

# Impactos da IA na sustentabilidade

Nikola Milojevic-Dupont

Escola de verão Climate Change AI 2026

Imagem: Adrien

# Agradecimentos

Obrigado a Priya Donti e Shaolei Ren pelas contribuições e comentários sobre esta aula, e a Lynn Kaack pelos materiais anteriores incluídos!

# Recapitulando: uma relação multifacetada entre AM e clima

**Impactos da computação e do hardware de AM**

**Aplicações de AM para a mitigação da mudança climática**

**Aplicações de AM que aumentam as emissões**

**Impactos sistêmicos do AM**

# Enquete nº 1

Qual das quatro categorias de impacto você acha que pode ter hoje o impacto mais significativo no clima?

**Impactos da computação e do hardware de AM**

**Aplicações de AM para a mitigação da mudança climática**

**Aplicações de AM que aumentam as emissões**

**Impactos sistêmicos do AM**

# Avaliação do ciclo de vida

Toda a cadeia de valor, do **berço** (extração de matérias-primas), passando pela fase de uso, até o **túmulo** (descarte)

Avaliar os **diversos** impactos ambientais

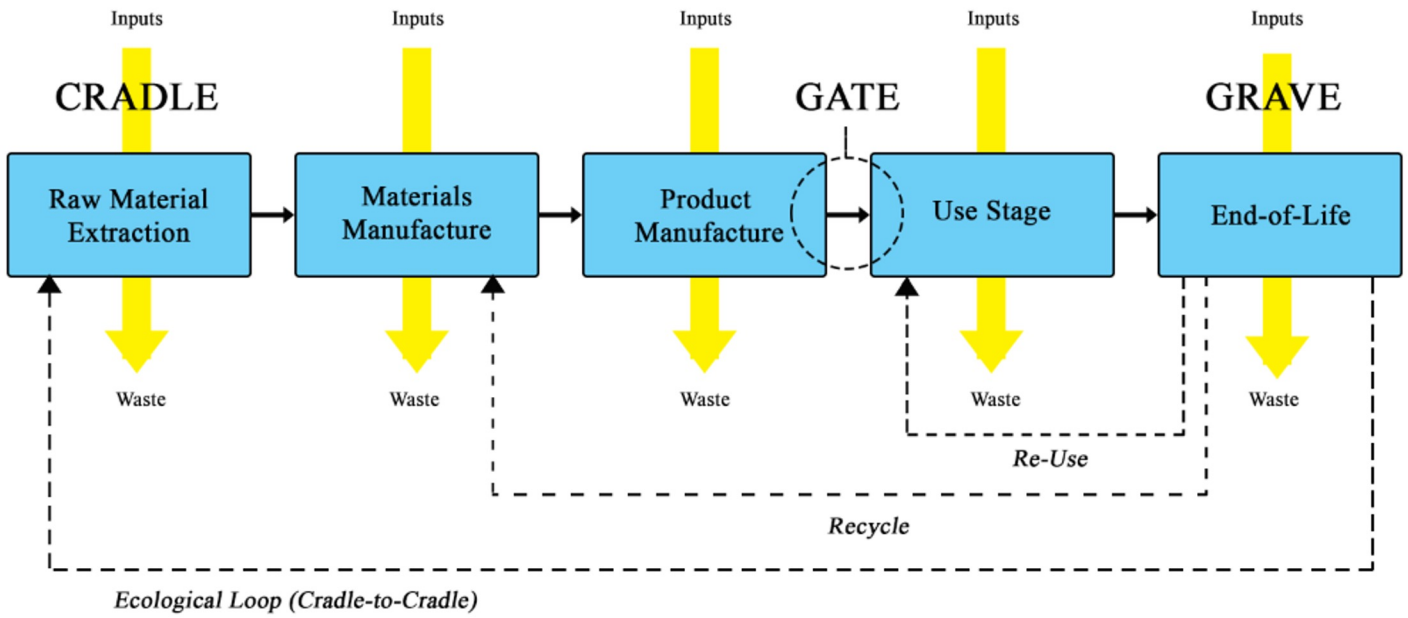



Imagem: Wikipédia

# Análise de inventário: GHG Protocol

- Padrões globais para medir as emissões de GEE de operações dos setores público e privado, cadeias de valor e ações de mitigação
- **Escopo 1:** emissões do uso direto de combustíveis fósseis, p. ex. para aquecimento, frotas
- **Escopo 2:** emissões de eletricidade e calor comprados
- **Escopo 3:** emissões das cadeias de valor, incluindo clientes
- Também ampliado à água

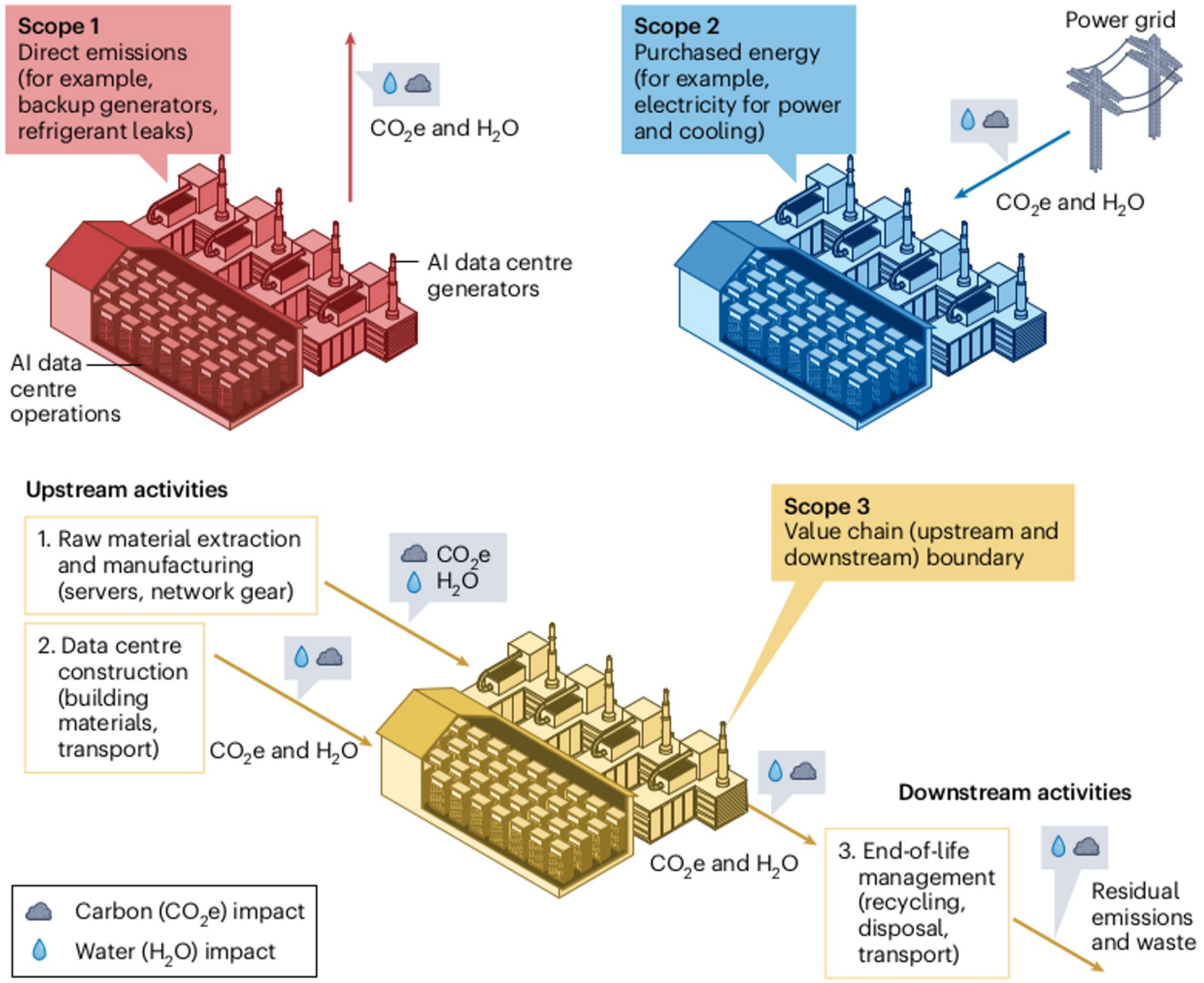
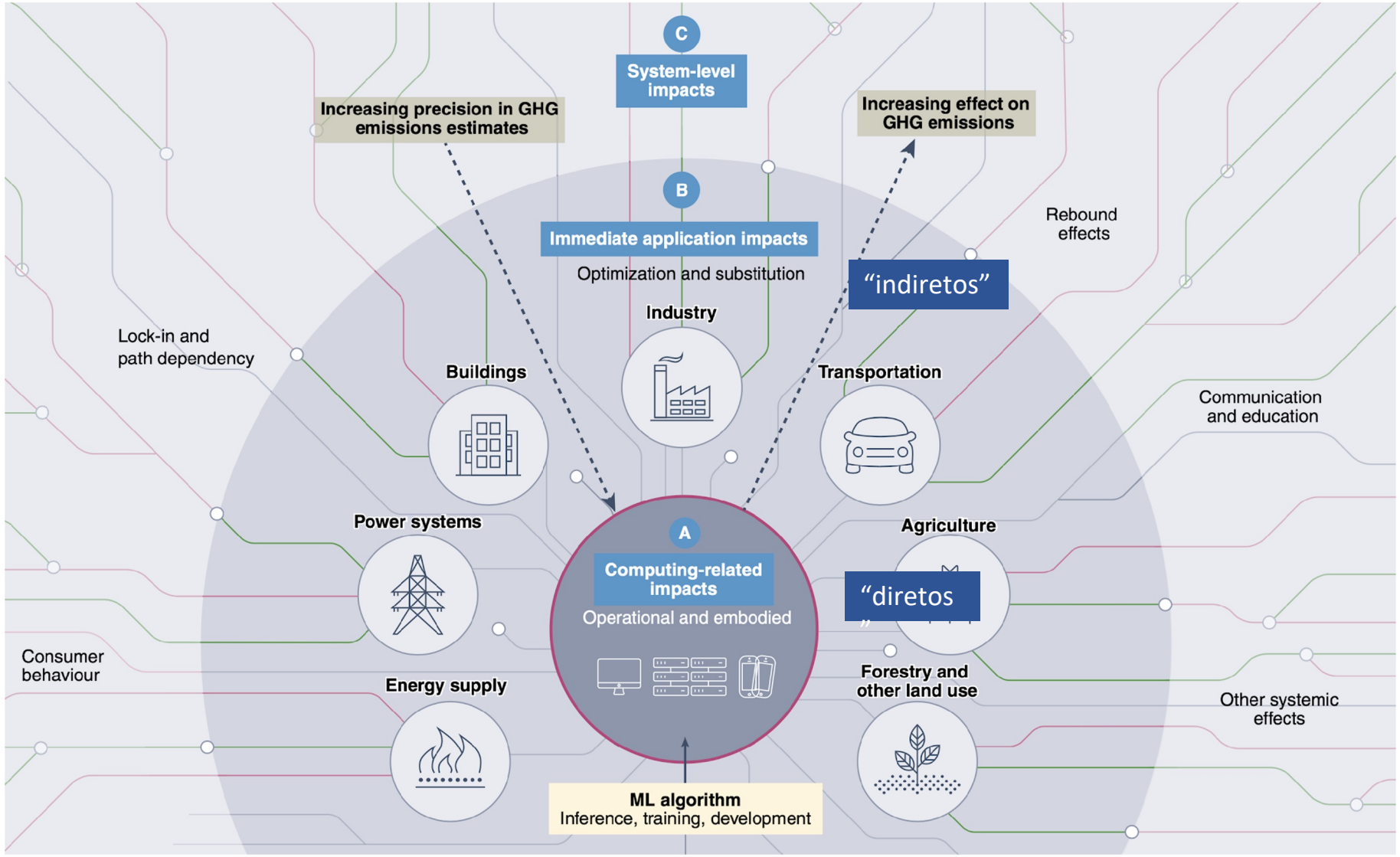



Imagem: Chien et al, 2026, Nature Reviews Clean Technology

# Como a IA afeta as emissões de gases de efeito estufa




*Kaack, L. H., Donti, P. L., Strubell, E., Kamiya, G., Creutzig, F., & Rolnick, D. (2022). Nature Climate Change, 1-10.*

# Roteiro da aula

Impactos da computação

Impactos das aplicações

Impactos sistêmicos

Considerações transversais

Regular o uso de energia e recursos da IA

# Roteiro da aula

**Impactos da computação**

Impactos das aplicações

Impactos sistêmicos

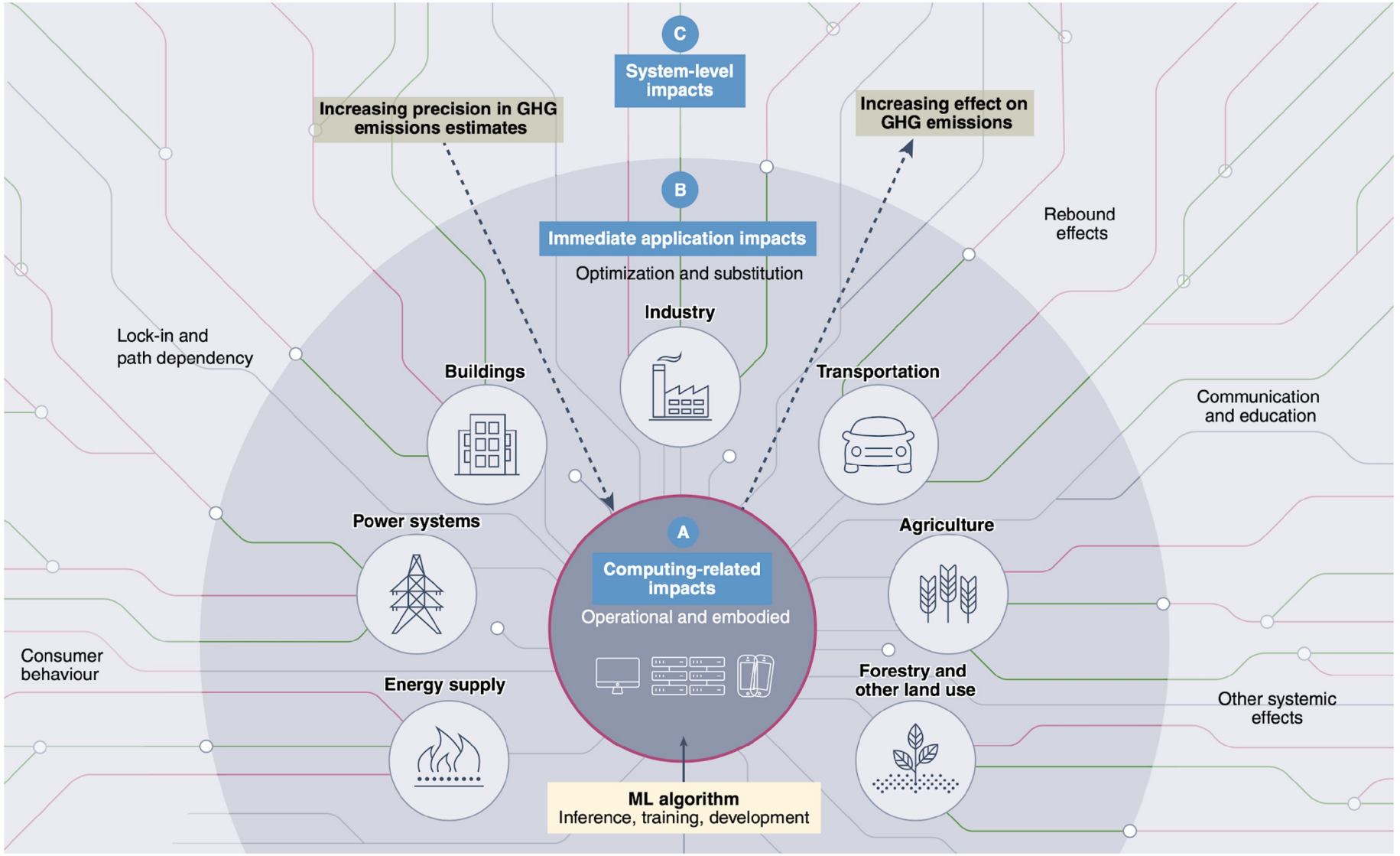
Considerações transversais

Regular o uso de energia e recursos da IA

Treinamento, inferência

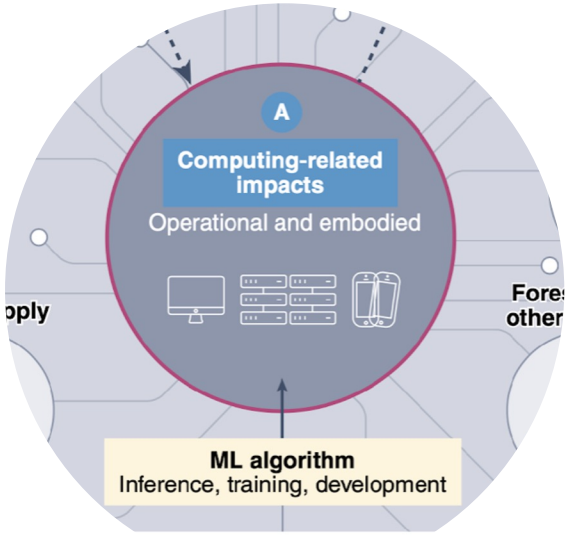
Impactos diferenciados por tarefas e modelos

# Como a IA afeta as emissões de gases de efeito estufa




*Kaack, L. H., Donti, P. L., Strubell, E., Kamiya, G., Creutzig, F., & Rolnick, D. (2022). Nature Climate Change, 1-10.*

# Como a IA afeta as emissões de gases de efeito estufa



# Impactos da computação e do hardware de AM

**Emissões operacionais** da energia consumida durante a computação

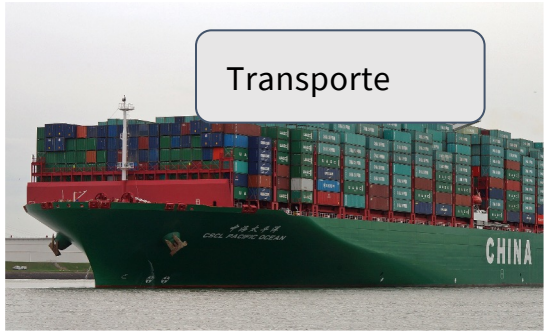






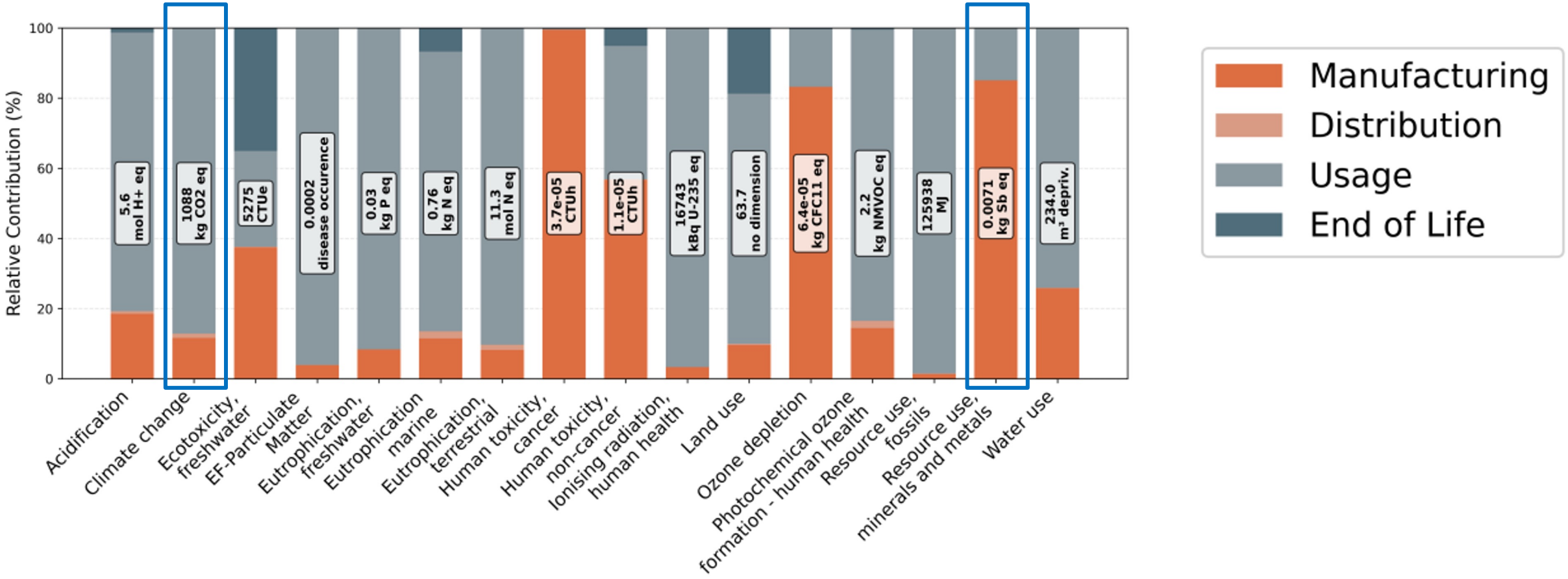
**Emissões incorporadas** da produção e do fim de vida do hardware






# Impactos de uma placa de GPU na sustentabilidade

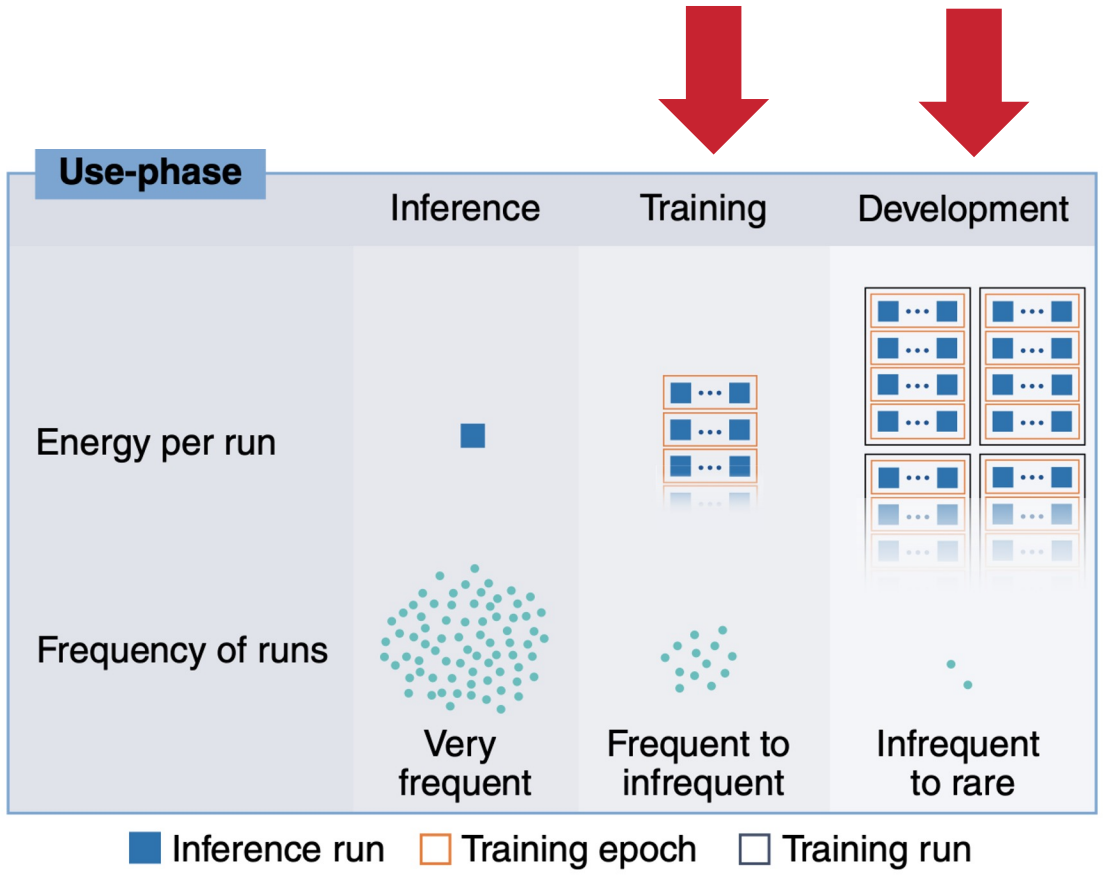



- Emissões operacionais >> emissões incorporadas
- Importância da mineração

Fonte: arxiv.org/abs/2509.00093

# Emissões do AM ligadas à computação:

# Desenvolvimento e treinamento



# Lembrete:

A IA não é “uma coisa só”

Os modelos têm tamanhos diferentes



# O TAMANHO DO MODELO INFLUENCIA A DEMANDA DE ENERGIA PARA O TREINAMENTO

~ 2 dias de abastecimento elétrico de Berlim

Parameters and electricity consumption evaluations for several leading LLMs.

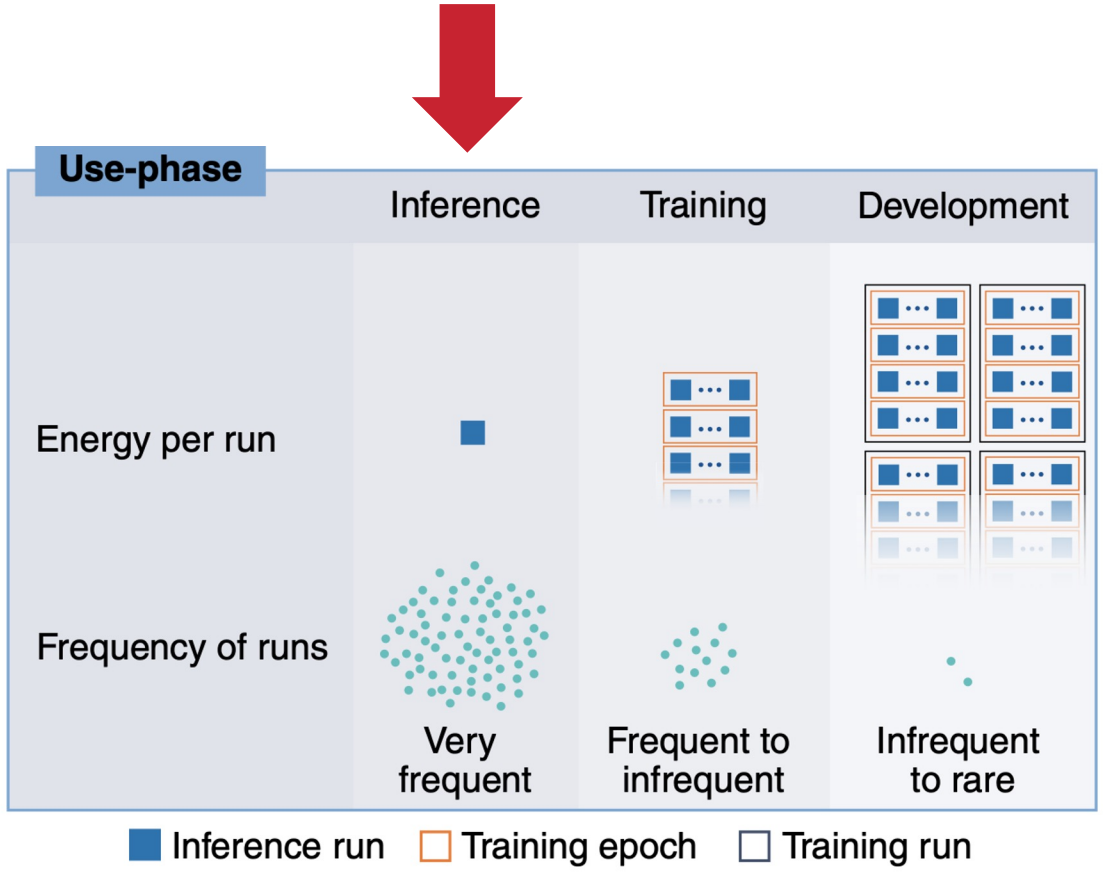
| Developer | Model | Released year | Number of parameters (billion) | Accelerator type | Electricity consumption (MWh) | $CO_2$ emissions (ton) | Literature |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Google | BERT | 2018 | 0.1 | GPU V100 | 1.5 | 0.7 | [13,14] |
| | GLaM | 2021 | 1162 | TPU v4 | 456 | 40 | [19] |
| | PaLM | 2022 | 540 | TPU v4 | 3436 | 271.4 | [38] |
| OpenAI | GPT-2 | 2019 | 1.5 | TPU v3 | 1.7 | 0.7 | [14,39] |
| | GPT-3 | 2020 | 175 | GPU V100 | 1287 | 552 | [32,40] |
| | GPT-4 | 2023 | 1800 | GPU A100 | 51,772 to 62,318 | 12,456 to 14,994 | [41,42] |
| Meta | OPT | 2022 | 175 | GPU A100 | 324 | 75 | [43] |
| | LLaMA 2 | 2023 | 7 | GPU A100 | 74 | 31.2 | [44] |
| | | | 13 | | 147 | 62.4 | [44] |
| | | | 70 | | 688 | 291.4 | [44] |
| | LLaMA 3 | 2024 | 1 | GPU H100 | / | 107 | [45,46] |
| | | | 3 | | / | 133 | [45,46] |
| | | | 8 | | / | 390 to 420 | [45,46] |
| | | | 70 | | / | 1900 to 2040 | [45,46] |
| | | | 405 | | / | 8930 | [45,46] |
| BigScience | BLOOM | 2022 | 1 | GPU A100 | 159 | 9.1 | [18] |
| | | | 104 | | 267 | 15.2 | [18] |
| | | | 176 | | 433 | 24.7 | [18] |
| DeepMind | Gopher | 2021 | 280 | TPU v3 | 1151 | 380 | [13,47] |
| | | | | / | 1066 | 352 | [4] |
| TII | Falcon | 2023 | 40 | GPU A100 | 163[b] | 8 to 90[b] | [48–50] |
| | | | 180 | | 2,940[b] | 147 to 1,617[b] | [48–50] |
| Mistral AI | Mixtral 8 × 7B | 2024 | 47[a] | GPU A100 | 232[b] | 6.3[b] | [51–53] |
| DeepSeek | DeepSeek-V3 | 2024 | 671[a] | GPU H800 | 1,025[b] | 550[b] | [54,55] |

[a] These values denote the total number of parameters, with different quantities activated depending on the model architecture.

[b] The electricity consumption data of some LLMs lack direct values from open-published literature. Thus, these data are estimated, and the estimation process is provided in Appendix Table A1.

Fonte: Zhenya Ji e Ming Jiang 2026, https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116159.

# Emissões do AM ligadas à computação: Inferência



# As emissões da inferência estão crescendo

- Meta e Google relatam que as emissões da inferência superam as do treinamento
- Dependendo do uso, o treinamento ou a inferência pode dominar
- Os consumidores precisam de transparência para comparar modelos



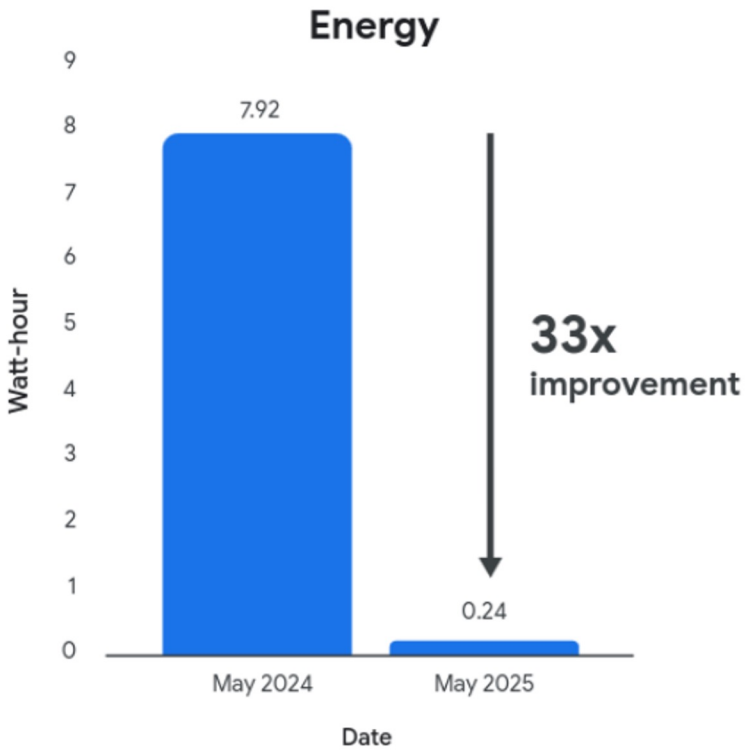

| Model | | Request freq. | Energy (kWh) | # inf. to equal training |
|---|---|---|---|---|
| Llama 3.1 | 8B | ∞ | 0.011 | 276B |
| | | 8 | 0.051 | 59.5B |
| | | 1 | 0.333 | 9.12B |
| OLMo 2 | 7B | ∞ | 0.018 | 20.9B |
| | | 8 | 0.049 | 7.68B |
| | | 1 | 0.348 | 1.05B |
| OLMo 2 | 13B | ∞ | 0.033 | 22.1B |
| | | 8 | 0.057 | 12.8B |
| | | 1 | 0.386 | 1.89B |

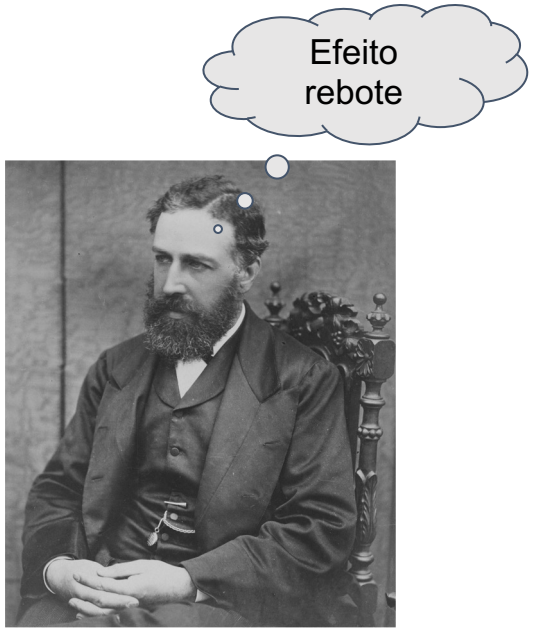
Jacob Morrison, Clara Na, Jared Fernandez, Tim Dettmers, Emma Strubell, Jesse Dodge. Holistically Evaluating the Environmental Impact of Creating Language Models. ICLR 2025 (Spotlight).

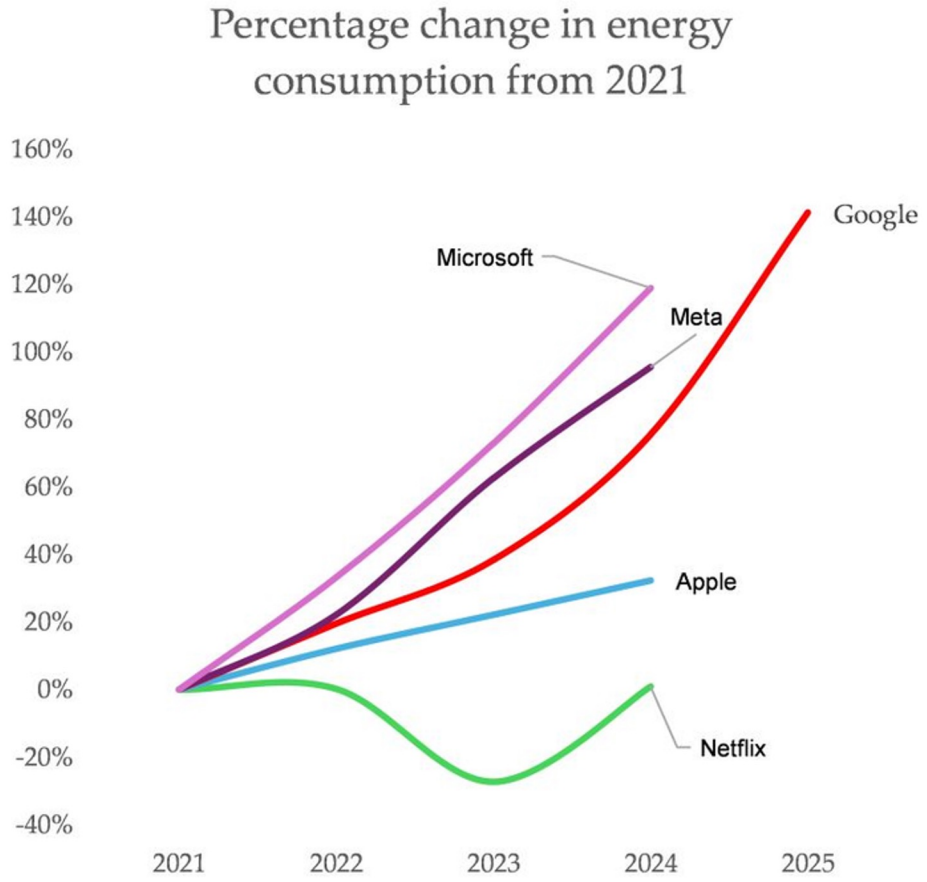
# Mais eficiência... em grande parte anulada pelo crescimento do uso

**Gemini efficiency improvements**

Energy and carbon efficiency improvements per median Gemini Apps text prompt from May 2024 to May 2025.

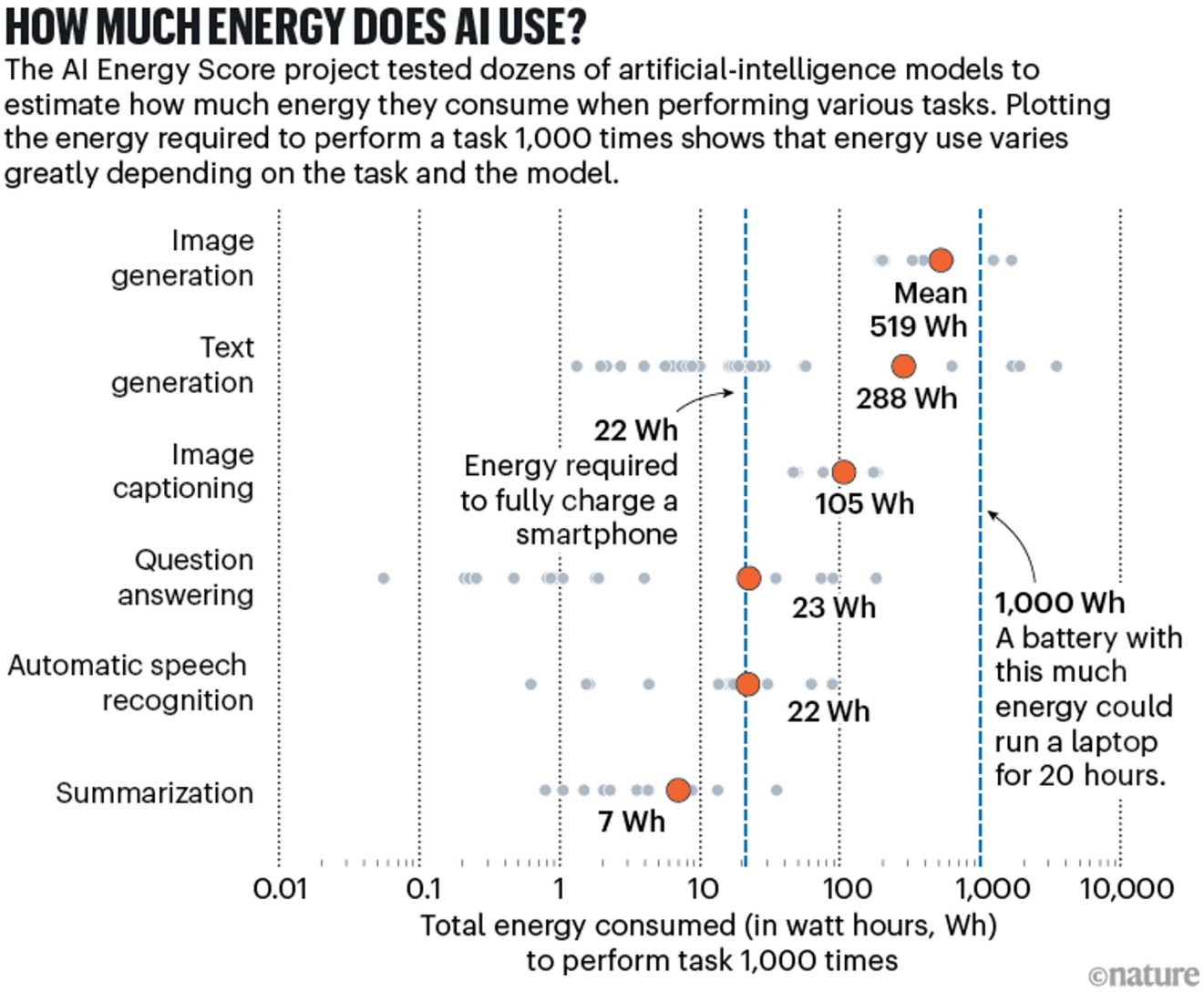



Fontes: Google, Ketan Joshi

# Grandes diferenças na energia de inferência entre tarefas




Fontes: https://www.nature.com/articles/d41586-025-00616-z com base em Luccioni et al., Hugging Face Energy Score

# Enquete nº 2

Qual é a ordem de grandeza entre

um **prompt**

e um **vídeo de 8 segundos em definição média**?

a) x 10, b) x 100, c) x 1.000, d) x 10.000

Sustainable AI Group

# **Lights, Camera, Carbon**: Architectural Scaling Laws for Video Generation Energy Consumption

*Nidhal Jegham, Boris Gamazaychikov, Sasha Luccioni*

## Sora 2.0 Pro is gone.
## Here's what it cost to run.

OpenAI discontinued Sora in March 2026. We estimated its energy footprint from architecture and API timing alone, with no access to model weights required.

Per 8-second, 720p video generated

**418.5 Wh**

≈ 1,700× the energy of one Gemini text prompt (0.24Wh)

**602.6 GWh**

estimated if 4M users generated 2 videos/day for 6 months

**~113,000**

US households' electricity use during the same period, equivalent

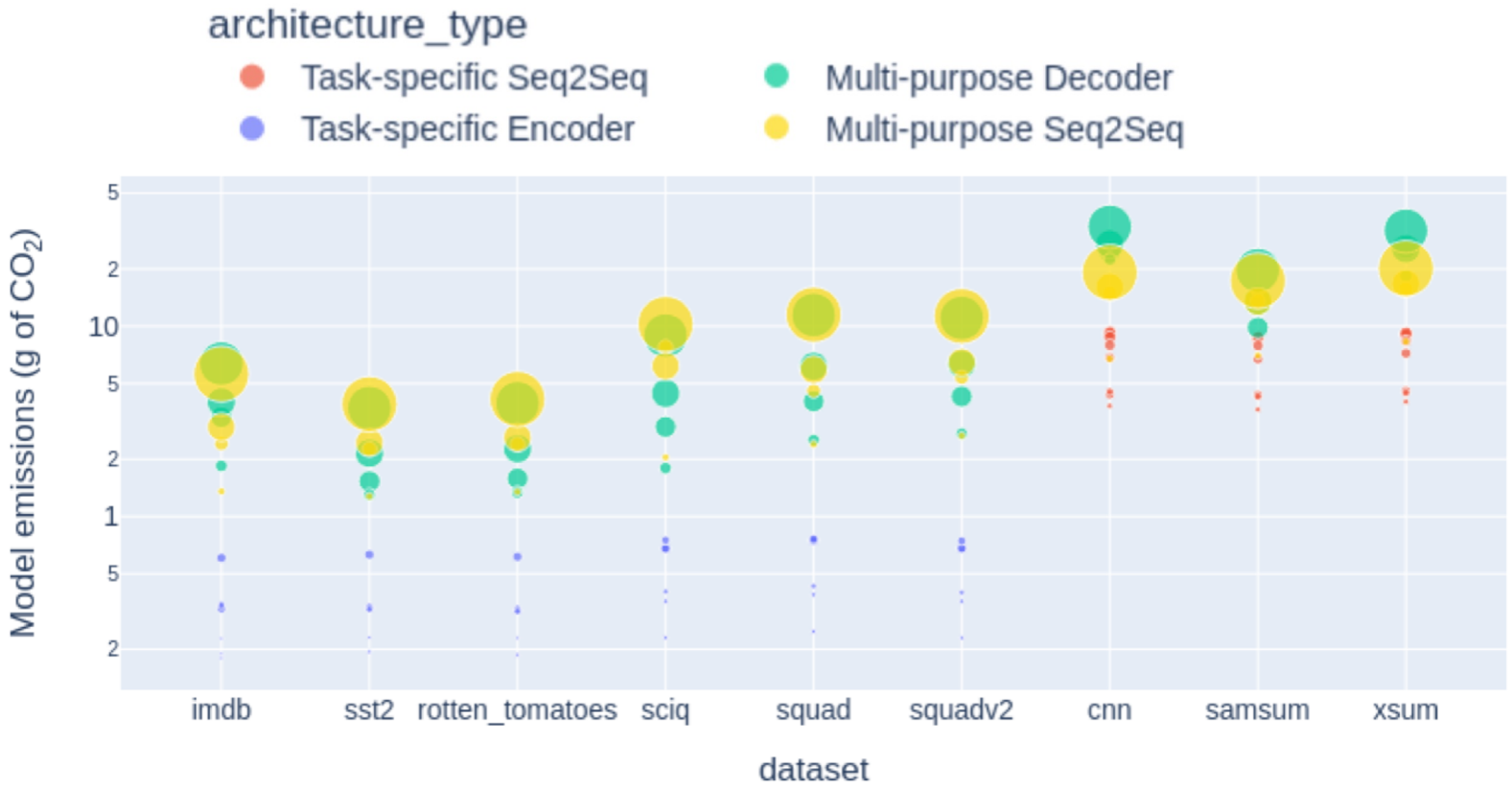
# IA com pouco uso de energia é comum e possível

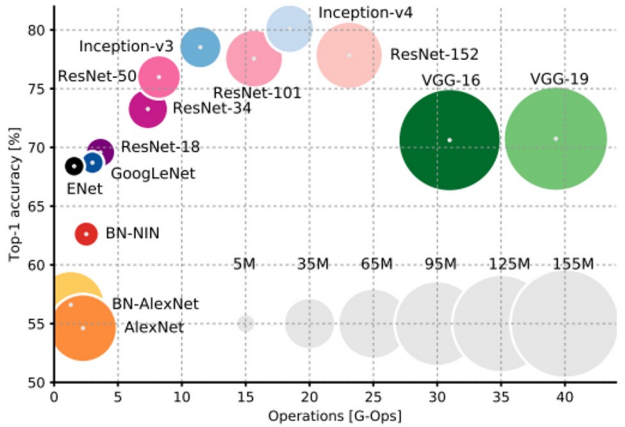
# → IA FRUGAL

| Common Myth | Strategic Reality | Takeaways |
|---|---|---|
| Frugal AI = Cheap, Low Quality | Frugal AI prioritizes efficient, high-impact solutions, not cutting corners. | Reframe cost-saving as value-maximization through smarter, leaner AI investments. |
| Low-tech can't scale | Simple tools (WhatsApp, SMS, low-code AI) power platforms used by millions globally. | Embrace context-appropriate scaling – not every solution needs enterprise-grade infrastructure. |
| Only big tech can do AI | AI is increasingly democratized; startups and small teams build effective, lean models. | Tap into ecosystem partnerships and pilot frugal solutions for niche or underserved markets. |
| Frugal = Outdated Tech | Frugal AI leverages modern techniques (edge AI, model compression, efficient models). | Integrate Frugal AI metrics (TCO, energy score) into procurement and solution architecture. |

White paper "Frugal AI: Driving Sustainable, Inclusive, and Scalable Innovation", 2025

# Usar modelos **de uso geral** para inferência é **muitas vezes ineficiente** em comparação com **modelos específicos**




Mais parâmetros

→ mais energia

Luccioni, Alexandra Sasha, Jernite, Yacine, and Strubell, Emma. "Power Hungry Processing: ⚡Watts ⚡ Driving the Cost of AI Deployment?" *arXiv preprint arXiv:2311.16863 (2023)*

# Mais dados ≠ sempre melhor desempenho

**Table 6.1**
Overall test set performance of local and global models (the best prediction performance on each local test set is highlighted in bold font).

| Model | Trained on | Training epochs | Training samples | Training effort | Test RMSE (↓) on | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Stanford | SIRTA | DEWA |
| SUNSET | Stanford | 21.2 ± 6.1 | 125,876 | 2.67 ± 0.77M | 2.68 | 136.96 | 155.82 |
| | SIRTA | 9.6 ± 1.8 | 438,172 | 4.21 ± 0.81M | 6.53 | 96.42 | 219.79 |
| | DEWA | 11.8 ± 2.2 | 85,278 | 1.01 ± 0.19M | 4.65 | 160.28 | **89.49** |
| | Stanford+SIRTA | 28.6 ± 5.6 | 564,048 | 16.13 ± 3.15M | **2.61** | **96.34** | 129.21 |
| ConvLSTM | Stanford | 11.7 ± 2.7 | 125,876 | 1.47 ± 0.34M | 2.62 | 113.05 | N/A |
| | SIRTA | 5.6 ± 2.6 | 438,172 | 2.49 ± 1.13M | 4.39 | 96.46 | N/A |
| | Stanford+SIRTA | 6.0 ± 1.7 | 564,048 | 3.36 ± 0.99M | **2.62** | **95.53** | N/A |

O artigo também mostra que **ajustar um modelo global com dados da DEWA** (todos ou um subconjunto grande o suficiente) gera **desempenho semelhante** para a DEWA em comparação com o **modelo local da DEWA** (mas com maior esforço total de treinamento)

Nie, Yuhao, et al. "Sky image-based solar forecasting using deep learning with heterogeneous multi-location data: Dataset fusion versus transfer learning." *Applied Energy* 369 (2024): 123467.

Stanford = Stanford University (Stanford, Califórnia, EUA)
SIRTA = Observatório atmosférico SIRTA (Palaiseau, França)
DEWA = Dubai Electricity and Water Authority (Dubai, EAU)

# Rumo a modelos locais

**Julien Chaumond** • 2nd
CTO at Hugging Face
2mo •

Connect

This is where we are right now. And it feels pretty magical 🧚

Qwen3.6 27B running inside of Pi coding agent via Llama.cpp on the MacBook Pro

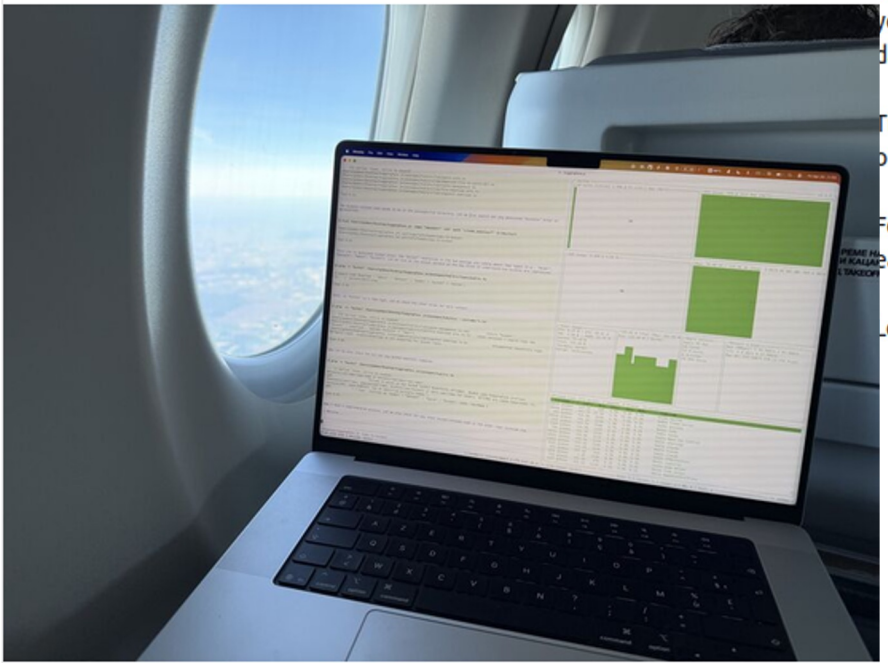
For non-trivial tasks on the **Hugging Face** codebases, this feels very, very close to hitting the latest Opus in Claude Code, or whatever shiny monopolistic closed source API of the day is.

In full airplane mode.

Most people haven't realized this yet.

If you have, it means you have a huge headstart to what I call the second revolution of AI.

Powerful local models for efficiency, security, privacy, sovereignty 🔥



**Clem Delangue** 🤗 • Following
Co-founder & CEO at Hugging Face
1w •

A study from **Stanford University** showed that 71.3% of chatgpt queries could be accurately answered by a local model. I suspect a major part of enterprise AI workloads could be run locally too for free (compared to the massive costs of frontier API cost).

Also, it reduces the risk of these workloads being taken away from you because you own the models instead of renting them - which sounds like a good idea these days haha.

That's why we're introducing the ability for everyone to filter AI models on **Hugging Face** based on your local hardware.

For me, there are 800k+ public models that fit on my M5 24GB and that I can use easily thanks to llamacpp.

Let's go local AI!

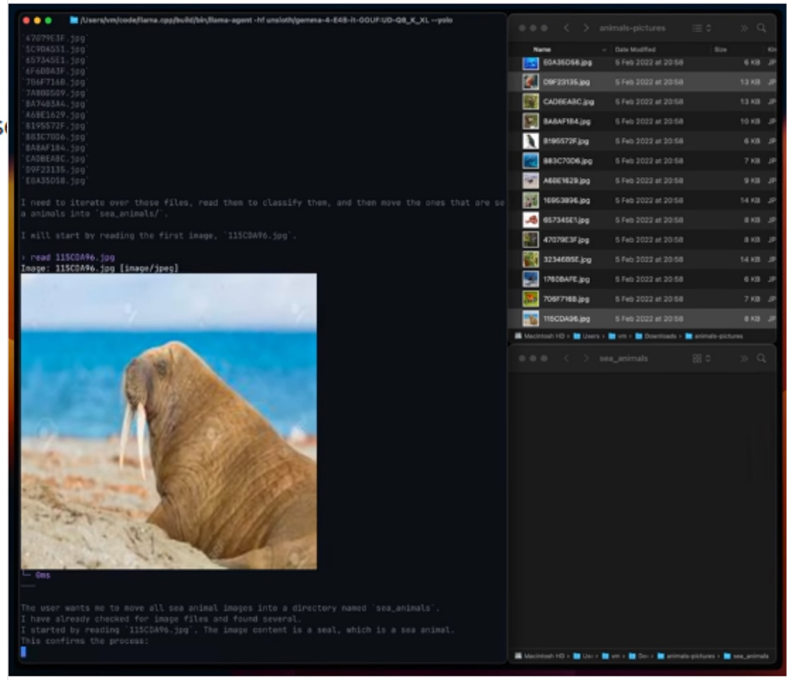
**Victor Mustar** • 2nd
Head of Product at Hugging Face
3mo •

+ Follow

I just watched the latest Google Gemma 4 open model work on my laptop. No cloud. No API key. No catch.

I pointed Gemma 4 E4B at a folder of mixed photos and asked it to sort the sea animals into their own directory. It opened each image, identified what it saw, and moved the files. All locally, in one agentic session, on a model small enough to fit in 5GB of RAM.

Three years ago this needed a data center. Today it runs while you're offline on a plane.

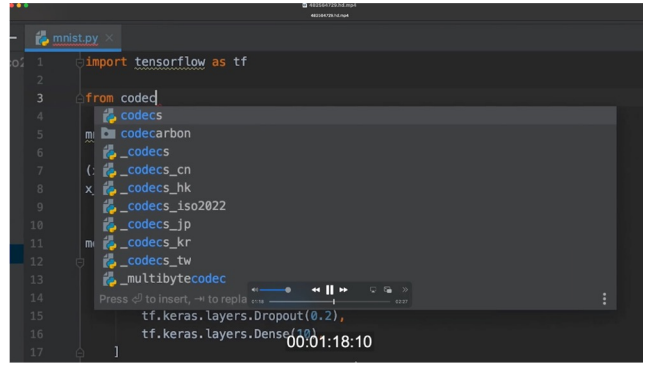


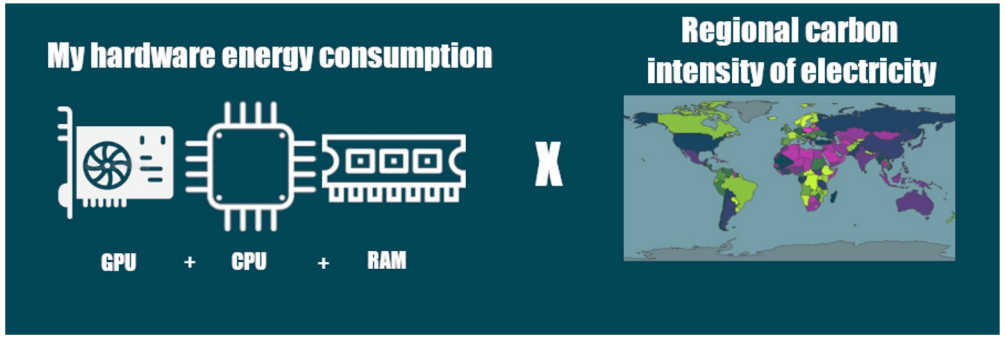
# Frugalidade no desenvolvimento de IA

- Frugal AI Challenge: incentivar atores acadêmicos e da indústria a ter a eficiência em mente ao implantar modelos de IA
- Acompanhar o consumo de energia **e o** desempenho
- Incentivar a frugalidade na implantação da IA enfrentando ao mesmo tempo desafios reais.
- Tarefas:
  - Detectar desinformação climática
  - Classificar regiões com risco de incêndios florestais,
  - Detectar desmatamento ilegal.



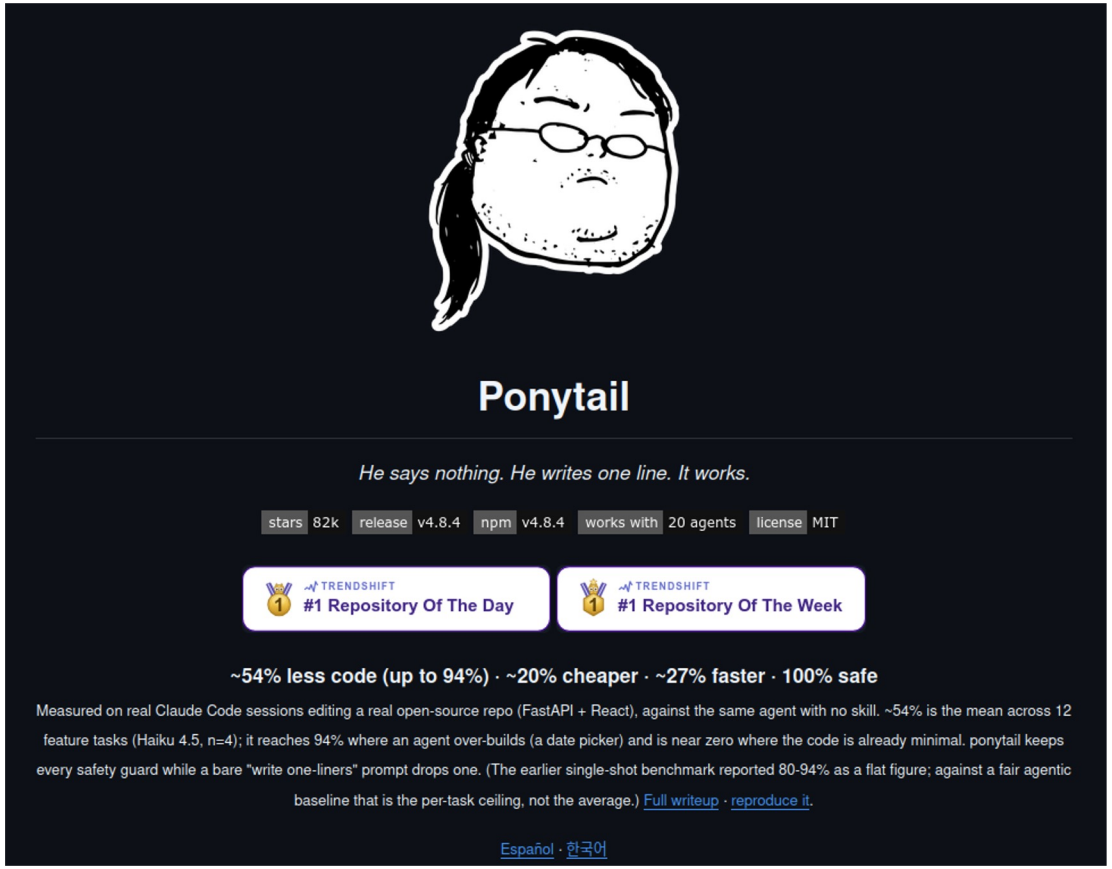

**Code Carbon**

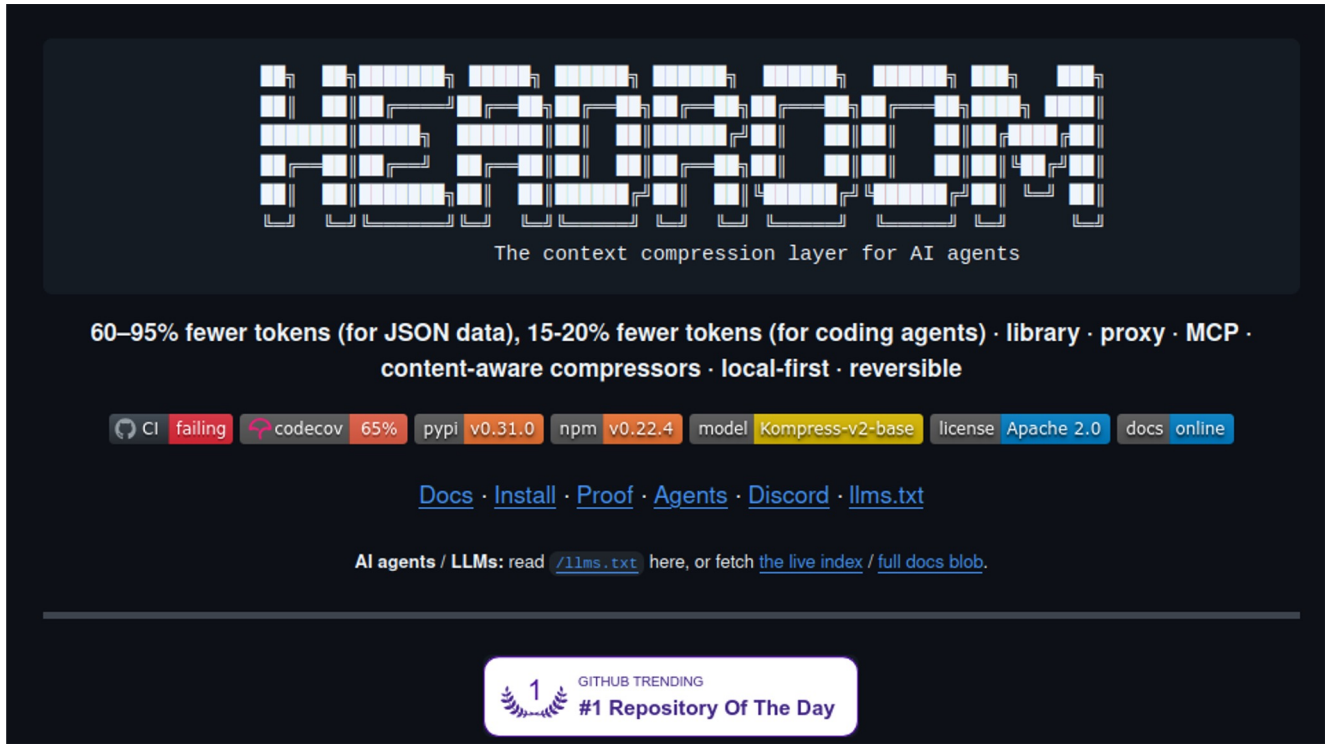


# As camadas em torno do modelo também importam

# → Fugir do "token maxxing" com skills etc.



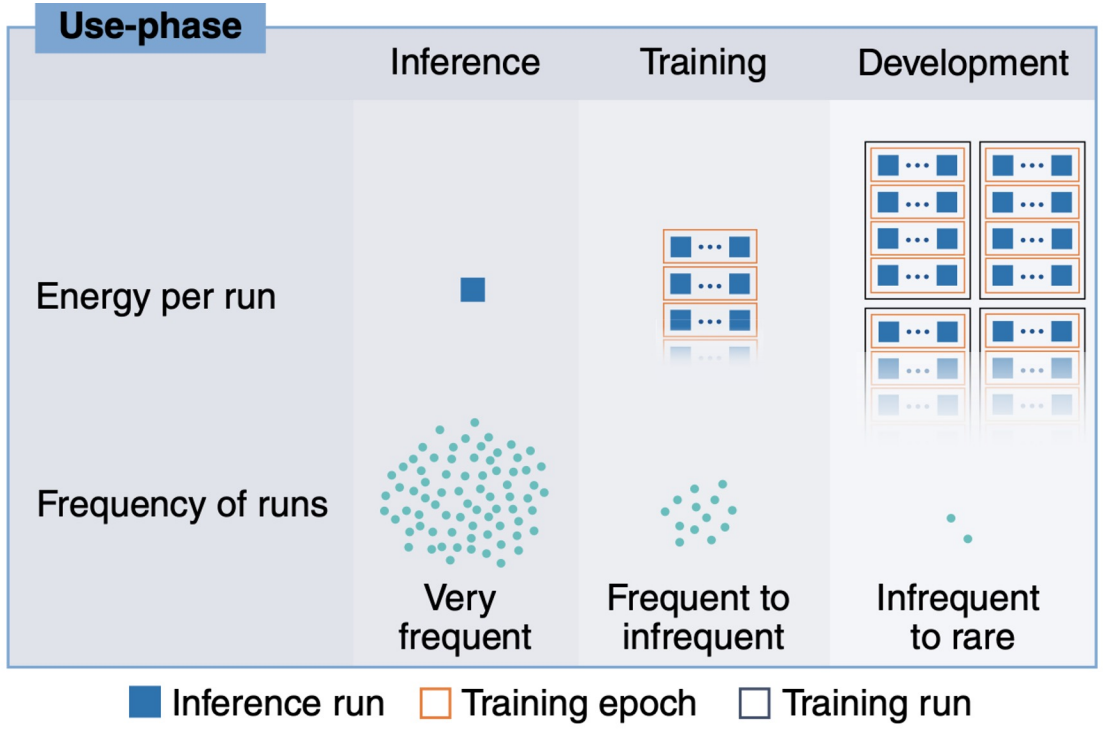
# TinyML: rodando IA em microcontroladores

| | Cloud AI (NVIDIA V100) | | Mobile AI (iPhone 11) | | Tiny AI (STM32F746) | | ResNet-50 | MobileNetV2 | MobileNetV2 (int8) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Memory** | 16 GB | 4× → | 4 GB | 3100× → | **320 kB** | ← gap → | 7.2 MB | 6.8 MB | 1.7 MB |
| **Storage** | TB~PB | 1000× → | >64 GB | 64000× → | **1 MB** | ← gap → | 102MB | 13.6 MB | 3.4 MB |

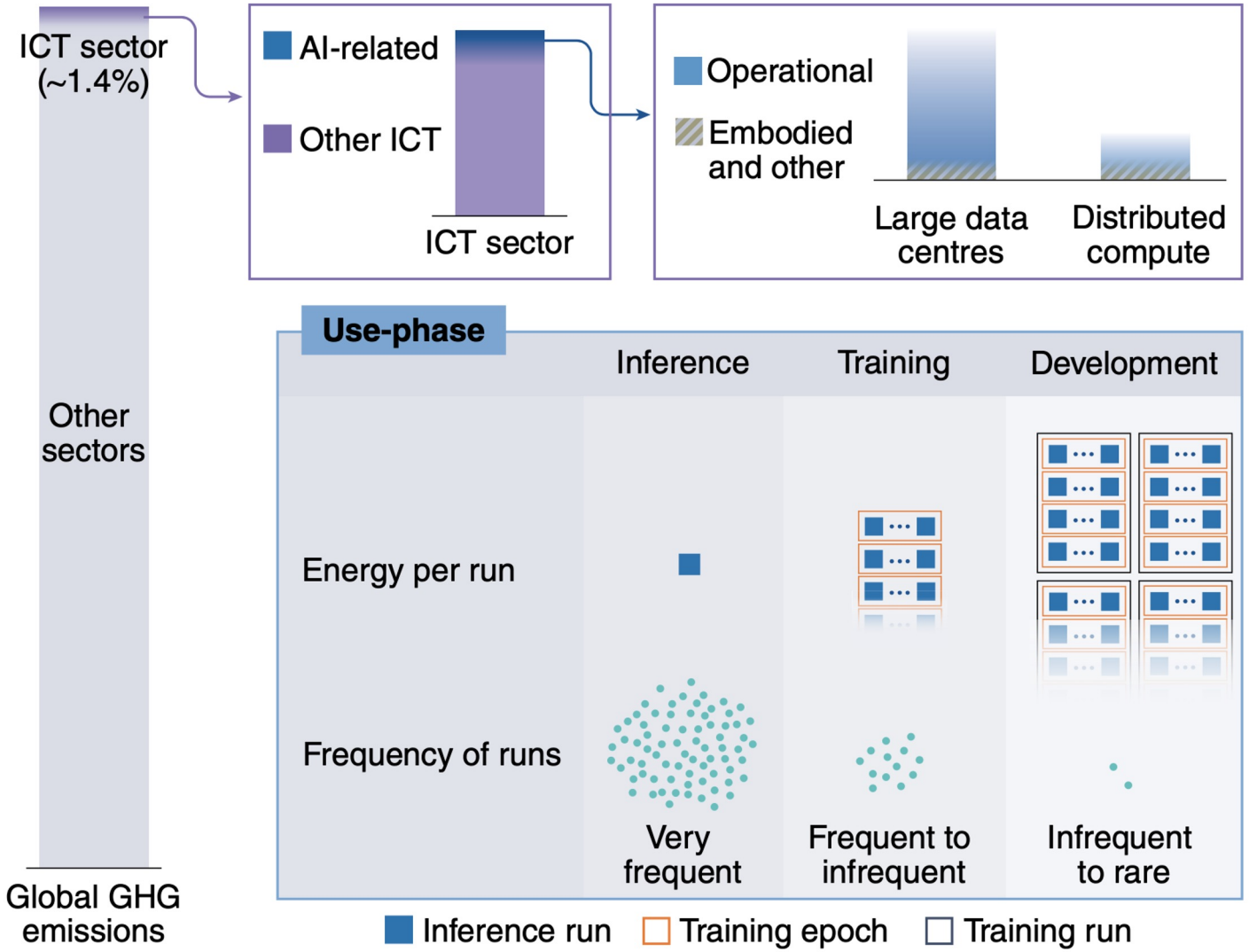


Lin et al 2024 Tiny Machine Learning: Progress and Futures; seedstudio.com

# Passando de uma **visão de baixo para cima...**

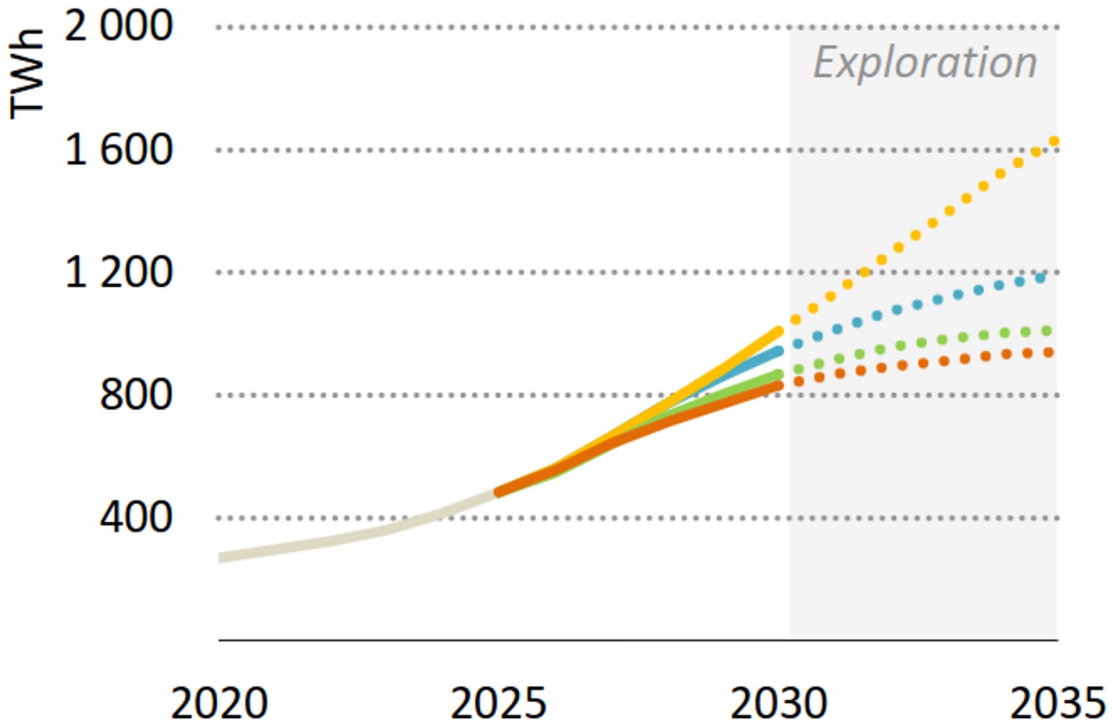


# ...PARA UMA **PERSPECTIVA** DE CIMA PARA BAIXO



# A demanda de eletricidade cresce rapidamente




**Aumento de 6%**

**entre 2010 e 2018**

(apesar de um aumento de 5,5x nas instâncias de computação)

**Aumento de 250–500%**

**entre 2020 e 2035**

Estimativas aproximadas, com base em:
Masanet, Eric, et al. "Recalibrating global data center energy-use estimates." Science (2020)

Fonte: AIE, “Energy and AI” 2026

# Enquete nº 3

Qual **fonte de energia** deve ser a **mais implantada** para **atender ao aumento da demanda** de eletricidade da IA?

a) renováveis, b) carvão, c) gás, d) nuclear

# Oferta adicional de eletricidade:

## Intensidade de carbono?

## Usos concorrentes?

## Impactos associados?



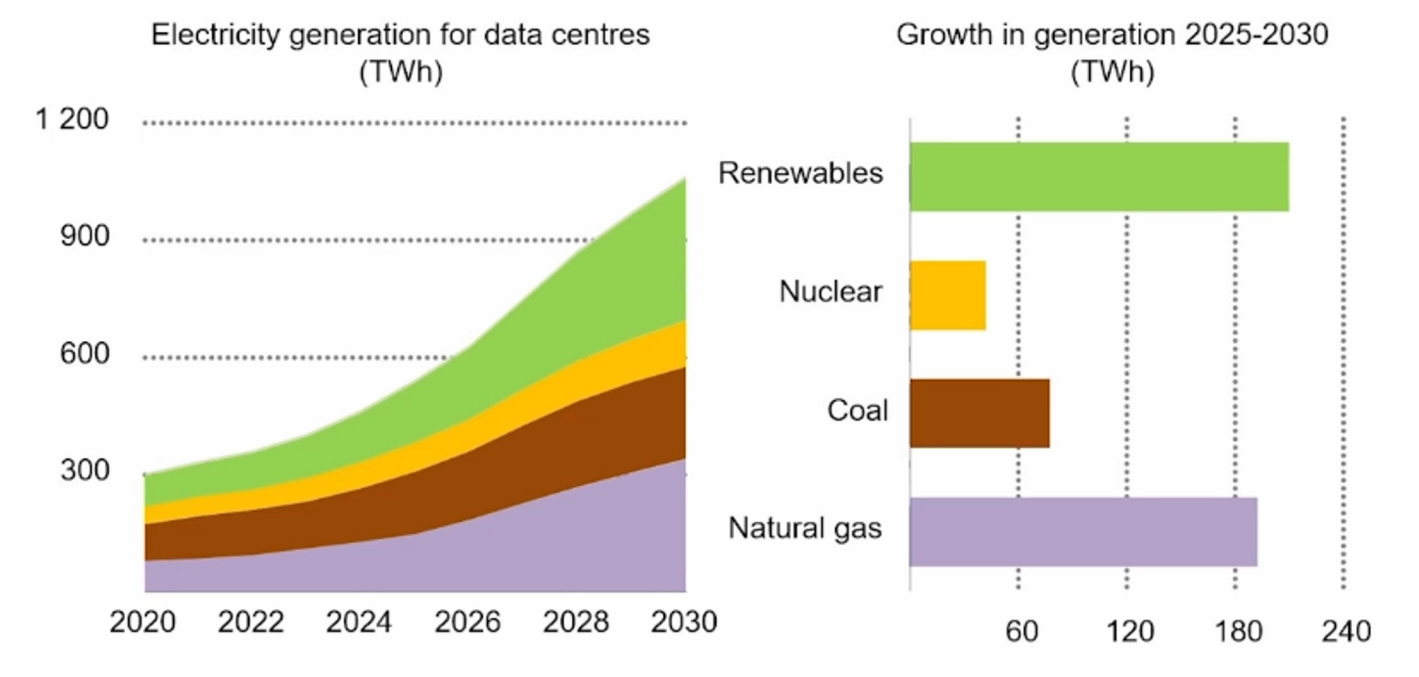
COMPANIES / ENVIRONMENT

Frontier Raises Over $900 Million for Carbon Removal Investments from Google, Anthropic and Others

ENERGY

**Chevron to fuel massive Microsoft data center in Texas using natural gas**

PUBLISHED MON, JUN 22 2026•7:59 AM EDT | UPDATED MON, JUN 22 2026•3:19 PM EDT




Fonte: AIE, “Energy and AI” 2026

# INTEGRAÇÃO À REDE DOS DATA CENTERS: CONSUMO COM PICOS

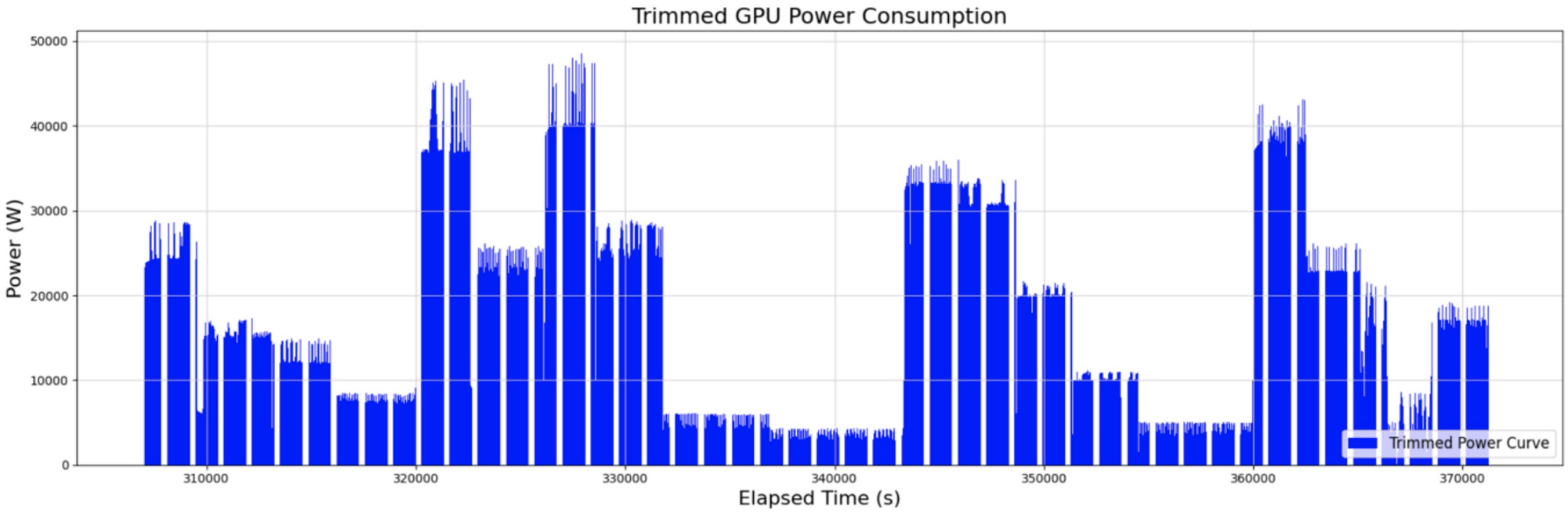



Fig. 6. Power Consumption of BERT in MIT Supercloud Dataset (Peak power consumption of approximately 48.70 kW, with an average consumption of 17.80 kW and a standard deviation of 12.39 kW. The job ran for an extended period of 4 days).

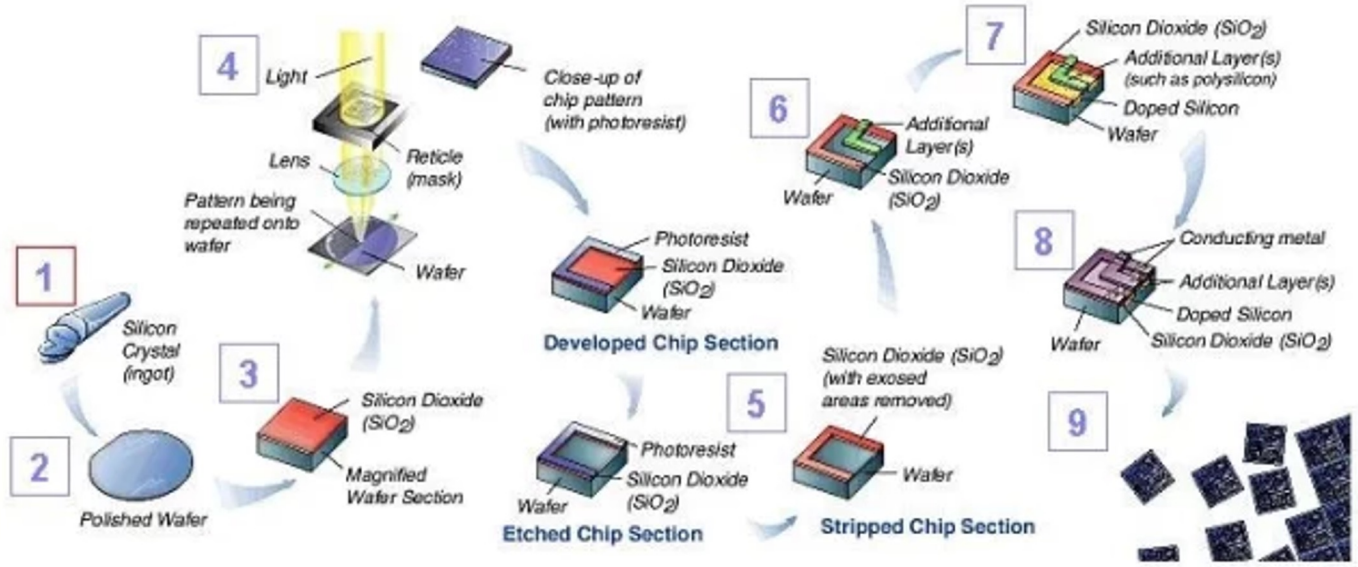
Li, Yuzhuo, et al. "The unseen AI disruptions for power grids: LLM-induced transients." *arXiv preprint arXiv:2409.11416* (2024).

# Lições para a prática (energia)

- É importante pensar nas necessidades de energia dos modelos
- Nem todos os modelos usam muita energia! Modelos grandes vs. pequenos 💻
- O consumo dos maiores modelos não desacredita a IA para o clima como um todo
- Tente usar um modelo pequeno / específico quando possível: ganhos de eficiência significativos
- Pense em quais tarefas têm mais impacto e quais podem ser desperdício
- Há ferramentas para calcular os impactos de energia/GEE do seu projeto, p. ex. Code Carbon

# Impactos de sustentabilidade além dos GEE: matérias-primas

**As matérias-primas** usadas para fabricar chips vêm de 50 dos 90 elementos naturais da Terra. Para alguns, os estoques estão se esgotando rapidamente.



# Impactos de sustentabilidade além dos GEE: Água

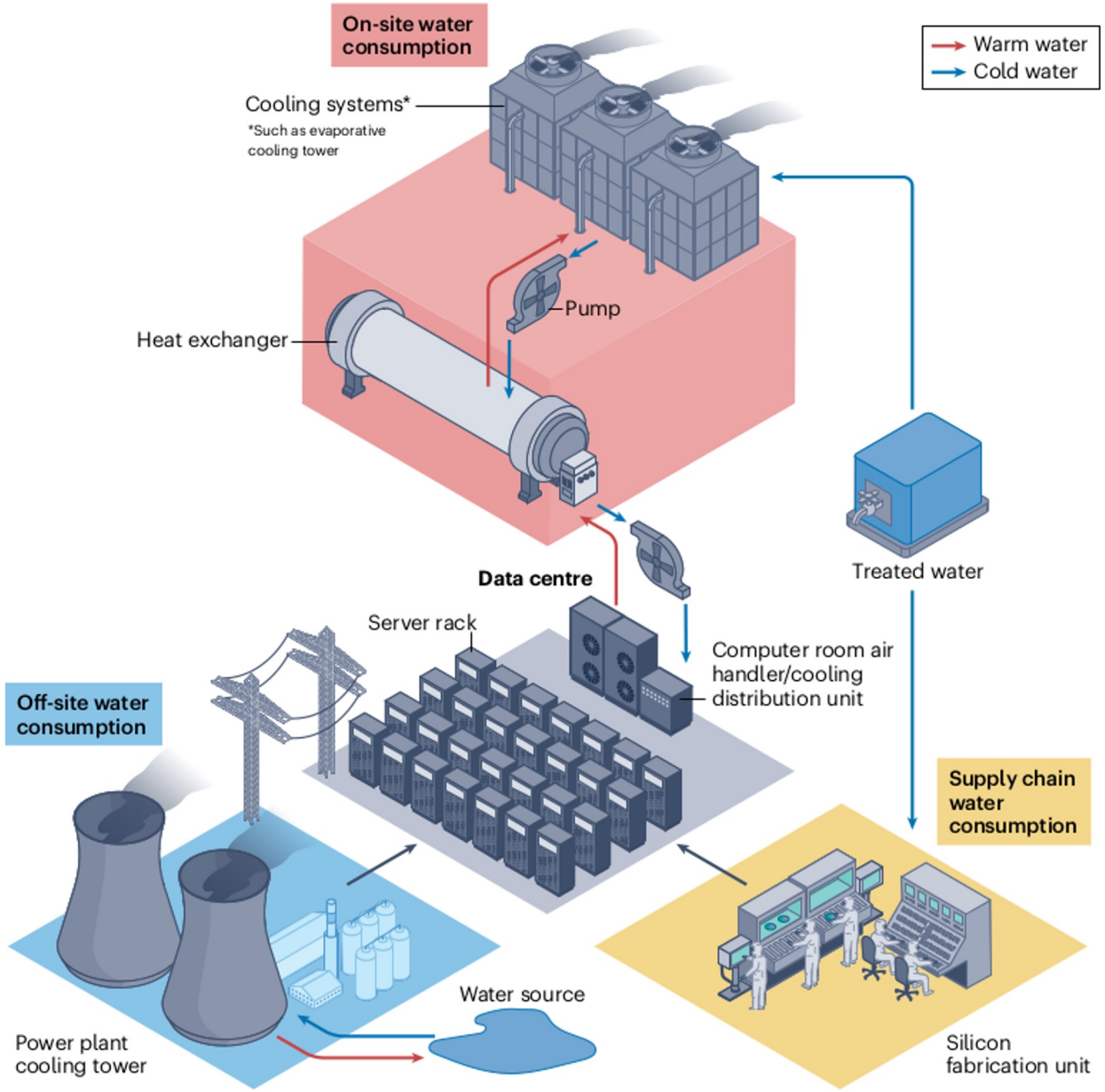



Imagem: Chien et al, 2026, Nature Reviews Clean Technology

# Enquete nº 4

O uso **direto** ou **indireto** de água dos data centers é maior?

a) direto,  b) indireto,  c) semelhante

# Água: impactos diferenciados

- **Captação de água** vs. **consumo de água** vs. **descarga de água**
- Cerca de 50% é consumo; o uso direto hoje é menos de 0,5% do consumo de água dos EUA

- **Uso indireto >>> uso direto** (até 80%)
- Captação global de água projetada (escopos 1 + 2) em 2027:
  - 4,2–6,6 bilhões de metros cúbicos (mais de 4–6x a Dinamarca ou metade do Reino Unido)

- **Impacto/estresse local:** o problema costuma estar mais nos **picos** do que nos totais anuais;
- A Bloomberg News relata que cerca de dois terços dos data centers dos EUA construídos desde 2022 estão em áreas de alto estresse hídrico.



The Bottle: Annual Use. National totals seem modest and manageable on paper.



The Pipe: Peak Demand. Massive withdrawals on hot days strain local infrastructure.

Imagem: Shaolei Ren

# Água: soluções para reduzir a demanda?

- O resfriamento líquido "**em circuito fechado**" (sem evaporação) reduz o uso de água quase a zero, mas exige mais energia (e pode criar mais picos)

- É cada vez mais possível **programar** ou **alternar** melhor entre métodos de resfriamento, mas não necessariamente em todas as partes do data center

- **O consumo indireto** é mais difícil de reduzir. Depende da tecnologia de geração elétrica (p. ex. gás/nuclear >> solar) e do clima local





Imagem: The Guardian, Wikimedia

# Quando os impactos são piores... ao mesmo tempo: **ondas de calor**

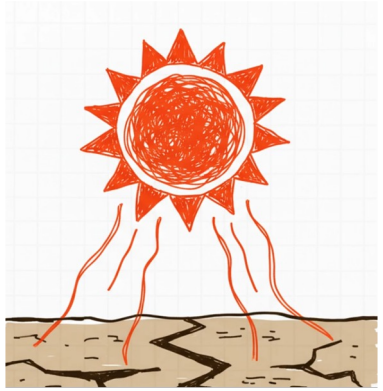
- **Quando** o consumo/a captação de água acontece importa: é pior na estação seca ou com estresse térmico

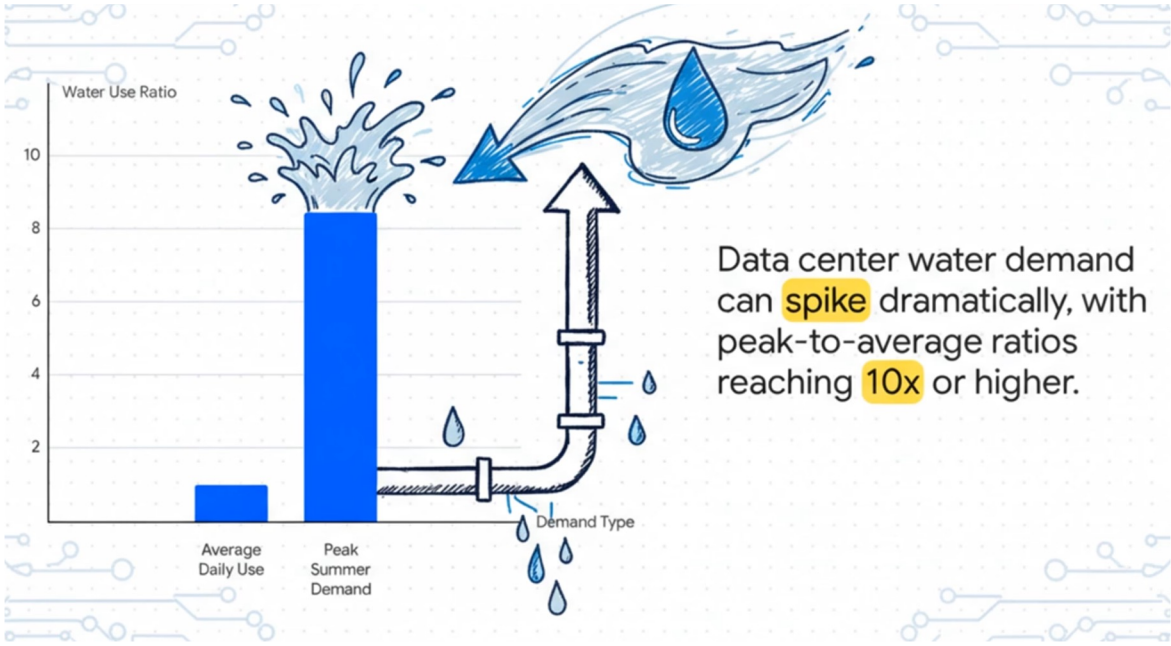
- O mesmo para o consumo de energia: nas ondas de calor, o ar-condicionado sobrecarrega a rede

- **Dilema**: para resfriar data centers, pode-se trocar resfriamento intensivo em água por resfriamento intensivo em energia, mas ambos podem estar sob pressão

- A água pode reduzir os picos de carga, mas a alocação de recursos é um problema: muitas comunidades não têm água excedente
  **→ necessidade de planejamento de resiliência**








Imagens: Shaolei Ren, Wikimedia

# Estudo de caso situado: a expansão dos data centers no Brasil

Grande onda de investimentos em infraestrutura impulsionada pela IA, acima de R$ 25 bilhões

89% da matriz elétrica brasileira é **renovável**, quase metade hídrica → **ideal para data centers?**

As secas crescentes pressionam a água necessária tanto à hidreletricidade quanto ao resfriamento, enquanto o **acesso à água já é um problema** para as comunidades

A **pobreza energética** persiste: mais de 1,3 milhão de pessoas ainda não têm eletricidade confiável




**Exemplo:** novos data centers no Ceará e no Rio Grande do Sul ameaçam o acesso à água das comunidades locais

# Roteiro da aula

Impactos da computação

**Impactos das aplicações**

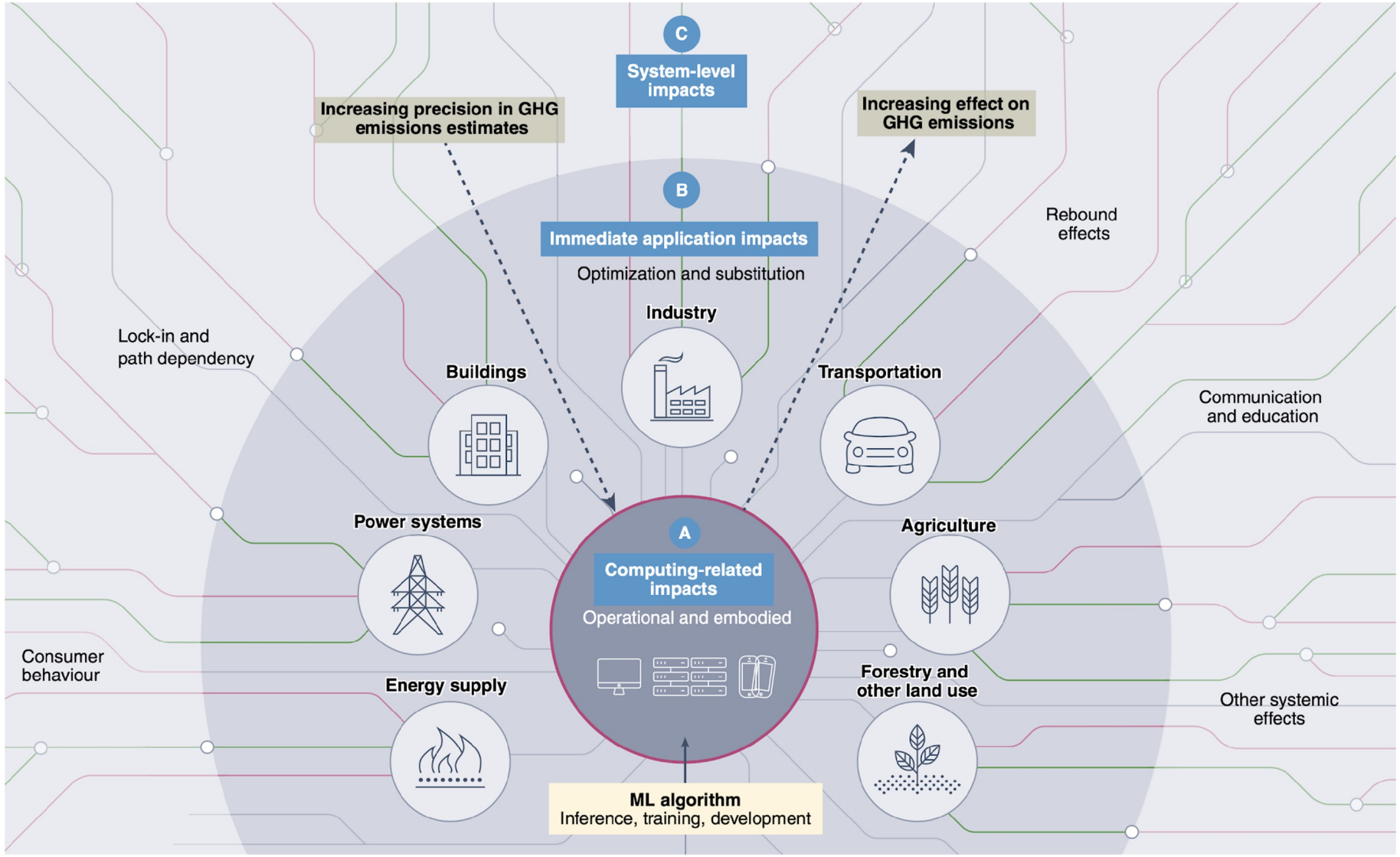
Impactos sistêmicos

Considerações transversais

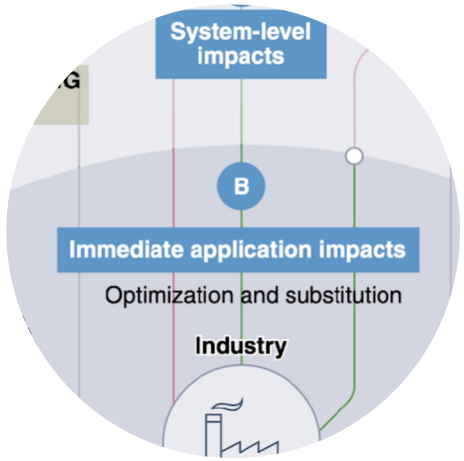
Regular o uso de energia e recursos da IA

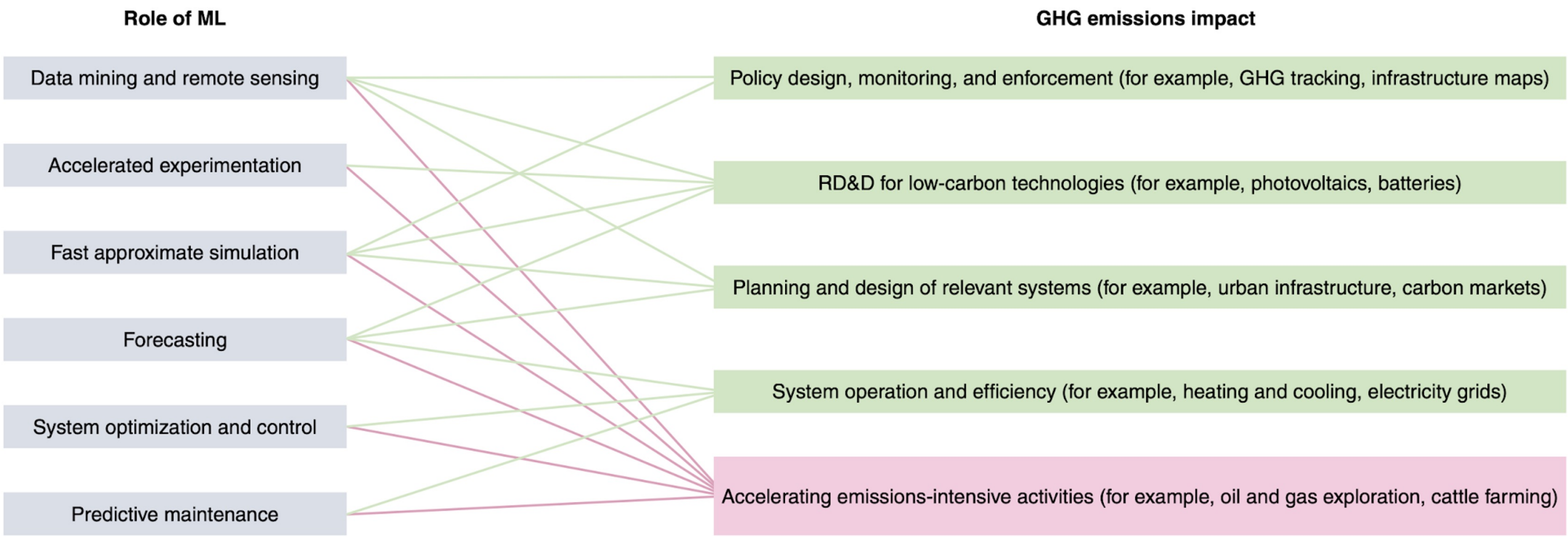
- Impactos positivos
- Impactos negativos

# Como a IA afeta as emissões de gases de efeito estufa



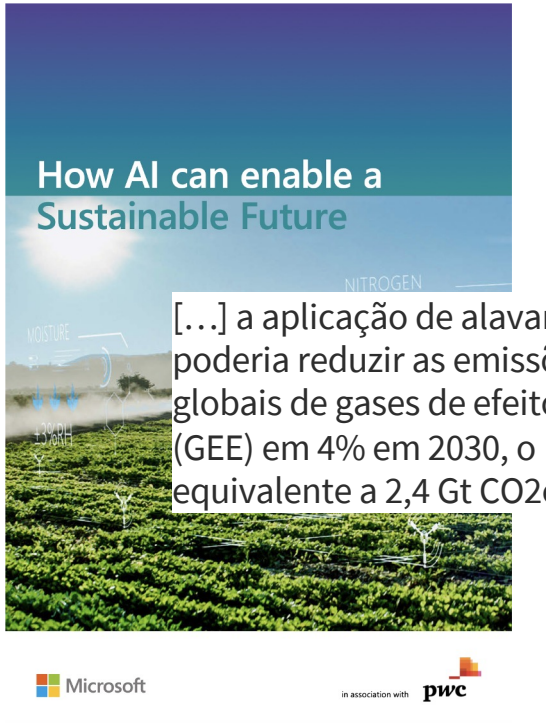
# Como a IA afeta as emissões de gases de efeito estufa





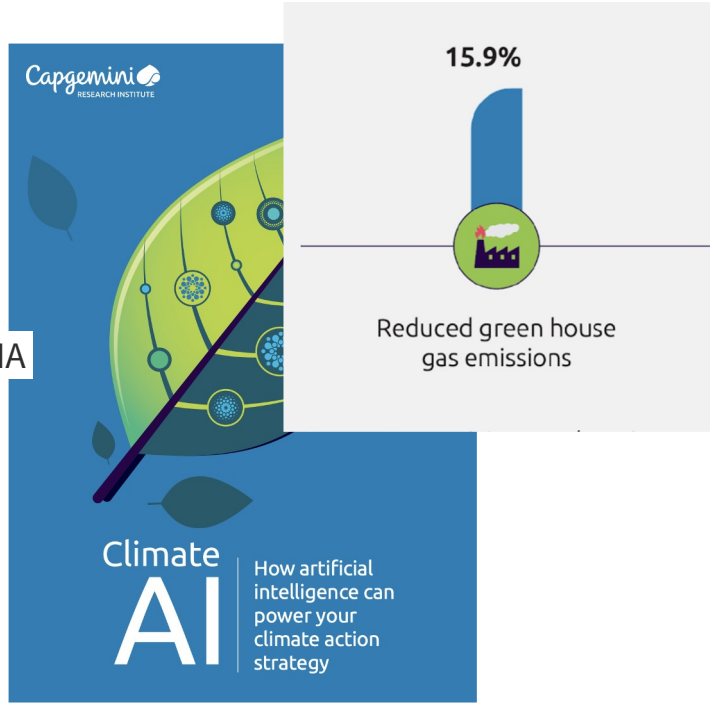

Kaack, L. H., Donti, P. L., Strubell, E., Kamiya, G., Creutzig, F., & Rolnick, D. (2022). *Nature Climate Change*, 1-10.

# As estimativas do potencial de redução de emissões de GEE são pouco confiáveis

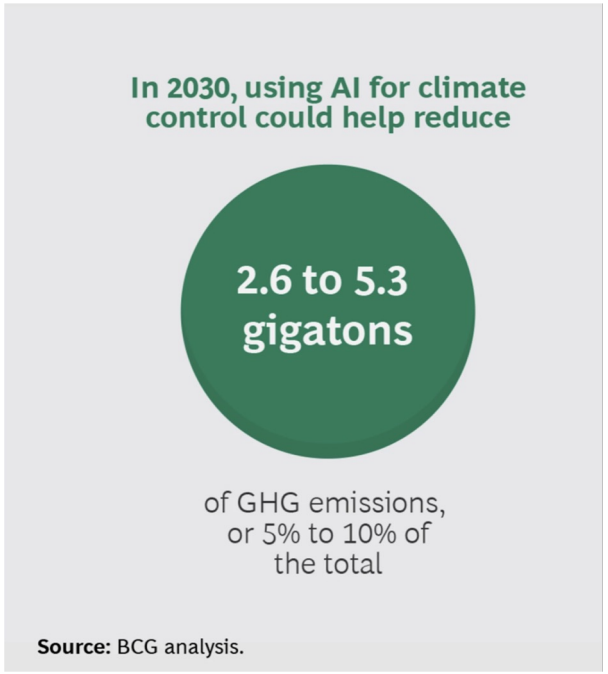



[…] a aplicação de alavancas de IA poderia reduzir as emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) em 4% em 2030, o equivalente a 2,4 Gt CO2e […]

2019




2020




2021

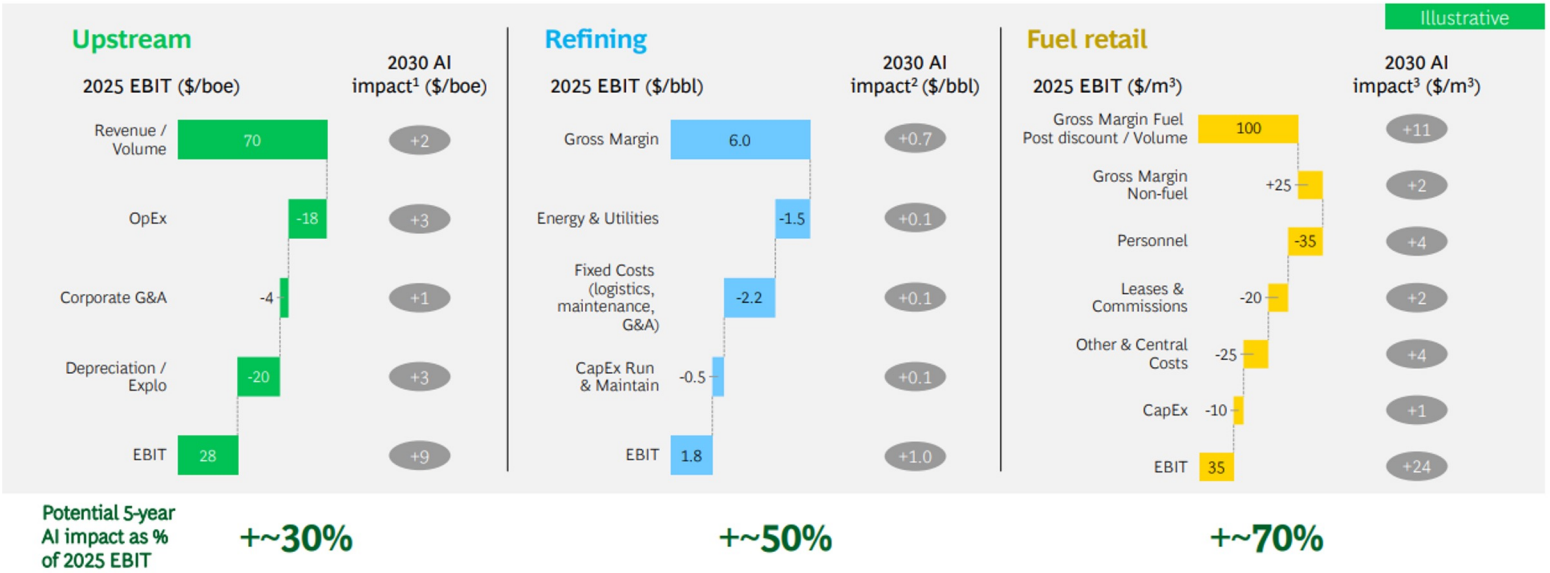
Estimativas de consultorias e empresas de tecnologia costumam se basear em modelagem não divulgada ou na extrapolação de entrevistas com partes interessadas → **interesses envolvidos provavelmente superestimam os impactos positivos**

# Aplicações de IA que aumentam as emissões




Uso da IA para acelerar **indústrias intensivas em emissões**

Exemplo: aplicações em petróleo e gás



# IA aumentando impactos e emissões (e além): **perfuração de petróleo**

Upstream

## Case study | A real-time prescriptive tool provides drilling field personnel with continuous AI guidance

Instructions' compliance from rig

RT sensor data from rig



Architecture and models

Customized screen



**1**

The **office** sets up the AI system and configures key technical inputs

**2**

- Rig sensor data is contextualized with planning information, DDRs, and any third-party software available
- AI adaptive models are executed and retrained in RT

**Superior analytical performance with high adaptability**

Real-time AI and physical models for one truth recommendations

**Bespoke solution, not a black box**

Fully tailored to client rules, org, and data

**3**

The **tool** assists at all moments by sending a recommendation of optimal parameters and time targets for each field activity

**Simplified information**

Easy-to-use interface showing only relevant data – no field engineer needed to interpret complex inputs

**4**

**Field personnel** follow recommendations, saving minutes from each activity

They also send any feedback as part of the continuous improvement process

**End-to-end process taking < 5s to allow for immediate action from the field**

**Existing platform with total rig integration**

**10-20%**

Capex reduction potential

**Focus on optimizing ILT (invisible lost time)**

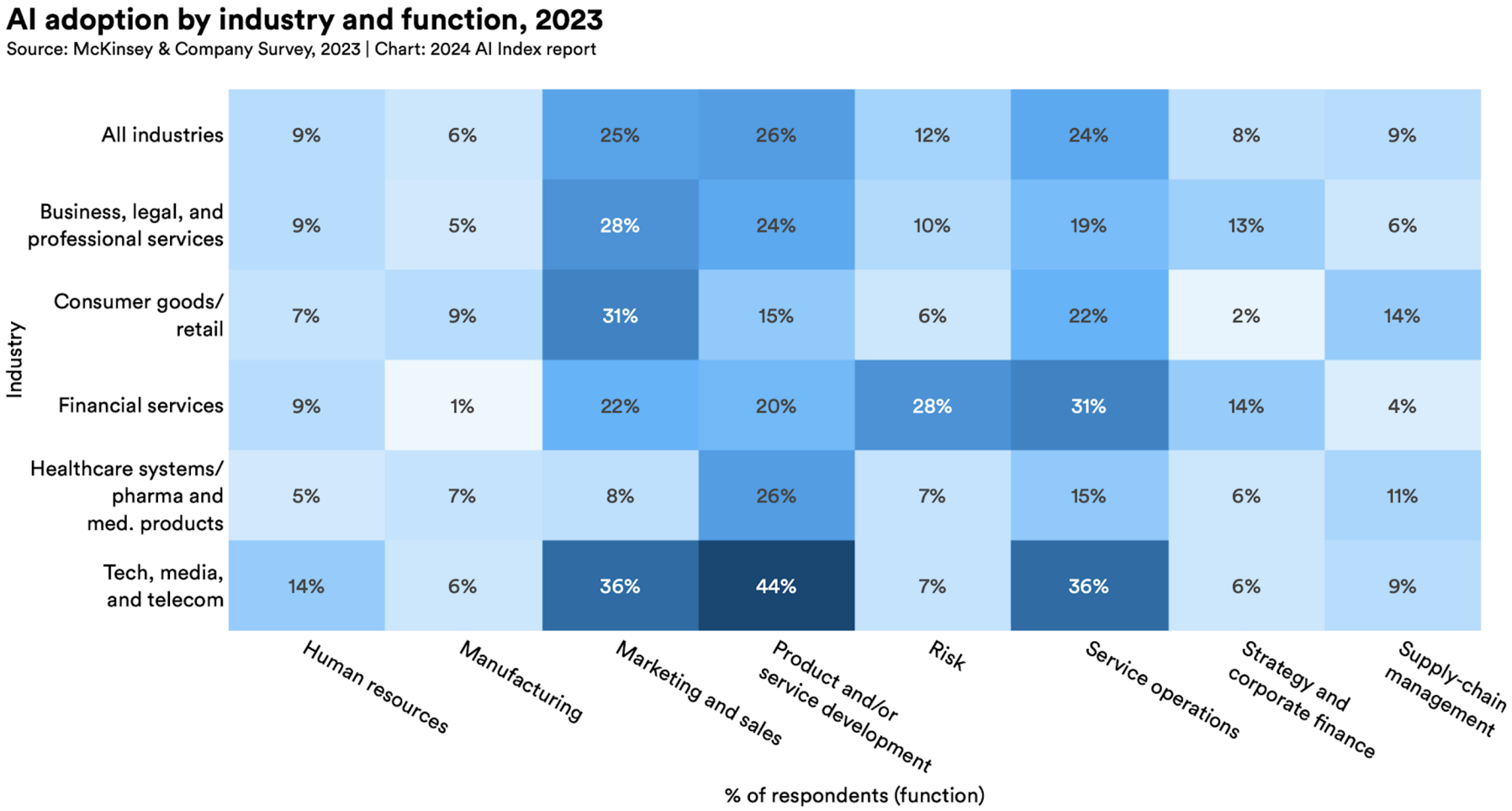
ILT represents +35% of the drilling time

Real-time prescriptive solution that connecting to any field service software

13

Copyright © 2025 by Boston Consulting Group. All rights reserved.

# A maior parte do uso de IA na sociedade está em **aplicações** não climáticas



# Até agora, a IA para o clima é sobretudo IA tradicional

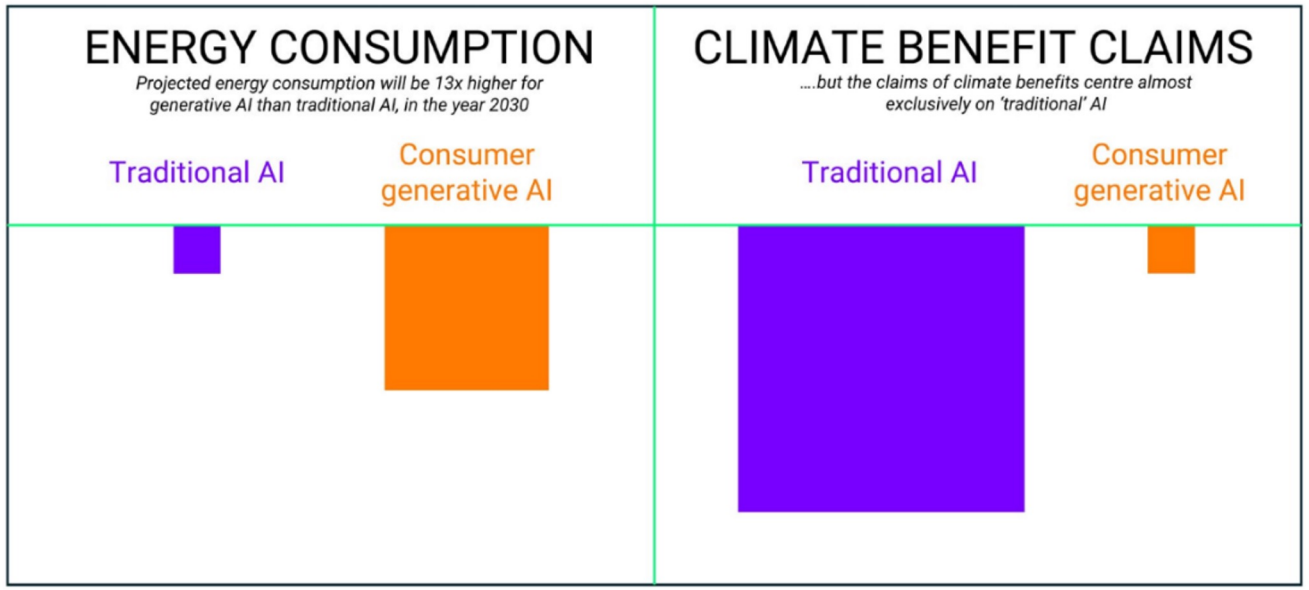



**FIGURE 1 - CLIMATE BENEFIT versus DAMAGE**
This graphic illustrates how most climate benefit claims relate to traditional AI, whereas most harm will relate to consumer generative AI. The first compares the projected electricity consumption in a central 2030 scenario, also represented by the area of each square. The second comparison shows the number of claims by AI type, represented by the area of each square.

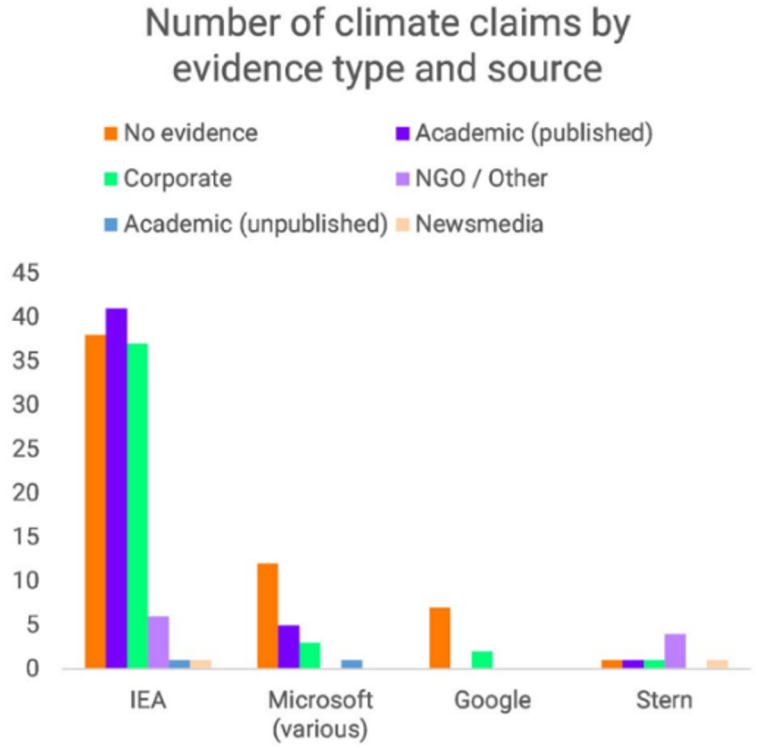



**FIGURE 7 - TYPES OF EVIDENCE FOR CLIMATE CLAIMS**
This graphic shows the distribution of evidence types by source. Corporate sources tended to rely on no evidence or corporate sites. The IEA's claims drew from a mix of academic, corporate and no evidence.

Imagens: Ketan Joshi, The AI Climate Hoax: Behind the Curtain of How Big Tech Greenwashes Impacts, 2026

# Roteiro da aula

Impactos da computação

Impactos das aplicações

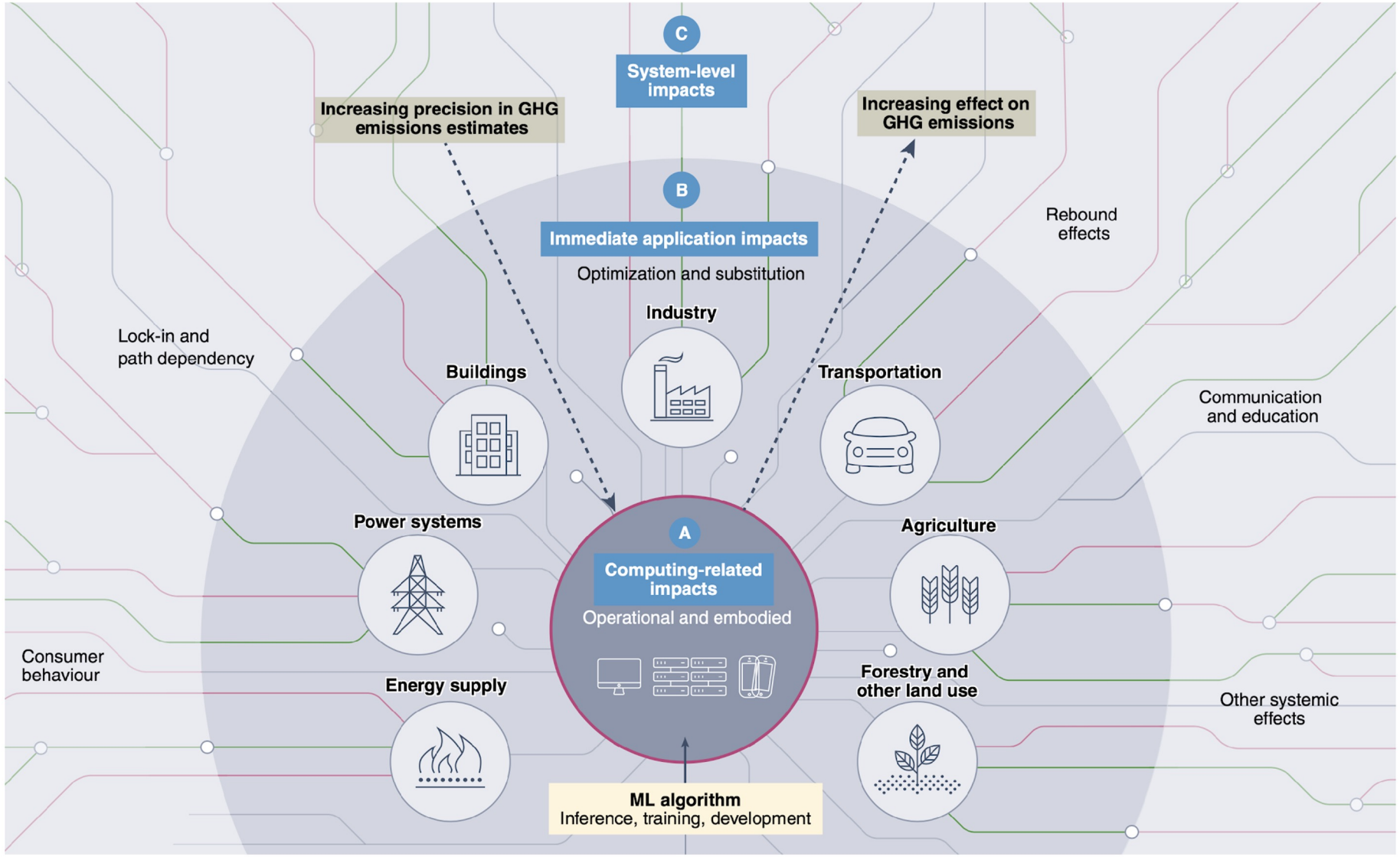
**Impactos sistêmicos**

- Efeitos rebote
- Mudanças de poder na sociedade

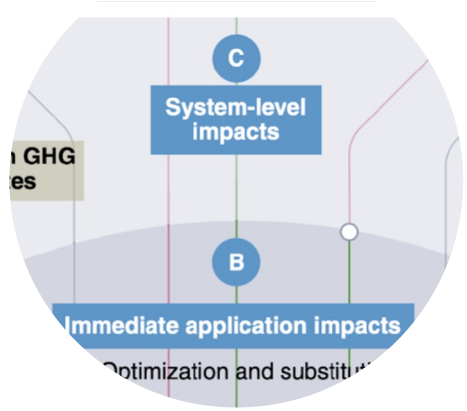
Considerações transversais

Regular o uso de energia e recursos da IA

# Como a IA afeta as emissões de gases de efeito estufa



# Como a IA afeta as emissões de gases de efeito estufa

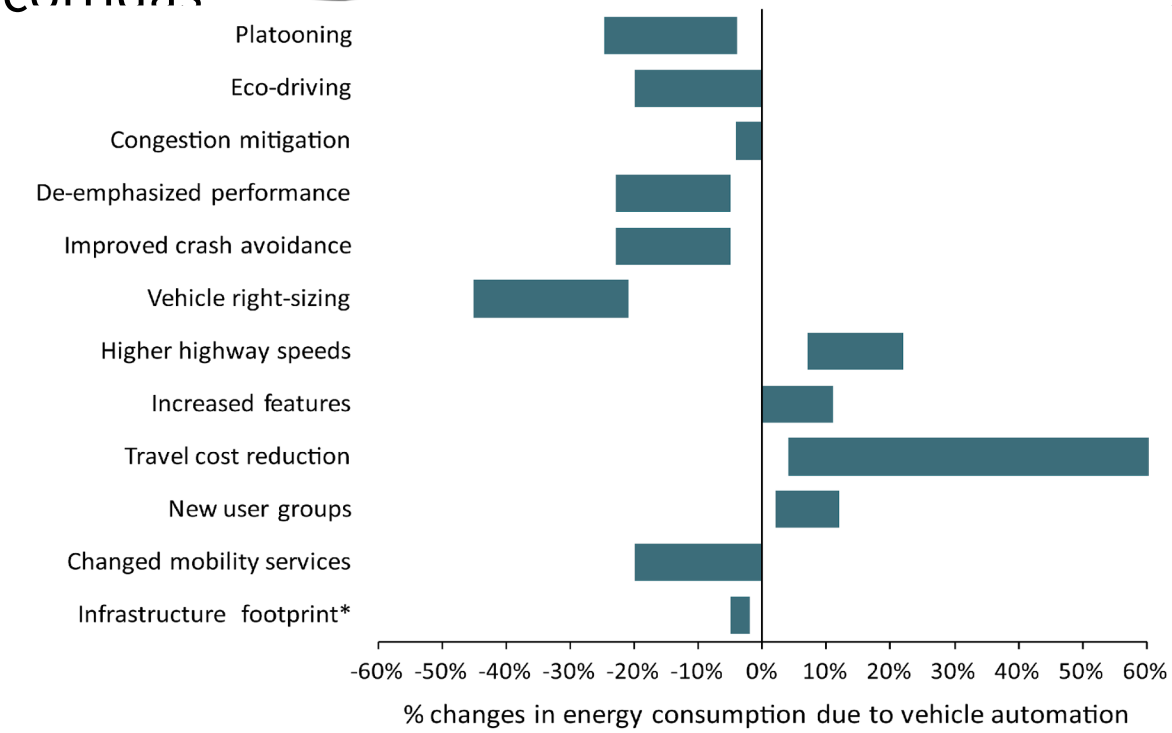


# Impactos sistêmicos das aplicações de IA

Possíveis efeitos **rebote** e de **aprisionamento**

- Veículos autônomos, compartilhamento de corridas






Fonte da imagem: Wadud et al. 2016

# Impactos sistêmicos das aplicações de IA

Possíveis efeitos **rebote** e de **aprisionamento**

- Veículos autônomos, compartilhamento de corridas

Aumento do **consumo na sociedade**

- Anúncios personalizados, entrega sob demanda



Crédito da imagem: Megan_Rexazin_Conde / Pixabay.com

# Impactos sistêmicos das aplicações de IA

Possíveis efeitos **rebote** e de **aprisionamento**

- Veículos autônomos, compartilhamento de corridas

Aumento do **consumo na sociedade**

- Anúncios personalizados, entrega sob demanda

**(Des)informação** e **polarização**

- Personalização/amplificação de conteúdo



Crédito da imagem: Rose Wong / para a NBC News

# Impactos sistêmicos das aplicações de IA

Possíveis efeitos **rebote** e de **aprisionamento**

- Veículos autônomos, compartilhamento de corrid

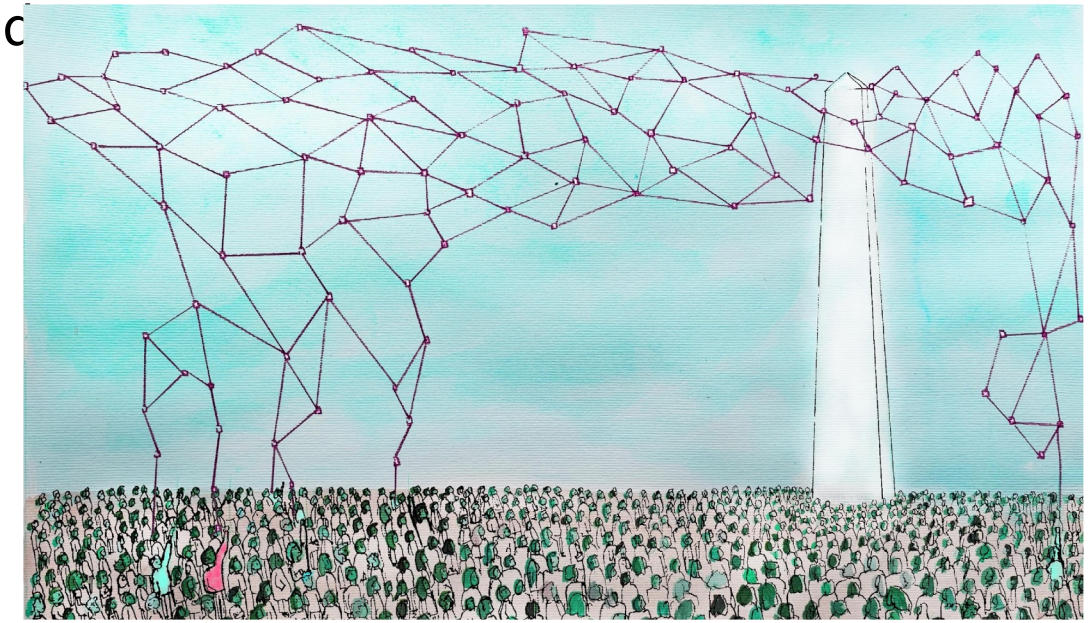
Aumento do **consumo na sociedade**

- Anúncios personalizados, entrega sob demanda

**(Des)informação** e **polarização**

- Personalização/amplificação de conteúdo

Induzir **mudanças de poder na sociedade** por acesso e capacidade de agir



Crédito da imagem: Jamillah Knowles & We and AI / Better Images of AI / People and Ivory Tower AI / CC-BY 4.0

# Enquete nº 5

Compartilhe um exemplo de impacto sistêmico da IA que você acredita ter/vir a ter impacto significativo no clima, para uma das categorias:

a) efeito rebote, b) aumento do consumo,
c) desinformação e polarização, d) mudanças de poder na sociedade

# Roteiro da aula

Impactos da computação

Impactos das aplicações

Impactos sistêmicos

**Considerações transversais**

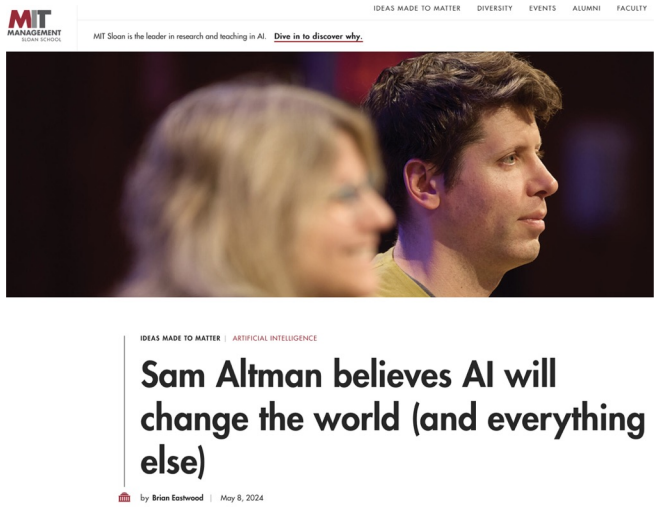
Regular o uso de energia e recursos da IA

Narrativas

Estimativas

# A "falácia da IA generativa": usar a IA para o clima como justificativa para grandes modelos

- Para justificar o consumo de energia dos data centers para grandes modelos como os LLMs, as aplicações de IA para o clima são uma **narrativa conveniente** para as empresas de tecnologia
- Mas a maior parte da IA aplicada a setores relevantes para o clima não são grandes modelos
- Podemos avançar na IA para o clima **sem** grandes custos de energia da computação




"*Mesmo que tivéssemos de gastar 1% da eletricidade mundial treinando uma IA poderosa, se essa IA nos ajudar a chegar à energia sem carbono ou a capturar carbono melhor, seria uma vitória enorme*"

Declaração enganosa de Sam Altman

# "Potencialite crônica"

- Conceito de Vlad Coroamă: muita discussão sobre o potencial…
- Mas há barreiras significativas à implantação da IA em áreas ligadas ao clima
- Os atores apresentam o potencial de economia da IA construindo **cenários de adoção mais otimistas**
- Visualizações e resumos transmitem **excesso de confiança** em atingir estimativas hipotéticas

Mensagens-chave dos Energy Security Scenarios 2025 da Shell



**1. In a world where artificial intelligence (AI) brings societal change and catalyses economic growth, demand for energy increases and the transition to low-carbon energy accelerates.**

Fonte: https://www.shell.com/news-and-insights/scenarios/the-2025-energy-security-scenarios.html

# Estimativas holísticas?

| Fonte | Tipo | Computação | Aplicações (reduções) | Aplicações (aumentos) | Sistê-mico |
|---|---|---|---|---|---|
| Stern et al. 2025 | Artigo científico | Aumento total dos data centers | Energia, carne e laticínios, veículos rodoviários leves | Não | Não |
| AIE 2025 | Relatório técnico | Total dos data centers | Algumas aplicações de energia | Não | Só rebote |
| PWC 2025 | Relatório de consultoria | Aumento total dos data centers | Toda a economia | Não | Não |
| Schneider Electric 2024 | Relatório técnico | IA | Não | Não | Não |
| de Vries 2023 | Artigo científico | IA | Não | Não | Não |

Nenhum aumento ligado às aplicações nem efeitos sistêmicos avaliados

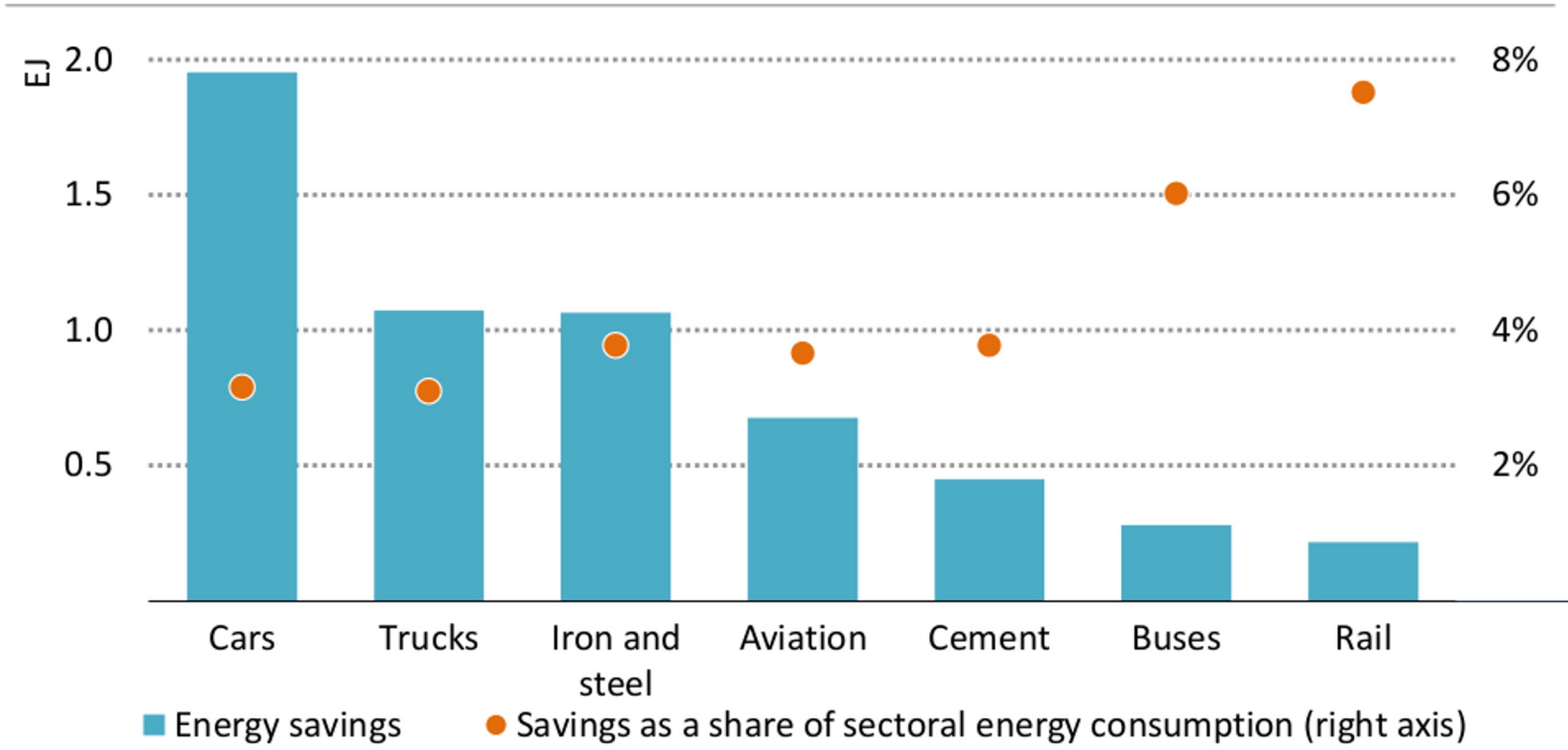
# O perigo das falácias na (falta de) comparação
# Entre impactos positivos e negativos da IA

"*O uso de energia da IA vale os benefícios climáticos?*"
é uma pergunta **mal formulada**

potencial de economia de energia em certos setores

≠ benefício climático líquido

≠ um grande acelerador global para atingir as




IEA. CC BY 4.0.

***Widespread adoption of known AI applications has the potential to save 13.5 EJ across all end-use sectors in 2035, greater than Indonesia's annual energy consumption today***

Note: This energy savings potential is estimated using existing AI applications only and does not factor in solutions that might emerge in the future. A detailed discussion of this approach is available in IEA (2025a).

Adoção generalizada da IA em todos os setores

Fonte: AIE 2025, Energy and AI

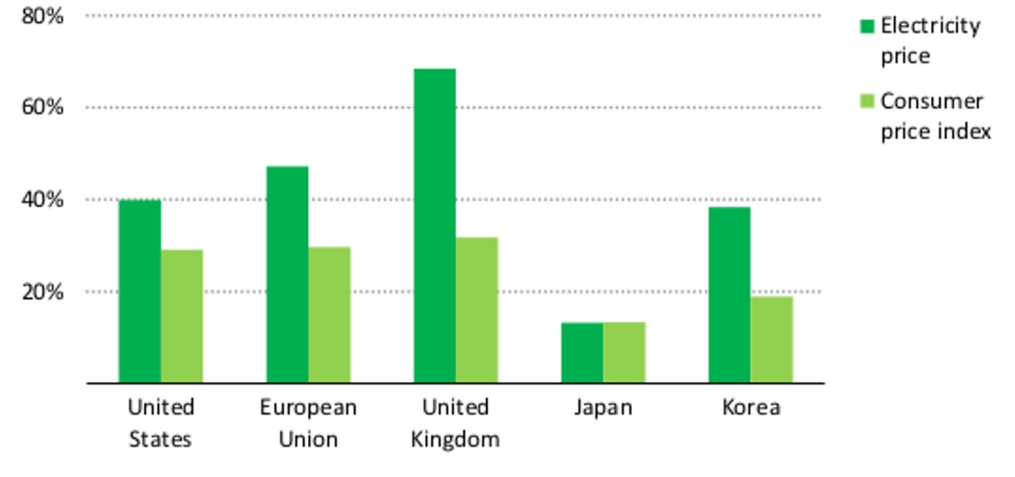
# Tornar a rede mais verde não basta

- O planeta não comporta um crescimento desenfreado da IA
- já tem impactos sociais

**O caminho para emissões líquidas zero é estreito: manter-se nele exige a implantação imediata e maciça de todas as tecnologias de energia limpa e eficiente disponíveis.** Na trajetória de emissões líquidas zero deste relatório, a economia mundial em 2030 é cerca de 40% maior que hoje, mas usa 7% menos energia. Um grande esforço mundial para aumentar a eficiência energética é parte essencial disso, com melhoria anual média da intensidade energética de 4% até 2030, cerca de três vezes a média das duas últimas décadas.

Fonte: AIE, “Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector” (2021)

**Figure 8.1** ▷ Change in nominal residential electricity price and consumer price index by country or region, January 2019-December 2025




*Residential electricity prices have risen faster than headline inflation in several markets in recent years*

Fonte: AIE, “Energy and AI” 2026

# Roteiro da aula

Impactos da computação

Impactos das aplicações

Impactos sistêmicos

Considerações transversais

**Regular o uso de energia e recursos da IA**

Fomentar a IA para o clima

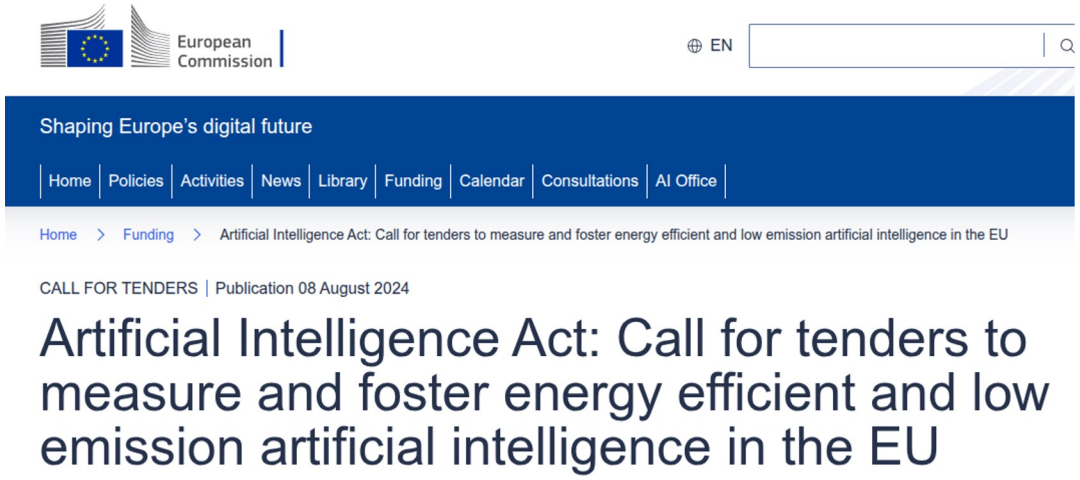
Exigir transparência

# Recapitulando: aulas sobre políticas e regulação de IA e clima

A FAZER: adicionar slides-resumo se eu tiver acesso às outras apresentações

# Iniciativas existentes para **fomentar aplicações**

- Financiamento governamental dedicado a pesquisa e desenvolvimento (UE, Alemanha, Áustria, Suécia, EUA etc.)
- Grandes programas de pesquisa e monitoramento (Copernicus, Nasa Harvest etc.)
- Algumas estratégias de IA e o Regulamento de IA da UE (2024) destacam a mudança climática como área de aplicação



# Incentivar

## aplicações frugais

afnor NORMALISATION

General framework for frugal AI

Measuring and reducing the environmental impact of AI

### IA et environnement : 12 territoires sélectionnés pour concevoir l'IA frugale au service de la transition écologique

Publié le 13 septembre 2024 , par Olivier Devillers, pour Localtis

Environnement, Numérique

**La Banque des Territoires a accueilli le 10 septembre 2024 les 8 nouveaux lauréats de l'appel à projets démonstrateur d'IA frugale pour la transition écologique des territoires, rejoignant les 4 territoires déjà labellisés. L'occasion de découvrir, avec des exemples variés et concrets, la notion de frugalité appliquée à l'intelligence artificielle.**



# Iniciativas existentes que exigem transparência

- O Regulamento de IA da UE (2024)

  Relato dos recursos de computação e do consumo de energia de sistemas de alto risco e grandes modelos

- Projeto de lei dos EUA Artificial Intelligence Environmental Impacts Act (2024)

  Exigir avaliações de impacto ambiental (pela EPA e pelo NIST)

  Impactos das aplicações e da computação



Official Journal of the European Union — EN, L series

2024/1689 — 12.7.2024

REGULATION (EU) 2024/1689 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL

of 13 June 2024

laying down harmonised rules on artificial intelligence and amending Regulations (EC) No 300/2008, (EU) No 167/2013, (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 and (EU) 2019/2144 and Directives 2014/90/EU, (EU) 2016/797 and (EU) 2020/1828 (Artificial Intelligence Act)

(Text with EEA relevance)

**Annex IV: Technical Documentation**
*[for high-risk AI systems]*
(c) […] the computational resources used to develop, train, test and validate the AI system;

**Annex XI: Section 1 – Information to be provided by all providers of general-purpose AI models**
(d) the computational resources used to train the model (e.g. number of floating point operations), training time, and other relevant details related to the training;
(e) known or estimated energy consumption of the model. With regard to point (e), where the energy consumption of the model is unknown, the energy consumption may be based on information about computational resources used.

# Enquete nº 6

O Regulamento de IA da UE exige divulgação pública do uso de energia da IA de uso geral para:

a) treinamento, b) inferência, c) ambos, d) nenhum

# As omissões importam



Exemplo no **Regulamento de IA da UE**:

- Para a **IA de uso geral**: lacuna significativa, pois cobre apenas a energia usada na fase de desenvolvimento do modelo e **deixa de fora a fase de inferência**
- Onde o Regulamento obriga a divulgar o consumo de energia, essa **informação fica restrita às autoridades e não é acessível aos provedores downstream** → reduz muito a transparência e a responsabilização, enfraquecendo a supervisão pública e as respostas do mercado.
- O Regulamento de IA não trata das emissões de gases de efeito estufa (GEE) geradas **por** aplicações de IA
- O consumo de água não é tratado
- Em teoria, o meio ambiente poderia ser critério para sistemas de alto risco, mas isso não está explícito.

# Regulando data centers

- Diretiva de Eficiência Energética UE/2023/1791 (“DEE”) e Regulamento Delegado da Comissão UE/2024/1364

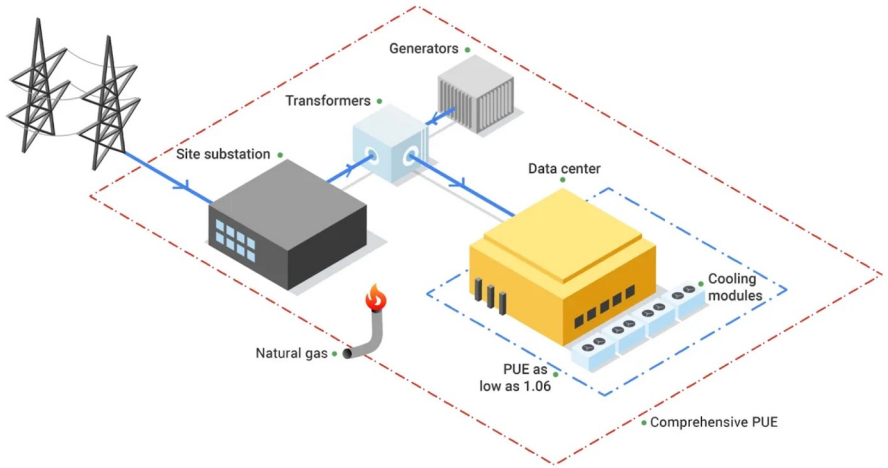
  aplica-se a todos os data centers da UE com demanda de potência de pelo menos 500 kW, incluindo os pequenos.

  Os operadores devem coletar, tornar públicas e relatar a uma base de dados da UE informações, anualmente.

  Os dados exigidos incluem consumo de energia, uso de potência, temperaturas de referência, aproveitamento do calor residual, uso de água e uso de energia renovável

- Lei alemã de eficiência energética de 2023

  exige que os operadores de data centers informem anualmente seus clientes sobre o consumo de energia diretamente atribuível a eles




Eficácia no uso de energia, PUE (imagem: Google)

# Necessidade de supervisão integrada da **localização de data centers**

- Transformar a governança da infraestrutura de dados, de um desafio puramente de energia e água, em alavanca para um planejamento territorial equitativo e uma visão de política centrada nas pessoas.

- Interação com o uso do solo: a localização tem várias implicações, dada a interação com o zoneamento local, o valor dos imóveis e as prioridades de restauração de ecossistemas

- Discussão em curso sobre mecanismos de compensação; são necessários marcos de benefícios para as comunidades

- **→ Necessidade de supervisão integrada entre energia, meio ambiente e economia digital.**





# Resumo

📝 Os impactos da IA na sustentabilidade abrangem todo o seu ciclo de vida e várias categorias de impacto

→ Considerar computação, aplicações e impactos sistêmicos

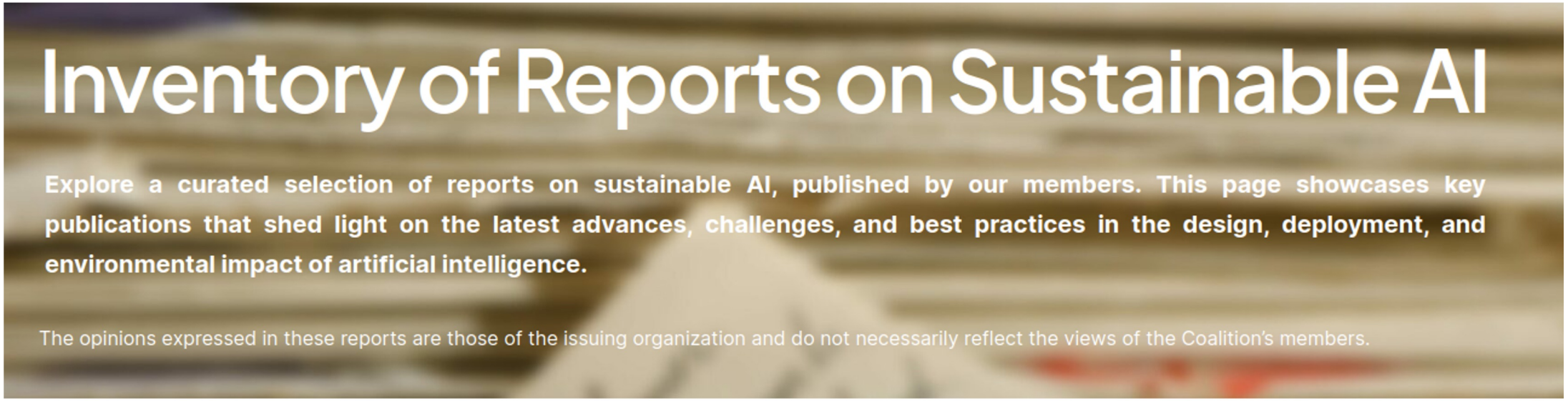
📝 Os impactos dos grandes modelos precisam ser mais bem tratados com ações baseadas em evidências

📝 Sim às aplicações frugais de IA para o clima!

📝As estimativas continuam incertas; perspectivas e narrativas devem ser cautelosas

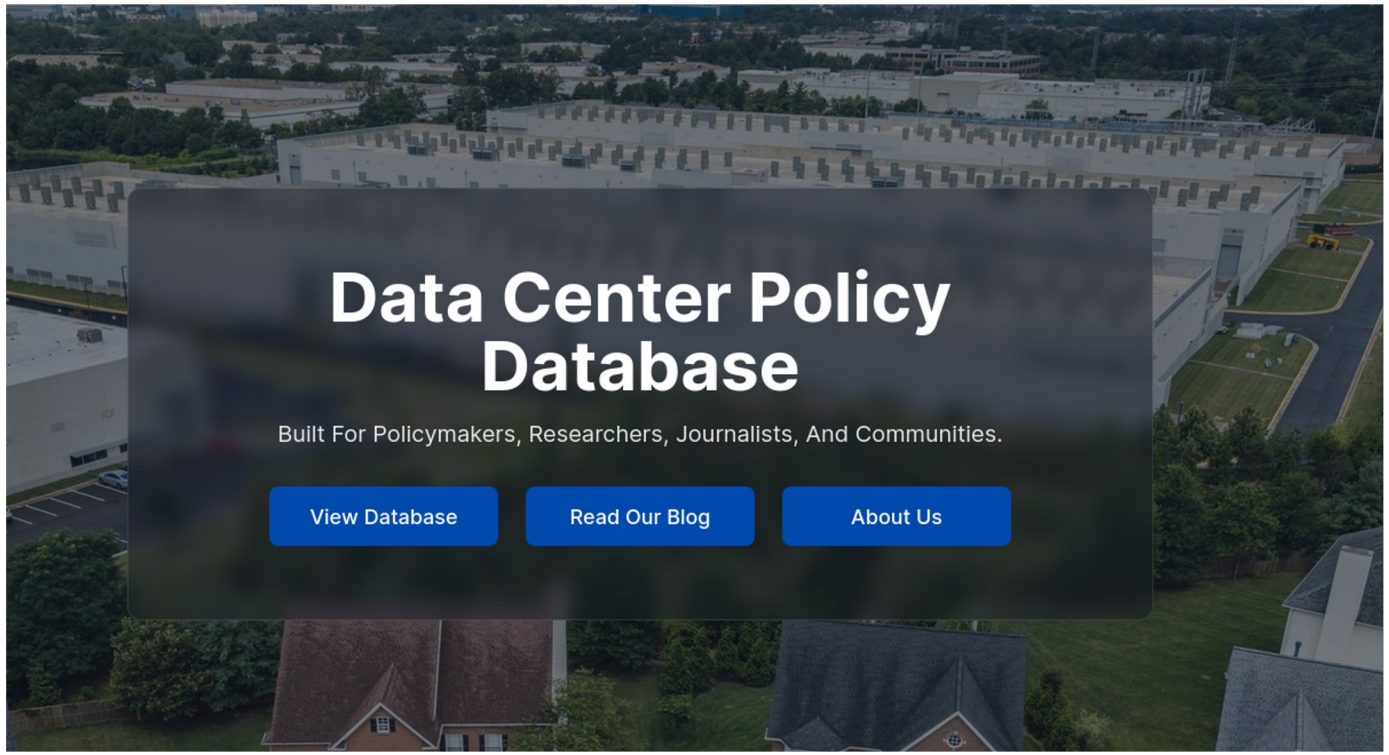
📝 Regular a IA, além dos incentivos de mercado, pode aumentar a transparência,

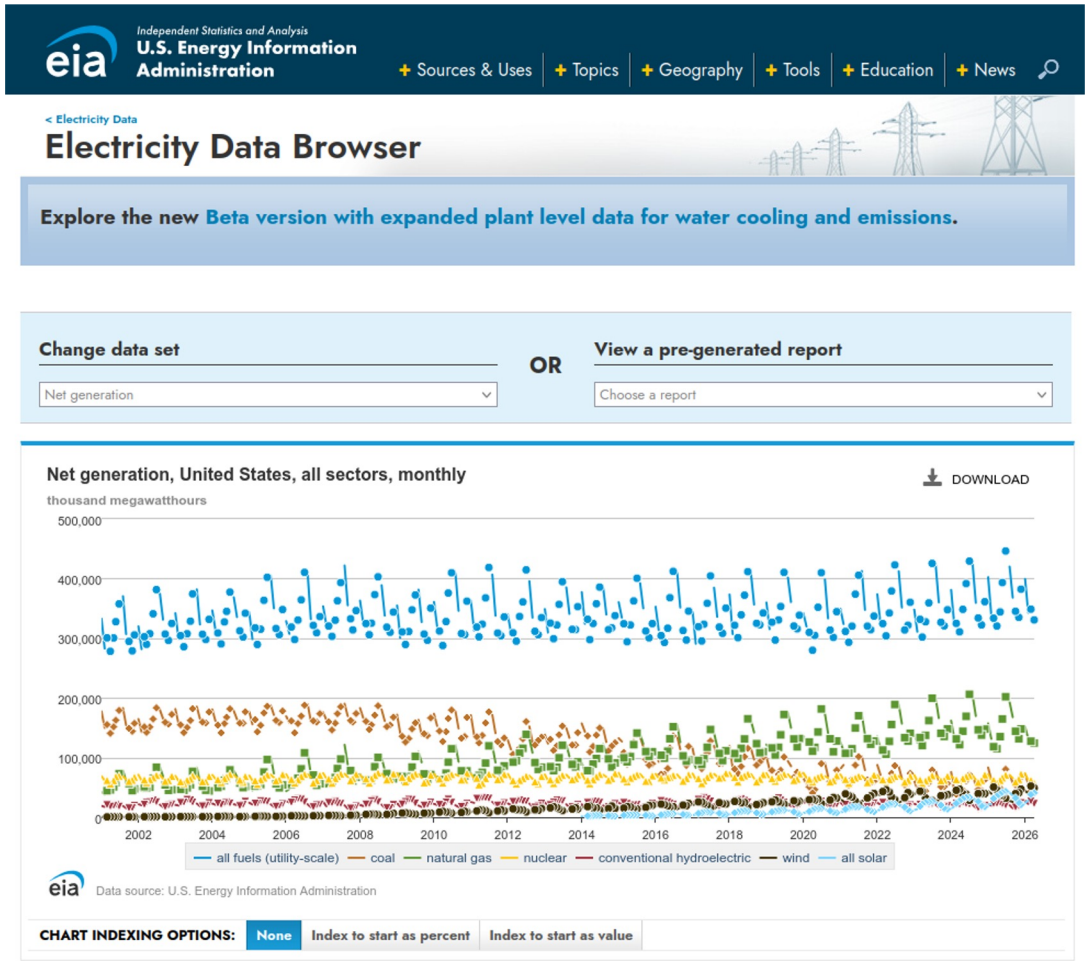
# Mais recursos




https://www.sustainableaicoalition.org/inventory-of-key-reports-on-sustainable-ai/

# Dados


Data Center Policy Database
Built For Policymakers, Researchers, Journalists, And Communities.
View Database
Read Our Blog
About Us


eia
Independent Statistics and Analysis
U.S. Energy Information Administration
+ Sources & Uses
+ Topics
+ Geography
+ Tools
+ Education
+ News
< Electricity Data
Electricity Data Browser
Explore the new Beta version with expanded plant level data for water cooling and emissions.
Change data set
Net generation
OR
View a pre-generated report
Choose a report
Net generation, United States, all sectors, monthly
DOWNLOAD
thousand megawatthours
500,000
400,000
300,000
200,000
100,000
2002
2004
2006
2008
2010
2012
2014
2016
2018
2020
2022
2024
2026
all fuels (utility-scale)
coal
natural gas
nuclear
conventional hydroelectric
wind
all solar
Data source: U.S. Energy Information Administration
CHART INDEXING OPTIONS:
None
Index to start as percent
Index to start as value

# Perguntas e respostas

# Quiz nº 1

Para os principais grandes modelos de linguagem comerciais, o uso de energia mais importante é o de

a) treinamento,  b) inferência?

# Quiz nº 2

Modelos maiores sempre têm melhor desempenho que modelos menores em tarefas relevantes para o clima?

a) Verdadeiro, b) Falso

# Quiz nº 3

Temos estimativas científicas robustas sobre o *impacto* líquido futuro da IA no clima?

a) Verdadeiro,  b) Falso

# Quiz nº 4

Qualitativamente,

o impacto líquido *atual* da IA no clima é:

a) negativo,  b) positivo?

# Quiz nº 5

Usar mais energia renovável é a solução para o aumento da demanda de eletricidade da IA?

a) Verdadeiro,  b) Falso

# Leituras prévias

- Aligning artificial intelligence with climate change mitigation, Kaack et al 2022 https://www.nature.com/articles/s41558-022-01377-7
- The AI Climate Hoax: Behind the Curtain of How Big Tech Greenwashes Impacts, Ketan Joshi, 2026 https://drive.google.com/file/d/12l1W4W25b-_ff6yFNJABkfal9_9oevxe/view
- The Real Story on AI's Water Use–and How to Tackle It, Shaolei Ren & Amy Luers, 2025 https://spectrum.ieee.org/ai-water-usage