

# Estimador de Emissões de CO<sub>2</sub> de Data Centers no Brasil

Cenários para o Brasil e Países Vizinhos

Computação e Clima: Avaliando o Impacto dos Data  
Centers no Perfil de Emissões do Brasil

Integrantes:

Diego Paz Oliveira Moraes

Sergio Augusto de Araújo

Ary Paulo Wiese Neto

Pedro Henrique Sousa dos Santos

Gabriel Brito de França

## 2. Objetivo geral

- ▶ Desenvolver um estimador exploratório (aplicação simples) que calcule emissões operacionais de CO<sub>2</sub> associadas ao consumo elétrico de data centers e aplicar o estimador a cenários do Brasil (e, quando útil, comparativamente a países vizinhos), com análise de sensibilidade e recomendações de mitigação.

### 3. Objetivos específicos

- ▶ 1. Revisar literatura recente sobre consumo energético dos data centers e crescimento previsto devido à IA.
- ▶ 2. Construir um modelo/ algoritmo simples:  $\text{Emissões (kg CO}_2\text{)} = \text{Consumo (kWh)} \times \text{Fator de Emissão (kg CO}_2\text{/kWh)}$ .
- ▶ 3. Reunir fatores de emissão e dados de matriz elétrica para o Brasil (e fontes equivalentes para Argentina / Chile / Peru).
- ▶ 4. Rodar cenários (presente, projeção IEA até 2030, matriz mais limpa / mais fóssil) e comparar resultados.
- ▶ 5. Discutir limitações e propor medidas de mitigação/boas práticas para data centers no Brasil.

## 4. Justificativa

- ▶ A eletrificação e o aumento do processamento (especialmente IA) projetam forte aumento do consumo de data centers globalmente — a IEA projeta que o consumo de eletricidade pode mais que dobrar até 2030 ( $\approx 945$  TWh no cenário base).
- ▶ O Brasil tem uma matriz elétrica comparativamente limpa (alta participação de renováveis), o que reduz a intensidade carbônica por kWh — ainda assim, períodos de seca ou ativação de térmicas fósseis podem aumentar a intensidade.
- ▶ Há incertezas importantes (definição de fronteiras das emissões, eficiência dos data centers, contabilização de emissões incorporadas), e a literatura recente chama atenção para variações metodológicas significativas.

## 5. Metodologia

- ▶ Escopo: Emissões operacionais associadas ao consumo elétrico (Escopo 2).  
Fórmula central: Emissões de CO<sub>2</sub>(kg) = Consumo em kWh × Fator de Emissao em kg de CO<sub>2</sub>/kWh
- ▶ Variáveis de entrada: Localização, Consumo estimado, Período de análise e Cenário da matriz elétrica.
- ▶ Base de dados: MCTI/SIRENE, EPE (BEN), IEA (Energy & AI).

## 6. Análise proposta (Brasil e vizinhança)

- ▶ Cenário Base Brasil (2024/2025): calcular emissões para um data center hipotético usando fator médio do SIN.
- ▶ Cenário Projeção (2030 segundo IEA): aplicar crescimento de consumo com escalonamento local.
- ▶ Comparação com vizinhança: Argentina, Chile e Peru, utilizando fator de emissão nacional.
- ▶ Discussão de mitigação: uso de renováveis, PUE, resfriamento eficiente e reutilização de calor.

## 7. Limitações

- O modelo calcula apenas emissões operacionais (escopo 2), excluindo emissões incorporadas (desmatamento, atividade industrial etc).
- Fatores de emissão variam sazonalmente e são simplificados por médias anuais.
- Dados reais de consumo granular de data centers são escassos, sendo usados valores estimados.

## 8. Referências principais

- ▶
  - IEA — Energy and AI: Energy demand from AI (2024/2025)
  - Masanet, E., et al. Recalibrating global data center energy-use estimates. Science, 2020.
  - MCTI / SIRENE — Fatores de emissão da geração elétrica no Brasil.
  - EPE — Balanço Energético Nacional (BEN), 2024.
  - Freitag, C. et al. The climate impact of ICT, 2023.
  - Patterson, D. et al. Carbon footprint of Machine Learning, 2023.



## 9. Sugestões práticas para a apresentação

- ▶ • Começar com comparativo visual da intensidade carbônica entre Brasil e vizinhos.
- Mostrar 1-3 cenários (presente, 2030 e matriz mais limpa).
- Finalizar com recomendações de mitigação (uso de PPA, eficiência, localização estratégica, transparência).

# Forma de Implementação

## Python

- ▶ As fórmulas gerais vão ser feitas usando os conhecimentos aprendidos na disciplina
  - ▶ EX: Emissões (kg CO<sub>2</sub>) = Consumo (kWh) × Fator de Emissão (kg CO<sub>2</sub>/kWh).
    - ▶ `emissoes = consumo * fator_de_emissao`
- ▶ Para análise de séries temporais em Python, vamos usar uma biblioteca para manipulação e análise de dados.
  - ▶ EX: Pandas, Darts, Sktime, etc...
- ▶ Para plotar os gráficos das séries temporais em Python vamos usar uma biblioteca para visualização.
  - ▶ EX: Matplotlib, Seaborn, etc...