uma tem pouco a ver com a outra. Trata-se de um engano. De um lado, a inteligência artificial produz impactos ambientais por consumir muita energia, que pode ser de origem fóssil, além de água e minerais. De outro, amplia as possibilidades de combate e adaptação à mudança climática, ao permitir, por exemplo, melhor prever fenômenos climáticos ou aumentar a eficiência na produção e distribuição de energia.

Neste quarto volume dos “Cadernos Vale a Pena Perguntar”, reunimos as reflexões de quatro especialistas, entrevistados entre outubro e novembro de 2024. Entre outras questões, **Dora Kaufman**, (Programa de Tecnologias da Inteligência e Design Digital da PUC-SP) discute o impacto ambiental dos data centers e o paradoxo da sustentabilidade na IA; **Glauco Arbix** (Centro de Inteligência Artificial da USP-Fapesp-IBM) examina a relação entre as promessas da IA e os desafios práticos das mudanças climáticas; **Patrícia Iglecias** (Centro de

Pesquisa e Inovação em Clima e Sustentabilidade da USP) aborda a mensuração de impactos e o marco legal da IA; e **Roberto Waack** (Instituto Arapyaú) reflete sobre a regulação ambiental e a gestão de problemas complexos.

Organizamos o material pensando em duas formas de leitura. O leitor pode optar por ler as entrevistas completas, uma por uma, mergulhando nas visões e análises de cada especialista. Como alternativa, pode usar o índice para encontrar e acessar diretamente as perguntas que mais despertem seu interesse e curiosidade.

Boa leitura!

Sergio Fausto

Diretor da Fundação FHC

Beatriz Kipnis

Coordenadora de Estudos e Debates

Alice Noujaim e Isabel Penz

Equipe de Estudos e Debates

O Projeto Vale a Pena Perguntar busca responder a questões essenciais para o futuro da democracia, em conversa com especialistas. O objetivo é disseminar conhecimento sobre temas relevantes para um público mais amplo, sobretudo estudantes e professores, tornando os saberes da academia mais acessíveis. Começamos, em 2022, no formato de minidocumentários com temporadas de vídeos curtos, disponíveis gratuitamente no YouTube da Fundação FHC. Esta publicação é um compilado com mais perguntas e respostas que acreditamos que valem a pena ser compartilhadas.





Índice com perguntas

07 Glauco Arbix

- 07 Quais são os mitos relacionados ao impacto ambiental da inteligência artificial?
- 09 Como a inteligência artificial influencia o consumo global de energia e recursos naturais? Que dilemas os governos enfrentam?

11 Dora Kaufman

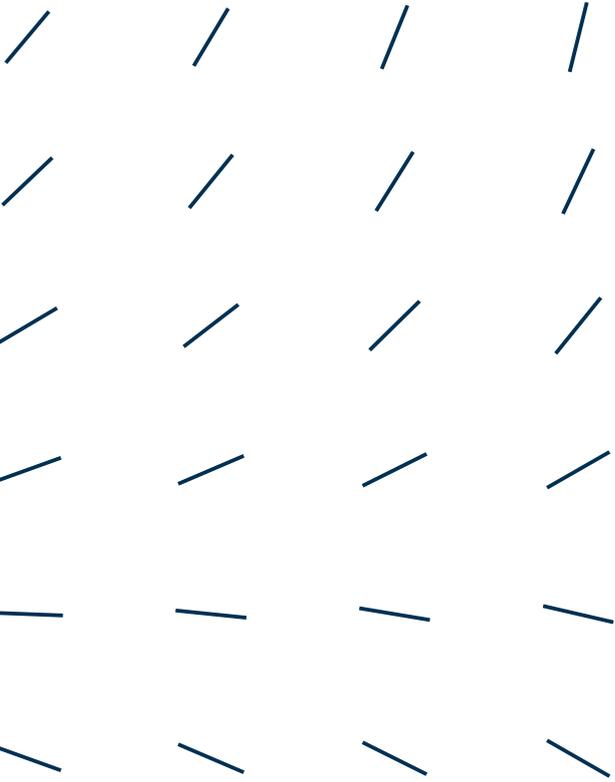
- 11 De que forma os impactos ambientais da inteligência artificial diferem das tecnologias da era industrial?
- 12 Que processos estão por trás do uso da inteligência artificial?
- 13 Por que a IA é vista tanto como uma solução quanto um problema para as questões climáticas?

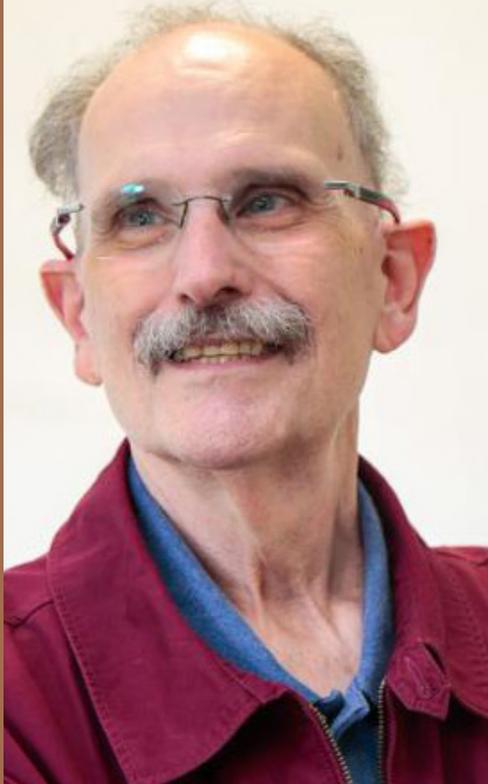
15 Patrícia Iglecias

- 15 É possível mensurar o impacto ambiental da IA?
- 16 O marco legal da IA deve incorporar a questão da sustentabilidade ambiental?
- 16 Como superar a tensão entre desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental?

18 Roberto Waack

- 18 Por que a relação da IA com o meio ambiente pode ser considerada um *wicked problem*?
- 19 Como construir uma regulação ambiental adaptável para tecnologias emergentes como a IA?
- 20 Como a inteligência artificial pode ajudar na valorização da natureza pelo sistema econômico?





GLAUCO ARBIX

É professor titular do Departamento de Sociologia da USP e coordenador da área de Humanidades do Centro de Inteligência Artificial (USP-Fapesp-IBM) e do Observatório de Inovação do IEA-USP. Foi presidente da FINEP (2011-2015) e do IPEA (2003-2006), e integrou o Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (2007-2011). Foi membro do Group of Advisers do United Nations Development Programme (2006-2009) e Fulbright New Century Scholar (2009-2010). Sociólogo, é doutor em Sociologia com pós-doutorado em Tecnologia de Inovação pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Quais são os mitos relacionados ao impacto ambiental da inteligência artificial?

Quando pensamos sobre a relação entre inteligência artificial e meio ambiente, em especial a IA generativa, existem várias lendas que estão no imaginário popular. A primeira delas é que a inteligência artificial é imaterial, que o digital cria um mundo quase que fantasioso, puramente virtual. Isso está longe de ser verdadeiro. A inteligência artificial se baseia em dados. Para tratá-los, são necessários enormes data centers, que são conjuntos de máquinas e computado-



Essas máquinas, além de gerar previsões e fazer cálculos, também geram calor, como toda máquina. E, para resfriá-las, é necessário o uso intensivo de água.



res superpoderosos que trabalham dia e noite para processar volumes gigantescos de dados, que demandam muita velocidade, sistemas especializados e muito poder computacional.

Essas máquinas, além de gerar previsões e fazer cálculos, também geram calor, como toda máquina. E, para resfriá-las, é necessário o uso intensivo de água¹, que tem sua composição química e física alterada e uma grande parte desperdiçada pelos efeitos da evaporação. O mais importante é que não há legislação clara para isso no mundo todo. Claro que existem regras e legislação para o uso da água², mas aprovadas para condições anteriores à IA. Muitos países exigem que as empresas usuárias devolvam a água nas mesmas condições em que foi feita a coleta, por exemplo, na mesma temperatura original para não matar os animais, plantas, bactérias etc. Mas

1. Métodos de resfriamento dos data centers envolvem a evaporação de água. Ver mais em: AIRSYS. **Evaporative Cooling for Data Centers** — Pros and Cons. Disponível em: <https://airsysnorthamerica.com/evaporative-cooling-for-data-centers-pros-and-cons/>, acesso em 22/01/2025.

2. Brasil. **Lei das Águas, Lei Nº 9.433, de 1997**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm, acesso em 22/01/2025.

nos centros de dados, essa correção nem sempre é possível, uma vez que parte da água evapora. Em outras palavras, a legislação existente está atrasada e não consegue dar conta de uma era em que a IA está disseminada por todos os cantos da vida econômica e social.

Comecei pela água, mas os impactos no ambiente são diversos e nem sempre fáceis de resolver, como o alto consumo de energia. O uso da água se deve à quantidade imensa de energia utilizada pelos computadores para processar ininterruptamente os dados. E quanto mais a IA generativa é utilizada, no mundo todo, mais o consumo de energia cresce e mais se alteram todos os sistemas que não previam esse salto tecnológico e a profusão desses modelos generativos. Lembrem-se de que a energia consumida pelos data centers é produzida das mais diferentes maneiras. Algumas vêm de fontes limpas, outras nem tanto. Muitas são movidas a carvão, a diesel, a gás. Todas consomem recursos naturais que são poluentes e ajudam a ampliar as alterações do clima, frustrando, pelo menos por enquanto, as principais expectativas de governos, pesquisadores e da população, que acompanha com certo entusiasmo os avanços da IA e de sua capacidade de resolver alguns dos principais problemas que afligem a humanidade, como as mudanças do clima. Para governantes como o recém-eleito presidente dos Estados Unidos, Donald Trump, essa questão é secundária, já que aceitam sacrificar a saúde do planeta em troca, dizem eles, do aumento da inventividade e competitividade da economia que a IA pode promover.

Uma segunda lenda é que a inteligência artificial é a solução para a transição energética. A inteligência artificial é sim uma tecnologia muito poderosa e, acredito, pode se tornar essencial para a transformação da matriz energética de grande parte do globo. A IA é capaz de otimizar os *grids* de energia, tornando-os mais eficientes, assim como pode racionalizar e dinamizar as redes de transmissão, a produção e a distribuição de energia; mais ainda, pode ajudar a encontrar caminhos para melhorar a qualidade dos painéis solares e, assim, a aumentar a sua eficiência. Há vários rastreamentos de áreas de insolação que ajudam a escolher o melhor local para implantar fazendas de energia solar. O mapeamento dos ventos, em terra e nos oceanos, se mostra fundamental para a instalação de sistemas de ener-

gia eólica. Em outra chave, a IA mudou os sistemas de previsão do clima, tornando-se essencial para a agricultura, transportes e a previsão de eventos extremos, como tornados, furacões ou tempestades. Ou seja, a IA já salvou vidas preciosas e pode salvar ainda mais.

Mas, quando se esperam soluções efetivas para a crise climática, o assunto muda de figura, porque a IA ainda não entregou o que prometeu. Pode ser que o faça no futuro, que realmente ajude a sociedade a encontrar soluções para as alterações do clima, que constituem ameaça das mais graves que a humanidade enfrenta atualmente, com prejuízo enorme para a população mais vulnerável. Mas, vejam, estamos falando de uma promessa que ainda precisa se concretizar.

Um terceiro mito é que os impactos da inteligência artificial são iguais em todas as regiões do planeta. Não são. Há exemplos claros: data centers em países como a Finlândia usam energia renovável e têm uma emissão de gases de efeito estufa de praticamente 3%. Não me lembro do número preciso, mas sei que geram energia com mais de 95% de eficiência energética³. Em data centers instalados em países com infraestrutura mais degradada, ou baseada em fontes não-limpas, a eficiência pode cair para 10%, às vezes para 5%, um contraste flagrante com países como a Finlândia. Ou seja, o impacto ambiental é muito diferenciado quando o assunto é o tratamento de uma montanha de dados.

Na Irlanda, que é pequena, mas tem uma política forte de atração de data centers — com isenção de impostos, doação de terras, incentivos fiscais de todo tipo —, o consumo energético é significativo e atinge cerca de 20% de toda a energia consumida no país⁴. Não é brin-

3. DOWNES, Steven. How Will Google's Finnish Data Centre Heat Reuse Plan Work? **Sustainability Magazine**. Disponível em: <https://sustainabilitymag.com/news/how-will-googles-finnish-data-centre-heat-reuse-plan-work>, acesso em 22/01/2025.

4. AMBROSE, Jillian. Ireland's datacentres overtake electricity use of all urban homes combined. **The Guardian**. Disponível em: <https://www.theguardian.com/world/article/2024/jul/23/ireland-datacentres-overtake-electricity-use-of-all-homes-combined-figures-show>, acesso em 22/01/2025.

cadeira, mas uma situação nem sempre fácil de absorver, já que uma parte importante da energia consumida pelo país está fluindo para um grupo muito reduzido de empresas.

Como se pode ver, políticas públicas que poderiam evitar situações como essa são diferidas no tempo em nome de avanços que ainda não aconteceram.

Sou favorável ao desenvolvimento da inteligência artificial pelo seu potencial. Mas não gostaria de fechar os olhos para o que efetivamente essa tecnologia está fazendo nos dias atuais. Não creio que tapar os olhos para esses problemas, como fazem alguns governos ao postergar decisões que deveriam ser tomadas hoje, ajuda os países, a economia e mesmo a pesquisa em IA. Pelo contrário. Quanto mais a IA é desenvolvida sem regras e deixada livre para poucas e enormes corporações, pior para todos nós, com exceção daqueles que se beneficiam da competição desgovernada pelo predomínio tecnológico.

Como a inteligência artificial influencia o consumo global de energia e recursos naturais? Que dilemas os governos enfrentam?

Alguns governos estão atrasados para tratar dos impactos ambientais da inteligência artificial. Outros não têm certeza se a regulamentação vai dificultar que suas empresas se nivelem às grandes que hoje controlam a pesquisa e comercialização da IA. Outros ainda fecham deliberadamente os olhos para esses problemas, pois argumentam que impactos negativos estariam dentro do aceitável para viabilizar a competição que patrocinam. E estes são muitos. Basta olhar o curso atual da inteligência artificial generativa, sua sede incontrolável de dados e de maior poder computacional. Esse é o caminho que as *big techs* do Vale do Silício seguem, com apoio de muitas autoridades públicas. Isso significa que podemos aguardar a construção de novas máquinas, mais eficientes, mas sem que se reutilizem as antigas, que terão de ser descartadas (gerando um grande volume de resíduos sólidos). Muitas *startups* e em-

presas espalhadas pelo mundo afora, inclusive nos Estados Unidos, vem buscando caminhos alternativos com modelos de IA generativa que utilizem menos dados e energia, menor poder computacional e menores custos.

A startup chinesa DeepSeek foi a primeira que saltou à frente e apresentou um modelo que opera com menos dados, chips não tão sofisticados, menor poder computacional e com um custo quase dez vezes menor. E ainda ofereceu um modelo que trabalha com código aberto, o que amplia o potencial de inovação ao atrair ondas de novos desenvolvedores. Na esteira da DeepSeek, a gigante dos negócios da China, a Alibaba, lançou a Qwen 2.5, com desempenho ainda melhor do que a DeepSeek, segundo seus patrocinadores. No mesmo sentido, o TikTok lançou uma versão avançada de seu modelo, o Doubao 1.5 Pro, com características semelhantes aos modelos da DeepSeek.

Na verdade, há um grupo de elite de empresas conhecido como os “Seis Tigres”, que engloba startups pequenas e altamente inovadoras, como a Stepfun, Zhipu, Minimax, Moonshot, 01.AI e Baichuan que, movidas pelas dificuldades de acesso aos chips de última geração, investiram em processos, metodologia e engenharia para encontrar novos caminhos. Ou seja, seguiram em um sentido diferente do das americanas, preocupadas em ampliar seus modelos proprietários com maior volume de dados, melhores chips, mais poder de processamento e muito mais recursos para investimento. Mais uma vez, a máxima do Vale do Silício foi confirmada, ao sugerir que “a necessidade é a mãe da invenção”.

Ou seja, as restrições impostas pelo governo americano para conter o avanço tecnológico chinês, em especial nos domínios da IA, provocaram uma reação contrária, com a intensificação da pesquisa e do investimento em condições tecnologicamente não tão favoráveis, o que trouxe resultados muito positivos. A julgar pelos primeiros testes de eficiência e custo, a China deu um salto e diminuiu consideravelmente a distância que a separava dos EUA. Mais ainda, a resposta chinesa definiu novos rumos para a pesquisa, que podem ser trilhados em especial por países que não dispõem dos mesmos recursos de excelência que os EUA. A disputa pelo predomínio sobre



a IA entrou em uma nova fase. Em condições melhores para os países em desenvolvimento, a começar pelo Brasil.

//

Quando se esperam soluções efetivas para a crise climática, o assunto muda de figura, porque a IA ainda não entregou o que prometeu.

//

Se a tendência dominante não for alterada, será crescente a utilização do que se chama genericamente de “terras raras”, um nome guarda-chuva que abrange um número grande de minerais que não podem faltar na fabricação de hardwares que viabilizam as tecnologias de inteligência artificial. Estão no coração dos computadores e respondem pelo seu funcionamento. A China domina fortemente esse mercado. O Brasil possui a terceira maior reserva de terras raras do mundo, mas temos dificuldades para sua extração e tratamento⁵. Lembrem-se de que não se trata de uma operação simples e, se for malfeita, pode degradar ainda mais o meio ambiente.

Acredito que a inteligência artificial, quando bem tratada, pode acelerar a transição energética. No entanto, existe um incentivo muito grande, especialmente vindo dos Estados Unidos, para ampliar o consumo de energia pelas grandes empresas de tecnologia. Trump, que agora governa a principal economia do planeta, incentiva o uso de combustíveis fósseis, na contramão do que o ambiente e o planeta precisam. Esse incentivo é tão significativo que

hoje muitas dessas empresas — como a Microsoft, Google, Oracle, Meta — buscam fontes de energia própria, a começar pela nuclear. Até mesmo algumas usinas que entraram em colapso, como a Three Mile Island, poderão voltar a funcionar em 2028⁶. Embora essas empresas sejam da área digital, e não da nuclear, investem em energia principalmente para resolver suas próprias necessidades. Mais importante do que essa busca por fontes limpas é que essas mesmas empresas abandonaram seus planos de redução de emissões para 2030, anunciados há pouco tempo. Acomodam seus próprios interesses às novas diretrizes de Trump, abandonam seus objetivos de emissão zero de carbono, em nome de uma disputa pela primazia em IA. Do ponto de vista do clima e do ambiente, trata-se de uma tragédia anunciada.

5. Ver: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Brasil pode se tornar um dos cinco maiores produtores de terras raras do mundo nos próximos anos.** Disponível em: [https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-pode-se-tornar-um-dos-cinco-maiores-produtores-de-terras-raras-do-mundo-nos-proximos-anos#:~:text=O%20Brasil%20tem%20a%20terceira,\(22%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas\)](https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-pode-se-tornar-um-dos-cinco-maiores-produtores-de-terras-raras-do-mundo-nos-proximos-anos#:~:text=O%20Brasil%20tem%20a%20terceira,(22%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas),), acesso em 22/01/2025.

6. CROWNHART, Casey. Por que a Microsoft fechou um acordo para ajudar a reativar Three Mile Island. **MIT Technology Review.** Disponível em: <https://mittechreview.com.br/reativacao-usina-nuclear-three-mile-island/#:~:text=%E2%80%93%20Reativa%C3%A7%C3%A3o%20de%20Three%20Mile%20Island,toda%20a%20sua%20produ%C3%A7%C3%A3o%20el%C3%A9trica>, acesso em 22/01/2025.



DORA KAUFMAN

É professora do Programa de Tecnologias da Inteligência e Design Digital da Faculdade de Ciências e Tecnologia da PUC-SP e colunista da *Época Negócios* e colaboradora dos jornais *O Globo* e *Valor Econômico*. É autora de vários livros, entre eles 'A inteligência artificial irá suplantar a inteligência humana?' (Estação das Letras e Cores, 2019) e 'Desmistificando a inteligência artificial' (Autêntica, 2022). Doutora em redes digitais pela Universidade de São Paulo com período na Universidade Sorbonne, com pós-doutorado no programa de Engenharia de Produção (UFRJ) e pós-doutorado no Programa de Tecnologias de Inteligência e Design Digital (PUC-SP).

De que forma os impactos ambientais da inteligência artificial diferem das tecnologias da era industrial?

A poluição industrial é visível, caracterizada pela emissão de resíduos poluentes na natureza, por exemplo, com a liberação de gases tóxicos na atmosfera, e despejo de resíduos tóxicos em rios e lagos. No caso da inteligência artificial, por ser uma tecnologia digital, a percepção dos impactos ambientais é dificultada pela desconexão entre os locais e as formas como interagimos com a IA e onde e como ela é processada. Sabe-se, contudo, que há uma relação direta entre a capacidade dos modelos de IA e seu custo ambiental: quanto maior a capacidade, maior o processamento de dados, o que resulta em um aumento no consumo de energia, com emissões de gases de efeito estufa (GEE), e uso de água para resfriar os equipamentos. O estudo *'Power Hungry Processing: Watts Driving the Cost of AI Deployment'* comparou o custo de modelos de IA que realizam uma única tarefa com os modelos generativos multifuncionais — ChatGPT, Gemini, Llama —, apurando que a ordem de magnitude do custo dos últimos é significativamente maior

e recomendando uma adoção ponderada desses modelos⁷.

De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), organização vinculada à OCDE, o consumo de energia dos data centers pode atingir 1.050 TWh até 2026, quase o dobro do consumo anual de energia da França. Além disso, um relatório da Comissão Global sobre a Economia da Água — criada em maio de 2022, após um encontro do Fórum Econômico Mundial — alertou que a demanda por água potável poderá exceder a oferta em 40% até o final da década. Vale lembrar que os data centers não utilizam qual-



Há uma relação direta entre a capacidade dos modelos de IA e seu custo ambiental.



7. LUCCIONI, Alexandra Sasha; JERNITE, Yacine; STRUBELL, Emma. Power Hungry Processing: Watts Driving the Cost of AI Deployment. In: **ACM Conference on Fairness, Accountability and Transparency (ACM FAccT '24)**, June 3-6, 2024, Rio de Janeiro, Brazil. ACM: New York, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2311.16863>, acesso em 06.02.2025.

quer tipo de água, eles precisam de água limpa e fresca para evitar corrosão e bactérias.

O jornal *The Washington Post*, em colaboração com pesquisadores da Universidade da Califórnia, investigou o consumo de água e energia da versão GPT-4 do ChatGPT na geração de uma mensagem de 100 palavras. Os resultados apontam que a) o processo consome 519 mililitros de água, um pouco mais do que uma garrafa de meio litro; repetindo essa ação semanalmente por um ano, o consumo chega a 27 litros de água; e b) utiliza 0,14 quilowatts-hora (kWh) de energia, o equivalente ao consumo de 14 lâmpadas LED por uma hora; repetindo essa ação semanalmente por um ano, o gasto totaliza 7,5 kWh, o que equivale ao consumo de eletricidade de 9,3 residências por uma hora na cidade de Washington⁸.

Que processos estão por trás do uso da inteligência artificial?

A adoção de modelos de inteligência artificial só é justificável em processos com o uso de grandes volumes de dados, caso contrário, o mais apropriado é utilizar um modelo estatístico tradicional, que tende a ser mais barato e com menos riscos.

Os dados são a matéria-prima dos modelos de IA, e são originados tanto nos processos operacionais internos à organização (na interação com os *stakeholders*⁹, na captação por sensores), quanto fornecidos por parceiros ou captados na internet. O acesso a grandes volumes de dados, de preferência dados de qualidade, é fator de sucesso dos sistemas de IA, o que confere vantagem comparativa às *big techs*¹⁰, naturalmente geradoras de dados em suas plataformas.

8. VERMA, Pranshu; TAN, Shelly. A bottle of water per email: the hidden environmental costs of using AI chatbots. **The Washington Post**. Sept. 18, 2024. Disponível em: <https://www.washingtonpost.com/technology/2024/09/18/energy-ai-use-electricity-water-data-centers/>, acesso em 06.02.2025.

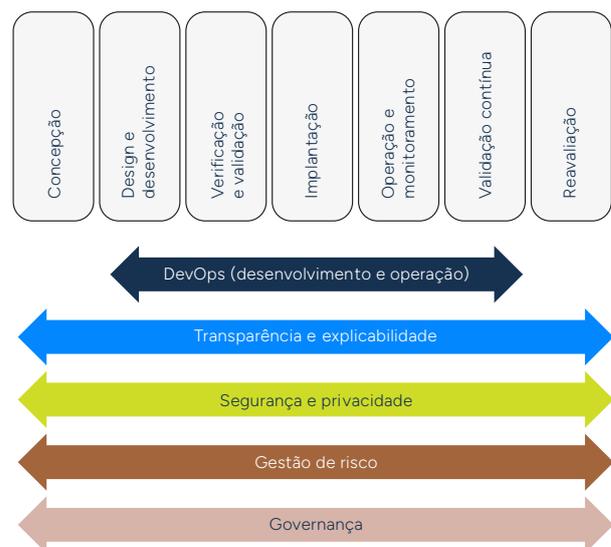
9. 'Partes interessadas', em inglês.

10. Grandes empresas de tecnologia que dominam a infraestrutura dos meios digitais da internet.

A técnica que permeia a maior parte das implementações atuais de inteligência artificial é um modelo estatístico de probabilidade denominado de "redes neurais profundas" ou, em inglês, *deep learning*. Dependendo da arquitetura — estrutura de organização dos elementos que compõem a técnica — as soluções enquadram-se em duas categorias: IA preditiva e IA generativa. A IA preditiva, como indica o próprio nome, faz previsões a partir de grandes volumes de dados, sendo necessário desenvolver um modelo específico para cada tarefa — por exemplo, para identificar se uma imagem de uma tomografia computadorizada do pulmão de um paciente é cancerígena, é necessário desenvolver um sistema com esse propósito. A categoria IA generativa, onde se situa o ChatGPT e congêneres, tem duas especificidades: a) cria conteúdos, que podem ser imagem, texto, vídeo ou código; e b) é multimodal, multitarefa.

Não existe uma única forma de descrever o ciclo de vida de um sistema de inteligência artificial. Uma boa referência é a norma ISO/IEC 22.989:2022, segundo a qual o modelo de ciclo de vida de um sistema de IA é descrito desde a concepção até a desativação. Basicamente, a norma contempla como fases do ciclo de vida da IA (i) concepção, (ii) design e desenvolvimento, (iii) verificação e validação, (iv) implantação, (v) operação e monitoramento, (vi) validação contínua, e (vii) reavaliação.

Figura 1: Fases do ciclo de vida de um sistema de IA



Fonte: ISSO/IEC 22.989:2022. Tradução nossa

Os modelos de inteligência artificial, particularmente os modelos de IA generativa, sendo intensivos em dados, requerem processadores de dados robustos, que são os data centers. Três *big techs* americanas concentram 67% de todo o processamento de dados do planeta: a AWS/Amazon lidera com 32% de participação, seguida pela Azure/Microsoft, com 23%, e Google Cloud, com 12% (dados do segundo trimestre de 2024)¹¹. Atualmente, existem mais de 11.800 data centers em operação globalmente, sendo 5.388 nos Estados Unidos, 520 na Alemanha, 510 no Reino Unido, 499 na China, 336 no Canadá, 315 na França, 307 na Austrália e 219 no Japão.



A América Latina, pela atratividade da matriz energética sustentável, gradativamente tem se posicionado como um hub de data centers.



Nos Estados Unidos, Amazon, Meta e Microsoft estão construindo novas instalações com áreas superiores a quatro quilômetros quadrados, protegidas por torres de vigilância e cercas de arame farpado. No estado da Geórgia, por exemplo, os mais de 50 data centers fizeram com que a conta de eletricidade subisse, em média, quase US\$ 200 por ano por domicílio, o que levou à suspensão dos incentivos fiscais para data centers nos próximos dois anos. Em Chesterton, Indiana, moradores próximos a um data center enfrentam problemas com o excesso de ruído.

A América Latina, pela atratividade da matriz energética sustentável, gradativamente tem se posicionado como um hub de data

centers. As regiões em torno de São Paulo e Cidade do México têm atraído investimentos significativos, embora a disponibilidade de energia tenha forte dependência de energia hidrelétrica: as hidrelétricas fornecem energia verde, mas são vulneráveis à variabilidade climática, ou seja, apresentam potencial de gerar interrupções, comprometendo a eficiência dos data centers.

O Brasil é o líder em data centers na América Latina. Segundo o *Data Center Map*, o país conta com 119 unidades, das quais 41 são de grande porte, cada uma com capacidade de cerca de 10 megawatts. Esses data centers estão concentrados em quatro polos principais: São Paulo, Rio de Janeiro, Distrito Federal, que são grandes consumidores de internet e tecnologia, e Ceará, que atua como porta de entrada dos cabos submarinos que conectam o Brasil à internet global, além de ser um ponto estratégico para a distribuição de serviços nas regiões Norte e Nordeste. Barueri, cidade próxima à capital paulista, abriga o quinto maior complexo de data centers do mundo. O consumo energético dos data centers de grande porte em operação no Brasil é quase equivalente ao consumo total de energia do estado de Tocantins.

Capacitar o Brasil com infraestrutura computacional é uma pré-condição para ampliar o desenvolvimento e o uso da inteligência artificial. No entanto, é fundamental atentar aos impactos negativos que proliferam mundo afora, especialmente nos EUA, e traçar caminhos sustentáveis por meio de uma abordagem multifacetada que envolva a indústria, os pesquisadores e o poder público.

Por que a IA é vista tanto como uma solução quanto um problema para as questões climáticas?

A inteligência artificial contribui decisivamente para o conhecimento atual da sociedade sobre as mudanças climáticas, bem como permite acompanhá-las em tempo real, pela capacidade desses modelos em lidar com grandes volumes de dados e, consequente-

11. Synergy Research Group. **Cloud Market Growth Stays Strong in Q2 While Amazon, Google and Oracle Nudge Higher.** Aug., 2024. Disponível em: <https://www.srgresearch.com/articles/cloud-market-growth-stays-strong-in-q2-while-amazon-google-and-oracle-nudge-higher>, acesso em 06.02.2025.



mente, apresentar resultados com maior grau de assertividade. A adoção da IA para otimizar processos igualmente impacta positivamente o meio ambiente, no mínimo pela redução do tempo de execução das tarefas.

Manifesto lançado em 2019 por 23 cientistas de inteligência artificial¹², entre eles Andrew Ng e Yoshua Bengio, acompanhado de uma bibliografia com 826 referências, reconhece as mudanças climáticas como um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade. O documento convida a comunidade de IA a aderir ao esforço de utilizar a tecnologia a favor do clima, começando por se familiarizar com os domínios de aplicação, que vão da agricultura às redes elétricas. O Manifesto contempla 13 áreas em que a IA pode contribuir positivamente.

Os sistemas elétricos, um dos domínios abordados no Manifesto, são responsáveis por cerca de um quarto das emissões de gases de efeito estufa; a inteligência artificial, particularmente as técnicas de aprendizado de máquina, pode contribuir, por exemplo, para acelerar o desenvolvimento de tecnologias de energia limpa, melhorar as previsões de demanda, otimizar o gerenciamento e o monitoramento desses sistemas. A previsão de geração e demanda de eletricidade — ambas não são variáveis fixas, flutuam ao longo do tempo — pode ser estimada com mais precisão por sistemas de IA, o que promove respostas mais precisas.

Em relação ao setor de transporte, responsável por cerca de um quarto das emissões de CO₂ relacionadas à energia, o Manifesto alerta que, diferentemente do setor de eletricidade, os progressos de descarbonização do setor são insignificantes; a IA tem potencial de melhorar a engenharia de veículos, habilitar infraestrutura inteligente e gerar informações relevantes para políticas públicas. Cenários semelhantes são descritos no documento, entre outros, na indústria, no agronegócio e nos projetos de

cidades inteligentes (*Smart Cities*). Por exemplo, na distribuição de energia, é possível fazer previsões muito mais assertivas de demanda e oferta. A IA também ajuda a otimizar processos, reduzindo o seu tempo de execução, o que tem potencial de ajudar o meio ambiente.

O paradoxo é que, ao gerar esses benefícios, sendo os sistemas de IA intensivos em dados, logo intensivos em processamento de dados, em consumo de energia, em emissão de CO₂ e água potável, eles impactam negativamente o meio ambiente.

12. Ver: ROLNICK, David et al. Tackling Climate Change with Machine Learning. **ACM Computing Surveys**, v. 55, n. 2, p. 1–36, 2022. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/full/10.1145/3485128>, acesso em: 6 fev. 2025. Site associado: **CLIMATE CHANGE AI**. Climate Change AI. Disponível em: <https://www.climatechange.ai/>, acesso em: 6 fev. 2025.



PATRÍCIA IGLESIAS

É professora associada do Departamento de Direito Civil da Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo, livre-docente, e coordenadora do Programa de Pós-Doutorado USP Sustentabilidade e do Centro de Pesquisa e Inovação em Clima e Sustentabilidade USP. É presidente do Instituto o Direito por um Planeta Verde, pesquisadora líder do Grupo de Estudos Aplicados ao Meio Ambiente: tutelas preventiva e reparadora de danos (USP) (2009-), e orientadora e criadora da Clínica de Direito Ambiental Paulo Nogueira Netto da Faculdade de Direito da USP (2013-). Foi presidente da CETESB, secretária do Meio Ambiente do Estado de São Paulo e, atualmente, é superintendente de Gestão Ambiental da USP. Sócia fundadora de Iglecias Advogados, é doutora e mestre em Direito pela USP.

É possível mensurar o impacto ambiental da IA?

Na área ambiental falamos muito em externalidades¹³, os efeitos colaterais de atividades econômicas para terceiros que não estavam envolvidos diretamente na sua produção ou consumo. E uma atividade como a inteligência artificial tem externalidades ambientais que precisam ser computadas no custo do projeto em si. Trata-se da aplicação prática do princípio do poluidor pagador, que determina que os responsáveis diretos e indiretos pela atividade poluidora devem arcar com os custos de sua mitigação¹⁴.

Também é preciso mensurar os impactos, por exemplo, da geração de resíduos eletroeletrônicos, do uso da energia, o quanto essa energia vem de fontes renováveis ou não renováveis, etc. Isso precisa entrar no custo da atividade de

uma forma geral. E a legislação será muito importante para fomentar que isso de fato aconteça. Fazendo uma analogia simples, hoje existem veículos elétricos que são melhores do ponto de vista das emissões de gases de efeito estufa. Ainda assim, é necessário avaliar o consumo de energia na produção, o tipo de energia utilizada e a gestão do descarte das baterias. Precisamos aplicar essa mesma lógica às tecnologias de inteligência artificial.



Uma atividade como a inteligência artificial tem externalidades ambientais que precisam ser computadas no custo do projeto em si.



13. Ver: WIKIPEDIA. **Externalidades**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Externalidades>, acesso em 15.01.2025.

14. Ver: BECHARA, Erika. **Princípio do poluidor pagador**. Enciclopédia jurídica da PUCSP. Disponível em: <https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/334/edicao-1/principio-do-poluidor-pagador>, acesso em 27.01.2025.

Entrando mais especificamente no tema da regulação, um primeiro aspecto que talvez ainda não tenha sido devidamente considerado é o dever e a importância de informar as pes-

soas de maneira mais clara e acessível sobre o impacto do uso de recursos de inteligência artificial. Muitas vezes, nossa tendência como sociedade é transferir a responsabilidade exclusivamente para o governo ou para as empresas, nos excluindo de uma possível solução.

Na Universidade de São Paulo (USP), dirijo a área de meio ambiente, e estamos criando um novo centro de estudos focado em mudanças climáticas e sustentabilidade¹⁵. Nos interessam questões como a mensuração do uso da água e de energia dos data centers, além da responsabilidade pós consumo, especialmente relacionada aos resíduos eletroeletrônicos.

O marco legal da IA deve incorporar a questão da sustentabilidade ambiental?

O marco legal da inteligência artificial¹⁶ vem sendo debatido, mas ainda não há uma definição clara para os impactos ambientais dessa tecnologia. Eu diria que o marco poderia trazer uma menção mais genérica, deixando a medição desses impactos a cargo dos órgãos ambientais responsáveis pelo licenciamento. O marco legal deve ser uma norma geral, que traz parâmetros que queremos que tenham caráter perene. Por isso, é mais eficaz regular no âmbito da atividade específica.

Por exemplo: a indústria do vidro produz emissões de gases de efeito estufa. No estado de São Paulo, ela é regulada em um programa governamental de controle de fontes estacionárias que permite avaliar se é possível instalar outra indústria na mesma região ou não, de acordo com a medição de emissões existentes.

15. Ver: Centro de Pesquisa e Inovação em Clima e Sustentabilidade (USPproClima) em: JORNAL DA USP. **USP terá centro de pesquisa voltado para inovação em clima e sustentabilidade.** Disponível em: <https://jornal.usp.br/institucional/usp-tera-centro-de-pesquisa-voltado-para-inovacao-em-clima-e-sustentabilidade/>, acesso em 15.01.2025.

16. BRASIL. Câmara dos Deputados. **PL 21/2020.** Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2236340>, acesso em 27.01.2025.

Essa mesma lógica pode ser aplicada a atividades relacionadas à inteligência artificial.

Olhando, por exemplo, onde vai ser instalado um data center, quais são os impactos da atividade em si e, em especial, a mensuração do que é feito após a utilização. Esses equipamentos são sempre de uso curto e precisam ter destinação ambientalmente adequada. Já existem parâmetros na Política Nacional de Resíduos Sólidos em relação ao pós consumo, para produtos que o consumidor recebeu e precisam ser devolvidos para o fabricante. Agora, precisamos desse olhar também para o uso de grandes equipamentos, colocados em data centers, que não entram na logística reversa do consumidor final.

Como superar a tensão entre desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental?

A tensão entre meio ambiente e atividade econômica sempre existiu e continuará existindo. A Revolução Industrial já nos mostrou isso, com as máquinas a vapor e as chaminés. A inteligência artificial seria a nova 'chaminé'?

A atividade privada valoriza cada vez mais a eficiência. Quando falamos em sustentabilidade, estamos falando também de eficiência no processo produtivo. Nesse sentido, o próprio setor privado tem interesse em ser mais eficiente, já que maior eficiência significa maior lucratividade.

Não se deve alimentar a tensão entre meio ambiente e atividade econômica, porque isso sugere que quem trabalha com meio ambiente está contra o desenvolvimento econômico. Não se trata de colocar um contra o outro. Muito pelo contrário: queremos que a atividade econômica aconteça, mas dentro de certos parâmetros, e com eficiência.

O exemplo do estado de São Paulo mostra como é possível equilibrar as duas áreas: conseguimos recuperar um grande percentual da Mata Atlântica, estabelecer regras para proteger os cursos d'água — o que aumentou a disponibilidade hídrica — e implementar regulamentações importantes, como no caso das

áreas contaminadas em zonas urbanas. Existem parâmetros que podem ser utilizados.

//

Queremos que a atividade econômica aconteça, mas dentro de certos parâmetros, e com eficiência.

//

Acredito que a universidade pública, com seu foco em pesquisa, tem toda a condição de trazer respostas que podem inclusive auxiliar o setor privado a ter mais lucro. Além disso, quero ressaltar a relevância atual da política ESG¹⁷. Grandes empresas precisam adotar políticas desse tipo e produzir relatórios de sustentabilidade, pois hoje os grandes financiadores globais não financiam aqueles que não respeitam parâmetros ambientais.

17. Sigla para Environment, Social, Governance (“Ambiental, Social e Governança”).





ROBERTO WAACK

É membro dos conselhos da Marfrig, Wise Plásticos/Braskem, Instituto Arapyau, WWF Brasil, Instituto Ethos e integra estruturas de governança das empresas Natura, Tupy, Synergia e Regreen. É visiting fellow da Chatham House (Londres). É cofundador da Coalizão Brasil Clima, Florestas e Agricultura e do movimento Uma Concertação pela Amazônia. Possui longa carreira como executivo e como empreendedor nos setores farmacêutico e florestal. Foi CEO da Fundação Renova, entidade responsável pela reparação do desastre de Mariana (MG), co-fundador e CEO da Amata S.A. e CEO da Orsa Florestal, além de diretor da Boehringer Ingelheim e Vallée/Pasteur Mérieux. É colunista do Estadão Economia. É biólogo e mestre em administração de empresas (concentração em New Institutional Economics) pela USP.

Por que a relação da IA com o meio ambiente pode ser considerada um *wicked problem*?

Quando combinamos todos os desafios das mudanças climáticas e adicionamos a inteligência artificial, a combinação é explosiva. É algo que pode ser caracterizado como um *wicked problem*.

Na década de 1970, ao mesmo tempo em que prosperavam as metodologias de planejamento com foco em instrumentos de medição de eficiência, crescia a constatação de que em certas situações essas abordagens não eram suficientes. A famosa frase cunhada por William E. Deming era uma referência amplamente difundida entre gestores públicos e privados: “Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, e não há sucesso no que não se gerencia”.

Em um artigo sobre os dilemas das teorias de planejamento, Horst Rittel e Melvin Webber, estabeleceram, em 1973, o concei-

to de *wicked problem*¹⁸. O sentido da palavra *wicked* em inglês foi bastante discutido e sua tradução para o português acentua ainda mais esse desafio. Gosto do conceito de problemas indomáveis. Os dilemas apontados se referiam a algumas situações muito complexas, permeadas por questões de cunho social, com muitas partes envolvidas. Situações desse tipo, segundo os autores, não permitiriam definir com clareza o que seria um resultado eficiente da ação de planejamento, sobretudo quando se tratasse de uma ação governamental. A própria definição do problema a ser resolvido variaria de acordo com o público a ser afetado. Portanto a ação de planejamento teria vários objetivos, nem sempre convergentes, dificultando a busca de resultados equitativos para os vários públicos afetados.

Testes de eficiência e medições eram desafiados pela dificuldade de se entender e definir problemas complexos. A frase cunhada por Deming era igualmente desafiada. Em muitas situações, é preciso gerenciar problemas com definições difusas e limitações de racionalidade em sua compreensão. Não por acaso, o econo-

18. RITTEL, Horst; WEBBER, MELVIN. Dilemmas in a General Theory of Planning. **Policy sciences**, 4(2), 155-169. 1973. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01405730>, acesso em 10/02/2025.

mista prêmio Nobel Herbert Simon estabelecia, na mesma época, o conceito de *bounded rationality* (racionalidade limitada).

De uma maneira geral, essas situações indomáveis se caracterizam pela ausência de uma formulação definitiva para os problemas. Não há informação suficiente, nem racionalidade completa. Os limites são imprecisos, incertos, voláteis. São situações que afetam múltiplos *stakeholders*, com agendas distintas e comumente conflitantes. Não há tolerância nem imunidade para as consequências das soluções implementadas. Sempre haverá pluralismo de visões e dilemas sobre o problema e, portanto, sempre haverá críticas. Há sempre várias explicações para o problema, muitas delas discrepantes (ambíguas). A escolha da explicação é frequentemente arbitrária. Não há um julgamento final sobre as soluções apontadas, classificando-as como corretas ou incorretas. São passíveis de interpretações, de acordo com diferentes grupos afetados. Cada problema tem características únicas e não há referenciais completos para as soluções. A temporalidade das consequências varia muito e estas são frequentemente ambíguas. O que pode ser ruim em um momento pode vir a ser muito bom em outro.

Cada situação pode ser considerada como um sintoma de um outro problema. No mínimo, como estão sempre relacionadas a outros problemas, as situações são multicausais e interconectadas. Não há como medir, de forma definitiva, os resultados das soluções encontradas. Com frequência, uma solução gera consequências que se desdobram e são difíceis de serem avaliadas. Consequentemente, não há soluções definitivas para os problemas e não há como mapear todas as possíveis alternativas. Como disse Vítor Freire: "Problemas indomáveis não se gerenciam, se governam".

Como construir uma regulação ambiental adaptável para tecnologias emergentes como a IA?

Os instrumentos de regulação ambiental no Brasil e no exterior têm se mostrado fracos para esse desafio. Estamos pouco preparados

para ter efetividade na regulação da nossa relação com a natureza. A quantidade de externalidades negativas produzidas, por exemplo, pela atividade industrial, pela atividade de produção de commodities, pelo nosso uso da terra, é muito grande, mas há uma ambiguidade, pois também há muitas externalidades positivas. Hoje temos mais segurança alimentar, a sanidade dos alimentos aumentou e o uso de minerais é feito de uma forma mais eficiente. Tudo isso é verdade, mas estamos falhando na regulação dessas externalidades negativas com o arsenal vigente de regulação.

A discussão gira em torno do princípio de regulação. O que fica evidente é que os modelos normativos tradicionais de regulação não são suficientes para lidar com a complexidade dos problemas atuais. A grande questão é: devemos adotar uma regulação mais fundamentada em princípios ou continuar com uma abordagem normativa? O modelo normativo tem falhado principalmente porque parte do pressuposto de que é possível antecipar e conhecer todas as variáveis envolvidas no que se pretende regular. Quando falamos em meio ambiente, não existe racionalidade possível para lidar com todas as reações ambientais.

Aqui voltamos à discussão dos *wicked problems*, que envolve o reconhecimento da racionalidade limitada. É fundamental reconhecer os limites, inclusive os da ciência, na compreensão de determinados eventos. O volume de informações disponíveis não é suficiente para que se tomem decisões racionais de forma automática. É necessário reconhecer essa limitação. Por exemplo, não é possível prever com total precisão os impactos da construção de uma hidrelétrica, da exploração de um poço de



Os modelos normativos tradicionais de regulação não são suficientes para lidar com a complexidade dos problemas atuais.



petróleo ou até mesmo das atividades do agropênegócio. Não temos todas as informações, por exemplo, de como vai reagir o clima, o solo ou as pessoas afetadas positiva ou negativamente por aquela atividade. A regulação normativa, no entanto, pressupõe que é possível ter acesso a todas essas informações e aplicá-las de maneira objetiva, o que, na prática, se mostra um grande desafio.

O conceito de regulação que, na minha opinião, faz mais sentido é aquele que parte de princípios¹⁹. Isso significa que será necessário desenvolver e adaptar modelos regulatórios para cada situação em um processo contínuo de aprendizado. Imaginar que seremos capazes de criar um *framework* regulatório prescritivo para lidar com a inteligência artificial me parece um tanto ingênuo. Acredito que, em vez disso, o mais adequado seria iniciarmos uma discussão sobre quais princípios devem nortear a regulação — o que faz sentido do ponto de vista ético, quais são os riscos envolvidos e como devemos lidar com esses riscos à medida que surgem — reconhecendo que esse é um processo de tentativa e erro.

A ausência de uma solução completa impede a formulação de respostas definitivas, o que pode levar a uma sensação de imobilização diante da complexidade. Precisamos de dinamismo. Para isso, começamos por definir alguns elementos básicos sobre como esse processo deve evoluir. Não podemos ficar parados; devemos agir, conscientes de que as ações tomadas provavelmente precisarão ser ajustadas ao longo do tempo, e a sociedade terá que aprender a lidar com essa dinâmica.

Para o mundo jurídico, isso pode parecer um caos, pois o direito é fundamentado em normas, regras e estruturas mais rígidas e formais. Essa realidade exige um pensamento jurídico mais flexível. Imagine um processo regu-

latório que é feito a partir da perspectiva de um grupo de stakeholders do governo, por exemplo, ou mesmo de uma parte da sociedade que está preocupada com o efeito da tecnologia. Esses grupos podem ter uma perspectiva muito distinta, por exemplo, dos povos indígenas. Se o sistema regulatório estabelecido for fundamentado em princípios, pode ser mais fácil discutir, tentar harmonizar os princípios. Se for muito prescritivo, provavelmente terá de ser sob a perspectiva de um determinado grupo.

Como a inteligência artificial pode ajudar na valorização da natureza pelo sistema econômico?

Quando pensamos no componente econômico relacionado à natureza, entramos no campo do chamado capital natural. O próprio termo “capital” associado à natureza já gera certo desconforto em muitas pessoas, mas o fato é que o aspecto econômico é um elemento essencial, e não há como ignorá-lo. A natureza vive uma ambiguidade interessante: ela é extremamente visível na nossa vida — por onde andamos, na sombra da árvore no fim de semana, nos parques, no que comemos, na nossa relação com os animais de estimação, etc. — mas ela não é visível no campo econômico. Existe uma invisibilidade econômica para o valor do capital natural. Essa invisibilidade não é total, mas, em geral, é muito alta. Que instrumentos vamos utilizar para dar maior visibilidade para os elementos da natureza perante o campo econômico?

A inteligência artificial pode desempenhar um papel crucial nesse processo, ajudando a caracterizar a natureza de maneiras antes inimagináveis. Embora exista o risco de uma abordagem utilitarista ou simplificadora, a IA nos permite explorar dimensões até então pouco acessíveis, como o mundo microbiano e fúngico, revelando a incrível diversidade vegetal que muitas vezes passa despercebida por agentes econômicos.

Um dos grandes desafios da invisibilidade está ligado à complexidade, e o mercado financeiro costuma evitar aquilo que considera complexo demais. É relativamente simples falar em crédito de carbono, pois o carbono é uma molé-

19. Um exemplo de regulação baseada em princípios é o Consumer Duty (Dever do Consumidor) da Financial Conduct Authority (Autoridade de Conduta Financeira) do Reino Unido, implementado a partir de julho de 2023, que estabelece o princípio de que as firmas devem “agir para entregar bons resultados para consumidores.” Ler mais em: FINANCIAL CONDUCT AUTHORITY. **Consumer duty resources**. Disponível em: <https://www.fca.org.uk/firms/consumer-duty>, acesso em 27.01.2025.

cula que pode ser quantificada. É possível calcular uma tonelada de carbono e fazer o mercado de compra e venda de carbono. O mercado da biodiversidade não funciona assim, e essas tecnologias de inteligência artificial podem ter um papel muito importante na caracterização da biodiversidade que, ainda que tenha que ser feita com todos os cuidados, já é um passo muito grande para atribuir valor econômico.

A biodiversidade pode, por exemplo, ser abordada sob a ótica gênica, ou seja, ela é fruto da expressão de materiais genéticos. Os imensos avanços no campo da biotecnologia proporcionaram uma intimidade inédita com o mundo dos genes como fonte de informações sobre o que e como cada ser vivo expressa suas características específicas. O sequenciamento gênico digital de plantas, animais e microrganismos, em sua imensa diversidade biológica, permite acessar uma biblioteca de dados que, correlacionados a bases de dados sobre o meio ambiente onde vivem, abre um campo assombrosamente complexo, perigoso e fascinante. A manipulação desse imenso volume de informações passou a ser possível com os recentes avanços da inteligência artificial. O domínio dessas informações associadas a estratégias públicas e empresariais nos campos da saúde (novos fármacos), da segurança (armas biológicas), da transição energética (bioenergia) e da segurança alimentar (novos alimentos), por exemplo, pode ser o alicerce do que alguns pensadores chamam de Bio Age, ou era do completo domínio humano (ainda que chamado de artificial) das informações que regem a vida de uma forma geral, em toda a sua diversidade.

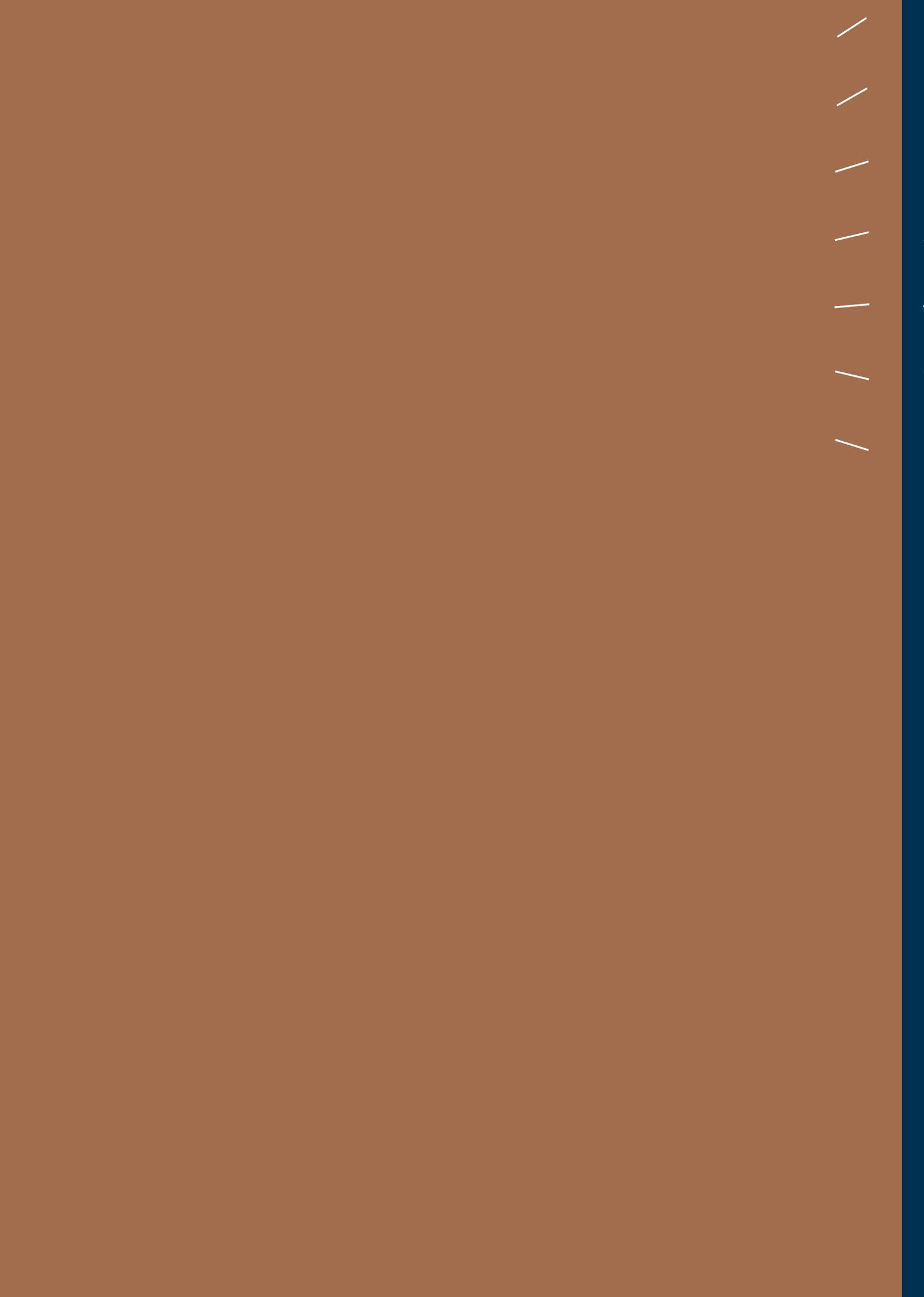
Contudo, apenas caracterizar não é suficiente para a atribuição de valor econômico, é preciso também desenvolver métricas e sistemas de monetização. A situação começa a ficar mais complicada, mais delicada. É preciso colocar um preço na natureza. Como esse processo de precificação será feito? Quem irá atribuir esse valor? Como esse valor será comercializado? E se um sequenciamento genético for realizado, quem será o dono dessa informação? Como o valor dessa informação será distribuído, e para quem? Para o país que é o detentor da biodiversidade? Para a comunidade de onde saiu aquele espécime?

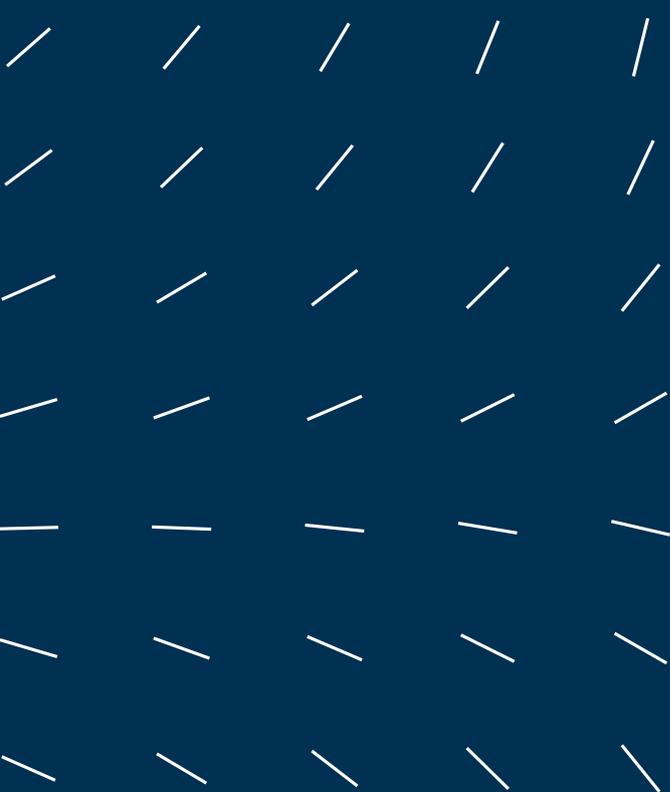
Acredito que, se utilizada corretamente, a inteligência artificial pode ajudar não apenas na caracterização e visualização da biodiversidade, mas também na gestão eficiente desse imenso volume de dados, tornando-o mais acessível e compreensível. No entanto, em um cenário de fragilidade crescente do multilateralismo, os sistemas globais de regulação do clima e da biodiversidade têm se mostrado ineficazes, com debates intermináveis e um baixo poder de *enforcement*. Encontrar soluções regulatórias eficazes para esse novo contexto é uma necessidade urgente.



A inteligência artificial pode ajudar não apenas na caracterização e visualização da biodiversidade, mas também na gestão eficiente desse imenso volume de dados, tornando-o mais acessível e compreensível.







F U N D A Ç Ã O

F E R N A N D O
H E N R I Q U E
C A R D O S O