



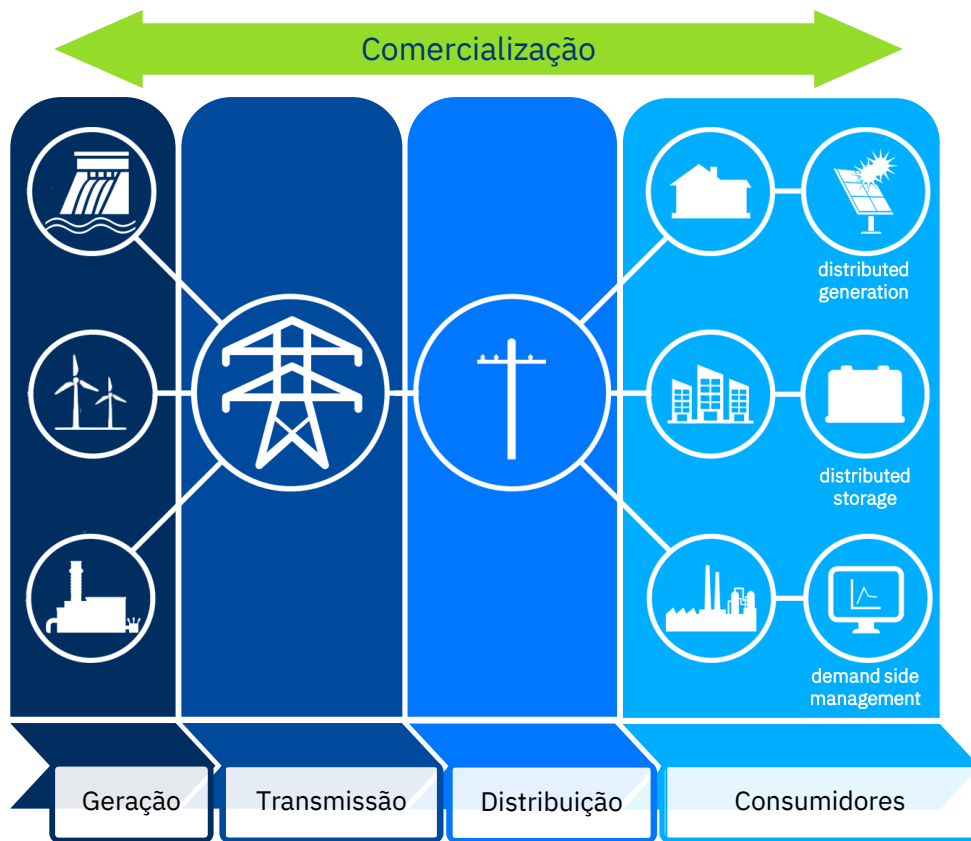
A Revolução da Inteligência Artificial: Impactos e oportunidades

Experiências no Setor Elétrico

Julio Alberto Silva Dias



Antes de apresentar a PSR... um pouco de contexto do setor elétrico



Geração

- Atender à demanda energética
- Minimizar custos e emissões da geração térmica
- Integrar hidrelétricas com renováveis intermitentes

Transmissão

- Garantir o transporte seguro e eficiente da energia
- Lidar com expansão e congestionamentos da rede

Distribuição

- Entregar energia com qualidade e confiabilidade,
- Minimizar perdas técnicas/comerciais
- Modernização da rede

Consumidores

- Combinação de diferentes perfis de consumo
- Promover a eficiência energética e integração de geração distribuída

Comercialização

- Viabilizar contratos e preços justos
- Equilibrar riscos de mercado e integração de novos agentes

Atuação da PSR

Energy Systems Modeling Suite – Fornecedora de conjunto de modelos integrados que apoiam decisões em todas as camadas do setor elétrico/energético e demais setores acoplados.



Operation Planning



Expansion Planning



Short-term Dispatch



Renewable Modeling

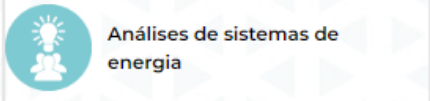


Hydro Modeling

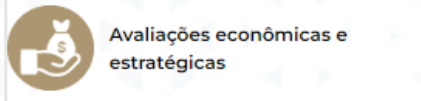


Portfolio Modeling

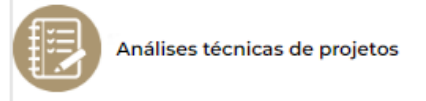
Serviços de Consultoria – Consultoria em avaliações integradas no setor de elétrico/energético, unindo modelagem avançada e experiência regulatória internacional.



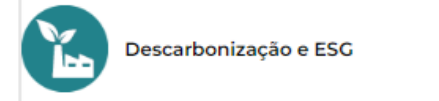
Análises de sistemas de energia



Avaliações econômicas e estratégicas



Análises técnicas de projetos



Descarbonização e ESG



PLANEJAMENTO ENERGÉTICO



PROJEÇÃO DE PREÇOS E TARIFAS, INCLUINDO TUST



ANÁLISE DE INVESTIMENTO



GERENCIAMENTO DE RISCOS E PORTFÓLIOS



AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS



ESTUDOS DE CONEXÃO E ELÉTRICOS



CONSTRUÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO PARA EMPRESAS E PAÍSES



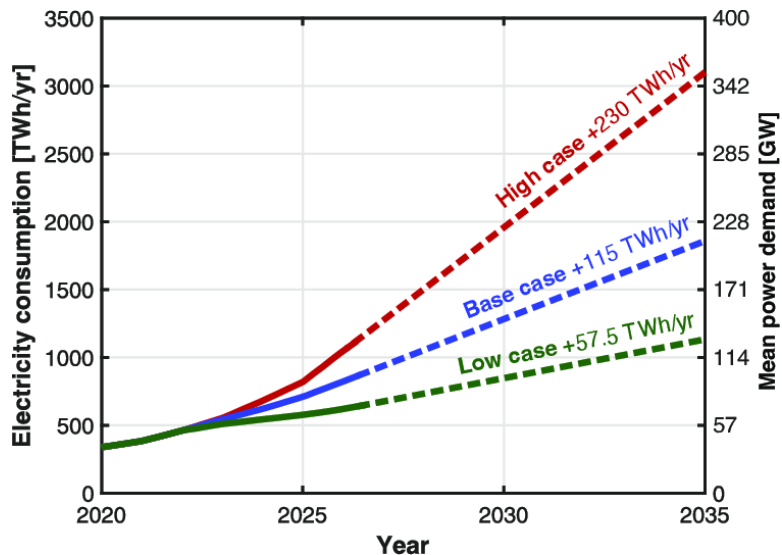
INSERÇÃO, ROADMAPS E BLUEPRINTS DE TECNOLOGIAS DE BAIXO CARBONO



O setor elétrico precisa da IA – por quê? (exemplos de problemas)



O setor elétrico precisa da IA, mas a IA precisa do Setor Elétrico



**IEA's projected annual electricity consumption and mean power demand from data centers, AI, and cryptocurrencies until 2026 with linear extrapolations toward 2035 for high, base, and low cases.*



Alto consumo de energia pelos data-centers: O crescimento da IA aumenta a demanda computacional e o uso de eletricidade em data centers e TI;



Expansão da capacidade de geração e transmissão: Para suportar o aumento da demanda energética, é necessário expandir a geração de energia, expandir/modernizar as redes de transmissão, garantindo a estabilidade e a eficiência do sistema elétrico;



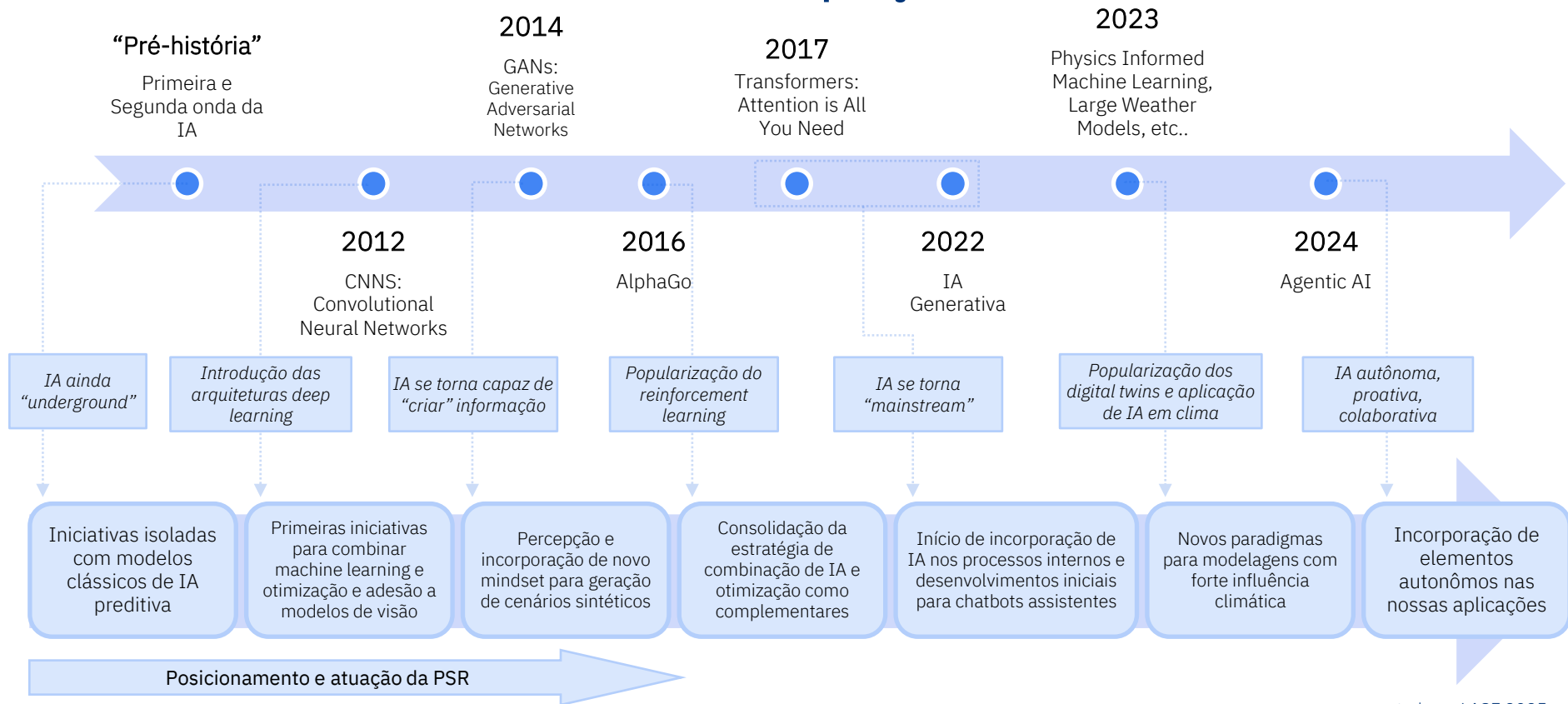
Otimização da eficiência energética: Planejamento de uma infraestrutura elétrica robusta e eficiente que minimize desperdícios e maximize a capacidade de geração;



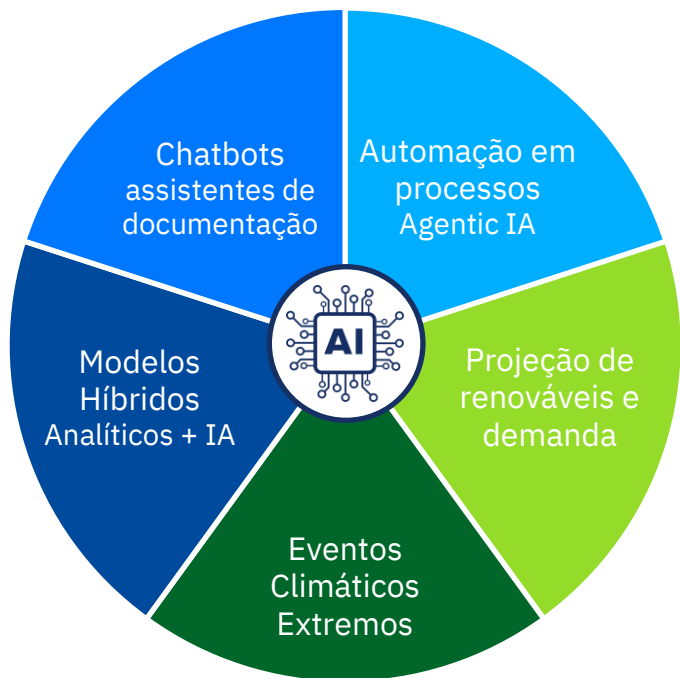
Necessidade de fontes de energia renováveis: Mitigar os impactos ambientais através do uso de fontes renováveis, como energia solar, eólica, para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e evitar o aumento das emissões de carbono.



Marcos recentes da IA moderna e adaptação da PSR



Onde estamos agora



Chatbots – Assistentes de documentação

- Oferecer ao usuário busca inteligente e contextualiza em nossas bases de documentação

Agentic IA – Automação e assistência em processos

- Agente inteligente que auxilia o usuário a operar nossos sistemas

Projeção de renováveis e demanda

- Gerar cenários futuros realistas de demanda, geração hidrelétrica, eólica e solar a partir de previsões climáticas

Eventos climáticos extremos

- Avaliar a probabilidade de eventos climáticos extremos e a resiliência das infraestruturas de rede diante dessas novas condições de risco

Modelos Híbridos - Combinando métodos analíticos e IA

- Combinar a eficiência e fundamentação teórica dos métodos analíticos com a flexibilidade da IA para incorporar representações complexas baseadas em dados

Chatbots – Assistentes de documentação

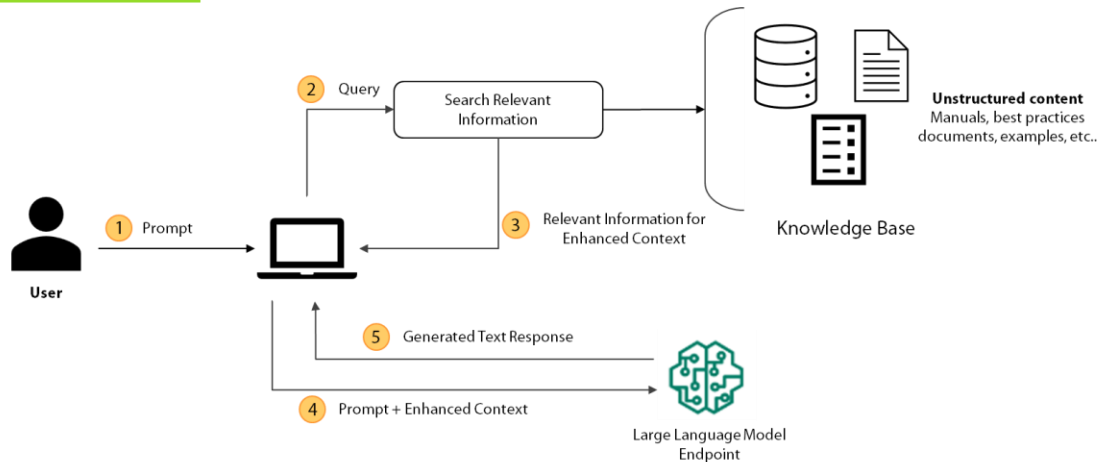
Motivação

Os modelos computacionais do setor elétrico são complexos: envolvem muitos dados, métodos analíticos avançados, geram muitos índices, etc..

Exigem conhecimento profundo para uso adequado, com documentação extensa resultando em um conjunto de manuais volumosos e difíceis de consumir;

Assistente inteligente permite **interação efetiva com a documentação**.

Retrieval Augmented Generation (RAG)



Agentic IA – Automação e assistência em processos

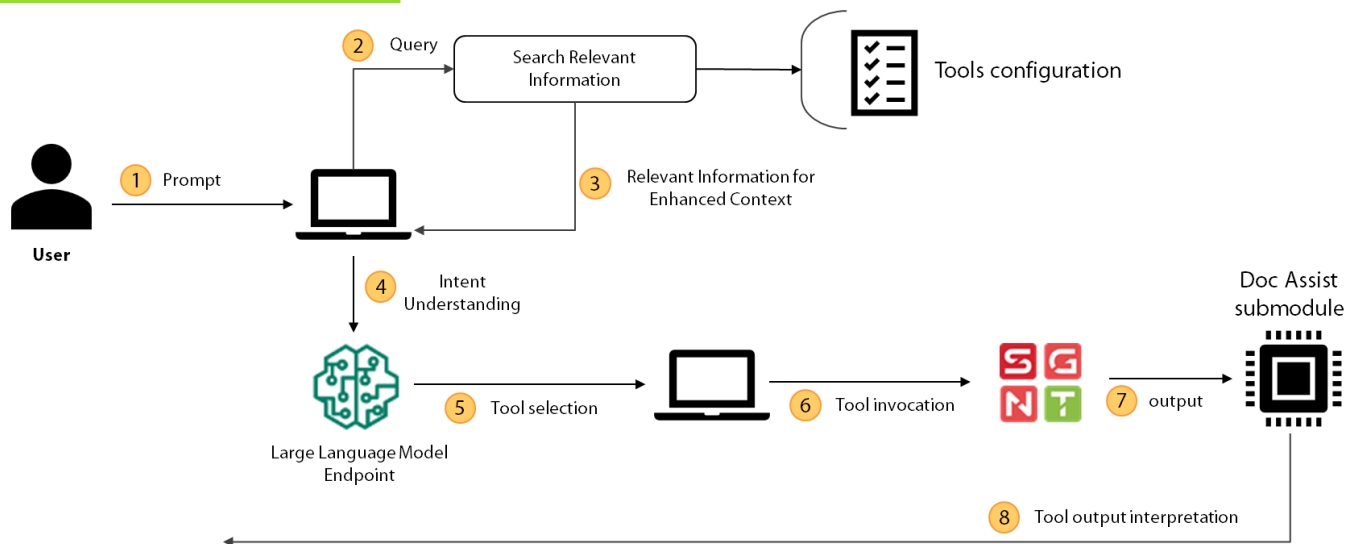
Motivação

Integra capacidades de uso de ferramentas para executar tarefas especializadas

Oferece assistência ao usuário na execução dos modelos da PSR;

Ex.: manipulação rápida de dados, gerenciamento de execuções, interpretação de erros, etc.

Arquitetura baseada em agentes de IA

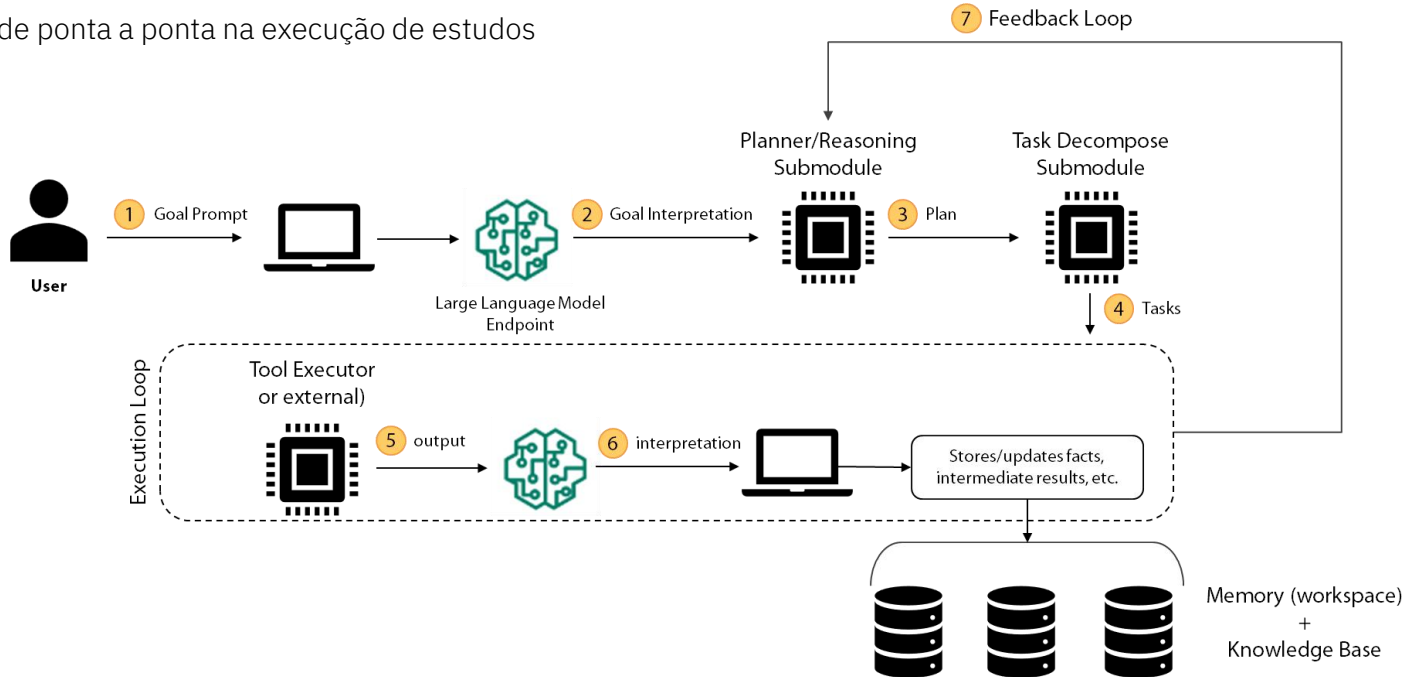


Agentic IA – Automação e assistência em processos

Evolução rumo a um assistente completo de planejamento

Introduzir capacidades de raciocínio em agentes

Permitir assistência de ponta a ponta na execução de estudos



Projeção de Renováveis e Demanda

A nova caixa de ferramentas

BASES DE DADOS DETALHADAS E ROBUSTAS

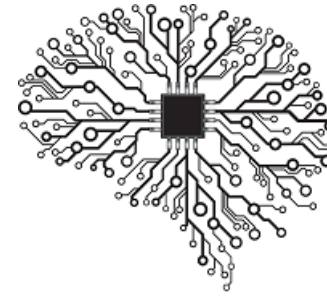
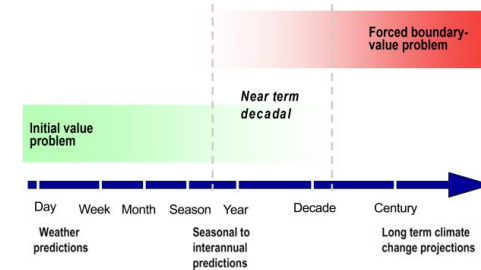
- Pontos de dados em intervalos regulares
- Alta resolução espacial e dados de satélite
- Séries temporais o mais longas possível

MODELOS CLIMÁTICOS

- Cenários de curto e longo prazo
- Modelagem física e dinâmica do sistema atmosférico
- Capacidade de gerar ensembles (diferentes possíveis trajetórias)

IA E OTIMIZAÇÃO ESTOCÁSTICA

- Capacidade de aprender a partir de registros históricos e previsões em conjunto de modelos globais de circulação.
- Modelos de otimização estocástica que representam cenários integrados de precipitação, temperatura, vento e irradiação solar.



Projeção de Renováveis e Demanda

Motivação

O clima está mudando e confiar apenas em padrões históricos já não é suficiente para projetar o futuro

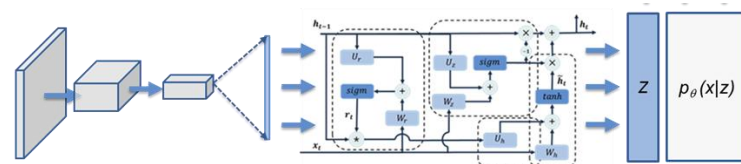
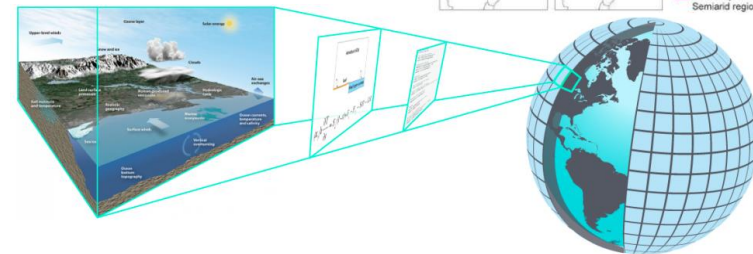
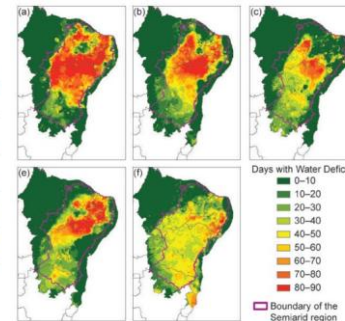
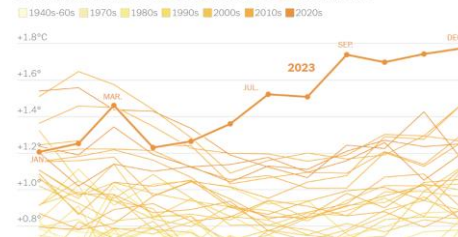
Estratégia

Usar projeções atualizadas dos principais institutos climáticos como entradas exógenas e principais motores da geração de cenários

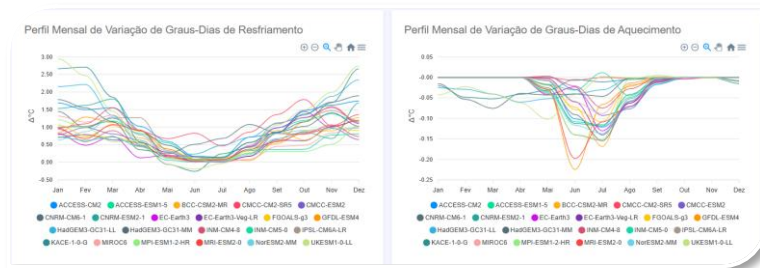
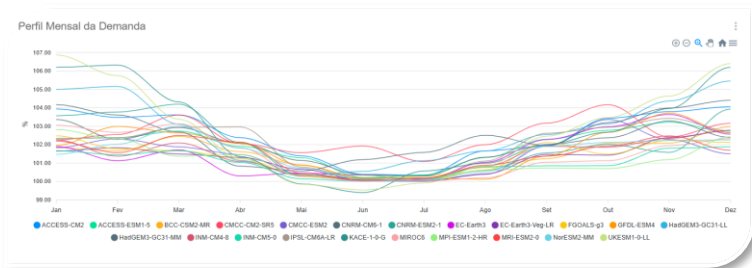
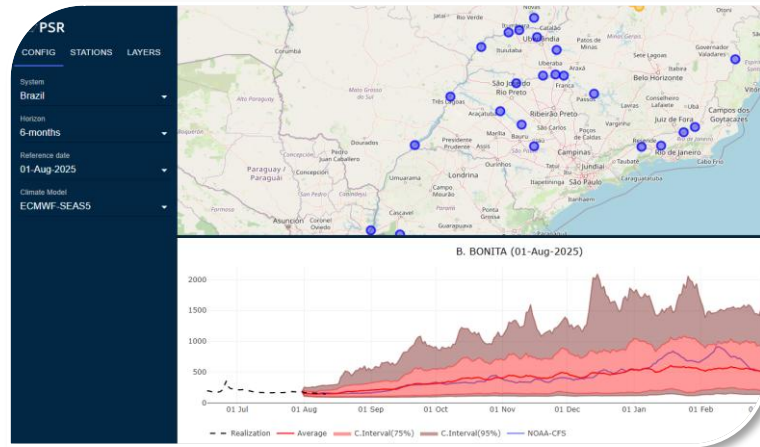
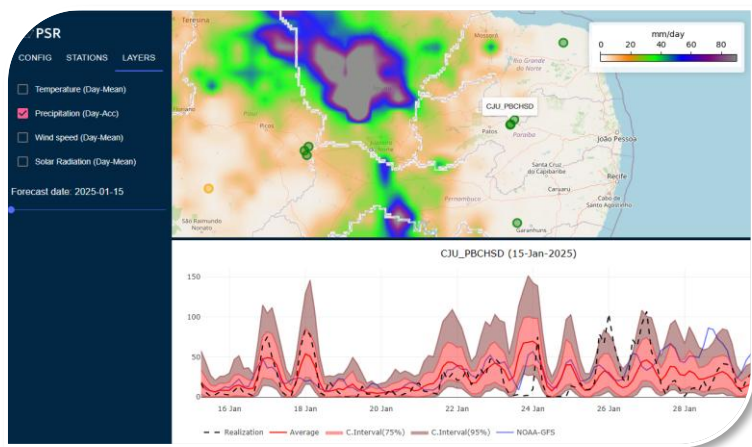
Abordagem data-driven

Aprender funções de transferência complexas entre projeções climáticas/meteorológicas e variáveis energéticas sem depender de equações pré-definidas ou do entendimento de processos físicos.

Monthly global temperature compared with preindustrial levels



Projeção de Renováveis e Demanda

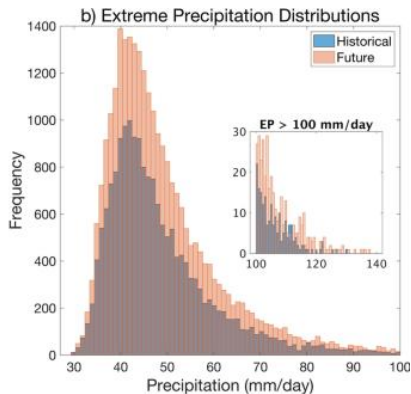
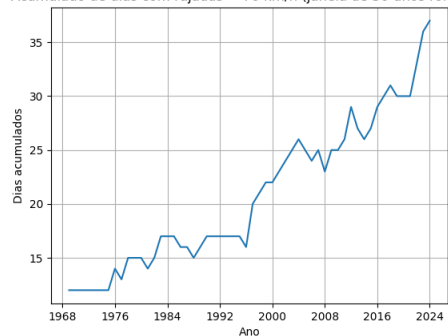


IA na análise de eventos climáticos extremos

Objetivo

Avaliar a probabilidade de eventos climáticos extremos sob novas condições, comparando com frequências históricas, e analisar se a infraestrutura e os procedimentos de rede estão preparados para enfrentar esses riscos, fornecendo indicadores de resiliência, suporte à gestão de contingências e valoração do risco

Acumulado de dias com rajadas > 70 km/h (janela de 30-anos rolantes)



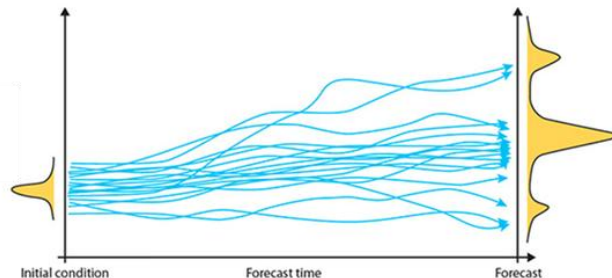
Contexto deste tipo de análise

O objetivo **não é responder se teremos um evento extremo nos próximos dias** (modelos físicos ainda são o estado da arte para isso);

Mas sim **entender se alguns tipos de eventos estão se tornando mais frequentes ou mais intensos** do que no passado recente.

As limitações dos modelos dinâmicos físicos

Modelos físicos de simulação são caros computacionalmente; A dinâmica caótica do clima exige múltiplos cenários para capturar extremos.



O porquê de abordagens IA

Modelos de IA (Large Weather Models) tem emergido recentemente como alternativa para modelagem de clima.



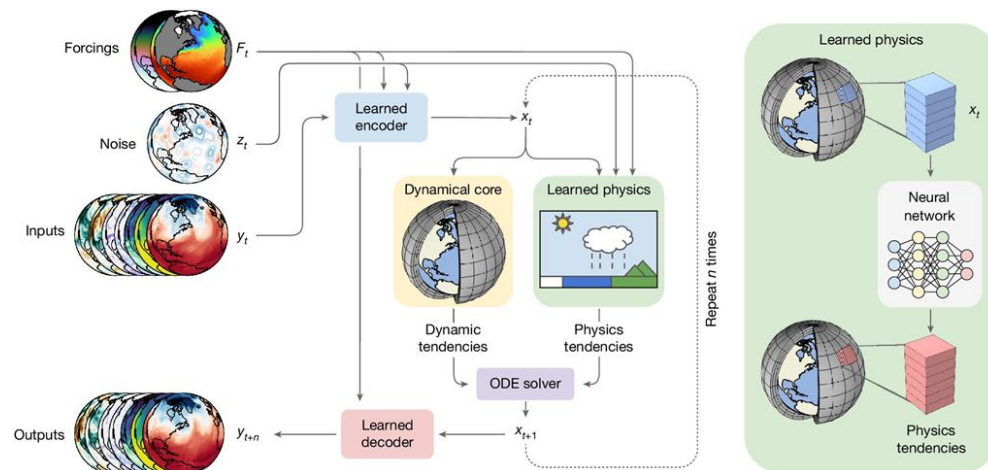
GraphCast



FourCastNet



Aurora



Métodos Híbridos: Modelos Analíticos e Inteligência artificial

Programação Dinâmica Estocástica Vs Reinforcement Learning

Decisão passo a passo

- **RL**: um robô aprende qual ação tomar em cada estado
- **PDE**: o operador decide quanto gerar de cada usina a cada estágio

Aprendizado com incerteza

- **RL**: o agente não sabe exatamente o próximo estado do ambiente
- **PDE**: não sabemos a afluência futura dos rios

Equilíbrio entre presente e futuro

- **RL**: explorar agora vs. guardar para ações futuras
- **PDE**: gerar água agora vs. economizar para períodos secos

Função de recompensa/custo

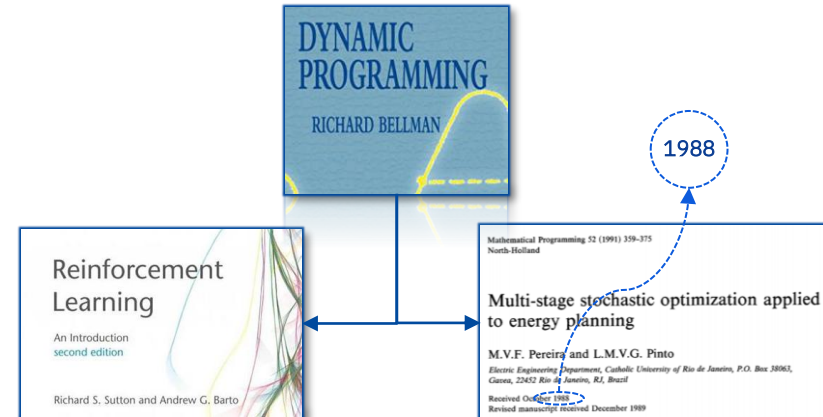
- **RL**: maximizar pontos, vitórias ou lucro
- **PDE**: minimizar custo de operação e risco de déficit

Política ótima

- **RL**: estratégia que guia o agente em qualquer situação
- **PDE**: regra de operação ótima dos reservatórios

Ambos os métodos compartilham fundamentos semelhantes na abordagem de tomada de decisão sob incerteza: **técnicas de otimização e aprendizado a partir de interações com o ambiente.**

São derivados de **referências bibliográficas em comum.**



Métodos Híbridos: Modelos Analíticos e Inteligência artificial

“Surrogate models” para a operação

Combina dados históricos de operação com as equações originais, substituindo partes da formulação por componentes aproximados.

- Reduzir modelos de alto custo por representações aproximadas mais rápidas
- Aumentar significativamente o speedup na resolução de problemas complexos
- Representar componentes sem formulação analítica clara ou de difícil modelagem

Alguns exemplos de aplicação

- Commitment de térmicas na operação horária
- Representação de perdas e limites térmicos em redes
- Restrições de segurança por contingências de circuitos
- Estimativa rápida de estabilidade dinâmica

Conjunto de equações da formulação matemática do problema

$$\sum_{j=1}^J g_t(j) + \sum_{i=1}^I \rho(v_t(i)) \times u_t(i) = d_t$$

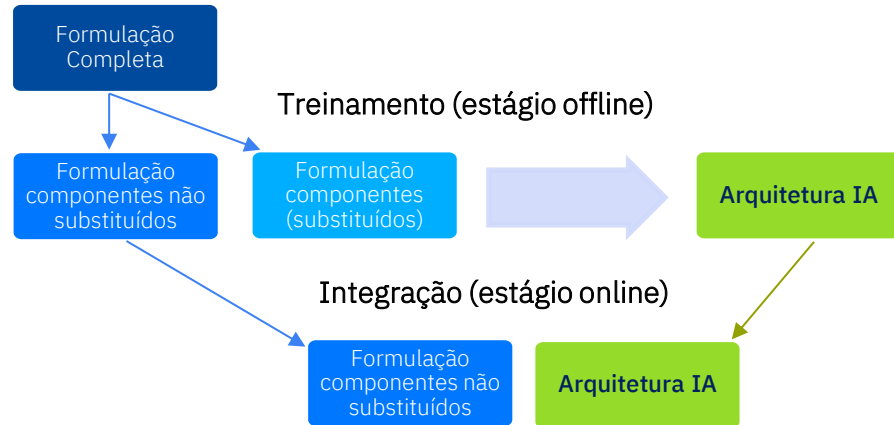
$$0 \leq g_{tk}(j, h) \leq \sigma(j, h) \times \bar{g}_{tk}(j)$$

$$v_{t+1}(i) = v_t(i) + a_t(i) - \varepsilon(v_t(i)) - \sum_{k=1}^K [u_{tk}(i) + s_{tk}(i) + \phi_{tk}(i)]$$

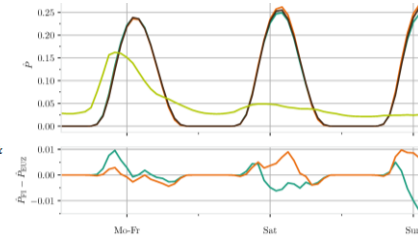
$$\sum_{i=1}^I g_{tk}(i) + \sum_{j=1}^J g_{tk}(j) + \sum_{b=1}^B (\beta_d(b) \times ds_k(b) - cr_k(b)) = d_{tk}$$

$$\sum_{i \in V_r} \rho(v_t(i)) \times v_t(i) + \delta a_t(r) \geq \underline{ga}_t(r)$$

...



Dados históricos de operação



Menções Honrosas (por questão de tempo e não de importância)

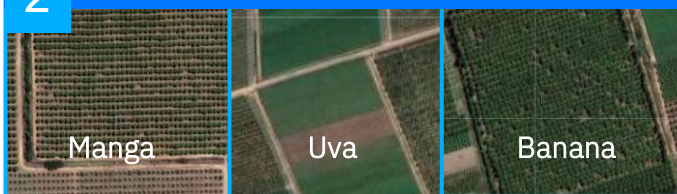
Projetos que combinam GIZ com IA do tipo Computer Vision

Projeto P&D para identificação de cultivos com inteligência artificial

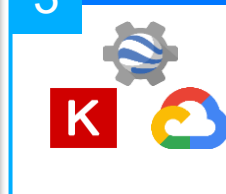
1 Imagem de satélite



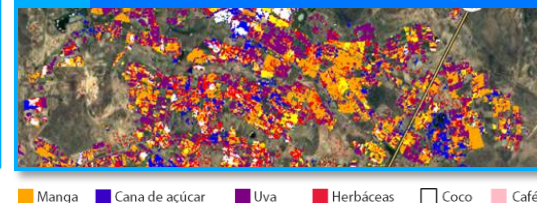
2 Visita a campo para treinamento da rede



3 Tecnologias



4 Imagem de satélite com classificação de cultivos para áreas irrigadas



 Google Earth Engine

 Keras API

 Google Cloud



Dados climáticos

5 Cálculo da retirada d'água para uma área

Σ áreas

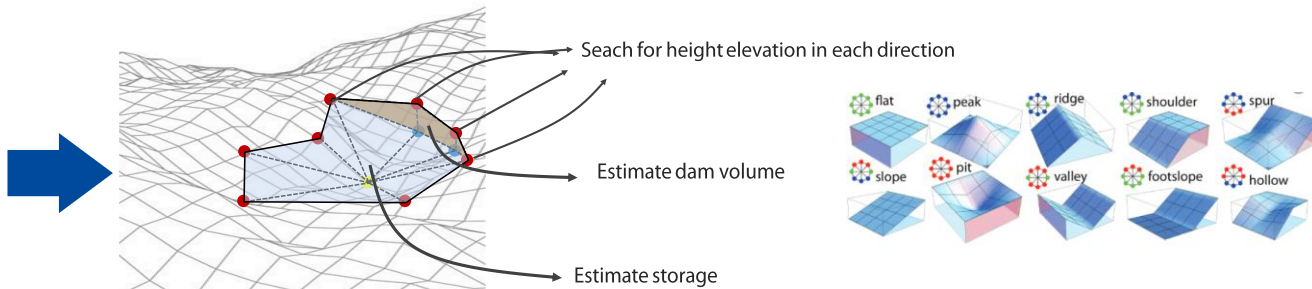
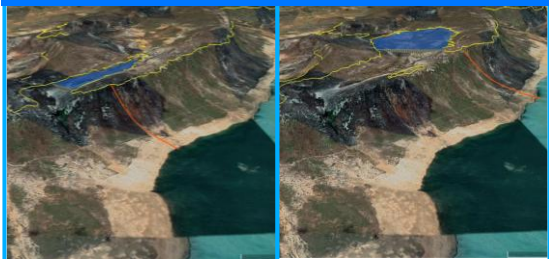
6 Retirada d'água total na bacia hidrográfica (ou usinas)

Menções Honrosas (por questão de tempo e não de importância)

Projetos que combinam GIZ com IA do tipo Computer Vision

Projeto P&D para inventário de reversíveis com inteligência artificial

Imagens de satélite



Parcerias externas

- Parceria estratégica com a NVIDIA, na construção de um trabalho com a PSR, envolvendo fornecimento de GPUs de última geração e promoção de intercâmbio técnico entre as equipes





Conclusão

Potencial da Inteligência Artificial

- **Diversidade de aplicações:** agentic IA, previsão de renováveis, surrogate models, análise de risco, entre outros;
- **Novos métodos promissores:** Técnicas de aprendizado de máquina e otimização estocástica que podem ser aplicadas a diferentes problemas;
- **Potencial além do setor elétrico:** Ferramentas e abordagens podem ser estendidas a outros setores complexos;
- **Exploração de oportunidades:** A variedade de aplicações indica que há muito a ser explorado e aproveitado em pesquisa e operação.

Desafios

- **Falta de marco regulatório** claro para uso de IA no setor elétrico;
- **Riscos de IA generativa:** uso de informação crítica e sensível com potenciais impactos operacionais;
- **Governança de IA e confiabilidade:** necessidade de controle sobre outputs de modelos e decisões automatizadas e garantir que modelos não comprometam a operação ou divulguem informações sensíveis;
- **Transparência, qualidade e integração de dados** ainda são obstáculos para modelagem robusta;
São exemplos positivos as plataformas *opendata* do ONS e CCEE, que fornecem dados detalhados e padronizados, e que são insumos valiosos para gerar ideias e soluções.