



# Aplicações de Inteligência Artificial na PSR

Painel: Desafios para a Engenharia nos Tempos de IA.



# Atuação da PSR

**Energy Systems Modeling Suite** – Fornecedora de ferramentas/modelos computacionais que abrangem toda a gama de questões analíticas sobre sistemas de energia e setores acoplados.



**SDDP**

Operation Planning



**OptGen**

Expansion Planning



**NCP**

Short-term Dispatch



**Time Series Lab**

Renewable Modeling



**HERA**

Hydro Modeling

**Serviços de consultoria** – Consultoria em avaliações integradas no setor de energia, combinando modelagem matemática avançada com experiência prática e regulatória em diferentes países.



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 INVESTIMENTOS



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



# Atuação da PSR



# Diversificação nas relações da PSR com IA



## PSR como usuária de IA

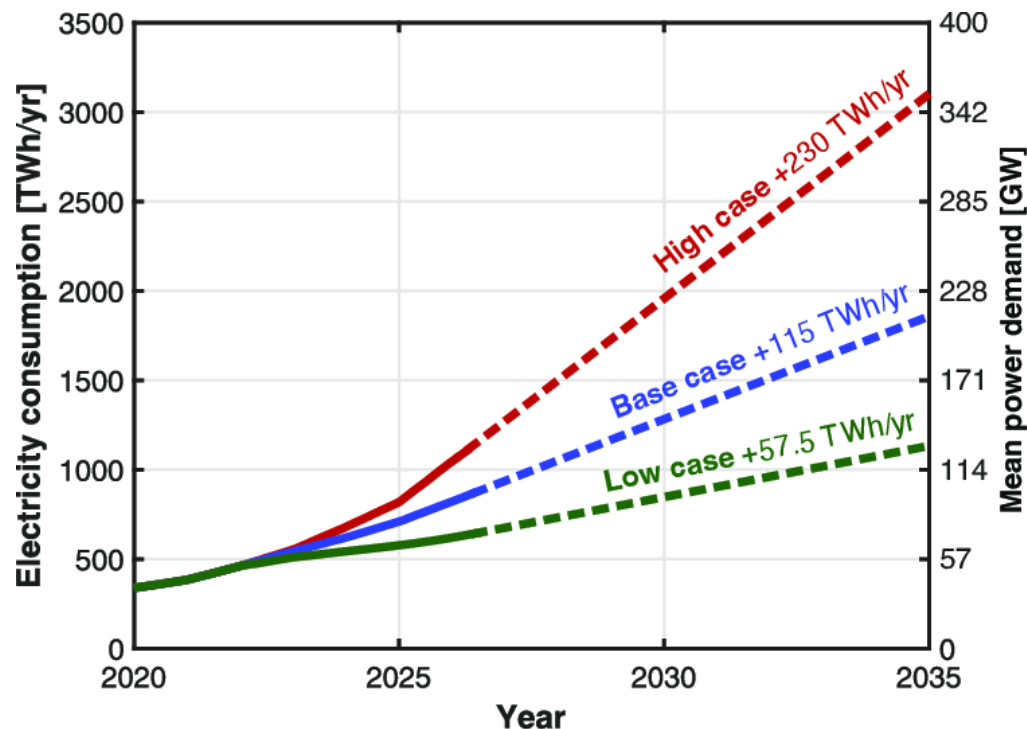
Uso de ampla gama de ferramentas e serviços de Inteligência Artificial (IA) para otimizar processos e melhorar a eficiência em diversas áreas. Entre os recursos de uso comum estão:

IA generativa para processamento em linguagem natural (texto e multimodal em geral), Copilotos de codificação, análise de bugs e diagnóstico automatizado, etc..

## PSR como desenvolvedora de soluções IA-based;

Soluções desenvolvidas pela PSR, utilizando diferentes domínios de IA, para auxiliar na resolução dos problemas resolvidos dentro da sua cadeia de modelos e serviços de consultoria, oferecendo mais recursos e suporte para uma tomada de decisão mais eficiente e otimização dos processos do usuário. **(maior destaque nesta apresentação)**

# IA Como Cliente 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.

**Treinar o GPT-3 da OpenAI, levou cerca de 34 dias e utilizou aproximadamente 1.3 MWh de energia. Treinar o GPT-4, com mais de 1 trilhão de parâmetros, levou 100 dias e consumiu cerca de 62 MWh, 48 vezes mais do que o GPT-3.**

**Alto consumo de energia pelos data-centers:** O crescimento exponencial da IA está impulsionando a demanda por mais poder computacional, resultando em um aumento significativo no consumo de eletricidade pelos data centers e infraestruturas de TI;

**Expansão da capacidade de geração e transmissão:** Para suportar o aumento da demanda energética impulsionada pela IA, 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;

# Roadmap: Etapas e Desafios no Planejamento da Operação e como nossas soluções IA são empregadas



	Roadmap			
Etapa	<ul style="list-style-type: none"><li>Preparação de dados</li><li>Premissas para o futuro</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Execução do modelo</li><li>Programação dinâmica estocástica</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Simulação em 'alta-resolução'</li><li>Detalhamento horário/sub-horário</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Análise de resultados</li><li>Rodar novas premissas</li></ul>
Desafio	<ul style="list-style-type: none"><li>Recursos com alto grau de incerteza</li><li>Diferentes escalas de tempo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Algoritmo SDDP estado da arte para classe de problemas, mas como abranger os demais casos?</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Problemas de alta dimensionalidade</li><li>Elevado tempo computacional</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Volume extenso de saídas</li><li>Bases de dados complexas</li></ul>
Solução IA-based	<ul style="list-style-type: none"><li>Geração de cenários plausíveis</li></ul>			

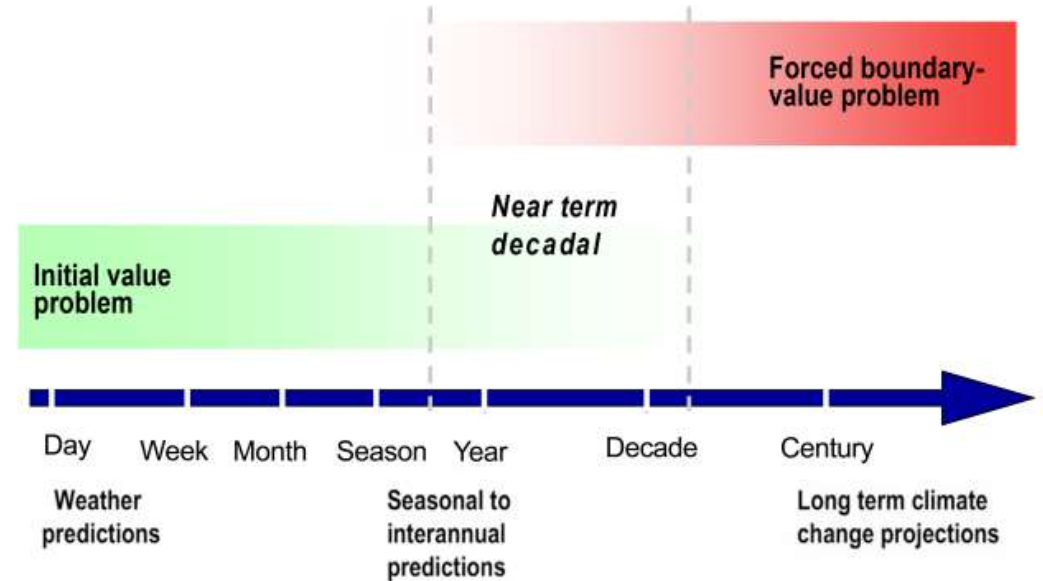


# IA para Geração de Cenários

**Representação de incerteza em diferentes escalas de tempo e espaço:** Geração de cenários futuros conjuntos para os recursos representados na operação dos sistemas energéticos: disponibilidade para geração hidrelétrica, eólica, solar, demanda elétrica, dynamic line rating, etc.;

**Cenários condicionados a projeções meteorológicas/climáticas:** Ao invés de aplicar abordagens clássicas de séries temporais (como modelos estatísticos ou autorregressivos), o modelo aprende a mapear diretamente a incerteza das previsões meteorológicas e projeções climáticas para a incerteza dos cenários de interesse;

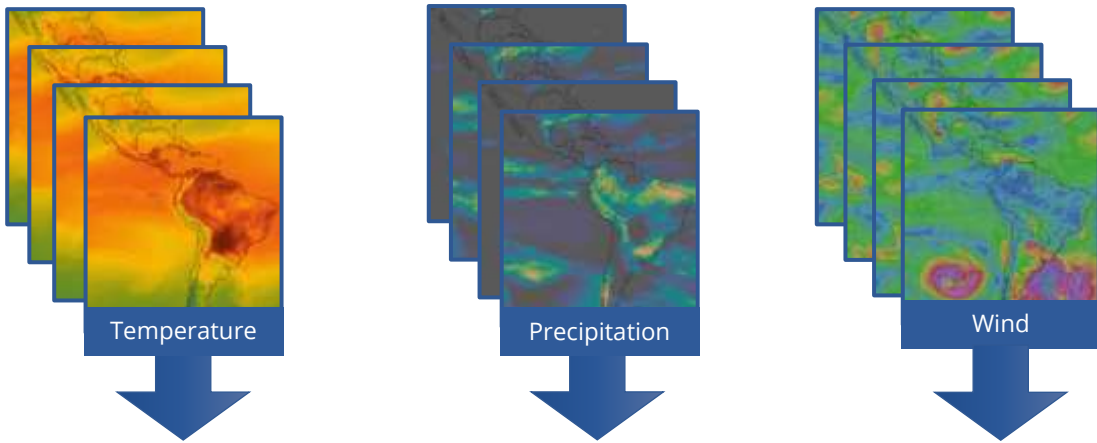
**IA descritiva vs generativa:** Embora a arquitetura tenha elementos de IA descritiva (função de descrever fenômenos físicos), ela apresenta características que poderiam enquadrá-la melhor na categoria de IA generativa.



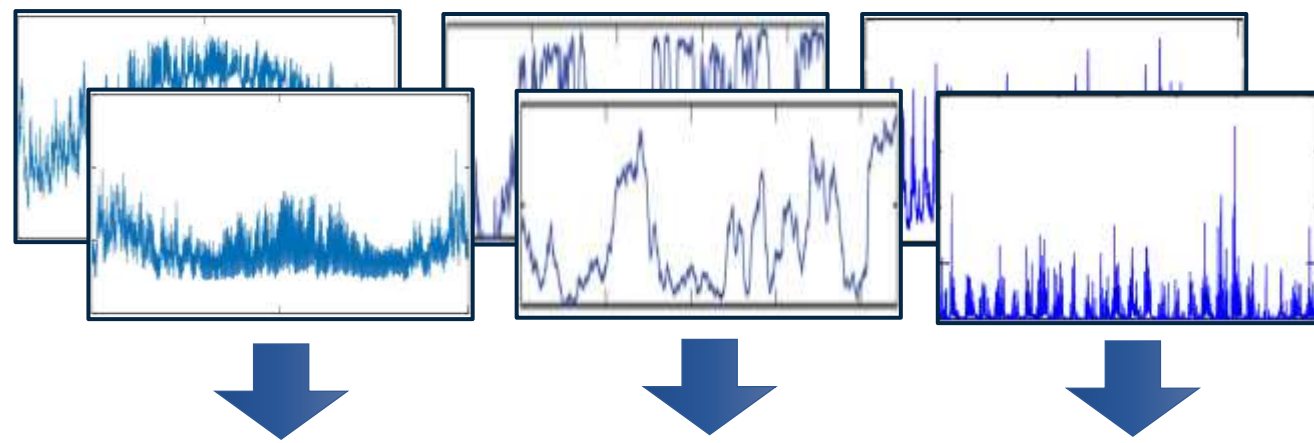
- ▶ Weather Predictions – Modelos de curto prazo (até 15 dias a frente) – -----> Atualizado todos os dias
  - ECMWF, GFS,...
- ▶ Seasonal to Interannual predictions – Modelos seasonal (até 6 meses a frente) – -----> Atualizado uma vez ao mes
  - ECMWF/SEAS5, CFSV2, CMC2, NASA, GFDL, ...
- ▶ Decadal predictions – Modelos decadais (até 10 anos a frente) – -----> Atualizado uma vez ao ano (varia bastante por modelo)
  - Modelos participantes do projeto CMIP/DCPP (EC-Earth3, CMCC-CM2-SR5, HadGEM3-GC31-MM,...)
- ▶ Long term climate change predictions - Modelos climáticos para até o final do século -----> Atualizado a cada nova fase do CMIP
  - Modelos participantes do projeto CMIP/ScenarioMIP (aproximadamente 40 modelos)



Sequence of historical *hindcasts* (Ex: ECMWF+GFS)



Sequence of historical *observations*

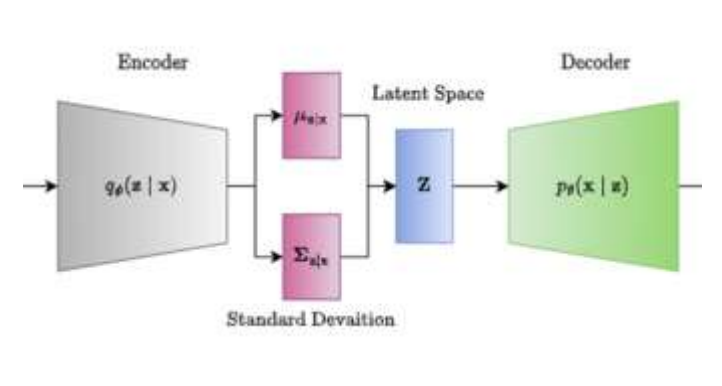
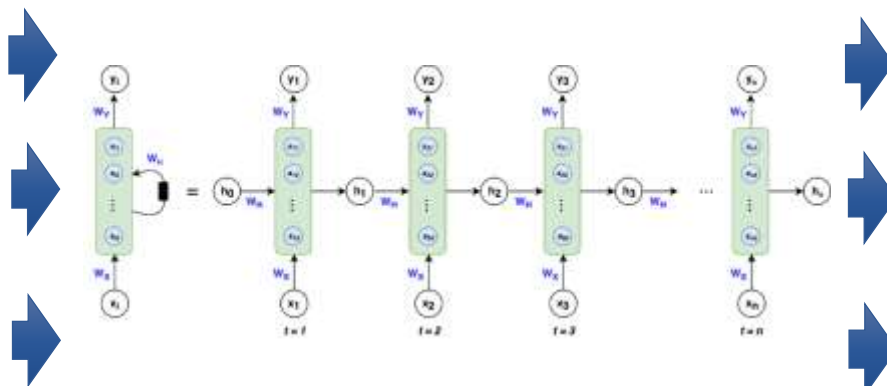
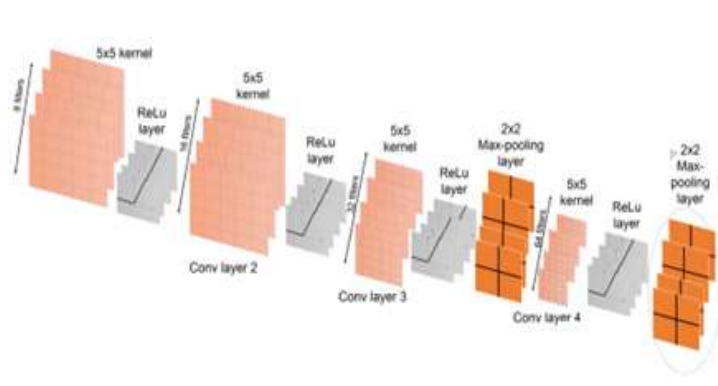


## Deep Learning Architecture

Convolutional Layers - Identify spatial patterns

Recurrent Layers - Identify temporal patterns

Variational Autoencoder Layers - Identify distributions



A arquitetura de "Deep Learning" tem como "input" sequências de modelos de "previsão" (hindcasts) e múltiplos dados históricos georreferenciados: vazões, demanda de eletricidade, produção das usinas renováveis, etc;

A arquitetura "aprende" as complexas relações não lineares entre todas as variáveis e a capturar a dinâmica das distribuições de probabilidade temporais/espaciais.



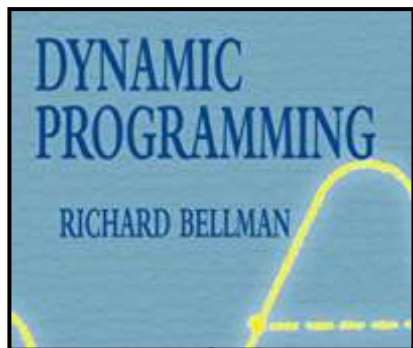
# Roadmap: Etapas e Desafios no Planejamento da Operação e como nossas soluções IA são empregadas



Etapa	Preparação de dados Premissas para o futuro	Execução do modelo Programação dinâmica estocástica	Simulação em 'alta-resolução' Detalhamento horário/sub-horário	Análise de resultados Rodar novas premissas
Desafio	Recursos com alto grau de incerteza Diferentes escalas de tempo	Algoritmo SDDP estado da arte para classe de problemas, mas como abranger os demais casos ?	Problemas de alta dimensionalidade Elevado tempo computacional	Volume extenso de saídas Bases de dados complexas
Solução IA-based	Geração de cenários plausíveis	SDDP + reinforcement learning		

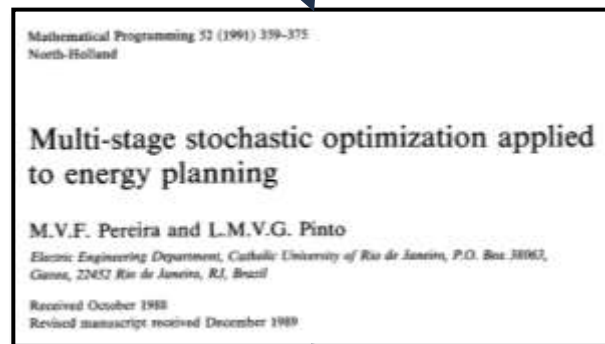
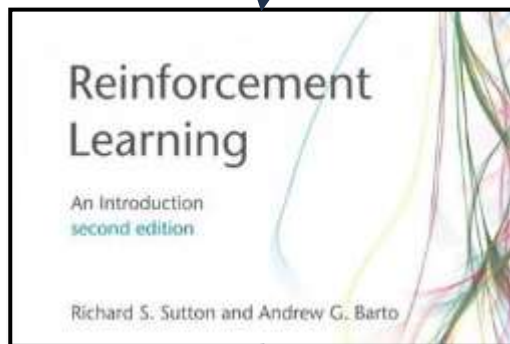


# SDDP e Reinforcement Learning



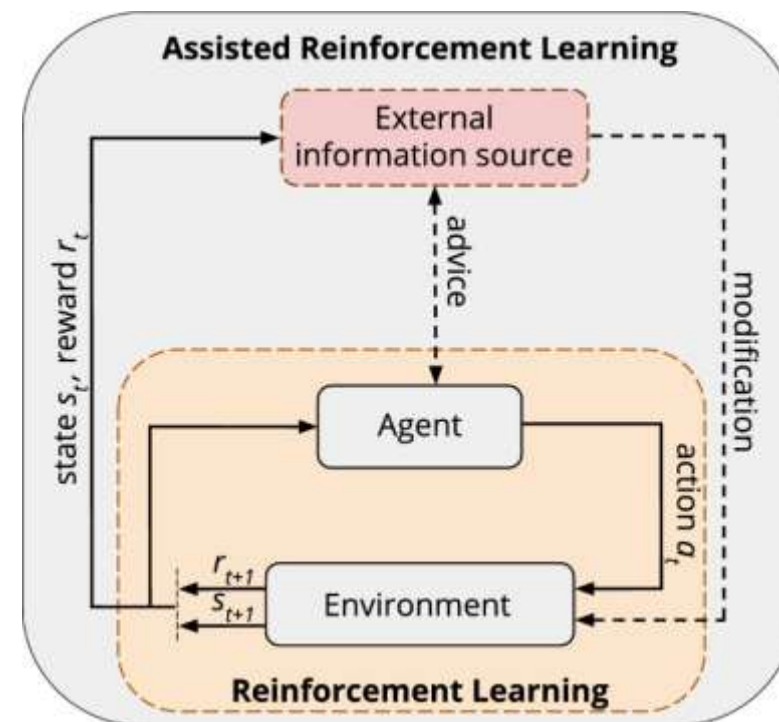
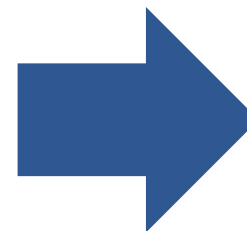
Ambos os métodos compartilham fundamentos semelhantes na abordagem de tomada de decisão sob incerteza: **técnicas de otimização e aprendizado a partir de interações com o ambiente.**

Possuem referências comuns em teorias de otimização estocástica e programação dinâmica, permitindo a aplicação de conceitos como **funções de valor e políticas.**



Buscando o melhor dos dois mundos:

- Flexibilidade para tratamento das não linearidades (RL)
- Maior eficiência computacional e otimalidade (SDDP)



# Roadmap: Etapas e Desafios no Planejamento da Operação e como nossas soluções IA são empregadas

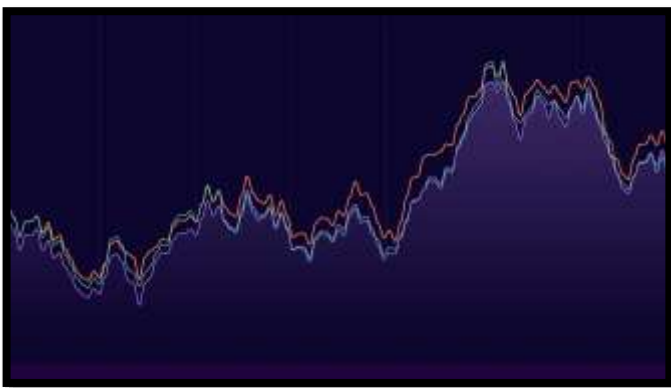


Etapa	<p>Preparação de dados</p> <p>Premissas para o futuro</p>	<p>Execução do modelo</p> <p>Programação dinâmica estocástica</p>	<p>Simulação em 'alta-resolução'</p> <p>Detalhamento horário/sub-horário</p>	<p>Análise de resultados</p> <p>Rodar novas premissas</p>
Desafio	<p>Recursos com alto grau de incerteza</p> <p>Diferentes escalas de tempo</p>	<p>Algoritmo SDDP estado da arte para classe de problemas, mas como abranger os demais casos ?</p>	<p>Problemas de alta dimensionalidade</p> <p>Elevado tempo computacional</p>	<p>Volume extenso de saídas</p> <p>Bases de dados complexas</p>
Solução IA-based	<p>Geração de cenários plausíveis</p>	<p>SDDP + reinforcement learning</p>	<p><i>Surrogate models</i> data-driven + analíticos</p>	



# Surrogate models: data-driven + analíticos

Conjunto extenso de dados de operação do passado



Conjunto de equações da formulação física do problema:

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

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

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

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

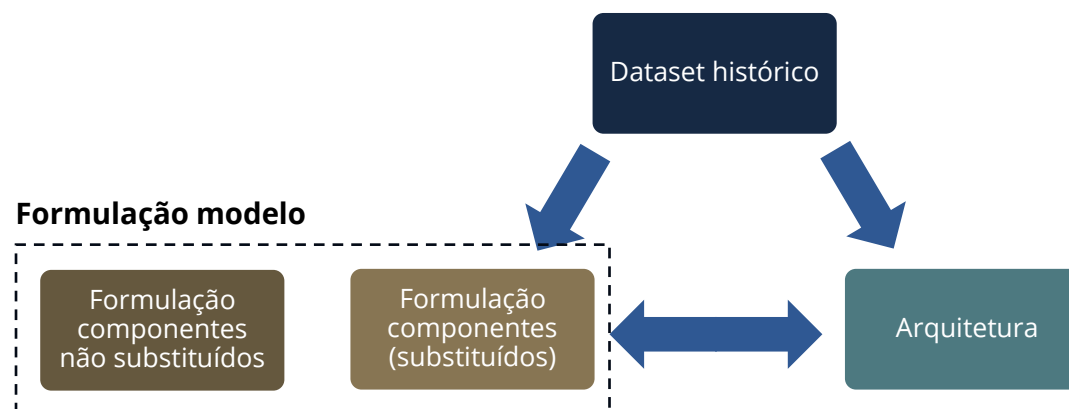
$$\sum_{i \in U_r} \rho(v_t(i)) \times v_t(i) + \delta a_t(r) \geq \underline{ea}_t(r)$$

...

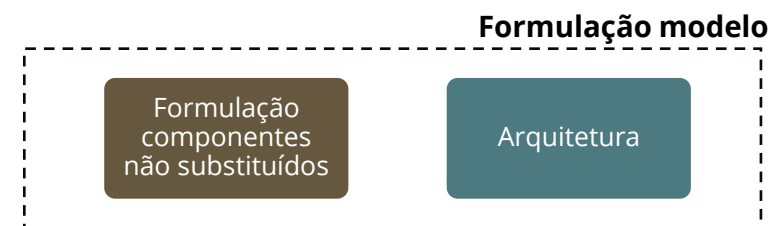
Combinação de dados históricos reais de operação com as equações da formulação original durante o processo de treinamento.

A função **loss** inclui componentes adicionais para forçar o atendimento a formulação.

Treinamento (estágio offline)



Integração (estágio online)





# Roadmap: Etapas e Desafios no Planejamento da Operação e como nossas soluções IA são empregadas



Etapa	<p>Preparação de dados</p> <p>Premissas para o futuro</p>	<p>Execução do modelo</p> <p>Programação dinâmica estocástica</p>	<p>Simulação em 'alta-resolução'</p> <p>Detalhamento horário/sub-horário</p>	<p>Análise de resultados</p> <p>Rodar novas premissas</p>
Desafio	<p>Recursos com alto grau de incerteza</p> <p>Diferentes escalas de tempo</p>	<p>Algoritmo SDDP estado da arte para classe de problemas, mas como abranger os demais casos ?</p>	<p>Problemas de alta dimensionalidade</p> <p>Elevado tempo computacional</p>	<p>Volume extenso de saídas</p> <p>Bases de dados complexas</p>
Solução IA-based	<p>Geração de cenários plausíveis</p>	<p>SDDP + reinforcement learning</p>	<p><i>Surrogate models</i> data-driven + analíticos</p>	<p>Assistentes virtuais</p>



# Assistentes Virtuais - LLM

---

**Agentes de IA integrados:** Incorporam modelos de linguagem natural (LLMs) de maneira a oferecer uma interface intuitiva e direta para controle, automação e análise. Além de facilitar interações operacionais, eles também atuam como assistentes especializados, respondendo rapidamente a questões conceituais gerais e a perguntas detalhadas sobre as metodologias dos modelos da PSR.

**Arquitetura multi-agente:** Dividir as tarefas entre diferentes agentes de IA especializados por domínio maximiza a eficiência e a precisão. Cada agente se concentra em um conjunto específico de habilidades e conhecimentos, o que permite respostas mais precisas nos domínios específicos.

```
Bem vindo ao PSR-Assistants.  
Nossos assistentes virtuais LLM: Laura, Lucas e Mario podem ajudar em diferentes tópicos.  
  
Laura é especialista em documentação e metodologias da PSR e pode ajudar com dúvidas conceituais dos nossos modelos  
Lucas é especialista em analisar dados e executar os modelos e pode auxiliar neste processo  
Mario é especialista em extrair insights e construir relatórios a partir dos resultados dos modelos  
  
[Usuário] |
```

# Assistentes Virtuais - LLM

## Assistência em metodologia:

[Usuário] Me fale sobre o modelo coral

[Laura] O modelo CORAL é uma ferramenta de confiabilidade e adequação de recursos da PSR, que avalia a confiabilidade do fornecimento de energia em sistemas de grande porte. Ele considera elementos como geração térmica, hidrelétrica, fontes renováveis, linhas de transmissão e dispositivos de armazenamento.

O modelo leva em conta falhas na geração e transmissão, incertezas hidrológicas e variações de carga. Utiliza métodos de simulação baseados em Monte Carlo e possui três níveis hierárquicos: avaliação do sistema de geração, do sistema de transmissão e do sistema composto.

Se precisar de mais detalhes ou tiver outras perguntas, é só avisar!

[Usuário] pode me dar mais detalhes do que seria o sistema composto?

[Laura] O sistema composto no modelo CORAL avalia a confiabilidade do sistema de energia considerando tanto as falhas de geração quanto as falhas de transmissão. Essa abordagem permite uma análise abrangente da capacidade do sistema em atender à demanda, focando na existência de instalações suficientes para garantir que a demanda seja atendida. No entanto, não aborda aspectos relacionados à segurança do sistema em resposta a distúrbios.

Se precisar de mais informações ou tiver outras perguntas, estou à disposição!

## Assistência em manipulação de dados e execução:

[Usuário] Modifique o caso removendo as usinas termoeletricas associadas a combustível com coeficiente de emissão superior a 0.03 tCO2/MWh, aumente todas as demandas em 1.03% a partir de 2025 e salve em d:\dados\caso\_modificado

[Lucas] A operação foi realizada e um novo diretório de dados foi criado em 'D:\dados\caso\_modificado'. Se precisar de mais alguma coisa, é só avisar!

[Usuário] execute o ultimo caso

```
SDDP Version 17.3.5
SignatureId: 94b6b78a3-win64-intel23-release

Reading Execution Options and General Data file
Copy licensed to: PSR - Julio Alberto (ERPEL)
DIRECTORY: D:\Dados\caso_modificado\
```

# Assistentes Virtuais - LLM

## Assistência em análise de resultados:

- A princípio, a PSR já vinha oferecendo soluções *BI* integradas aos seus modelos já a algum tempo;
- No entanto, para poder usufruir de toda flexibilidade das ferramentas, o usuário precisava customizar os seus próprios gráficos/dashboards programando em scripts de alto nível (mas ainda assim.. programando);
- Mas recentemente, a partir da chegada do conceito de **programação sem código**, a PSR passou a apostar também neste tipo de paradigma para a reformulação da interface do usuário com os resultados.

[Usuário] plote um gráfico da saída de Custo marginal da demanda contendo os percentis 10, 25, 50, 75 e 90 dos cenários obtidos.

[Mario] O código para gerar o gráfico da saída de Custo Marginal da Demanda com os percentis 10, 25, 50, 75 e 90 foi gerado e o gráfico foi criado. Se precisar de mais alguma coisa ou de uma análise específica sobre os dados, é só avisar!



```
local system = System();
local cmgdem = system:load("cmgdem"):aggregate_blocks(BY_AVERAGE());
local p10 = cmgdem:aggregate_scenarios(BY_PERCENTILE(10)):aggregate_agents(BY_SUM(), "p10");
local p25 = cmgdem:aggregate_scenarios(BY_PERCENTILE(25)):aggregate_agents(BY_SUM(), "p25");
local p50 = cmgdem:aggregate_scenarios(BY_PERCENTILE(50)):aggregate_agents(BY_SUM(), "p50");
local p75 = cmgdem:aggregate_scenarios(BY_PERCENTILE(75)):aggregate_agents(BY_SUM(), "p75");
local p90 = cmgdem:aggregate_scenarios(BY_PERCENTILE(90)):aggregate_agents(BY_SUM(), "p90");
local chart = Chart("Custo marginal da demanda");
```

```
chart:add_area_range(p10, p90, { color = "blue", lineWidth = 0, fillOpacity = 0.2 });
chart:add_area_range(p25, p75, { color = "blue", lineWidth = 0, fillOpacity = 0.2 });
chart:add_line(p50, { color = "red", lineWidth = 2, dashStyle = "dash" });
```

