



Opacidade tecnológica e o uso intensivo de recursos naturais: o caso dos data centers da inteligência artificial

Raiza Silveira Medina | raiza.sm1991@aluno.ifsc.edu.br¹

Dieison Bruno Alessi | dieison.a@aluno.ifsc.edu.br²

Bruno Panerai Velloso | bruno.veloso@ifsc.edu.br³

Glauco Cardozo | glauco.cardozo@ifsc.edu.br⁴

Trabalho de Pesquisa
DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

A expansão acelerada da inteligência artificial (IA) generativa reposiciona os data centers como infraestrutura crítica da inovação tecnológica contemporânea, ocultando custos ambientais ainda pouco visíveis no debate público. Este trabalho analisa o consumo intensivo de recursos naturais, energia elétrica e água associado à operação de data centers de IA generativa, com ênfase na opacidade tecnológica estrutural: a ausência sistemática de divulgação de métricas ambientais desagregadas por carga de trabalho de IA pelas grandes empresas de tecnologia. A pesquisa foi desenvolvida por meio de revisão bibliográfica de fontes científicas e institucionais (2019–2026). Os resultados indicam que os data centers consumiram aproximadamente 415 TWh de eletricidade em 2024, com projeção de mais do que dobrar até 2030, e que o consumo hídrico global estimado alcançou cerca de 560 bilhões de litros em 2023, podendo chegar a 1.200 bilhões em 2030. Nenhuma das principais empresas divulga métricas ambientais específicas para cargas de trabalho de IA. Conclui-se que a sustentabilidade computacional exige transparência como condição estrutural e políticas públicas de regulação ambiental do setor.

Palavras-chave: inteligência artificial; data centers; recursos naturais; opacidade tecnológica estrutural; sustentabilidade computacional.

Introdução

A inteligência artificial (IA) generativa consolidou-se como uma das principais fronteiras da inovação tecnológica na última década, com sistemas de geração de texto, imagens, áudio e vídeo amplamente adotados por empresas, governos e instituições de

¹ Estudante do curso de Gestão da Tecnologia da Informação do IFSC, raiza.sm1991@aluno.ifsc.edu.br.

² Estudante do curso de Gestão da Tecnologia da Informação do IFSC, dieison.a@aluno.ifsc.edu.br.

³ Servidor, Coordenadoria do Núcleo de Educação a Distância, Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Campus Florianópolis.

⁴ Servidor, Coordenadoria do Núcleo de Educação a Distância, Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Campus Florianópolis.

ensino. Segundo a IEA (2025), o investimento global em data centers quase dobrou desde 2022, alcançando meio trilhão de dólares em 2024. Essa expansão depende de uma infraestrutura frequentemente invisibilizada: data centers consomem volumes expressivos de energia e água, com impactos ambientais cuja dimensão permanece opaca, agravada pela ausência de distinção entre cargas de trabalho de IA e não-IA nos relatórios corporativos.

No contexto brasileiro, o país concentra cerca de 1,5% do mercado global de data centers, com crescimento de 628% entre 2013 e 2023 (Revista Pesquisa FAPESP, 2024). O Plano Brasileiro de Inteligência Artificial 2024–2028 (PBIA) prevê expansão dessa infraestrutura, sem mecanismos obrigatórios de disclosure ambiental equivalentes aos observados em marcos regulatórios internacionais, como o AI Act (UNIÃO EUROPEIA, 2024), tornando urgente a discussão sobre seus impactos socioambientais.

Fundamentação teórica

A análise do consumo de recursos naturais pela infraestrutura de IA generativa parte do reconhecimento de que sistemas de IA não são entidades abstratas, mas dependem de infraestrutura física intensiva em recursos. Crawford (2021) propõe compreender a IA como uma indústria extrativista, cujas operações dependem da exploração de energia, recursos minerais, trabalho barato e dados em escala. Essa perspectiva desloca o debate da eficiência técnica dos modelos para as condições materiais que os sustentam, tornando visível o que a narrativa dominante da inovação tende a apagar.

No plano empírico, os dados mais robustos provêm de dois conjuntos de fontes. O relatório Energy and AI da IEA (2025) constitui a referência de maior abrangência e rigor metodológico sobre consumo energético e hídrico global de data centers. De Vries-Gao (2026), em artigo publicado na revista Patterns (CellPress), sistematiza a análise dos relatórios de sustentabilidade de onze grandes empresas de tecnologia e demonstra que nenhuma delas divulga métricas ambientais específicas para cargas de trabalho de IA, concluindo que a pegada de carbono especificamente dos sistemas de IA pode estar entre 32,6 e 79,7 milhões de toneladas de CO₂ em 2025, e a pegada hídrica entre 312,5 e 764,6 bilhões de litros.

Essa opacidade não é neutra: configura o que este trabalho denomina opacidade tecnológica estrutural, distinta da opacidade algorítmica (relativa à incompreensibilidade técnica dos sistemas) e da opacidade tecnológica no plano jurídico-regulatório. A opacidade tecnológica estrutural refere-se ao padrão recorrente de não divulgação de métricas ambientais desagregadas por cargas de trabalho de IA pelas corporações do setor, cuja persistência dificulta a produção de conhecimento e a regulação pública.

Procedimentos metodológicos

Esta pesquisa adota abordagem qualitativa, por meio de revisão bibliográfica e análise crítica de documentos, organizada em três etapas.

A primeira consistiu no levantamento e seleção de fontes científicas e técnicas publicadas entre 2019 e 2026, priorizando artigos revisados por pares com dados primários ou sínteses baseadas em fontes primárias identificáveis. O corpus final inclui Li et al. (2023), Patterson et al. (2021), De Vries-Gao (2026) e o relatório Energy and AI da IEA (2025).

A segunda envolveu a análise de documentos institucionais e corporativos como material empírico: o PBIA 2024–2028, como referência de política pública nacional, e o documento Industrial Policy for the Intelligence Age (OpenAI, 2026), tratado não como fonte de dados técnicos, mas como objeto de análise discursiva identificando o que é afirmado em matéria de transparência e o que é sistematicamente omitido em matéria de impacto ambiental.

A terceira consistiu na triangulação entre os dados quantitativos da primeira etapa e os padrões de disclosure identificados na segunda, tendo como referência analítica De Vries-Gao (2026).

Resultados e discussões

Consumo energético e hídrico

No nível da interação individual, Li et al. (2025) estimaram que o GPT-3 consome o equivalente a uma garrafa de 500 ml de água a cada 10 a 50 respostas de tamanho médio geradas, variação que reflete as diferenças de eficiência hídrica entre data centers conforme localização e horário de operação. Patterson et al. (2021) calcularam que o treinamento do GPT-3 demandou cerca de 1.287 MWh de eletricidade e gerou

aproximadamente 552 toneladas de CO₂ equivalente. No nível sistêmico, a IEA (2025) estima que os data centers consumiram 415 TWh de eletricidade em 2024, crescimento de 12% ao ano, mais de quatro vezes acima da taxa global de crescimento da demanda elétrica, e cerca de 560 bilhões de litros de água anuais em 2023. De Vries-Gao (2026) aponta que a IEA pode estar subestimando o consumo hídrico indireto: a Meta, única entre as empresas analisadas no estudo, reportou intensidade hídrica de 3,92 litros por kWh em 2024, quase quatro vezes superior à média estimada pela IEA.

Projeções e assimetrias territoriais

A IEA (2025) projeta que o consumo elétrico global de data centers mais do que dobrará até 2030, alcançando 945 TWh, com consumo hídrico podendo alcançar 1.200 bilhões de litros. Em países da América Latina e da África, a IEA documenta um contraste marcante entre grandes investimentos em data centers e os desafios energéticos cotidianos: não é incomum que comunidades remotas enfrentem escassez severa de energia enquanto novos data centers intensificam a competição pela demanda elétrica local.

Opacidade tecnológica como padrão estrutural

De Vries-Gao (2026) identificou que nenhuma das onze empresas mencionadas em seu estudo, Amazon, Apple, Baidu, ByteDance, CoreWeave, Google, Meta, Microsoft, Oracle, Tesla e Tencent, divulga métricas ambientais específicas para cargas de trabalho de IA. A Amazon, que reporta as maiores emissões de escopo 2 do conjunto, não divulga sequer seu consumo total de eletricidade. ByteDance e CoreWeave não publicam qualquer relatório ambiental. A Meta é a única a reportar consumo hídrico indireto, ainda assim apenas em nível corporativo total, segundo o autor. O documento da OpenAI (2026) propõe transparência e accountability democrático como princípios centrais e chega a reconhecer que os data centers impõem custos energéticos às comunidades, mas enquadra essa questão exclusivamente em termos fiscais, quem paga a conta, sem mencionar em nenhum momento o consumo de água, as emissões de carbono ou a pegada ambiental de suas próprias operações, contradição que confirma o caráter estrutural da opacidade: não uma lacuna ocasional, mas um padrão que, sem regulação específica, tende a se perpetuar.

Considerações finais

A principal dificuldade enfrentada foi precisamente o objeto de estudo: a opacidade dos dados corporativos impõe limites reais à pesquisa, o que reforça o argumento central de que a opacidade tecnológica estrutural não é apenas um problema de comunicação, mas um obstáculo epistemológico à pesquisa e político à regulação. Os principais alcances residem na sistematização de fontes recentes ainda pouco circuladas no debate acadêmico brasileiro, com destaque para a IEA (2025) e De Vries-Gao (2026), e na articulação entre dados quantitativos de consumo e análise crítica do discurso corporativo sobre governança da IA, exemplificada pela contradição identificada no documento da OpenAI (2026), que propõe transparência como princípio central sem mencionar a pegada ambiental de suas próprias operações.

Destaca-se a necessidade de pesquisas com dados territoriais sobre data centers no Brasil e de análises comparativas com marcos como o AI Act (UNIÃO EUROPEIA, 2024), que estabelece requisitos de transparência para sistemas de IA possibilitando a mensuração de impactos energéticos, contraste direto com a ausência de instrumentos equivalentes no ordenamento jurídico brasileiro

Nesse sentido, a noção de opacidade tecnológica estrutural permite compreender que a invisibilidade dos impactos ambientais da inteligência artificial não é acidental, mas parte constitutiva de seu modelo de expansão. Ao nomear esse fenômeno, este trabalho desloca o debate da dimensão técnica para o campo político, evidenciando que a transparência se configura como condição indispensável para a responsabilização ambiental no desenvolvimento tecnológico contemporâneo.

Referências

- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **IA para o Bem de Todos: Proposta de Plano Brasileiro de Inteligência Artificial 2024-2028**. Brasília: MCTI, 2024. Disponível em: [IA para o Bem de Todos](#). Acesso em: 20 abr. 2026.
- CRAWFORD, Kate. **Atlas of AI: power, politics, and the planetary costs of artificial intelligence**. New Haven: Yale University Press, 2021.
- DE VRIES-GAO, Alex. **The carbon and water footprints of data centers and what this could mean for artificial intelligence**. Patterns, v. 7, p. 101430, jan. 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patter.2025.101430>. Acesso em: 20 abr. 2026.



INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy and AI**. Paris: IEA, 2025. Disponível em: [IEA](#) Acesso em: 20 abr. 2026.

LI, Pengfei et al. **Making AI less "thirsty": uncovering and addressing the secret water footprint of AI models**. arXiv preprint arXiv:2304.03271v5, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2304.03271>. Acesso em: 29 maio 2025.

OPENAI. **Industrial policy for the intelligence age: ideas to keep people first**. San Francisco: [OpenAI](#), abr. 2026. Acesso em: 14 abr. 2026.

PATTERSON, David et al. **Carbon emissions and large neural network training**. arXiv preprint arXiv:2104.10350, 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2104.10350>. Acesso em: 21 abr. 2026.

REVISTA PESQUISA FAPESP. **As estratégias para tornar os data centers mais sustentáveis**. São Paulo, 17 jul. 2024. Disponível em: [Revista Fapesp](#). Acesso em: 10 out. 2025.

UNIÃO EUROPEIA. **Regulamento (UE) 2024/1689 do Parlamento Europeu e do Conselho**, de 13 de junho de 2024 (Regulamento Inteligência Artificial). Jornal Oficial da União Europeia, 2024. Disponível em: [Jornal Oficial UE](#). Acesso em: 24 abr. 2026.