

PSR

Planejando o Futuro com as Ferramentas da PSR

Preparado para

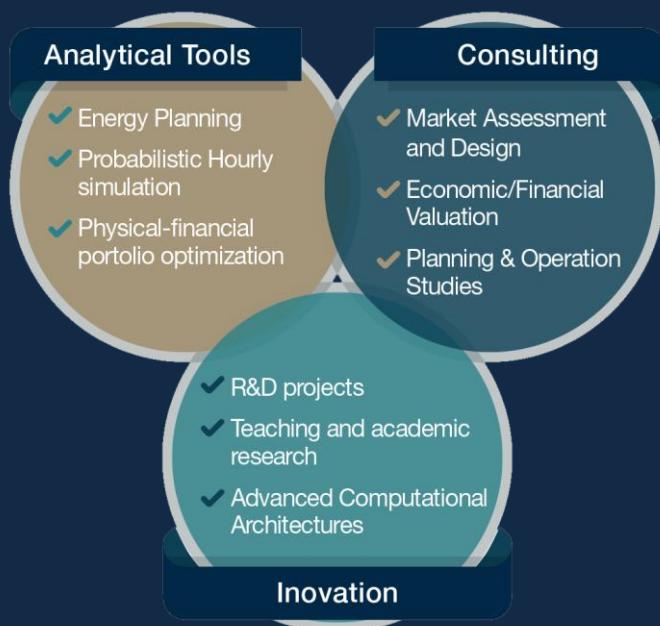


Rio de Janeiro, 18 de agosto de 2022

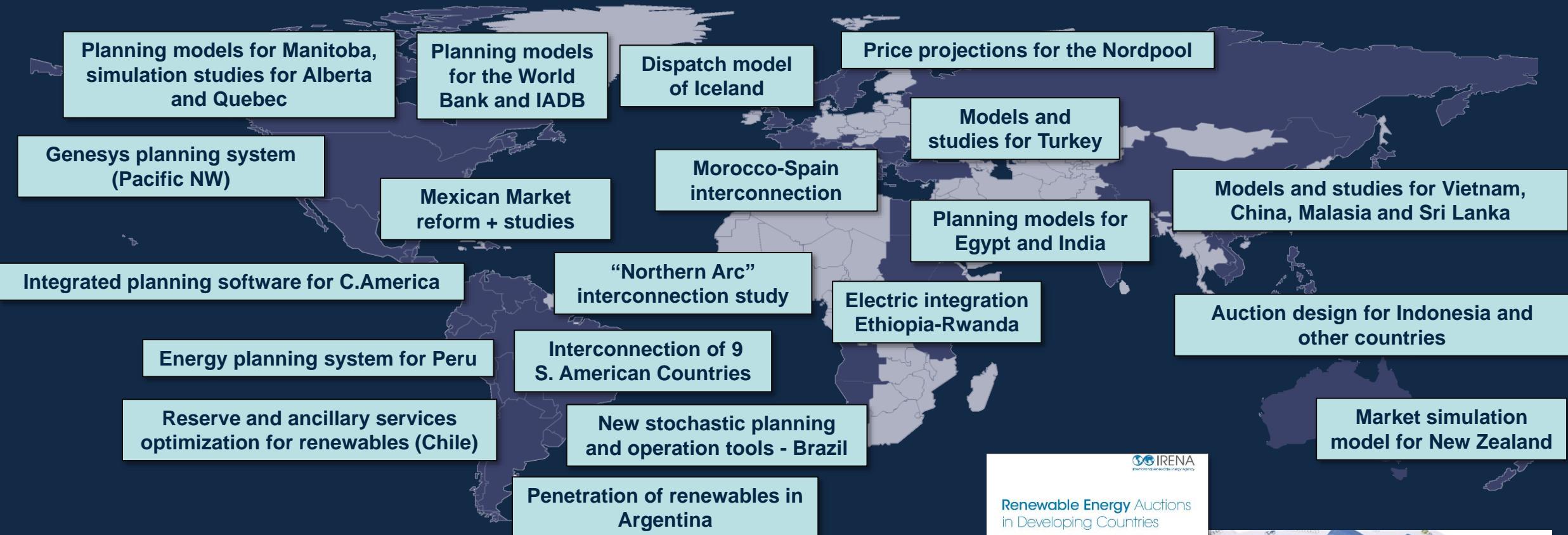
Se você não conhece a PSR...

A PSR integra estudos de consultoria, desenvolvimento de ferramentas analíticas avançadas e pesquisa de novas metodologias em sistemas de energia

Nossa equipe tem 100 pessoas com formação em otimização, sistemas de energia, estatística e ciência da computação/dados



Temos clientes em 70 países em todos os continentes



Mais de 500 licenças ativas no mundo

Americas: all countries in South and Central America, United States, Canada and Dominican Republic

Europe: Austria, Spain, France, Scandinavia, Belgium, Turkey and the Balkans region

Asia: China (Shanghai, Sichuan, Guangdong and Shandong), India, Pakistan, Nepal, Philippines,

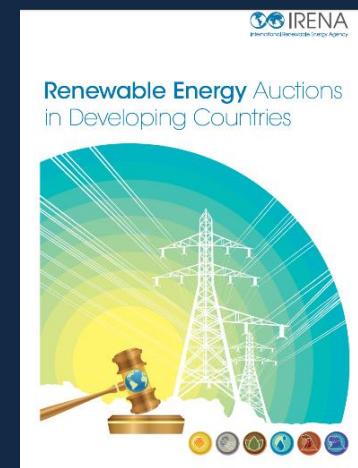
Singapore, Malaysia, Kirgizstan, Sri Lanka, Tajikistan and Vietnam

Oceania: New Zealand

Africa: Morocco, Tanzania, Mozambique, Rwanda, Namibia, Egypt, Angola, Sudan, Ethiopia and Ghana



70+ países



Nossos números anuais



Nossos números

APSR fornece produtos e serviços para uma ampla gama de clientes no Brasil e no exterior, como operadores de sistemas e mercados de eletricidade/gás, planejadores, reguladores, investidores, geradores, comercializadores, consumidores, distribuidoras, bancos e agências multilaterais.



países



60 especialistas na
equipe



projetos realizados



do faturamento
fora do Brasil



98% de renovação
de licenças



execuções dos modelos

Americas: all countries in South and Central America, United States, Canada and Dominican Republic

Europe: Austria, Spain, France, Scandinavia, Belgium, Turkey and the Balkans region

Asia: China (Shanghai, Sichuan, Guangdong and Shandong), India, Pakistan, Nepal, Philippines, Singapore, Malaysia, Kirgizstan, Sri Lanka, Tajikistan and Vietnam

Oceania: New Zealand

Africa: Morocco, Tanzania, Mozambique, Rwanda, Namibia, Egypt, Angola, Sudan, Ethiopia and Ghana.

Nossa Equipe



Americas: all countries in South and Central America, United States, Canada and Dominican Republic

EuroAmericas: all countries in South and Central America, United States, Canada and Dominican Republic

AsiaEurope: Austria, Spain, France, Scandinavia, Belgium, Turkey and the Balkans region

Asia: China (Shanghai, Sichuan, Guangdong and Shandong), India, Pakistan, Nepal, Philippines,

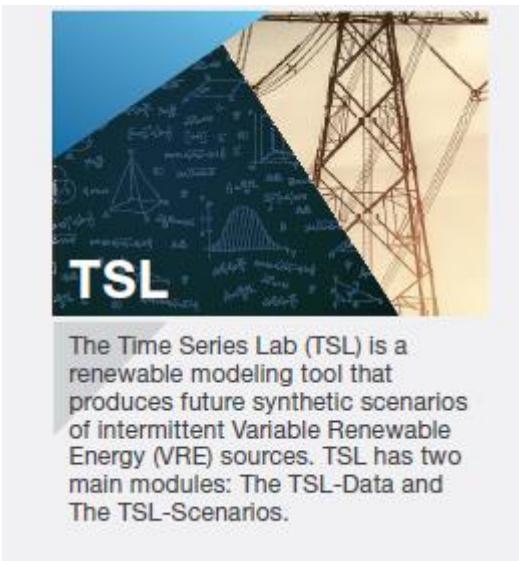
Singapore, Malaysia, Kirgizstan, Sri Lanka, Tajikistan and Vietnam

Oceania: New Zealand

Africa: Morocco, Tanzania, Mozambique, Rwanda, Namibia, Egypt, Angola, Sudan, Ethiopia and Ghana

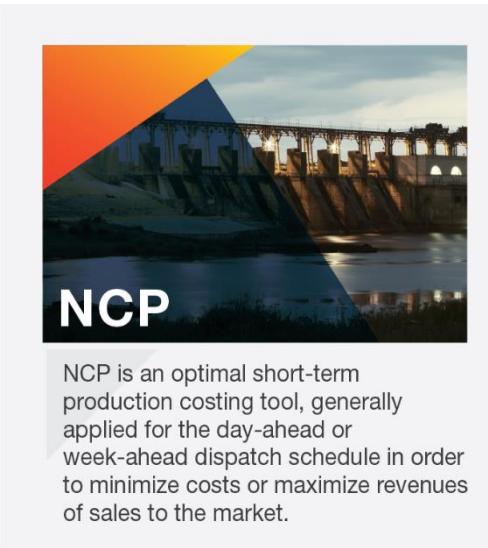
Ferramentas de Planejamento da PSR

Overview Folders



TSL

The Time Series Lab (TSL) is a renewable modeling tool that produces future synthetic scenarios of intermittent Variable Renewable Energy (VRE) sources. TSL has two main modules: The TSL-Data and The TSL-Scenarios.



NCP

NCP is an optimal short-term production costing tool, generally applied for the day-ahead or week-ahead dispatch schedule in order to minimize costs or maximize revenues of sales to the market.



SDDP

SDDP is a stochastic dispatch model for electrical systems with the representation of the transmission and gas networks, used in long, medium and short-term operation studies.



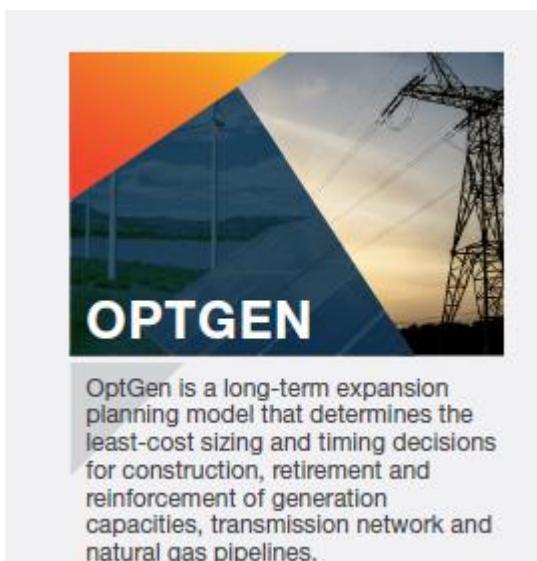
NETPLAN

NETPLAN is an integrated computational environment specialized for transmission network planning which includes: data management tools, study management resources, visualization resources for the network and study results, graphical interface that allows interaction with the application.



OPTFOLIO

OptFolio is an analytical tool that aims at helping decision-makers manage portfolios of power projects taking those risks into account.



OPTGEN

OptGen is a long-term expansion planning model that determines the least-cost sizing and timing decisions for construction, retirement and reinforcement of generation capacities, transmission network and natural gas pipelines.

Operação e Planejamento em Sistemas Elétricos

Operação e Planejamento em Sistemas Elétricos

- ▶ **Despacho** – Otimizar o uso dos recursos existentes (hidro, gás natural, renováveis, térmicas, etc.) que permita uma operação econômica, segura e confiável do sistema
- ▶ **Expansão** – Determinar a expansão necessária (novas usinas, linhas, transformadores, reatores, etc.) para que o sistema opere de forma econômica, segura e confiável

Ambos os problemas são de grande escala e caracterizados por uma importante componente estocástica. Para sua solução é necessário a utilização de Algoritmos Especializados e computadores com grande capacidade de processamento (“Cloud Computing”)

Operação e Planejamento em Sistemas Elétricos

- **Despacho econômico** – Operar o sistema é definir, a cada etapa do tempo, quais usinas serão acionadas para atender a demanda de energia elétrica
- Entretanto, os recursos disponíveis (usinas) possuem custos de operação distintos

CRITÉRIO

Atender a demanda ao menor custo operativo possível

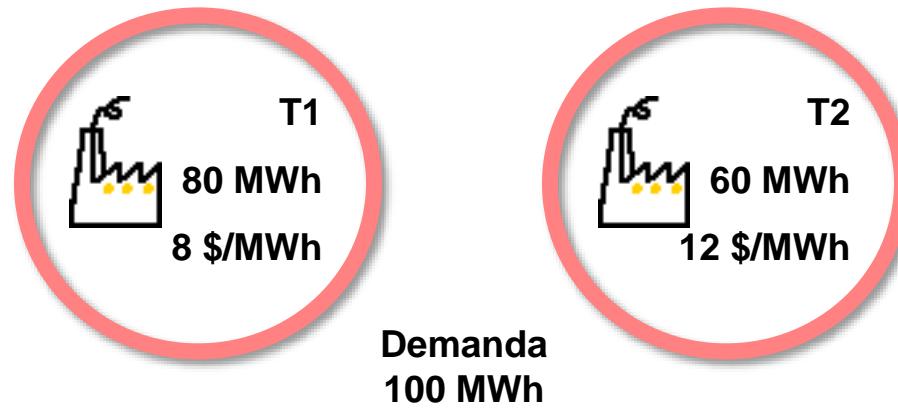
- Solução do problema (**ordem de mérito**):
 - Despacho das unidades em ordem crescente dos custos de produção

Despacho Térmico

Despacho Térmico

- Geradores têm custos operativos diretos
 - No planejamento de longo e médio prazo, é plausível admitir que a operação de usinas térmicas é *desacoplada no tempo*
 - Decisões de operação em uma etapa não impactam a capacidade de operação das usinas nas etapas seguintes
 - Despacho de um gerador não afeta a capacidade ou a disponibilidade das demais usinas

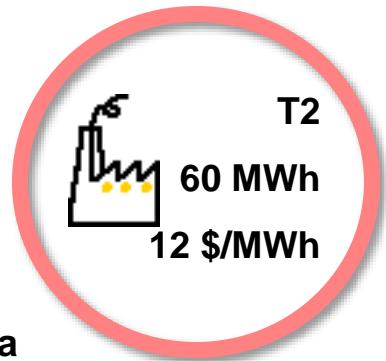
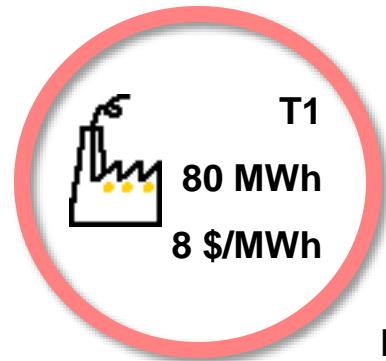
Exemplo 1: Despacho térmico



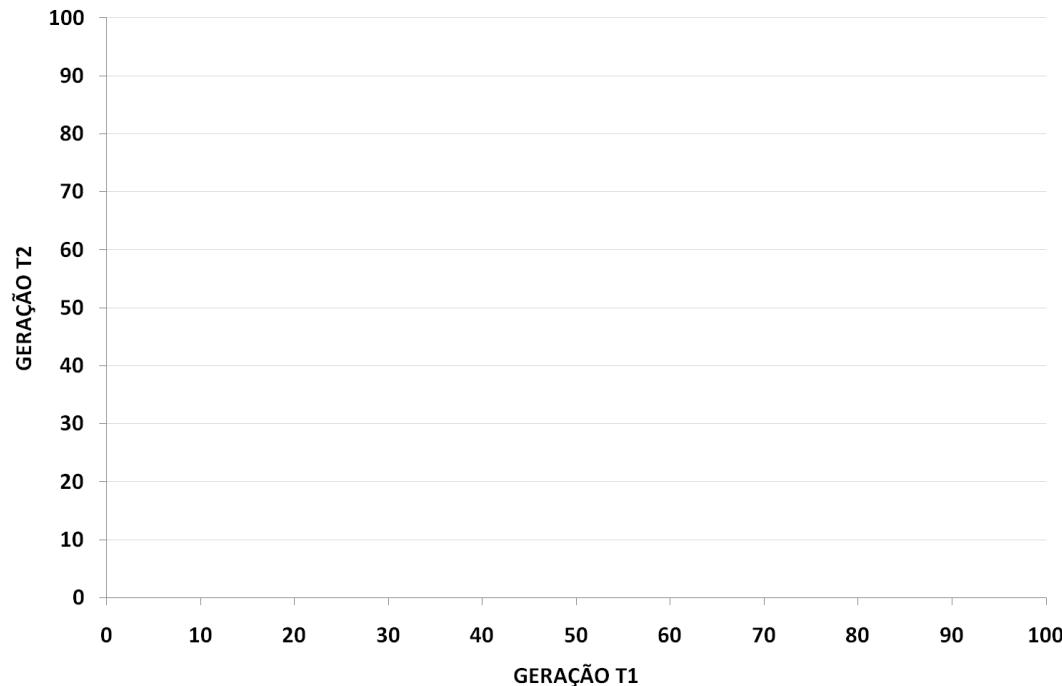
► “Em Português”:

- O sistema conta com duas usinas térmicas – **T1** e **T2** – e deve atender uma demanda de 100 MWh ao menor custo possível. Ambas as usinas possuem nível de geração mínima igual a zero, **T1** tem capacidade de geração de 80 MWh e custo operativo igual a 8 \$/MWh, **T2** pode gerar no máximo 60 MWh e tem custo operativo de 12 \$/MWh.

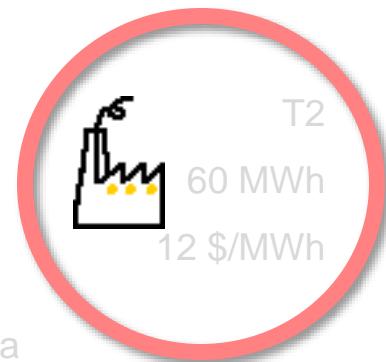
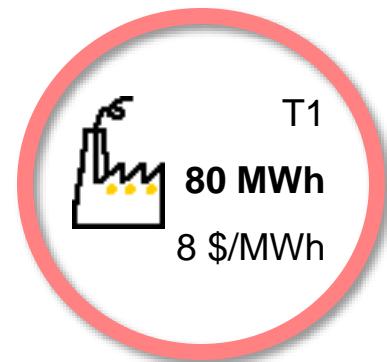
Exemplo 1: Despacho térmico



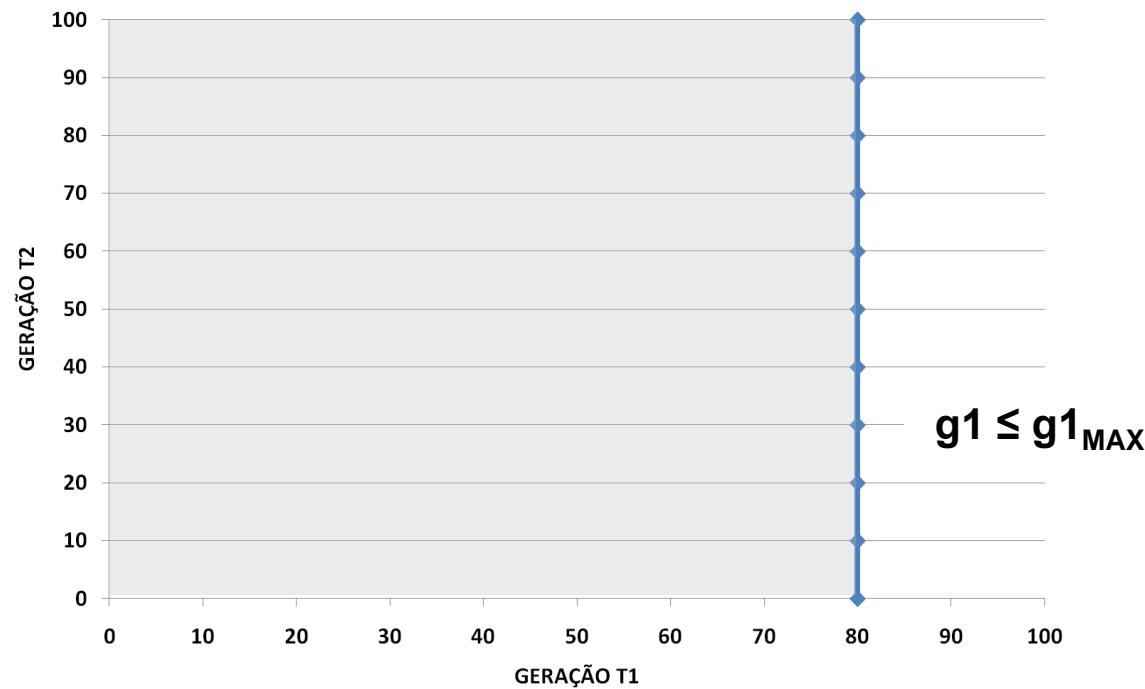
Demand
100 MWh



Exemplo 1: Despacho térmico



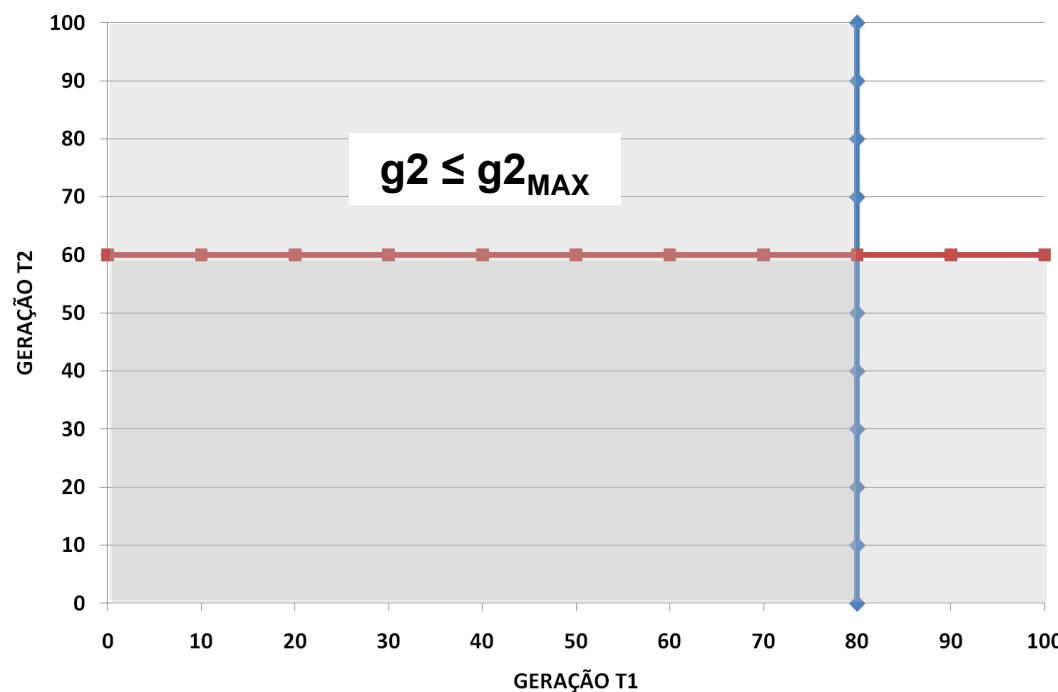
Demanda
100 MWh



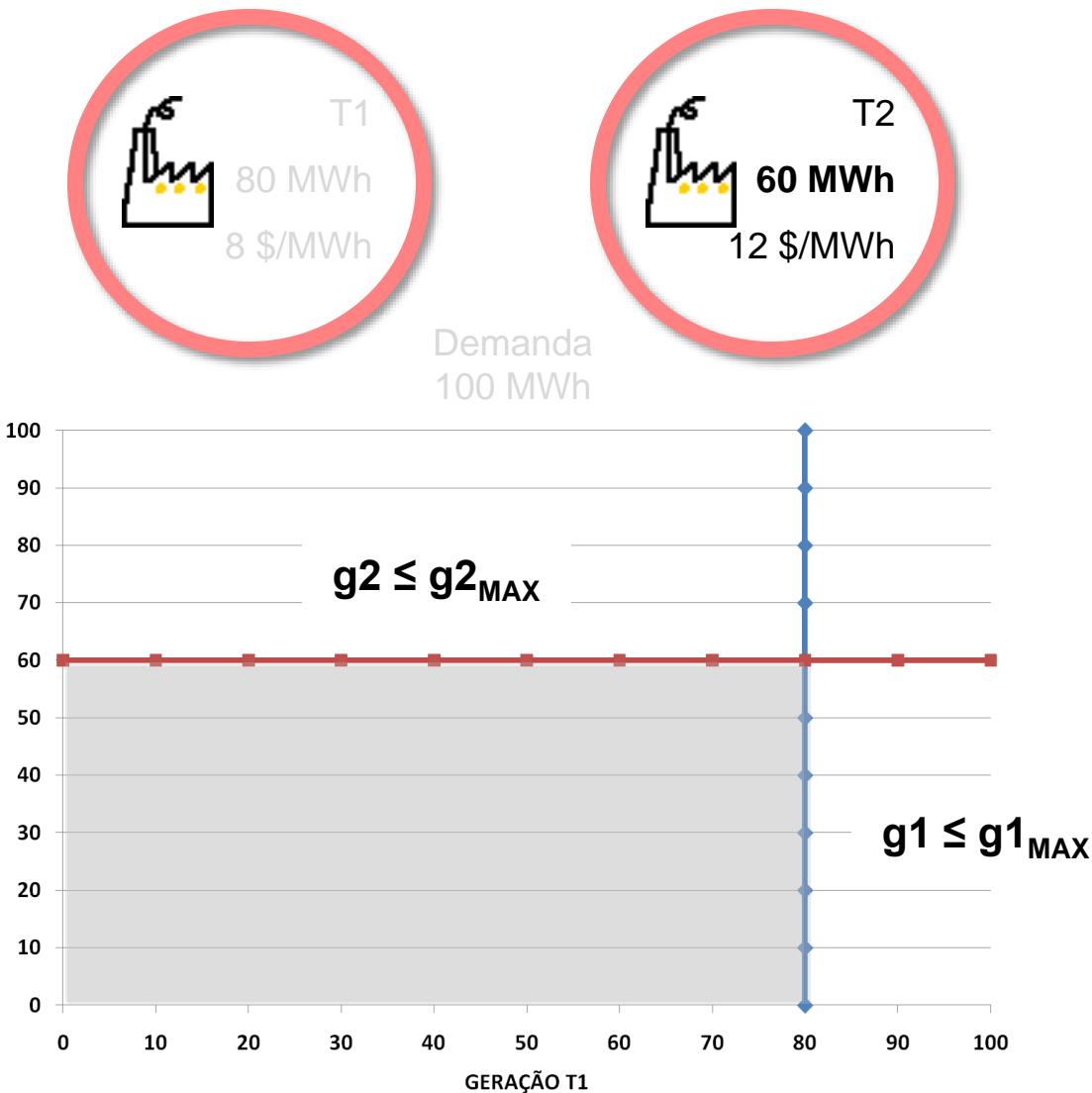
Exemplo 1: Despacho térmico



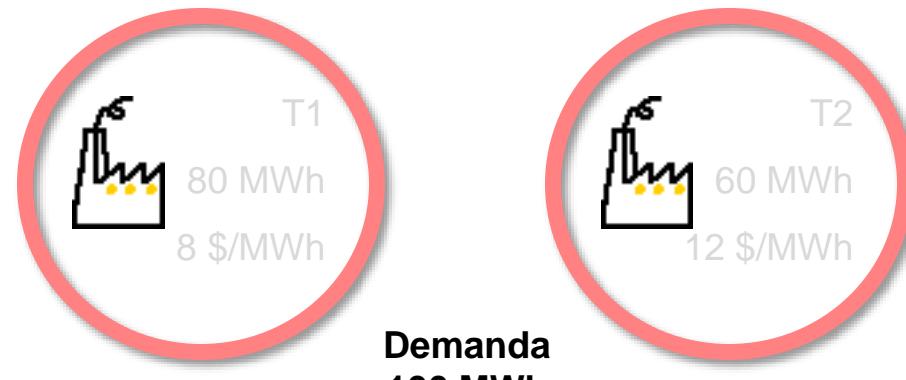
Demanda
100 MWh



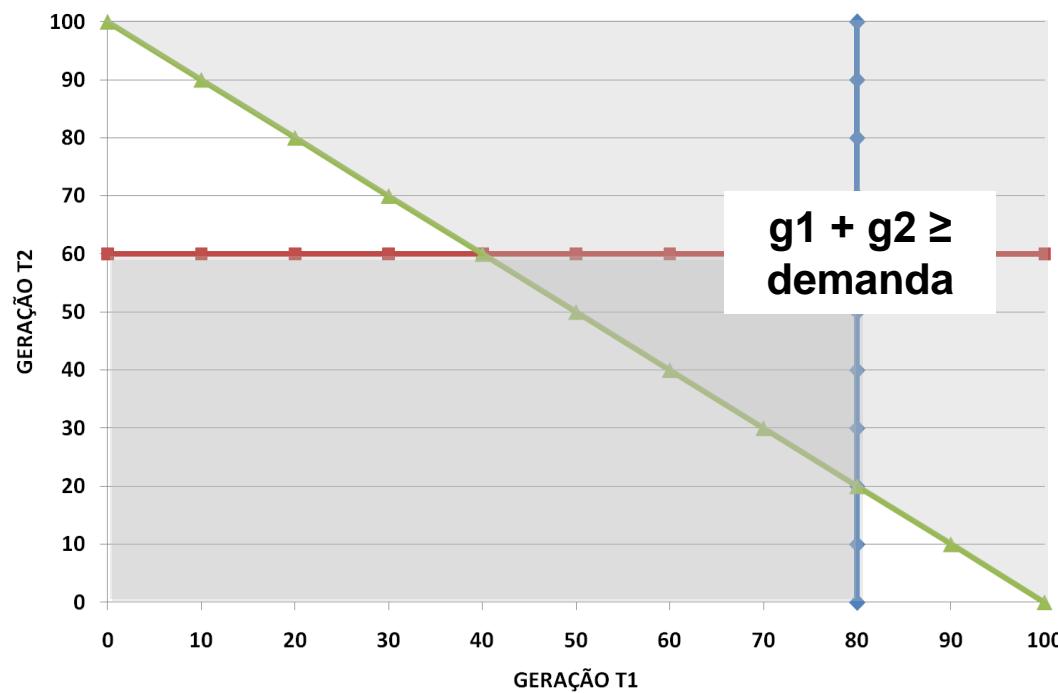
Exemplo 1: Despacho térmico



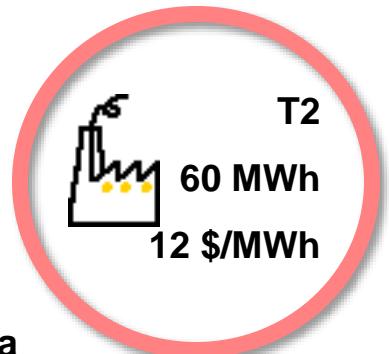
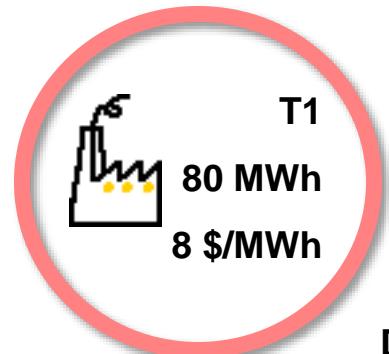
Exemplo 1: Despacho térmico



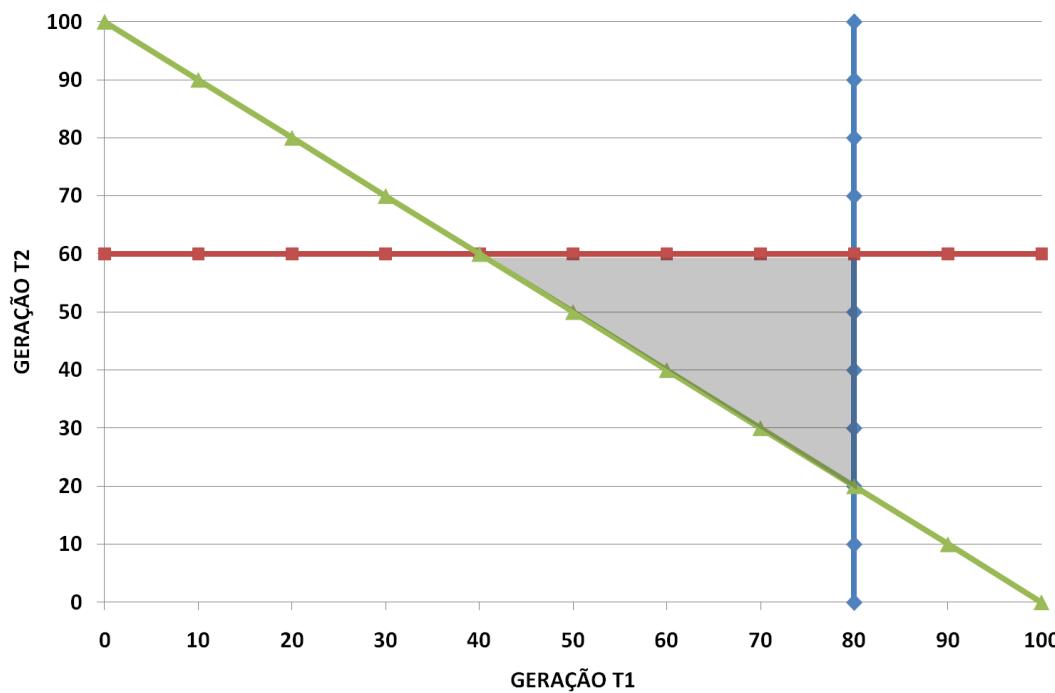
Demanda
100 MWh



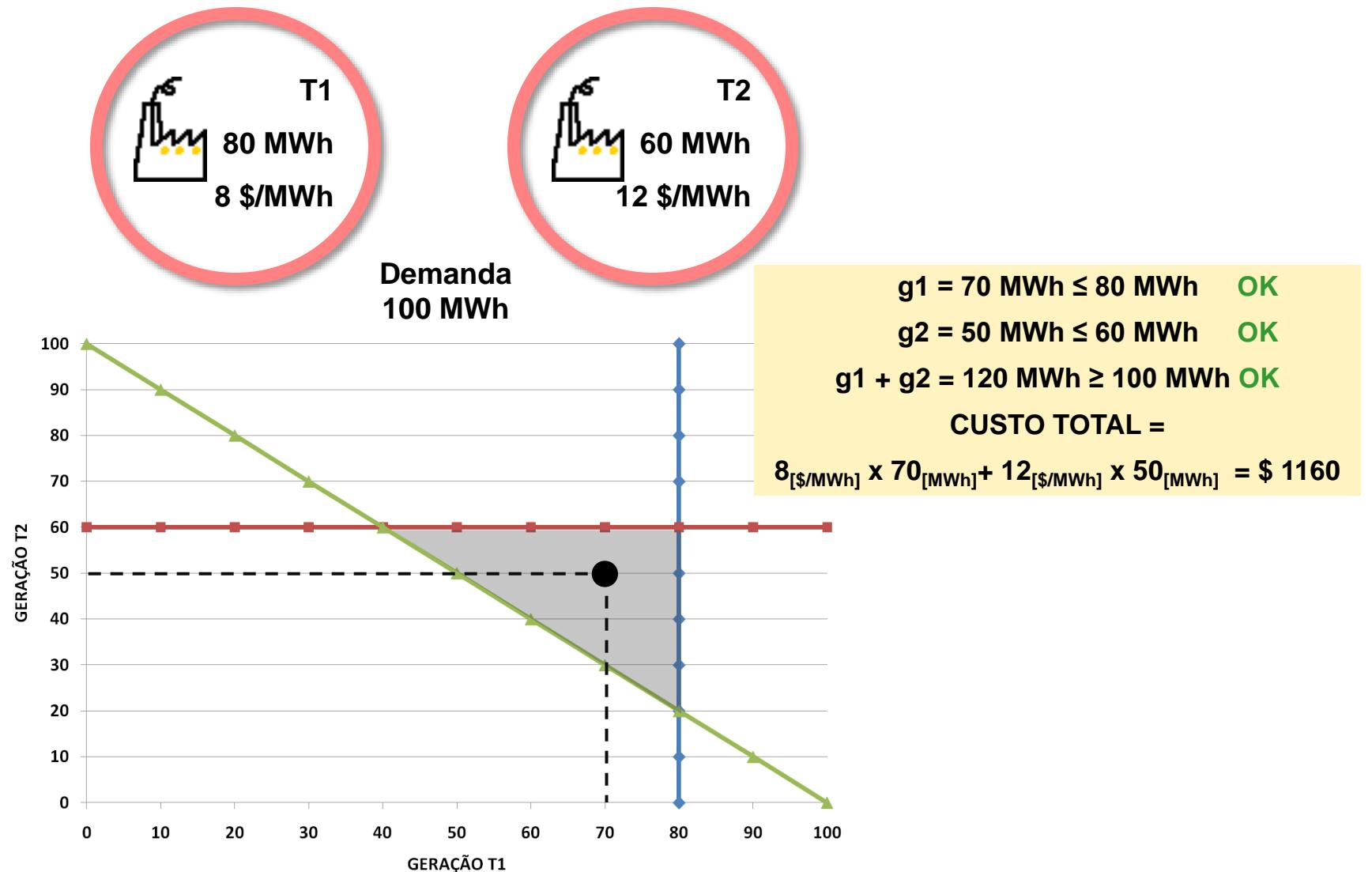
Exemplo: Despacho térmico



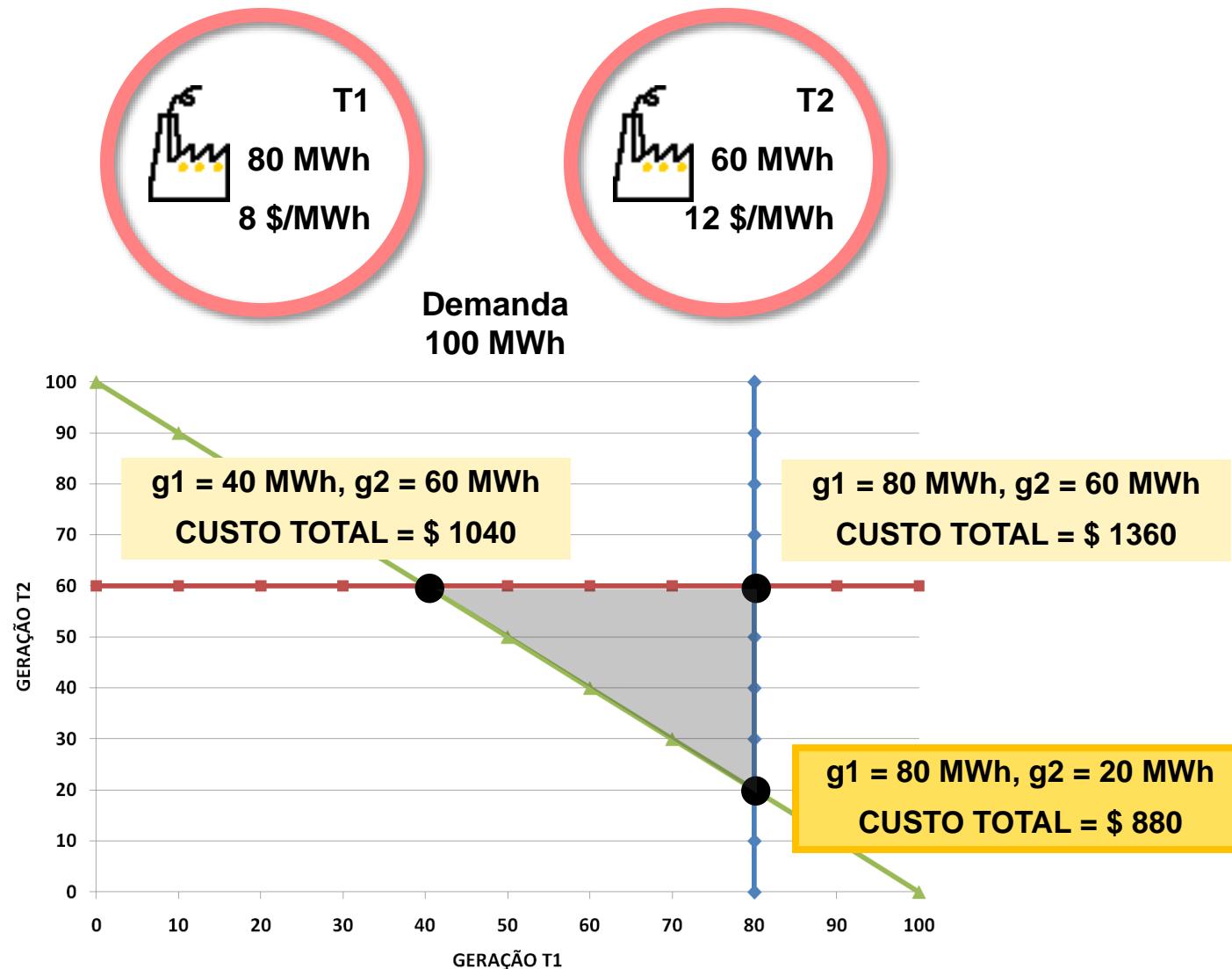
Demanda
100 MWh



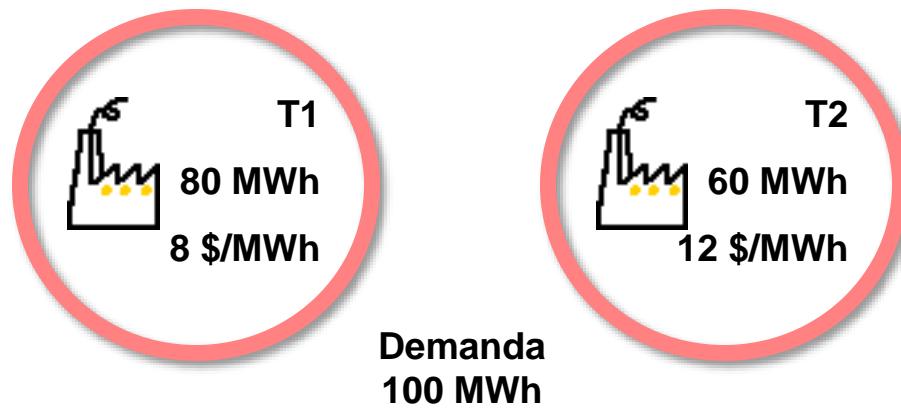
Exemplo 1: Despacho térmico



Exemplo 1: Despacho térmico



Exemplo 1: Despacho térmico



► “Em matematiquês”:

$$\text{Min } c_1 g_1 + c_2 g_2 \quad \rightarrow \text{Custo operativo}$$

sujeito a:

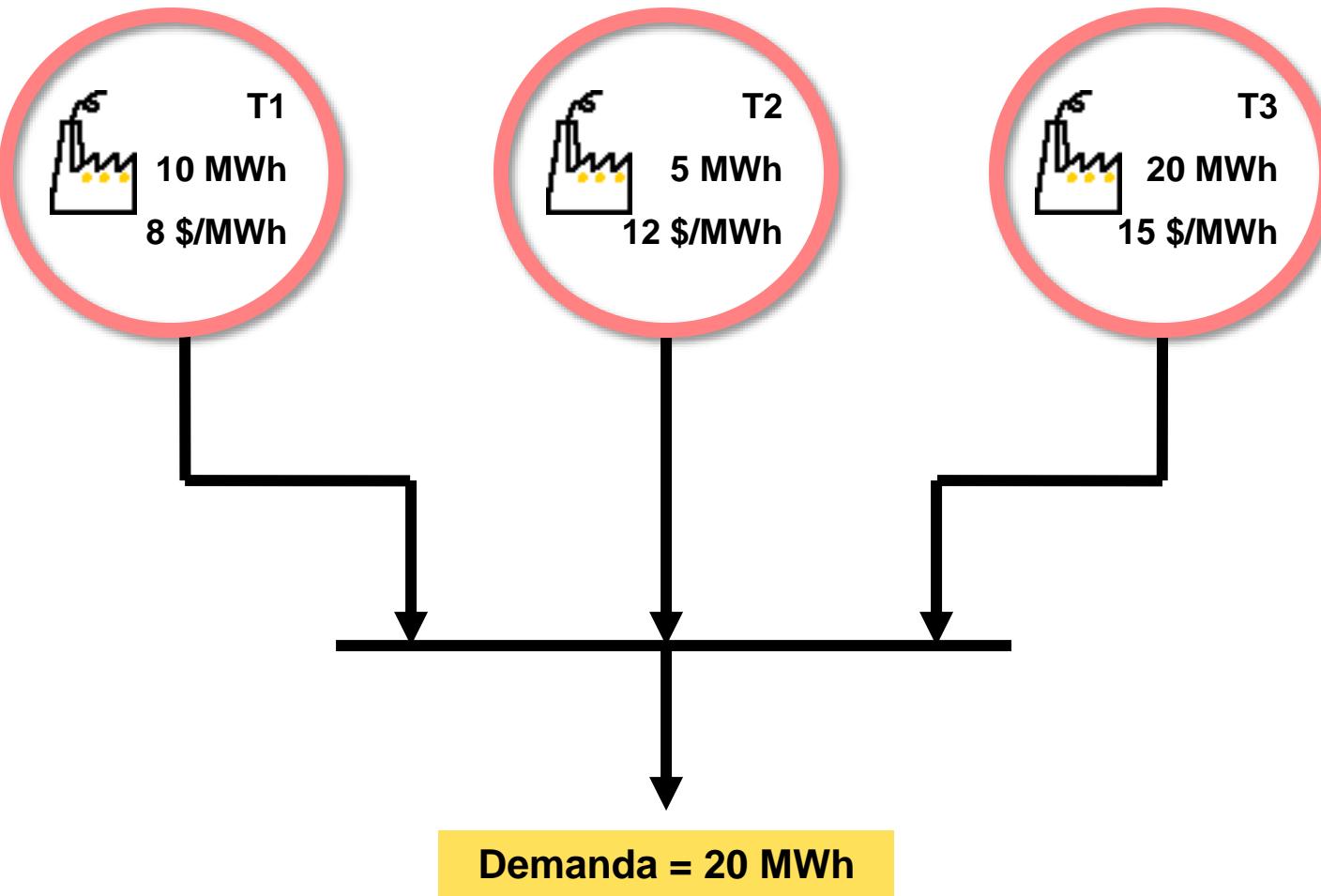
$$g_1 + g_2 \geq D \quad \rightarrow \text{Balanço energia}$$

$$g_1 \leq g_{\max 1}$$

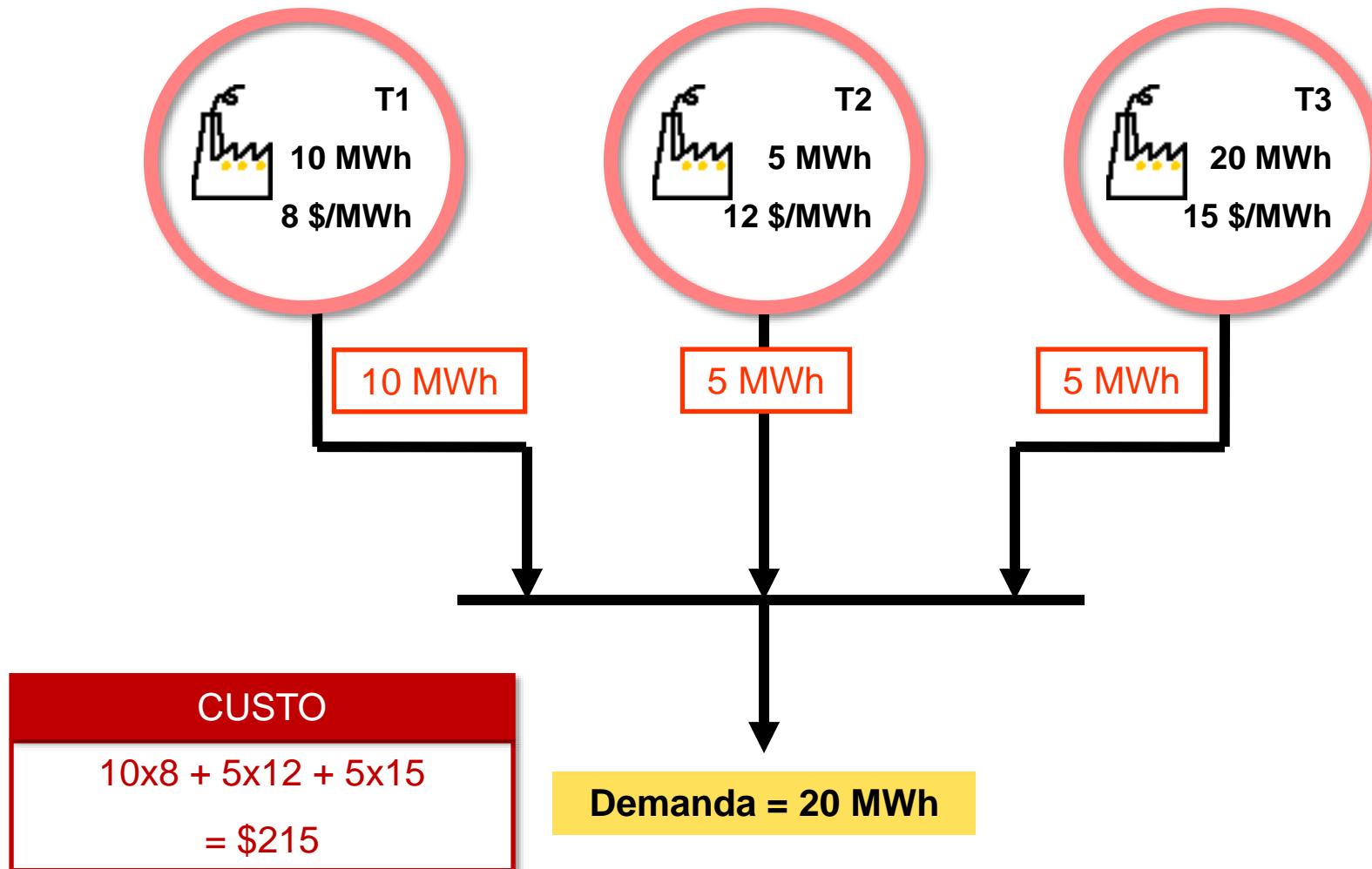
$$g_2 \leq g_{\max 2}$$

→ Limites operativos

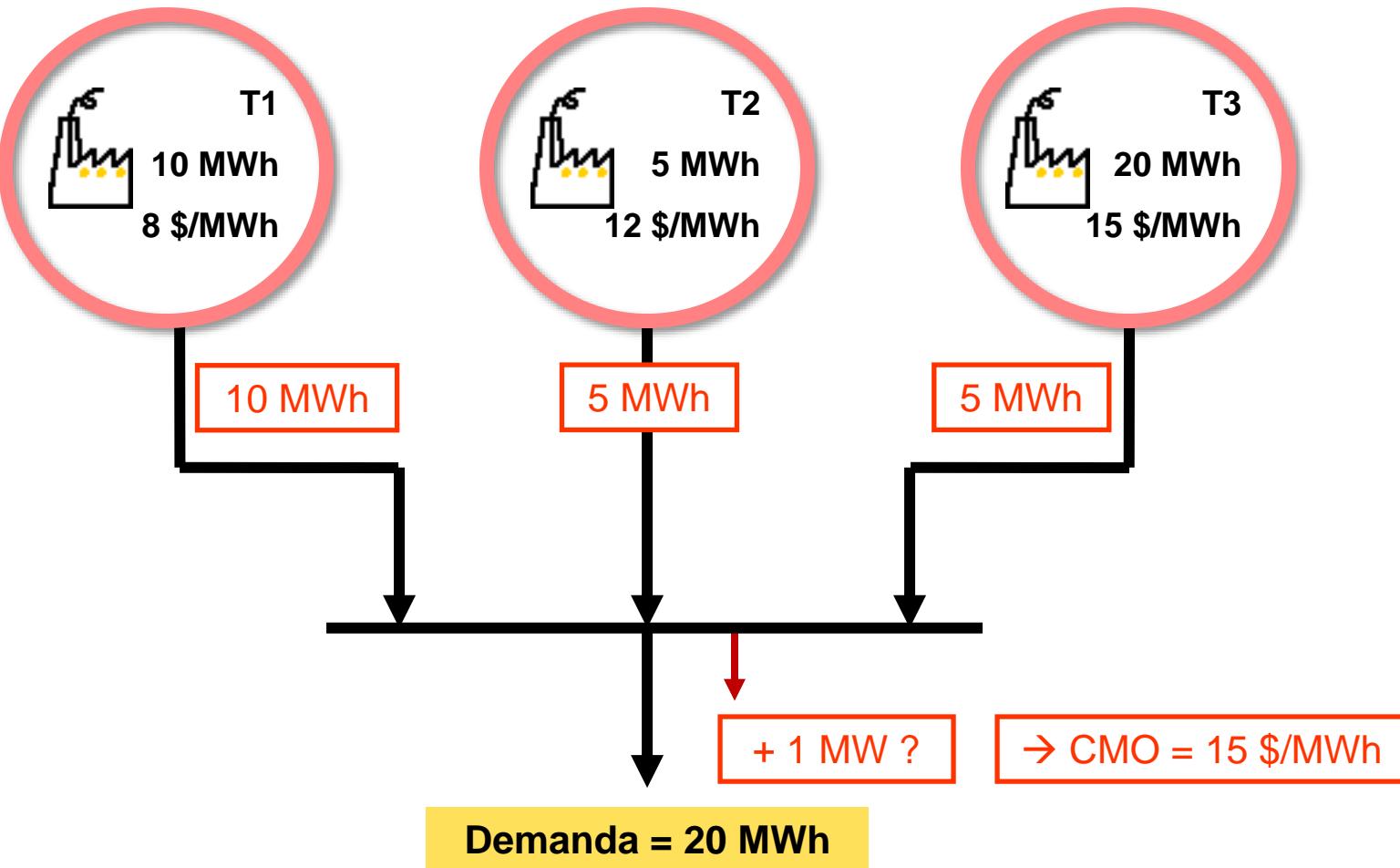
Exemplo 2: Despacho térmico



Exemplo 2: Despacho térmico - solução



Exemplo 2: Custo marginal de operação



O custo marginal representa o preço de curto prazo para todas as compras e vendas de energia no mercado atacadista

Formulação do problema

$$\text{Min } c_1 g_1 + c_2 g_2 + c_3 g_3$$

sujeito a:

$$g_1 + g_2 + g_3 = D$$

$$g_1 \leq g_{\max 1}$$

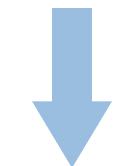
$$g_2 \leq g_{\max 2}$$

$$g_3 \leq g_{\max 3}$$

→ Custo operativo

→ Balanço de energia

→ Limites operativos



Substituindo os valores...

$$\text{Min } 8 g_1 + 12 g_2 + 15 g_3$$

sujeito a:

$$g_1 + g_2 + g_3 = 20 \text{ MWh}$$

$$g_1 \leq 10 \text{ MWh}$$

$$g_2 \leq 5 \text{ MWh}$$

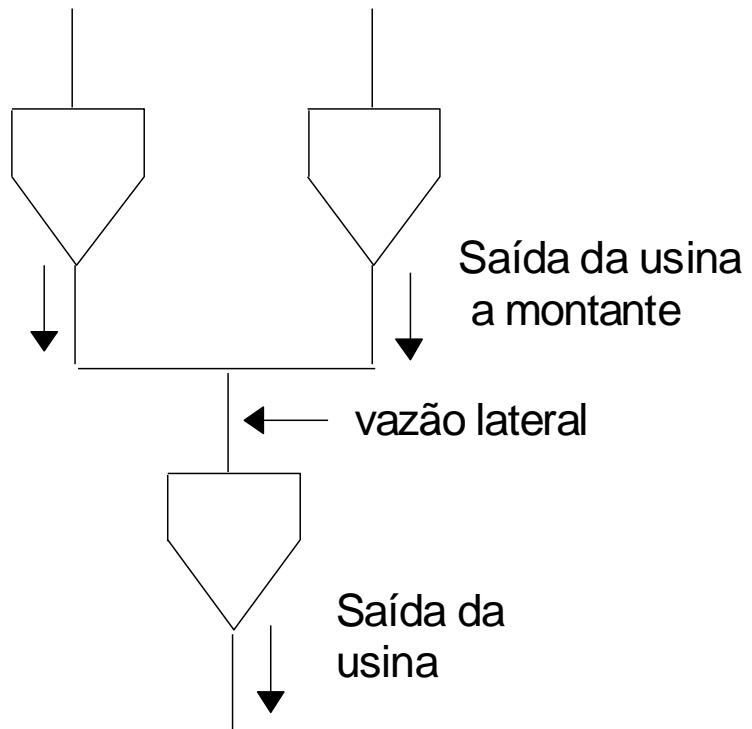
$$g_3 \leq 20 \text{ MWh}$$

g_1, g_2 e g_3 são as
variáveis de decisão
do problema

Despacho Hidrotérmico

Despacho Hidrotérmico

- ▶ Acoplado no tempo: uma decisão operativa de hoje afeta o custo operativo futuro
- ▶ Hidroelétricas tem **custos operativos indiretos**: associados a oportunidade de substituir geração térmica hoje ou no futuro
- ▶ Decisão de despacho de uma hidro afeta as decisões das usinas na cascata



Balanço Hidráulico

VOLUME ARMAZENADO AO
FINAL DO PERÍODO =

+ VOLUME INICIAL

+ VOLUME AFLUENTE

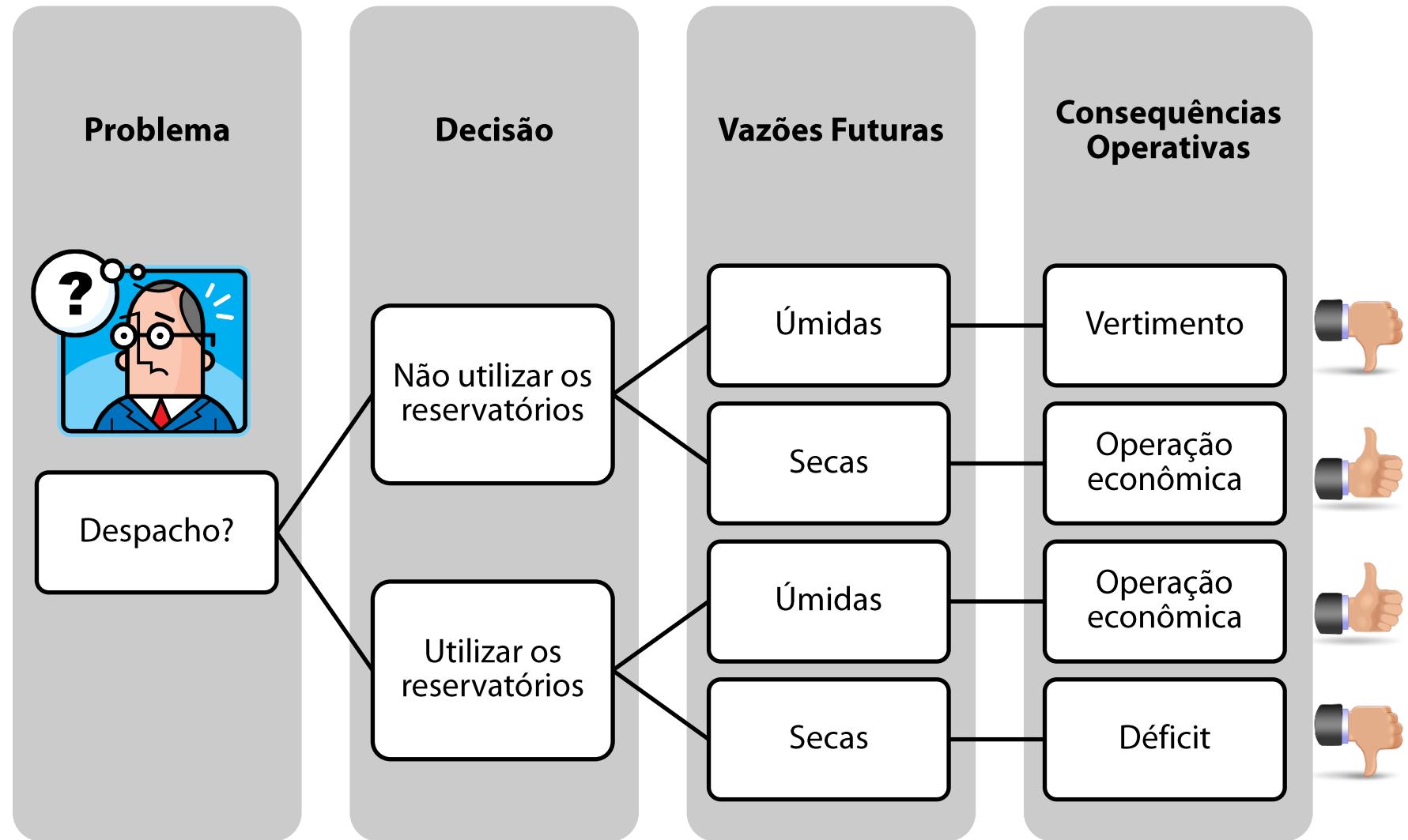
- VOLUME TURBINADO

- VOLUME VERTIDO

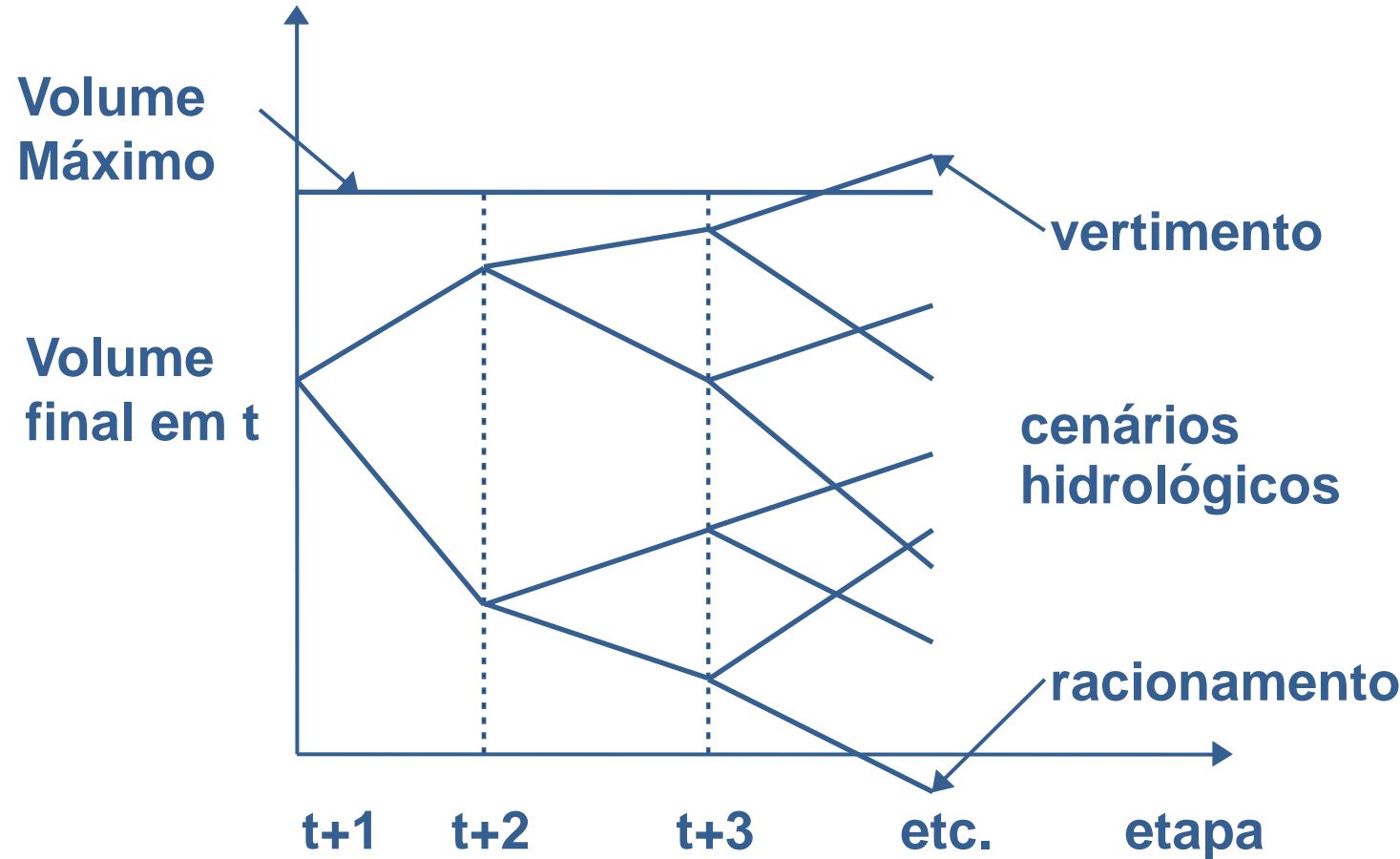
- VOLUME EVAPORADO

- RETIRADAS PARA IRRIGAÇÃO

Incerteza Hidrológica – Dependência Temporal



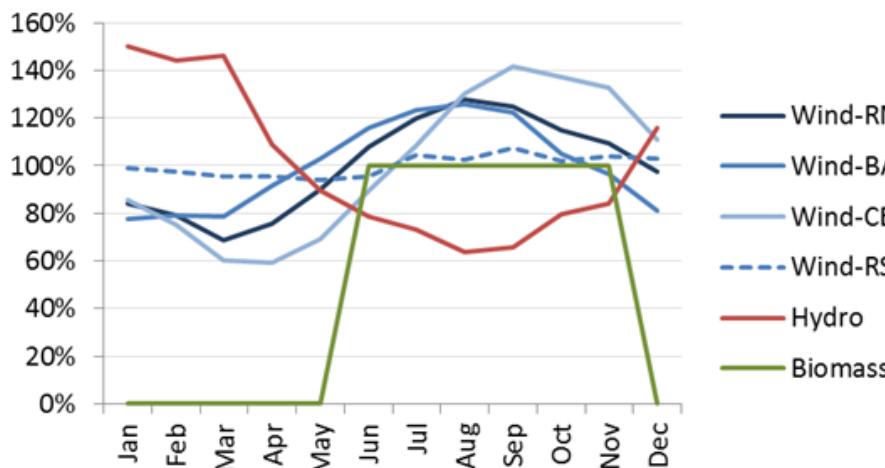
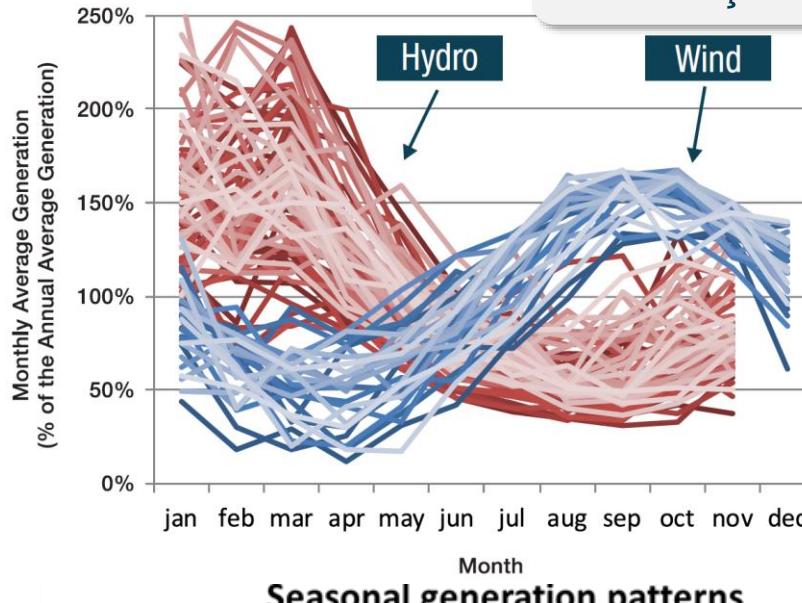
Incerteza Hidrológica – Dependência Temporal



E quando “junta tudo”? Despacho hidrotérmico com renováveis intermitentes

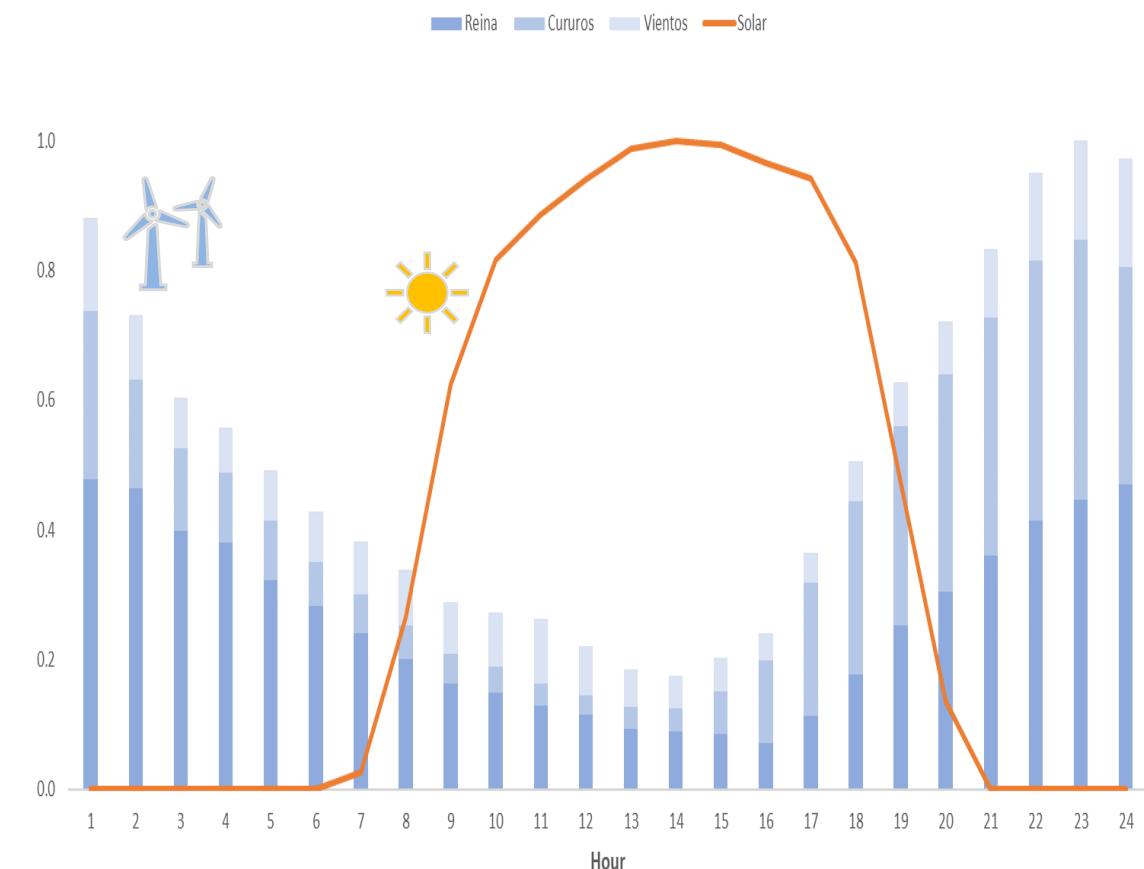
Despacho hidrotérmico com renováveis intermitentes

Complementariedade **mensal** e
correlação temporal entre renováveis

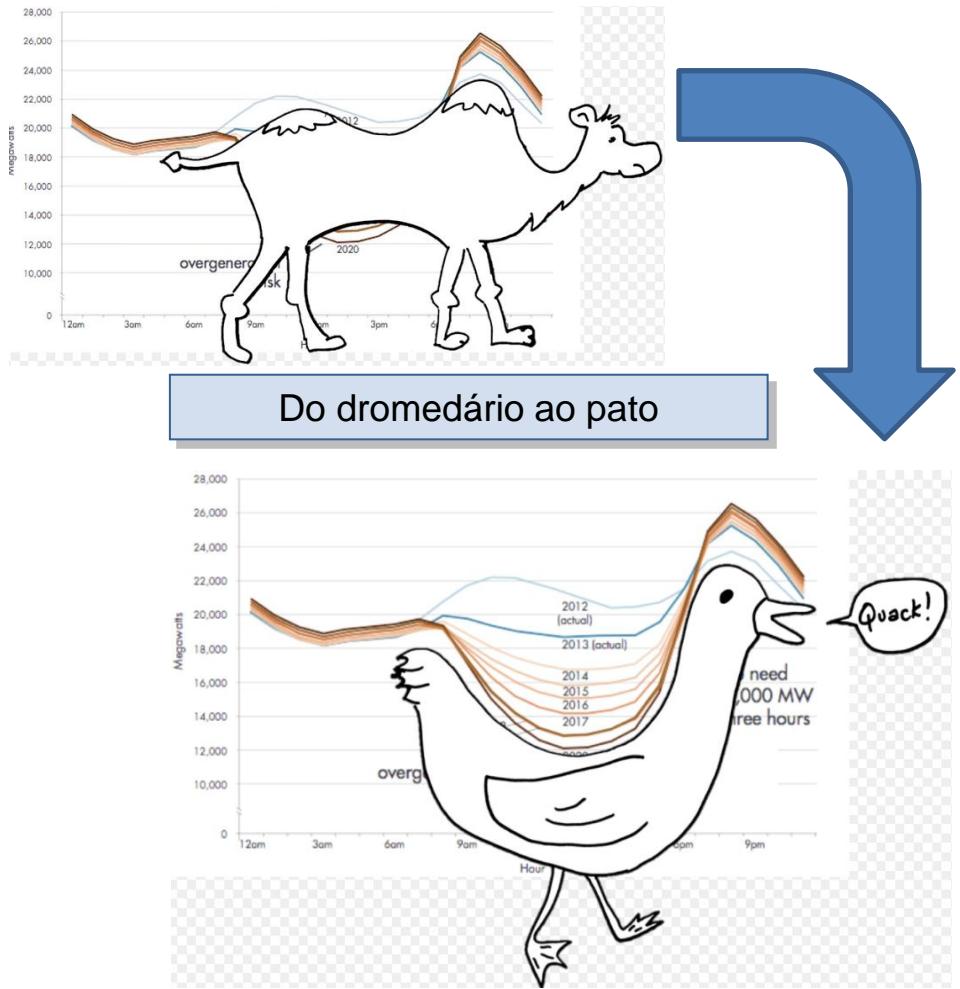


Intradiário

Complementariedade **horária** e
correlação temporal entre renováveis



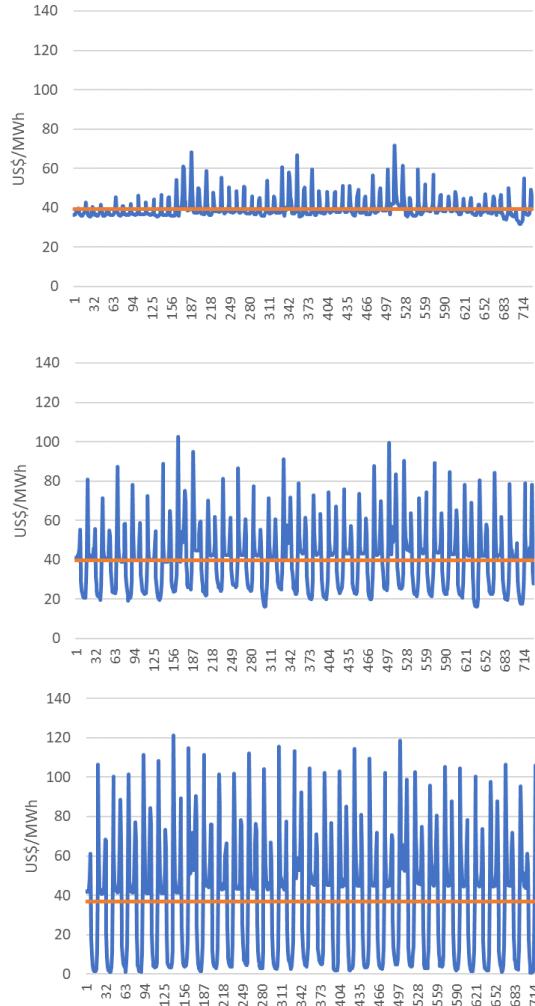
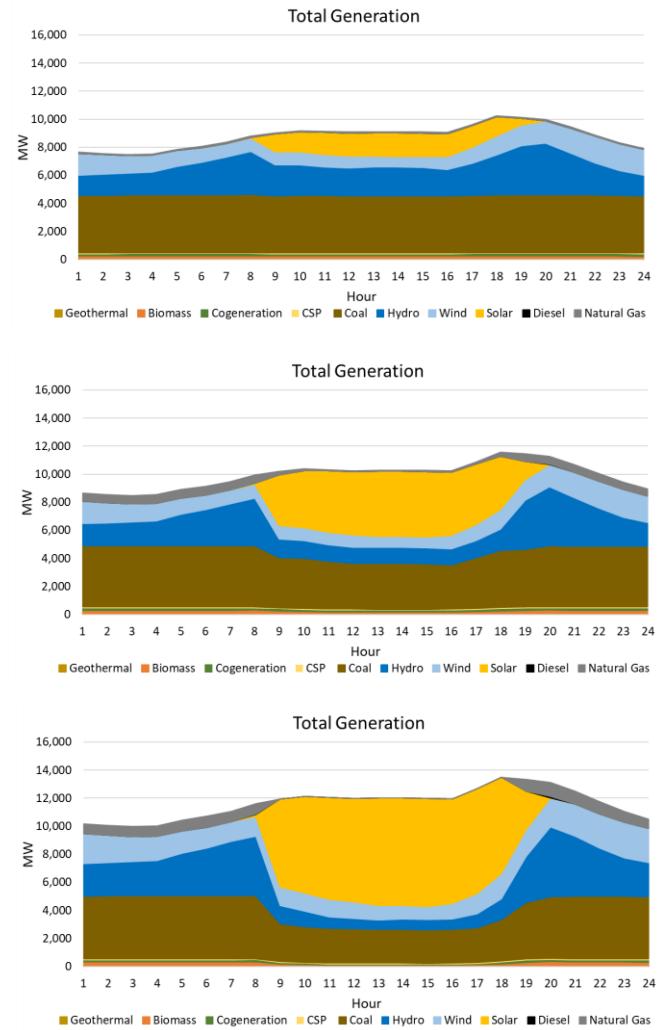
Exemplificando o efeito das renováveis intermitentes



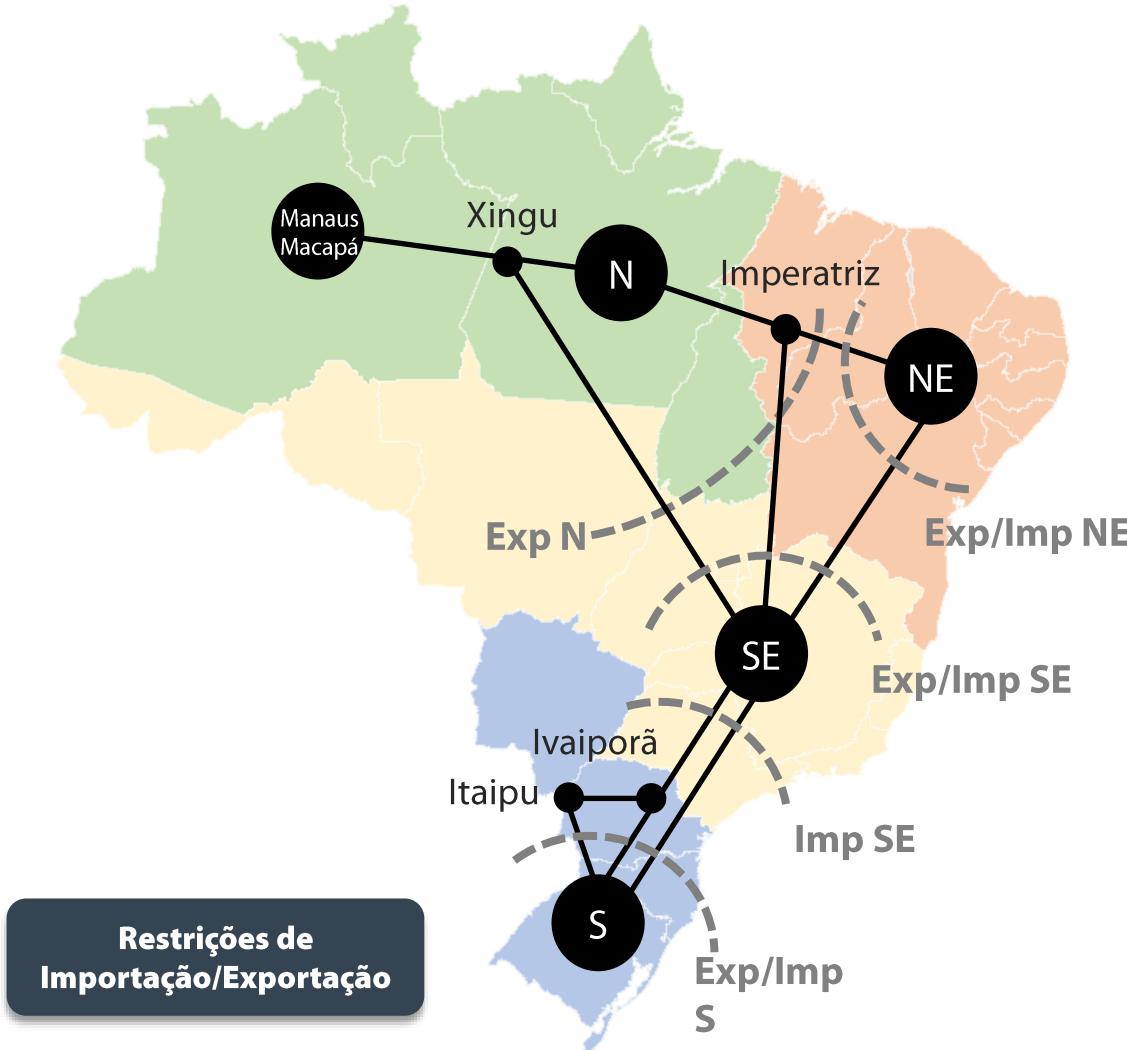
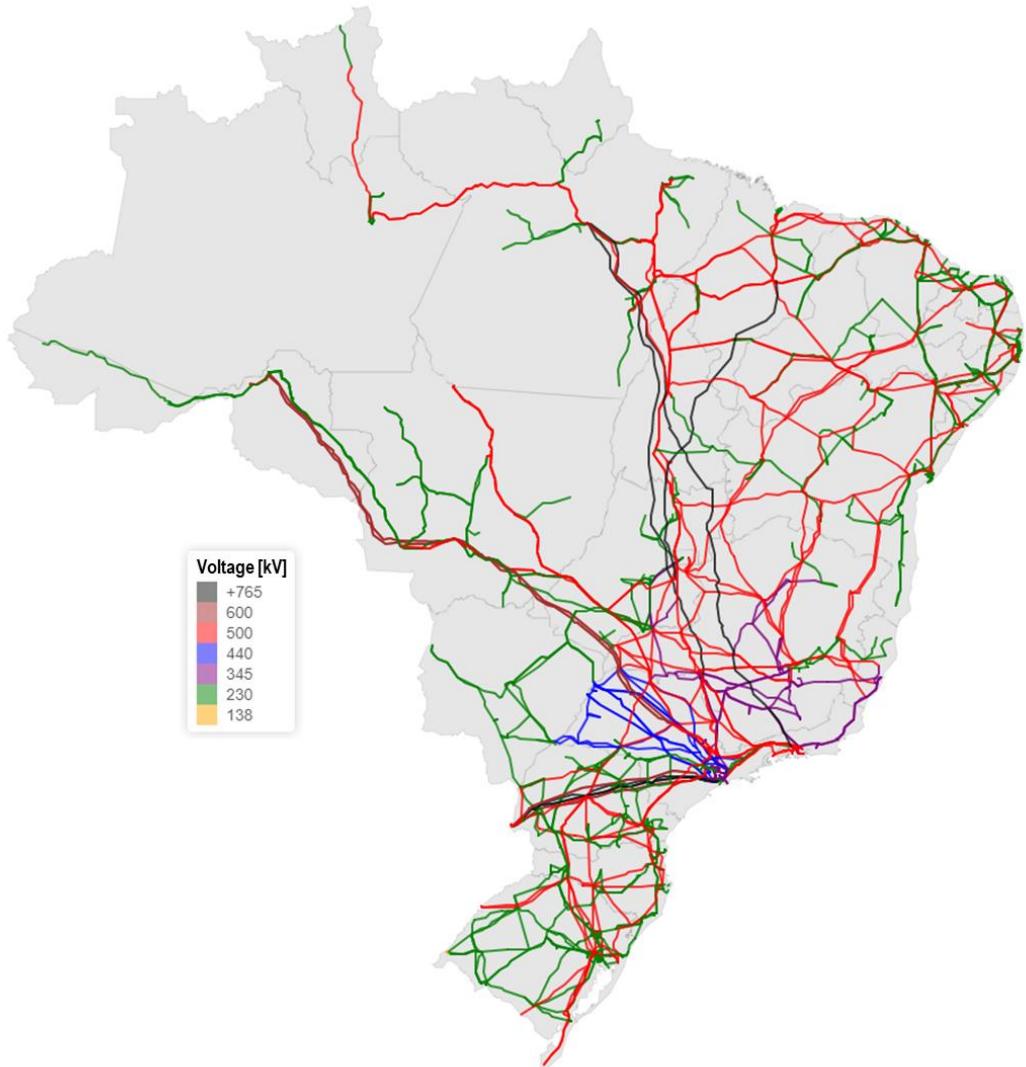
2021

2025

2030



Não podemos esquecer da rede de transmissão



Fonte: ONS. Elaborado por PSR.

Modelos de Despacho da PSR: SDDP & NCP

SDDP: operação estocástico ótima de médio e longo prazo

Hydroelectric plants



- Detailed representation for each reservoir
- Storage and flow rate limits through turbines, spillways, head effect, infiltration and others;
- Stochastic inflow model representing seasonality, time and spatial correlations
- Modeling of specific climatic phenomena (such as El Niño), etc.
- Ramping constraints

Thermoelectric plants



- Unit commitment constraints
- Fuel availability
- Fuel contracts (including take-or-pay clauses)
- Thermal efficiency curves
- CO₂ and other pollutants emission
- Ramping constraints

Variable Renewable Energy (VRE)

Time Series Lab Model



- Definition of VRE historical generation through global reanalysis database
- Stochastic VRE power production model, generating future synthetic scenarios with hourly resolution
- VRE scenarios are temporally and specially correlated with hydro inflows

Transmission Network



- Kirchhoff laws
- Power flow limits
- Quadratic losses
- Security constraints
- Limits on export and import among electric areas, sum of flow constraints and others;

Natural Gas Network



- Gas production and transportation constraints
- Production capacity in the fields
- Pipeline flow limits and losses

Batteries and others fast response storage devices



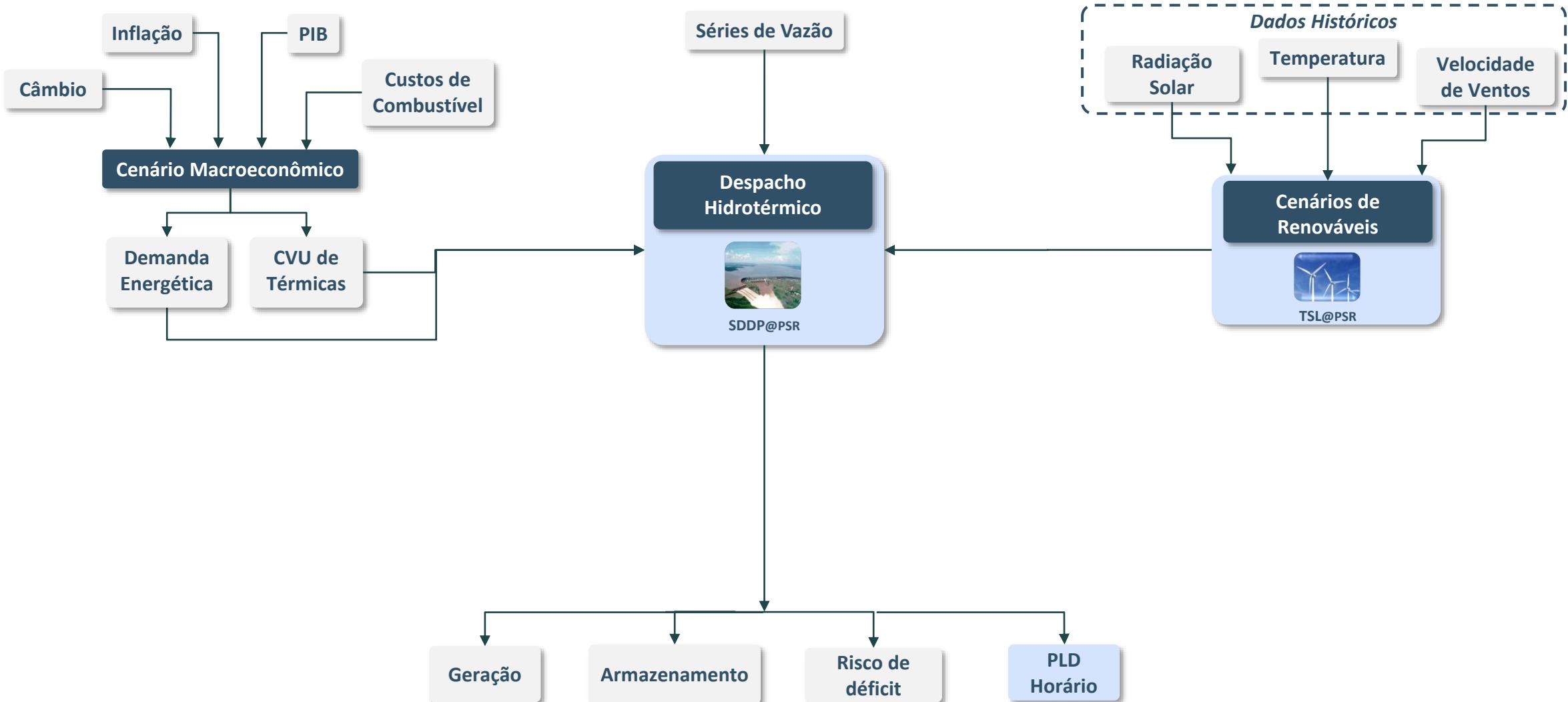
- Storage capacity
- Charge/discharge capacities
- Efficiencies
- Ramping constraints.

NCP: operação estocástico ótima de curto prazo



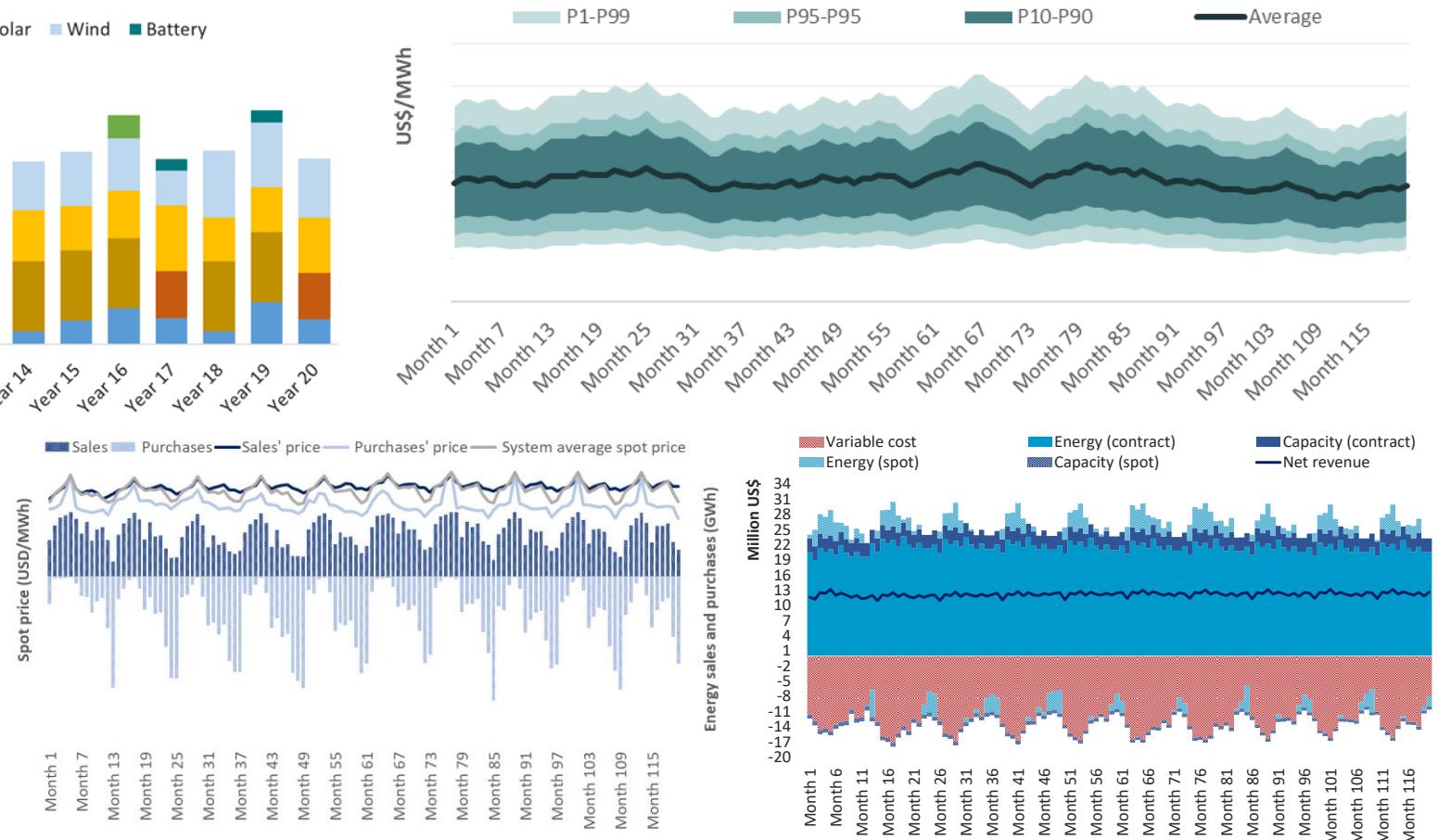
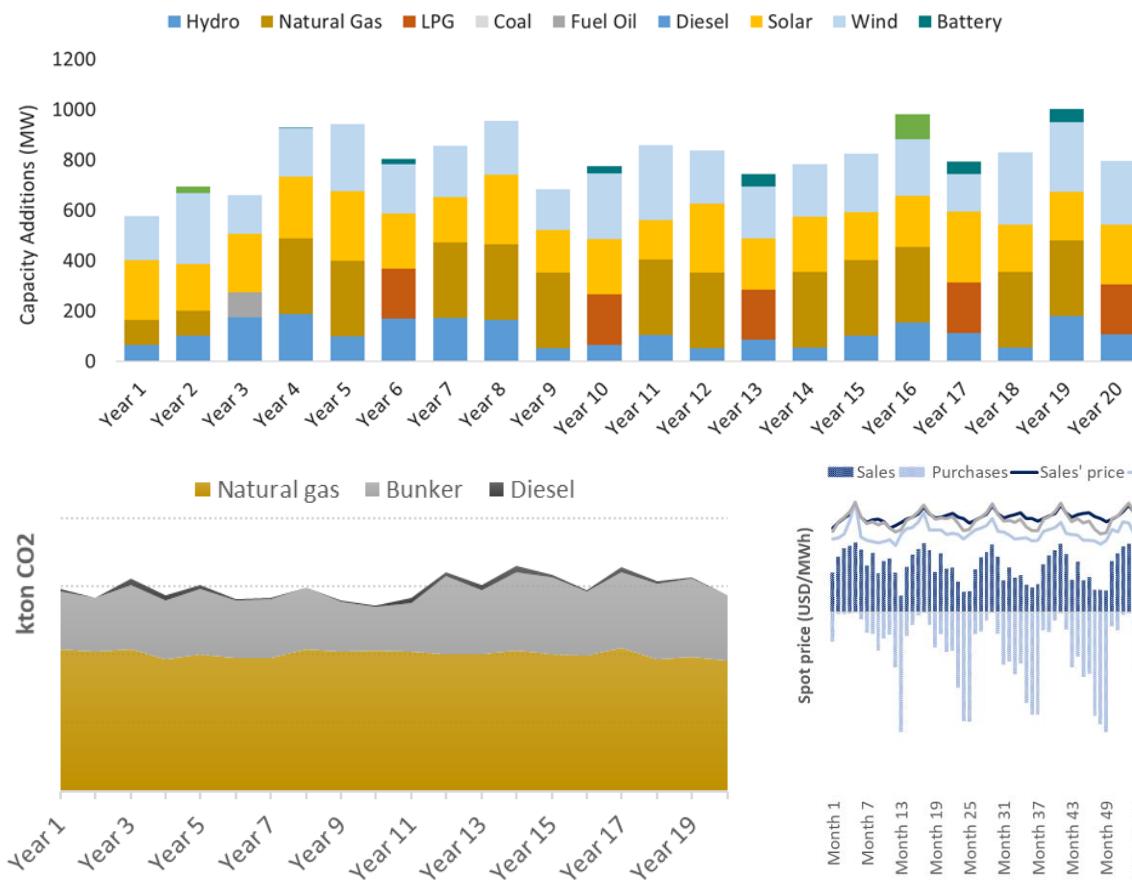
Modelos desenvolvidos pela PSR

Ferramentas para otimização sob incerteza



Principais resultados dos modelos

- O SDDP produz mais de 350 saídas. Os resultados típicos são expansão do sistema, geração de cada usina, preços no mercado spot (com dispersão), emissões, etc.



Aplicação do SDDP no Brasil

Aplicação do SDDP no Brasil

Análise de Risco de
Suprimento Energético

Análise de Risco de
Suprimento de Potência

Diferenças de PLD
entre Submercado

Projeção de PLD

Análises Sistêmicas



Avaliação de Atributos

Análise de Portfólio

Análises Individuais

Análise de Risco de
Submercado

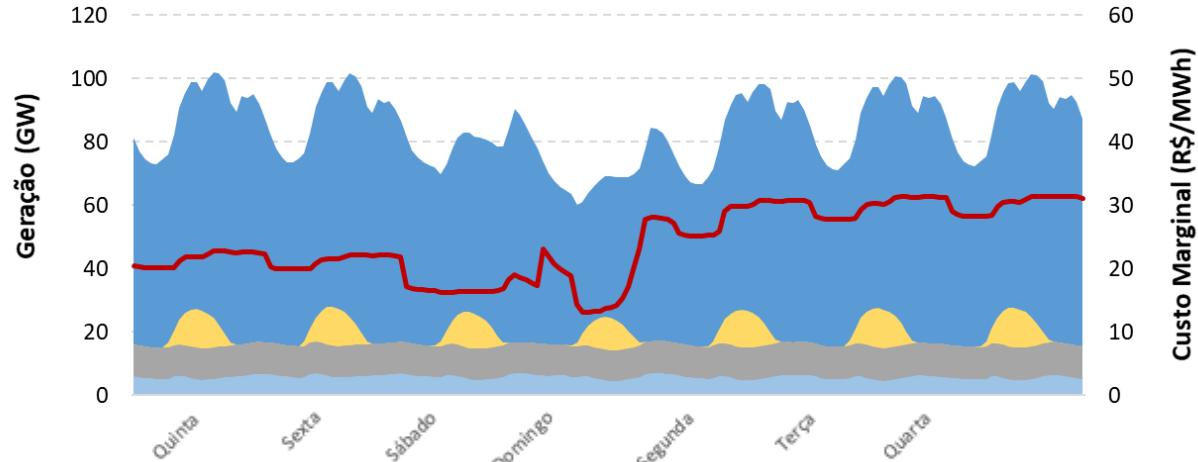
Projeção de Curva Forward

Projeção de Despacho

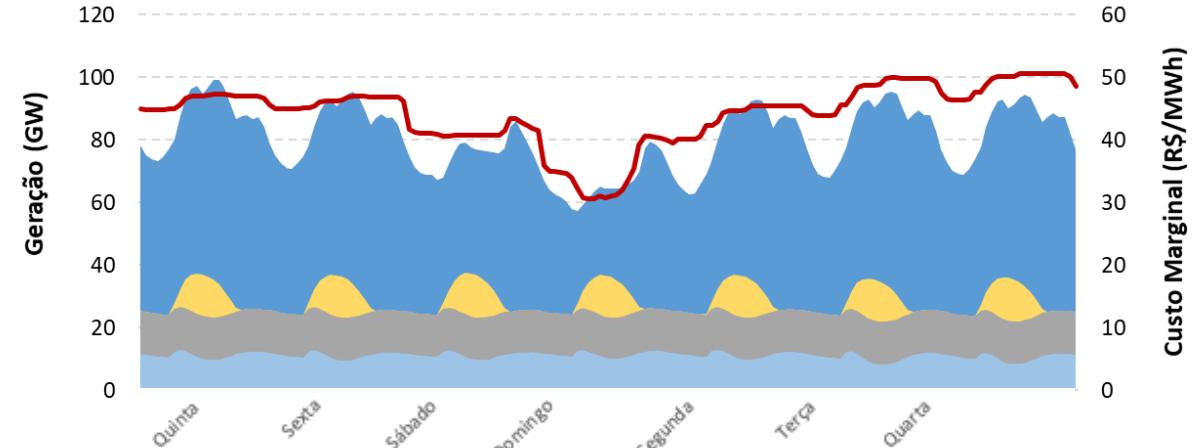
Análise de Modulação de Ativos

Projeção de Despacho

Balanço de geração – Semana de Fevereiro/2025



Balanço de geração – Semana de Outubro/2025



Térmica

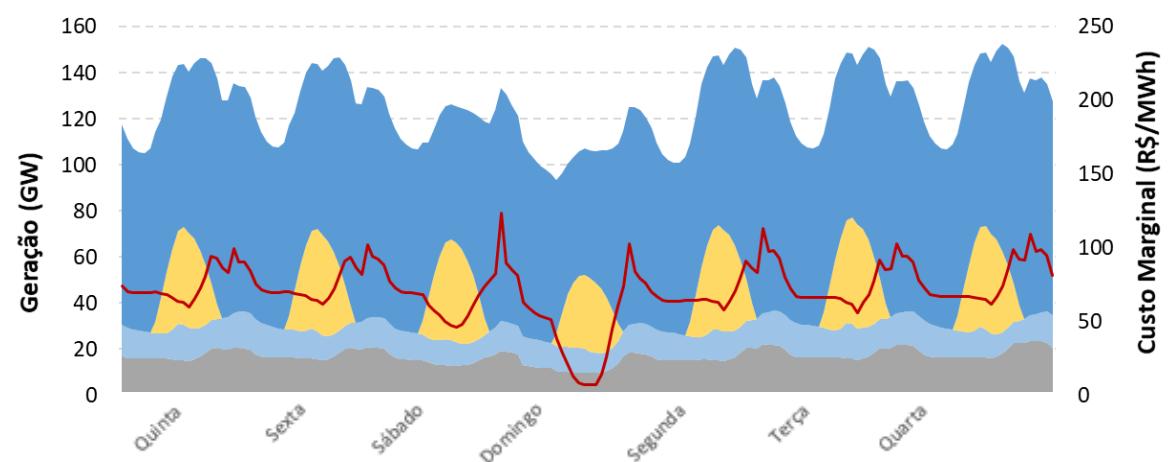
Eólica

Solar

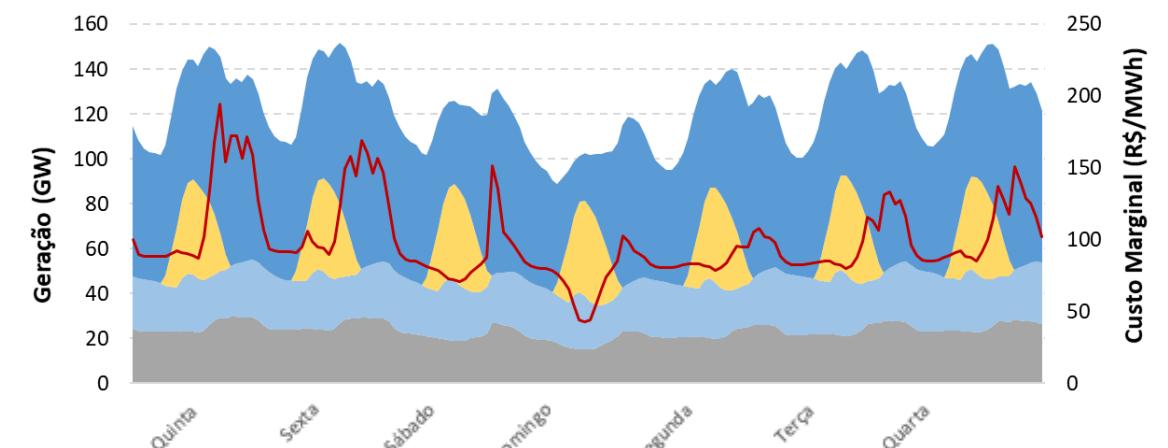
Hidro

Custo Marginal

Balanço de geração – Semana de Fevereiro/2040

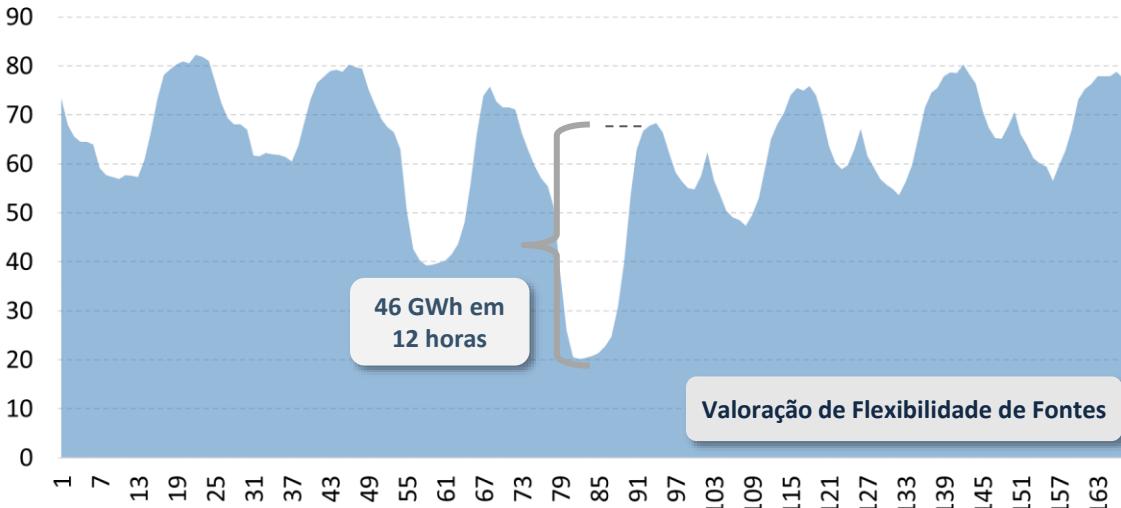


Balanço de geração – Semana de Outubro/2040

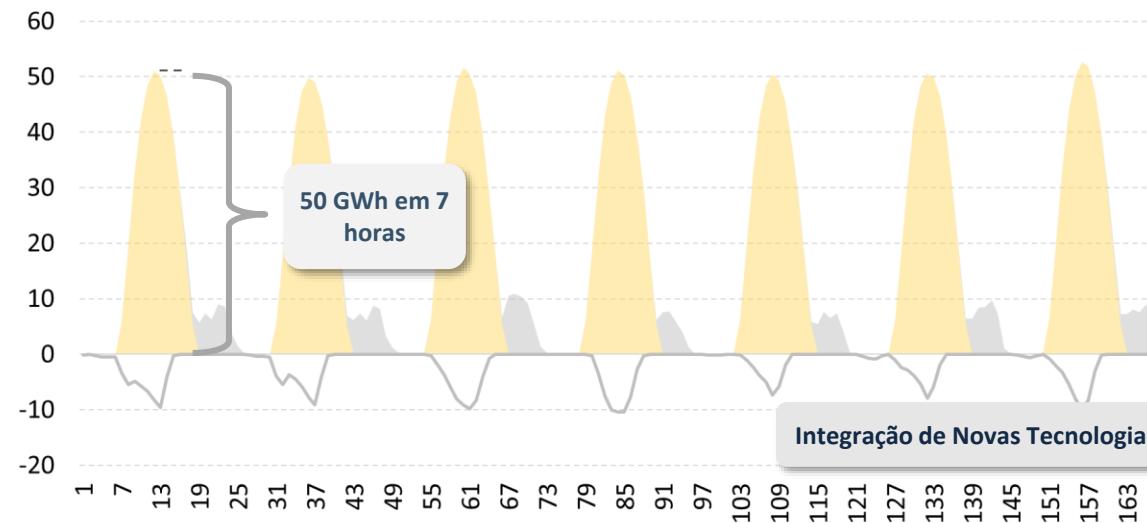


Análise de Atributos de Cada Fonte

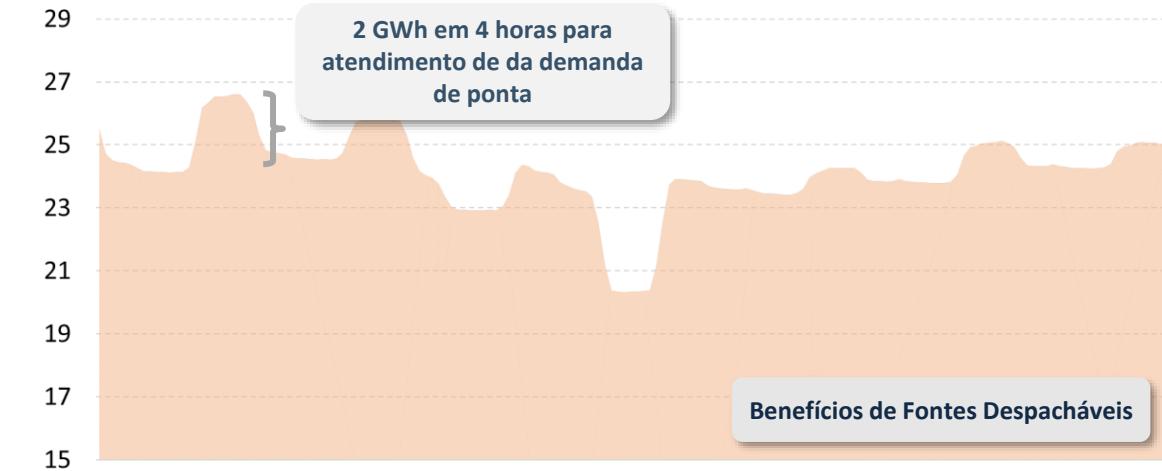
Geração UHE – GWh



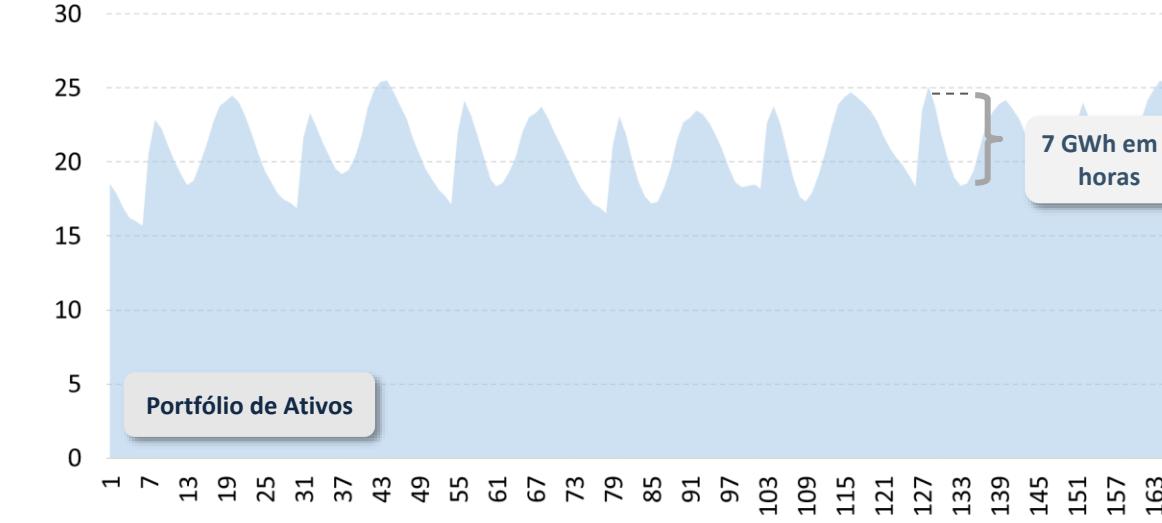
Geração Solar e Operação de Baterias - GWh



Geração Térmica – GWh



Geração Eólica - GWh



Aplicação do SDDP no Brasil

Análise de Risco de
Suprimento de Potência

Análise de Risco de
Suprimento Energético

Diferenças de PLD
entre Submercado

Projeção de PLD

Análises Sistêmicas



Avaliação de Atributos

Análise de Portfólio

Análises Individuais

Análise de Risco de
Submercado

Projeção de Curva *Forward*

Projeção de Despacho

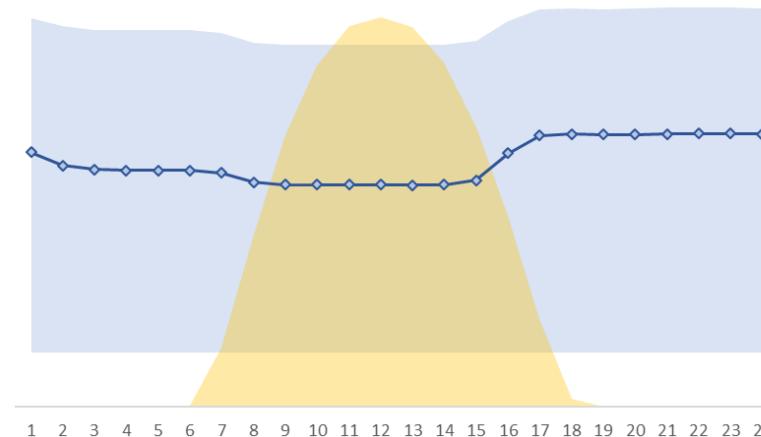
Análise de Modulação de Ativos

Análise de Risco de Contrato

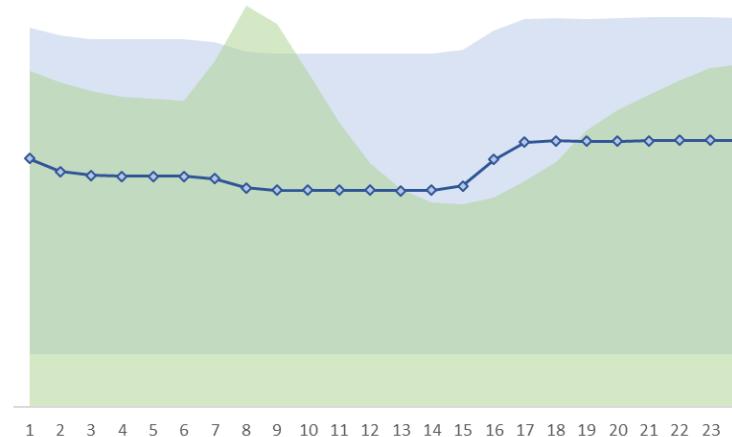
Avaliação de Receitas e Portfólio

Avaliação de um possível portfólio com um ativo solar fotovoltaico e duas eólicas localizadas em regiões distintas

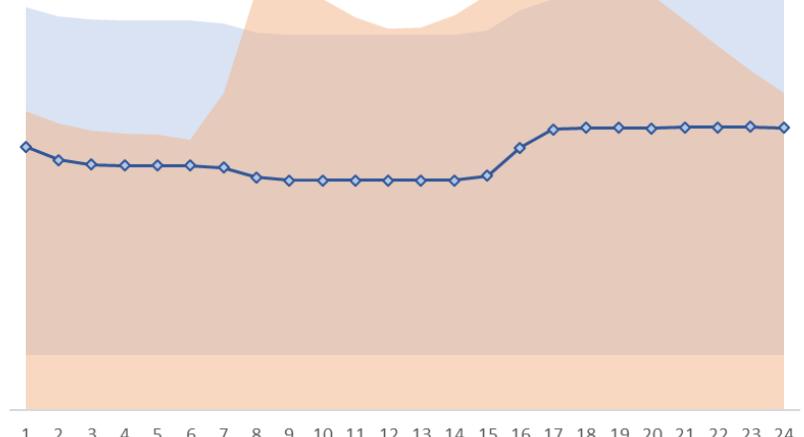
Padrão de Geração Solar vs PLD



Padrão de Geração Eólica 1 vs PLD



Padrão de Geração Eólica 2 vs PLD



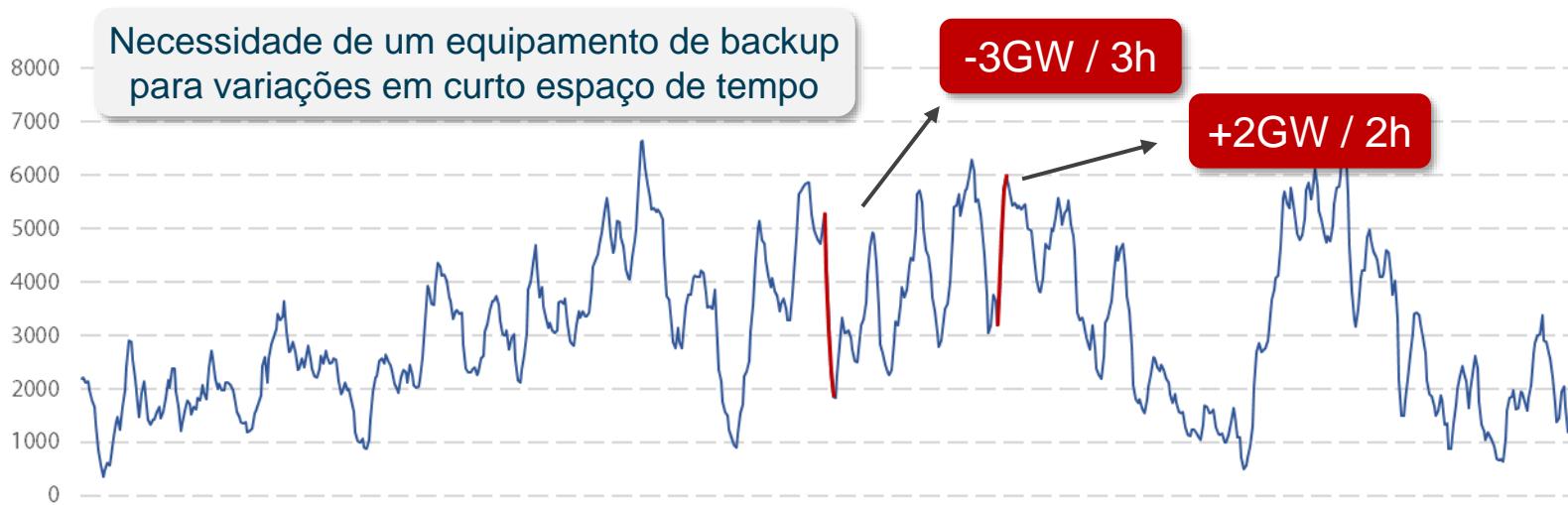
A Incerteza das Renováveis

Time Series Lab

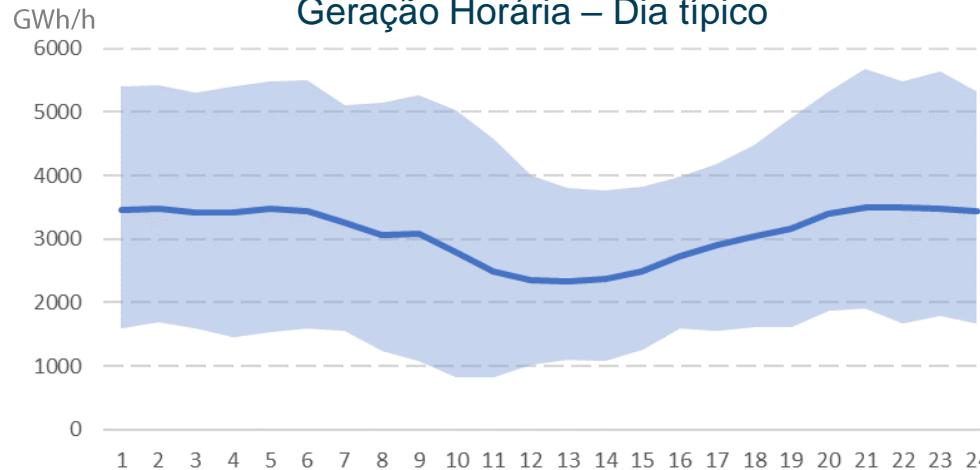


Como é o comportamento de fontes renováveis?

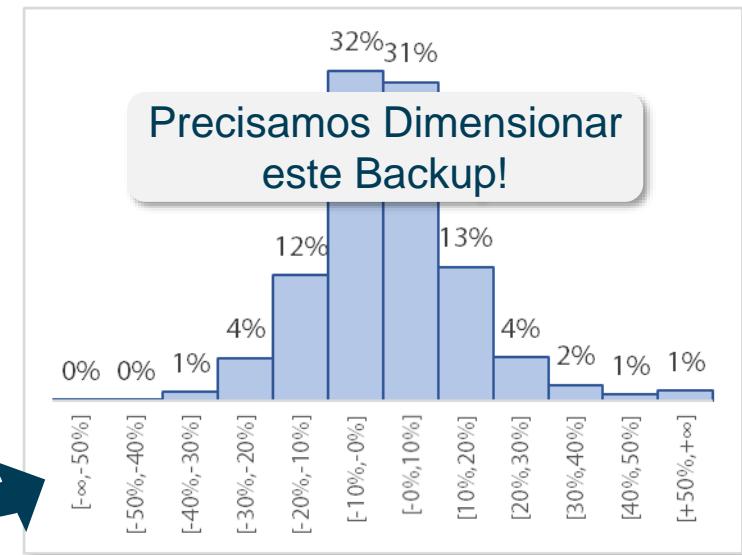
Geração Eólica Horária no Nordeste em Fevereiro – GWh/h



Geração Horária – Dia típico



Variação hora a hora



Trabalhar com **ferramentas estatísticas** é essencial para estar preparado para qualquer situação

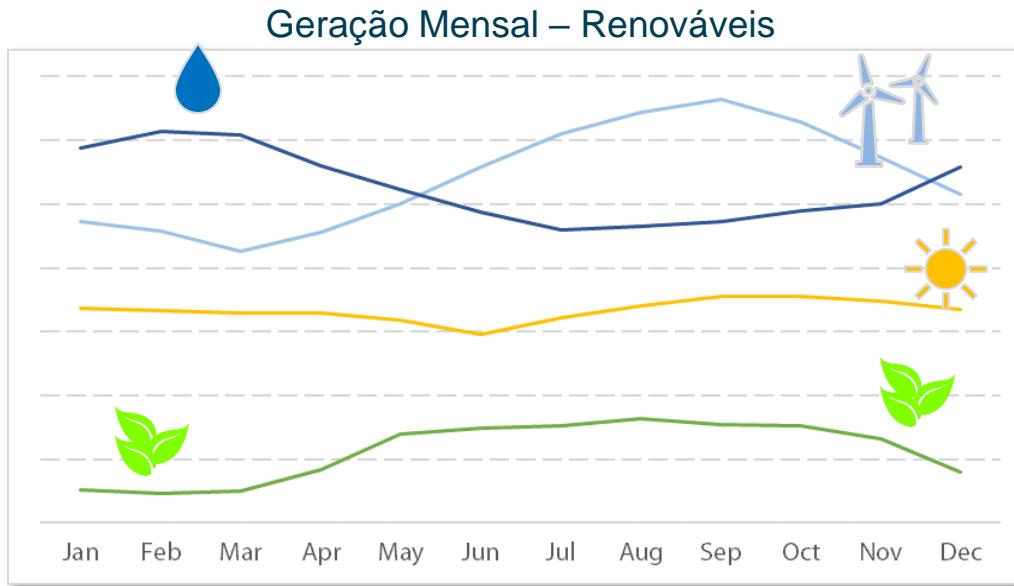
Precisamos investir em:

Modelos Estatísticos

Modelos de Otimização Sob Incerteza

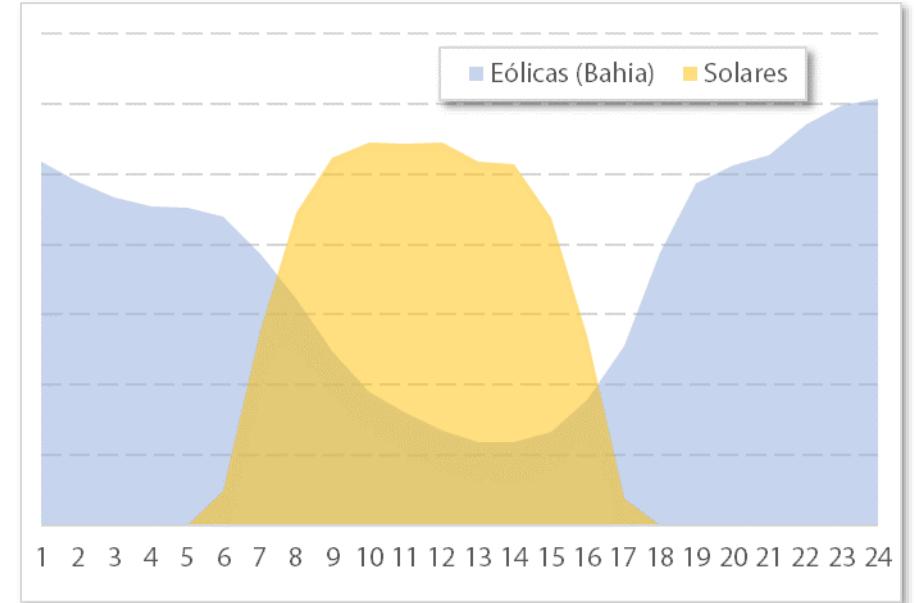
A complementariedade de renováveis

A complementariedade de renováveis pode ser observada no âmbito **mensal**...



...e horário

Geração Horária – Solar vs Eólica

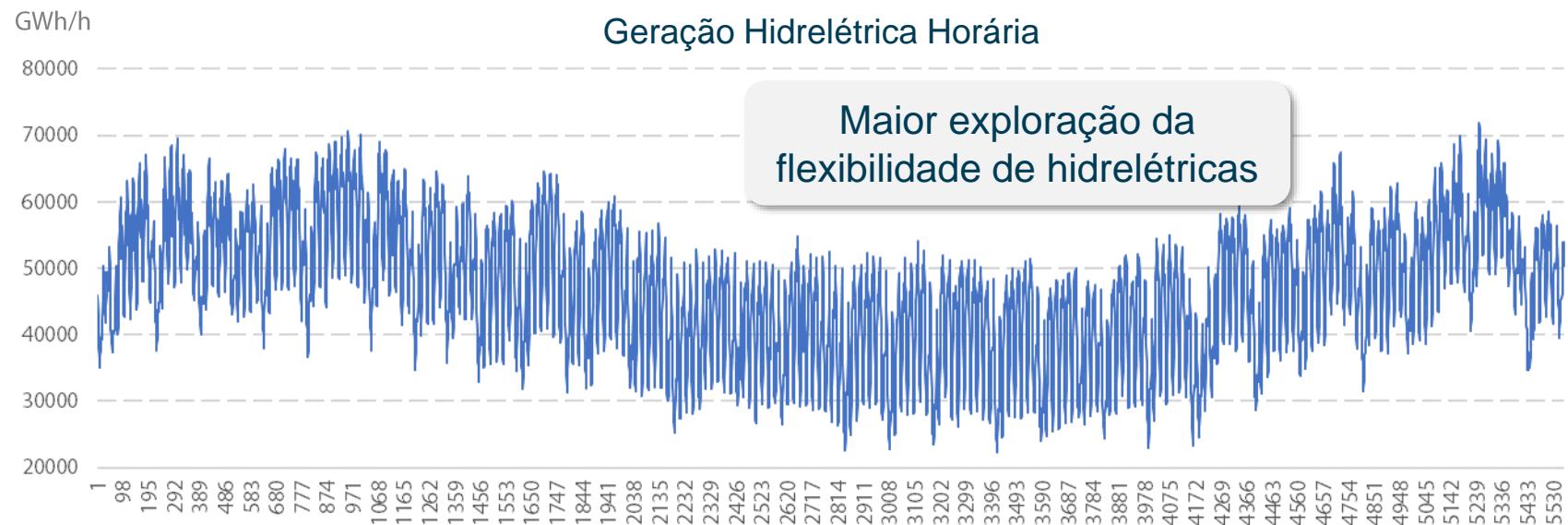
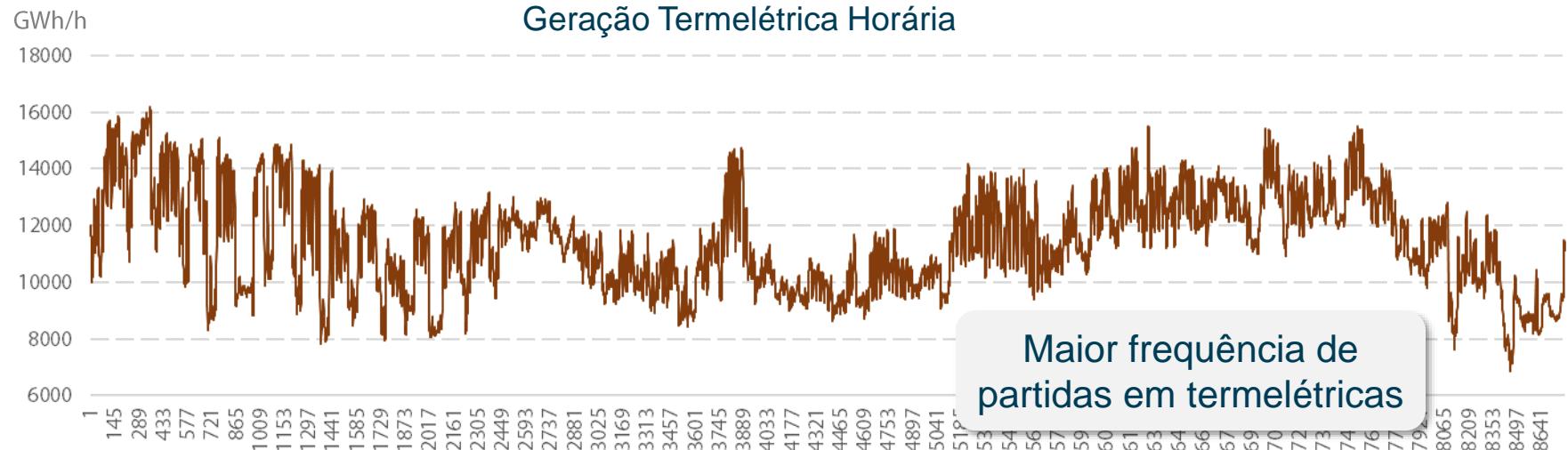


Contudo, encontrar este **portfólio ótimo é uma tarefa desafiadora**, dadas as variáveis envolvidas (custos de fontes, requisito de reserva, perfil de demanda, etc.)

Representar o **perfil de geração** de cada localização é essencial para identificar complementariedades dentro do dia!

Impacto de renováveis sobre outros geradores

A variabilidade de fontes renováveis causa mudança na operação de ativos de geração.



Além de usufruir da flexibilidade e disponibilidade de outros ativos.

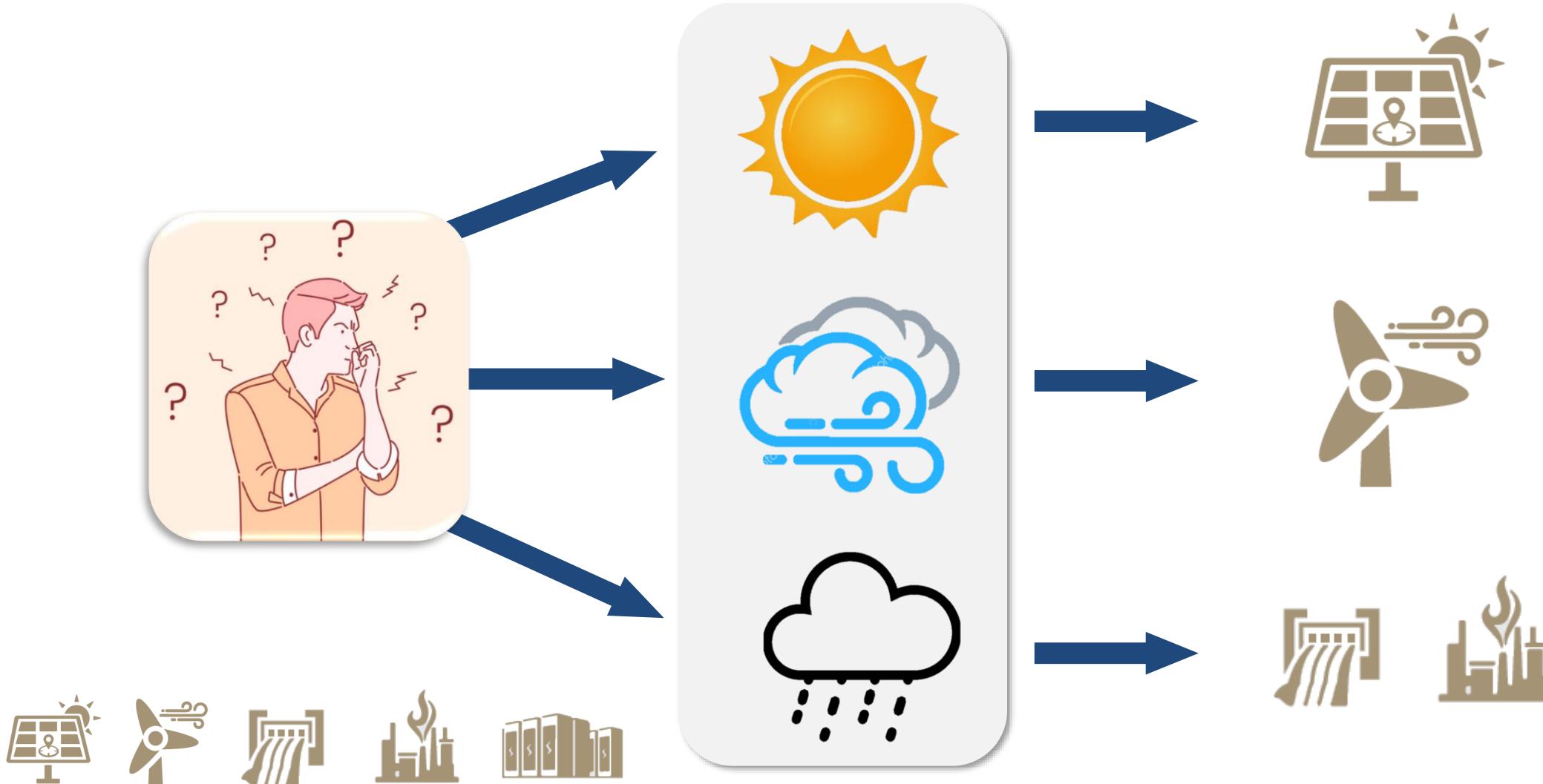
Representação da Incerteza

Ferramentas analíticas utilizadas em um estudo de planejamento energético

?



Porque representar as incertezas?



Decisão sob incerteza

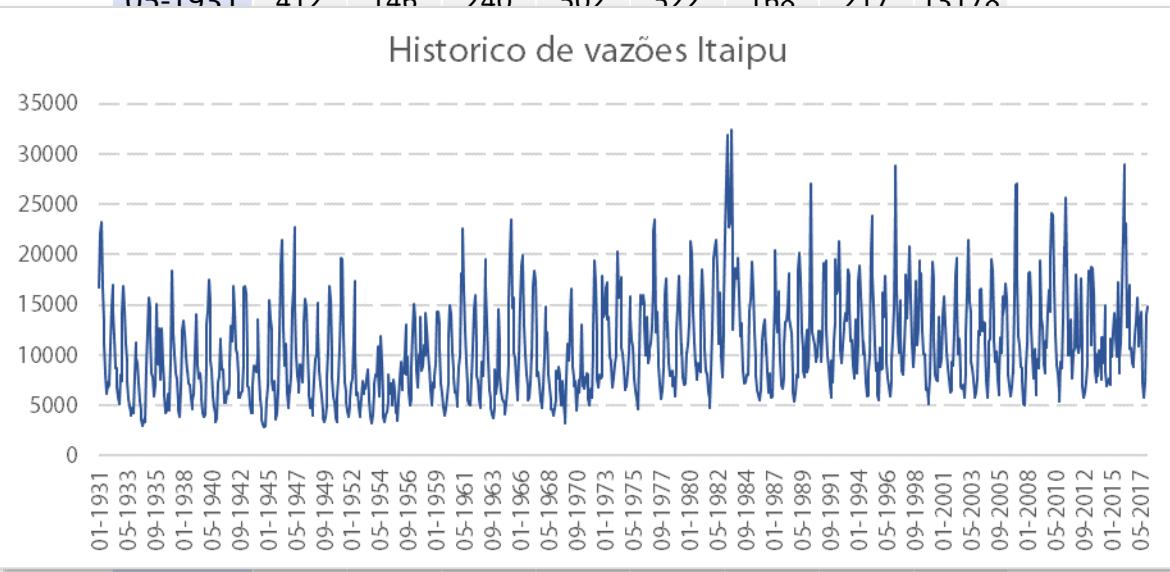
Modelagem das fontes renováveis

O que precisamos para gerar esses cenários?

Dados históricos

Data	UHE 1	UHE 2	UHE 3	UHE 4	UHE 5	UHE 6	UHE 7	UHE 8
01-1931	480	199	327	685	712	230	336	16776
02-1931	908	305	504	1056	1097	354	443	22104
03-1931	624	342	566	1185	1231	397	431	23214
04-1931	646	260	430	901	936	302	256	16671
05-1931	412	146	240	502	522	168	217	13178

Historico de vazões Itaipu



09-2017	67	26	34	62	63	19	140	5781
10-2017	87	13	20	81	81	20	166	7350
11-2017	118	47	76	157	159	42	313	14004
12-2017	218	138	224	360	364	128	235	14806

Um modelo estatístico

“Família” de Modelos na Literatura

AR(p)

PAR(p)

ARIMA(p,d,q)

ARMA(p,d,q)

Modelagem hidrológica

Dados históricos

- Facilidade de acesso aos dados
- Dados disponíveis mesmo em caso de projetos futuros
- Dados com resolução mensal ou semanal

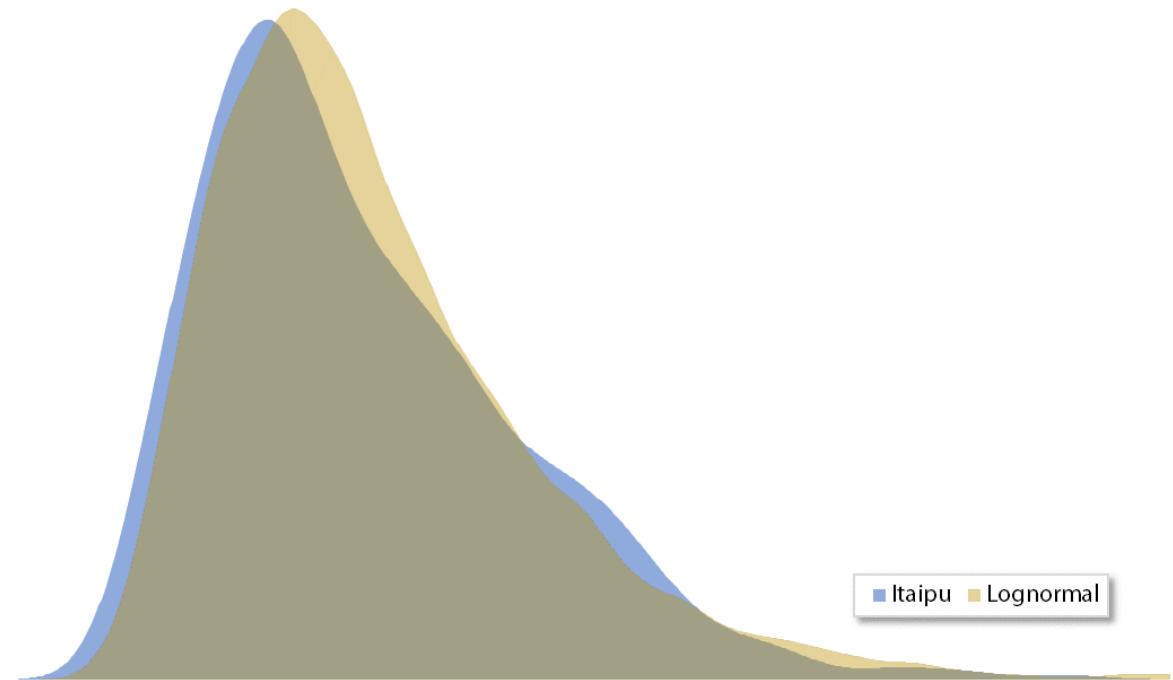
Escolha do modelo

- Análise do histórico

“Família” de Modelos Estatísticos na Literatura

AR(p) PAR(p)
ARIMA(p,d,q) ARMA(p,d,q)

Comparação distribuição de probabilidade



Convergência para
Média Histórica

Efeito Histórico
Recente

Correlação
Temporal

Modelagem de renováveis não convencionais

Dados históricos

- Dados não estão disponíveis com facilidades, ou não existem 
- Plantas existentes têm histórico de geração recente
- Projetos futuros não têm nada!
- Dados com resolução horária ou sub-horária

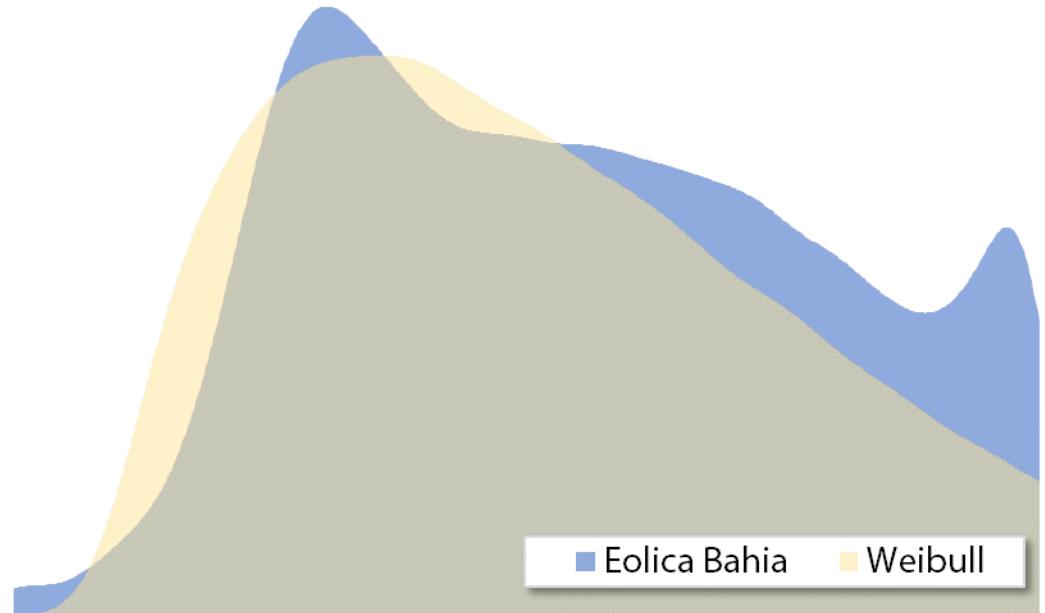
Escolha do modelo

- Análise do histórico
- Distribuição de probabilidade não conhecida 

Abordagem não paramétrica

Rede Bayesiana

Comparação distribuição de probabilidade



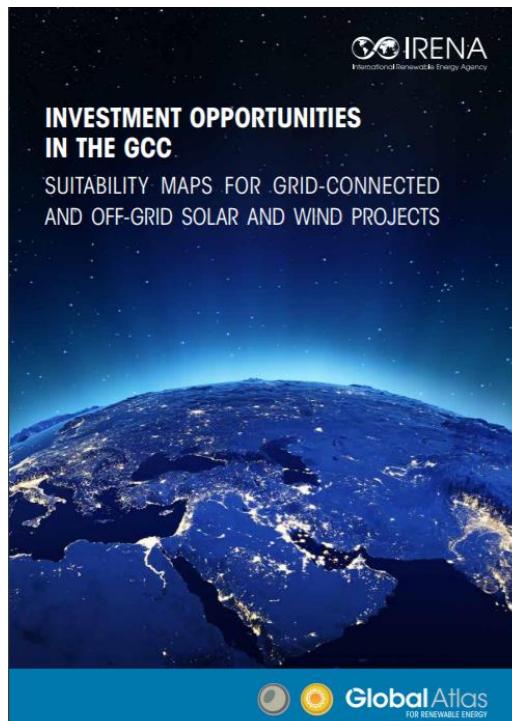
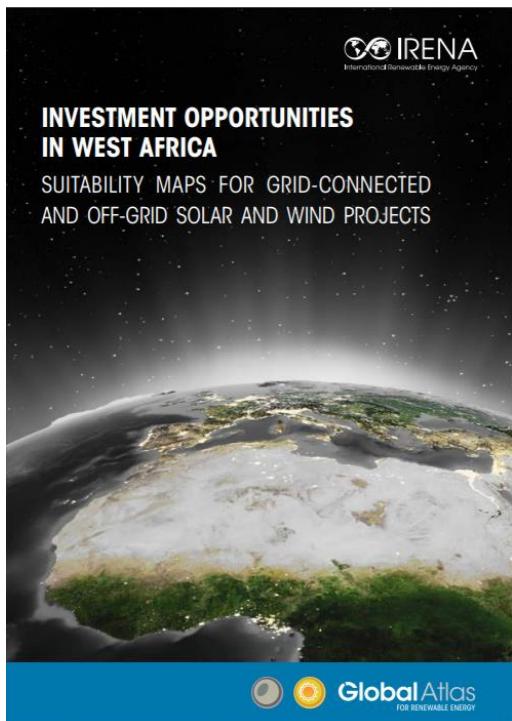
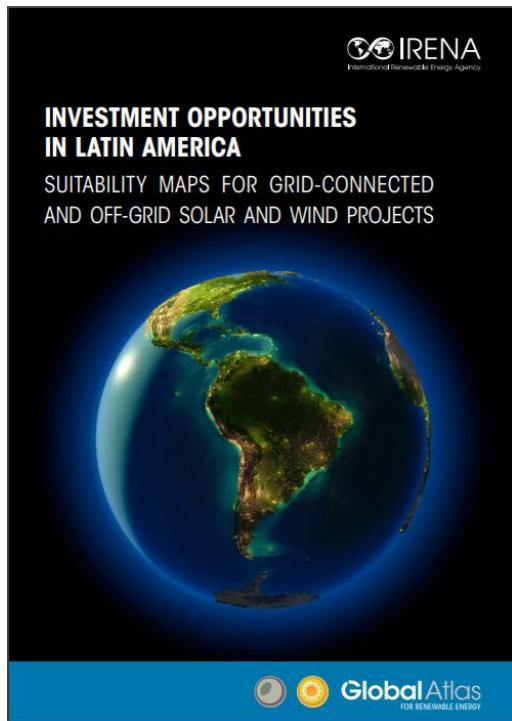
Não assume distribuição de probabilidade

Representar correlação espacial de vazão x vento

Filtro de correlações espúrias

Como conseguir dados históricos?

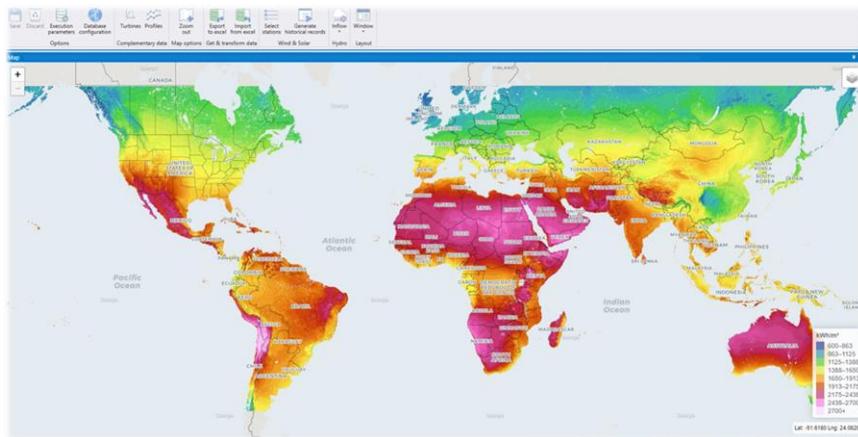
- Reconstituição de um histórico de geração de plantas eólicas e solares pode ser feito com bases globais de Reanálise



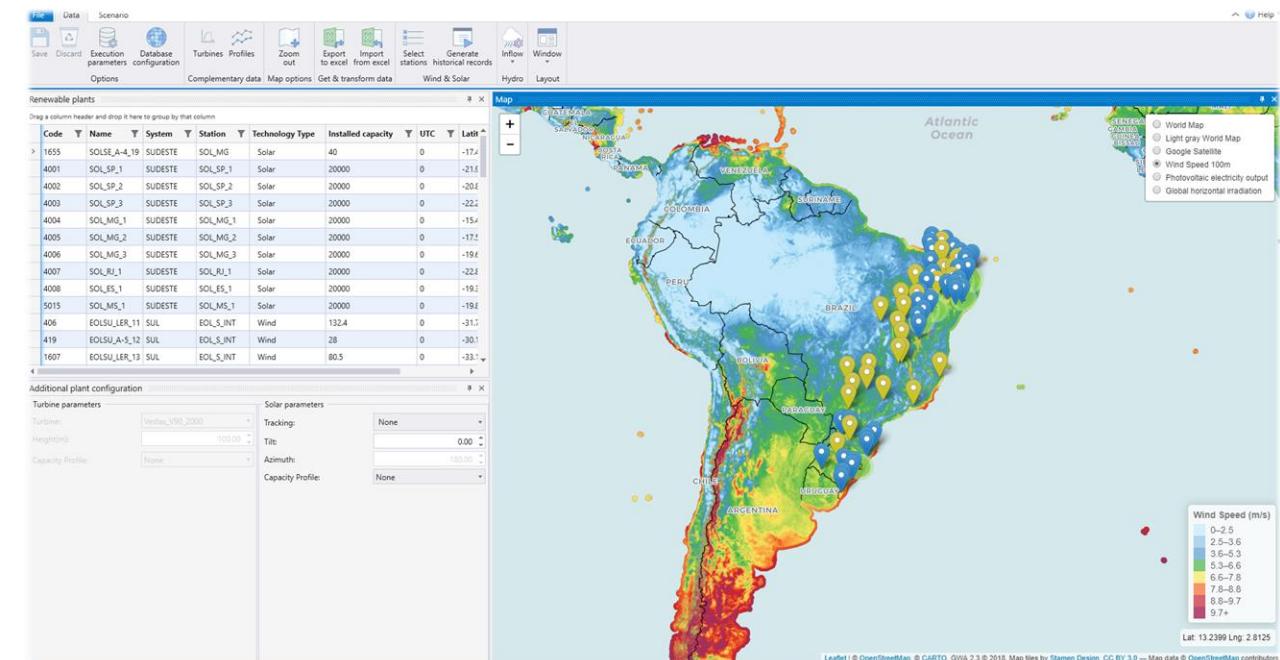
<http://www.irena.org/publications/2016/Jan/Investment-Opportunities-in-Latin-America-Global-Atlas>
<http://www.irena.org/publications/2016/Dec/Investment-Opportunities-in-West-Africa-Global-Atlas>
<http://www.irena.org/publications/2016/Jan/Investment-Opportunities-in-the-GCC-Global-Atlas>

Mapas de recurso renovável disponível em escala global

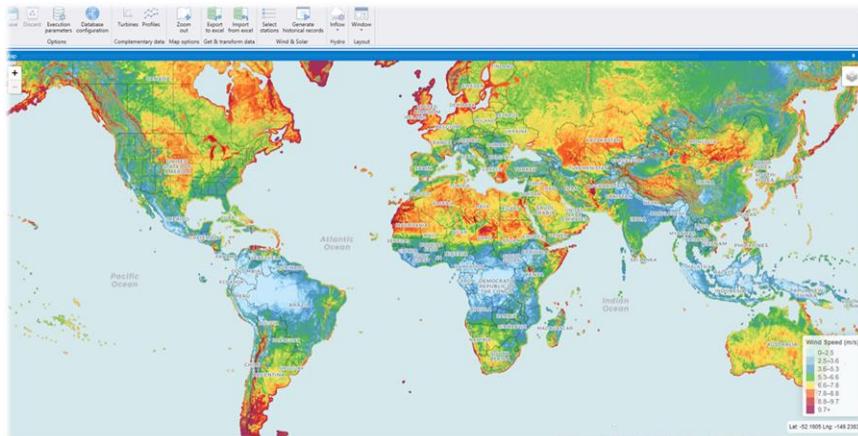
Irradiação solar



Time Series Lab



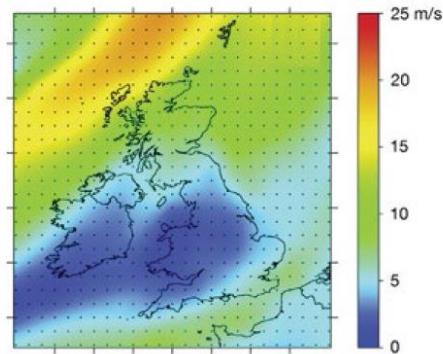
Velocidade do vento



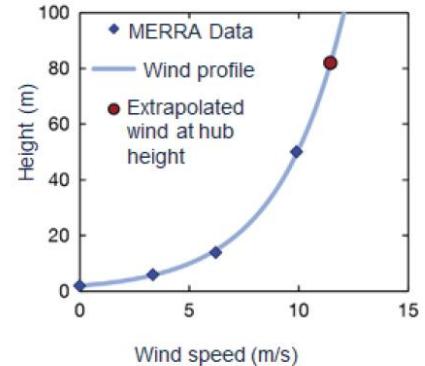
Conversão de recurso primário para energia



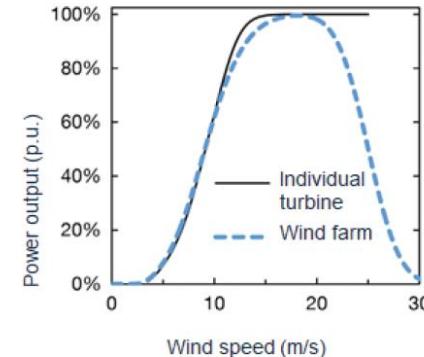
Download da velocidade do vento



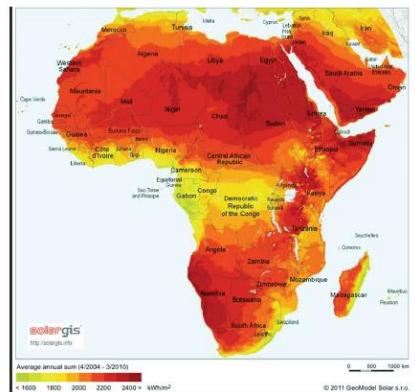
Extrapolação da velocidade do vento



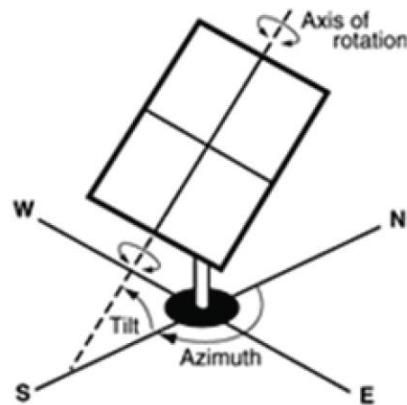
Aplicação na curva da turbina



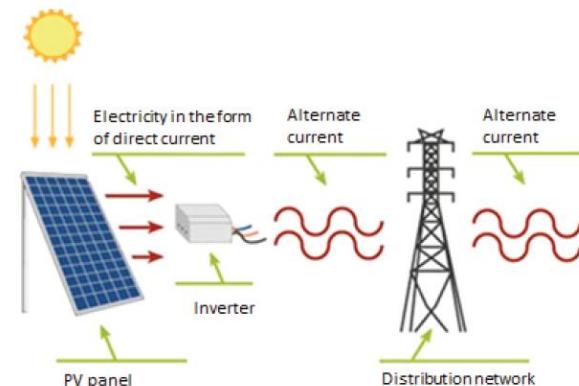
Download da irradiação solar e temperatura



Simulação do sistema de rastreio

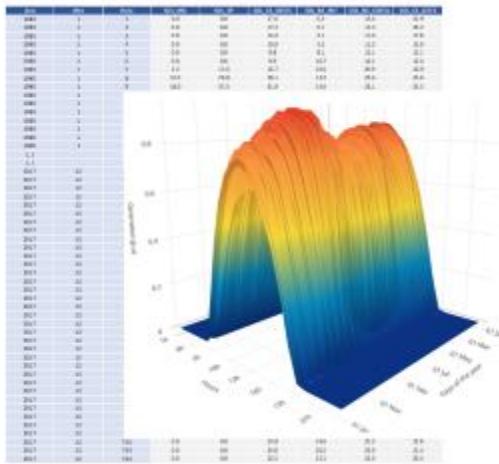


Conversão DC->AC

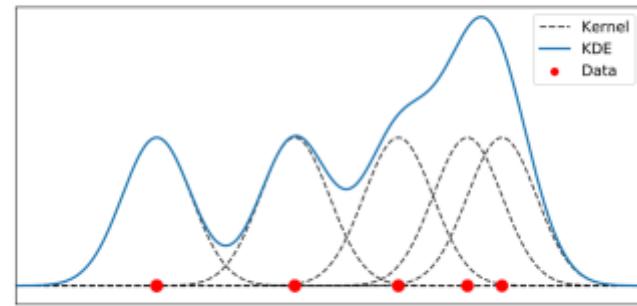


Geração de cenários

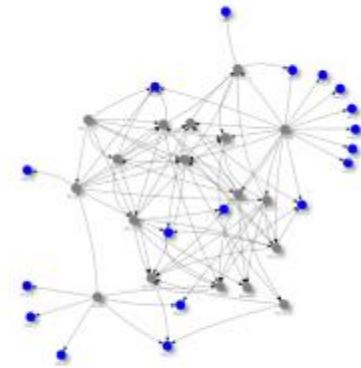
Dados históricos



Estimação não-paramétrica



Rede Bayesiana



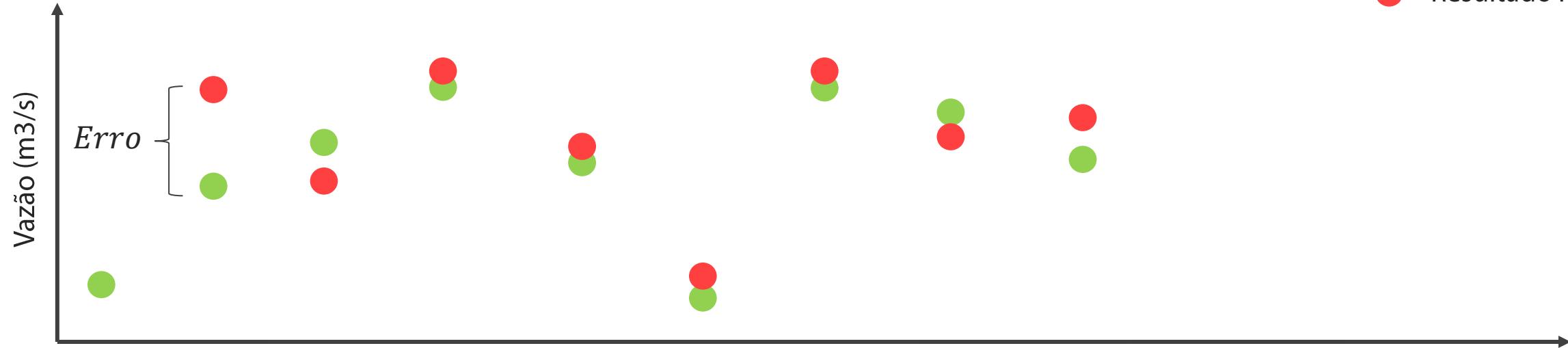
Resultado: modelo estatístico para geração de cenários para as fontes renováveis

$$Vento_t = a + b \text{Vazão}_t + c \text{Vento}_{t-1} + Erro_t$$

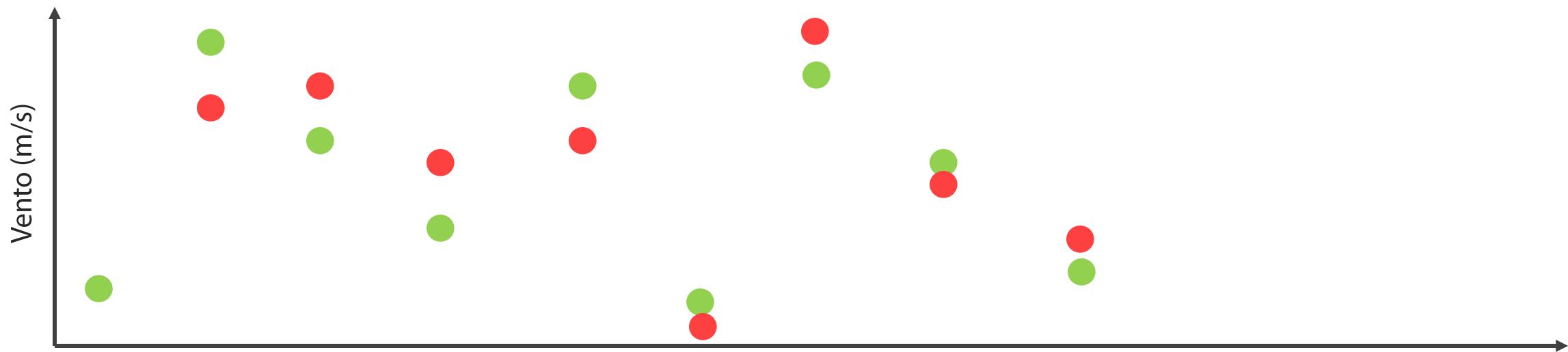
Modelo estatístico – estimação de parâmetros

- Dados históricos
- Resultado modelo

$$Vazão_t = a + b Vazão_{t-1} + Erro_t$$

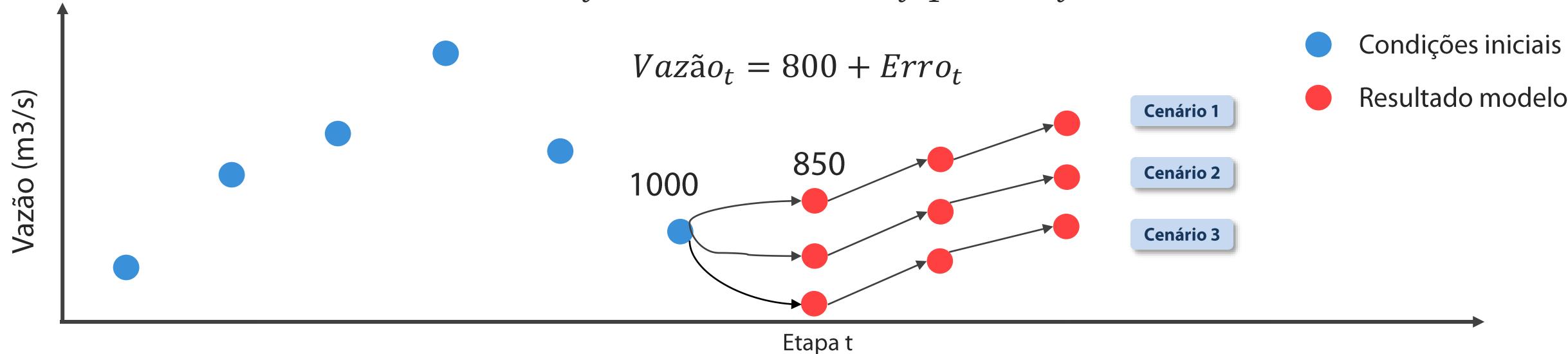


$$Vento_t = a + b Vento_{t-1} + c Vazão_t + Erro_t$$



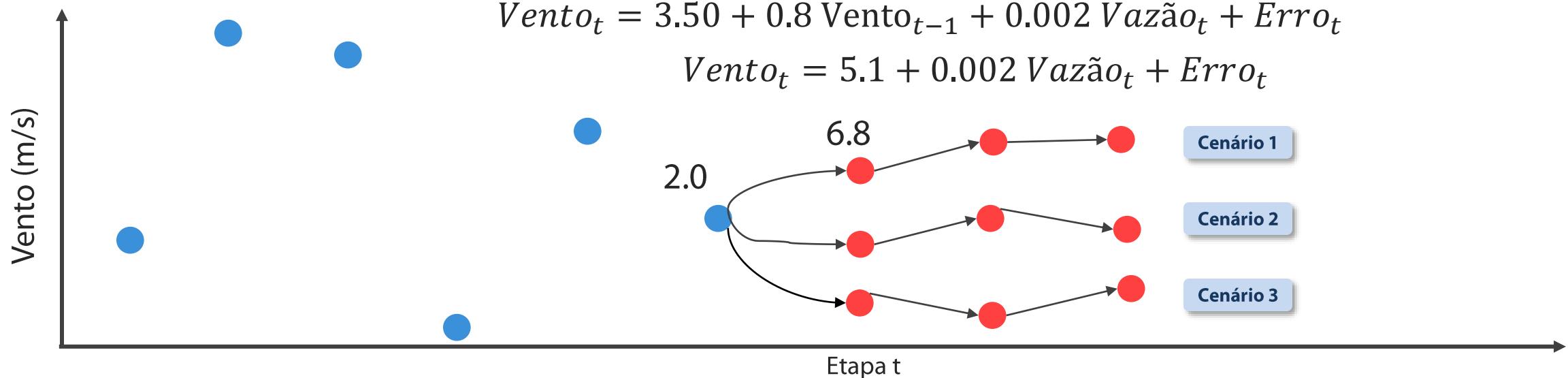
Simulação dos cenários

$$Vazão_t = 150 + 0.65 \text{ Vazão}_{t-1} + Erro_t$$



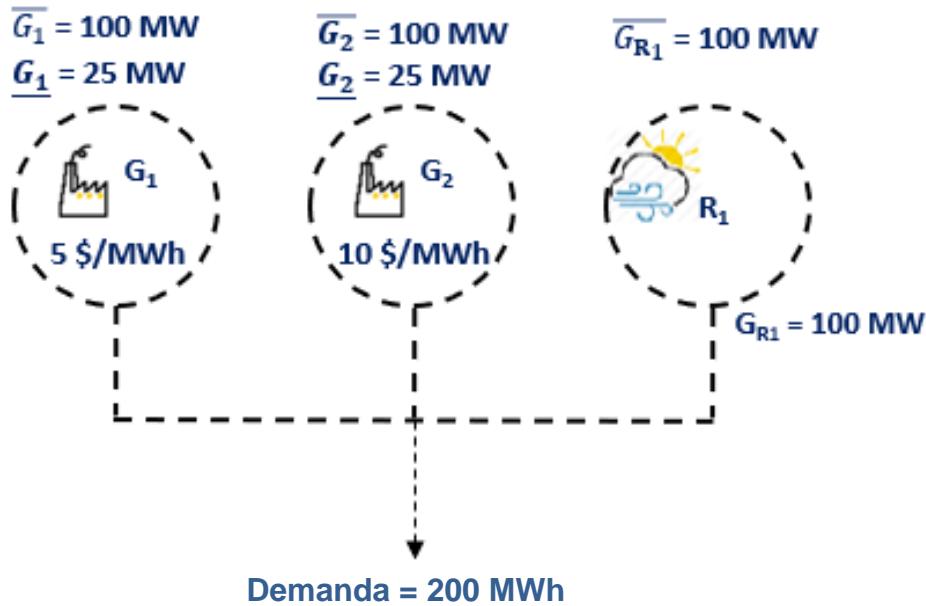
$$Vento_t = 3.50 + 0.8 \text{ Vento}_{t-1} + 0.002 \text{ Vazão}_t + Erro_t$$

$$Vento_t = 5.1 + 0.002 \text{ Vazão}_t + Erro_t$$



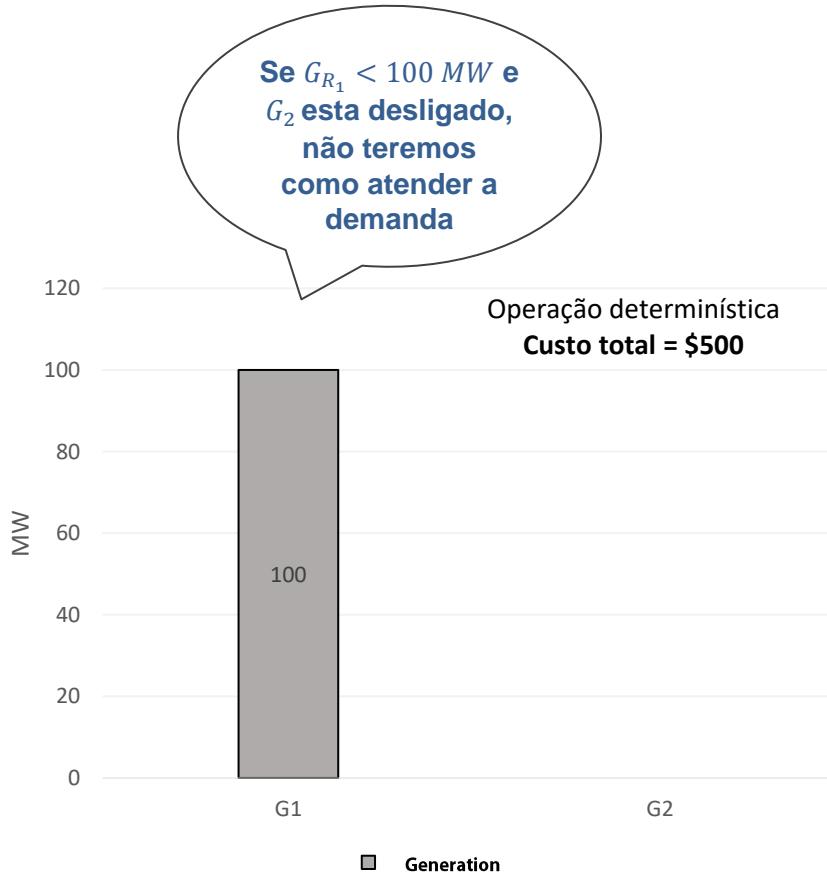
Reserva de geração em sistemas elétricos

Vamos considerar o sistema abaixo, e modelar sua operação matematicamente



$$\begin{aligned} & \text{Min} && 5g_1 + 10g_2 \\ \text{s.t.} & && g_1 + g_2 = 100 \\ & && 25y_1 \leq g_1 \leq 100y_1 \\ & && 25y_2 \leq g_2 \leq 100y_2 \\ & && y_1, y_2 \in \{0,1\} \\ & && \text{commitment} \end{aligned}$$

Solução ótima:



Agora vamos formular o mesmo problema, considerando restrições de reserva

- Vamos supor um requisito de reserva de 50 MW:

$$\text{Min} \quad 5g_1 + 10g_2$$

$$\text{s.t} \quad g_1 + g_2 = 100$$

$$25y_1 \leq g_1 \leq 100y_1$$

$$25y_2 \leq g_2 \leq 100y_2$$

$$r_1 + r_2 \geq 50 \rightarrow$$

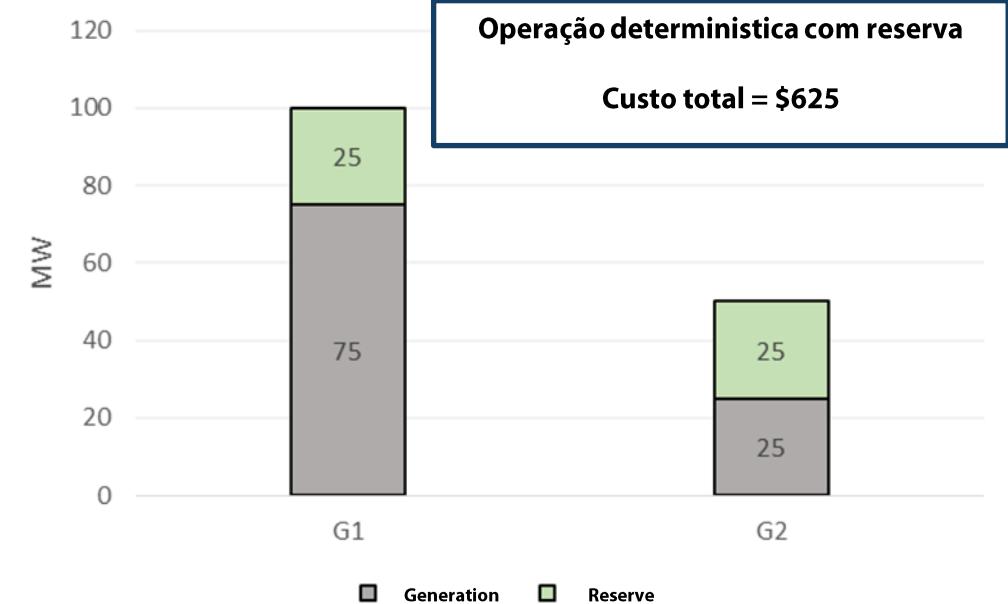
Como determinar corretamente o requisito?

Restrição de reserva

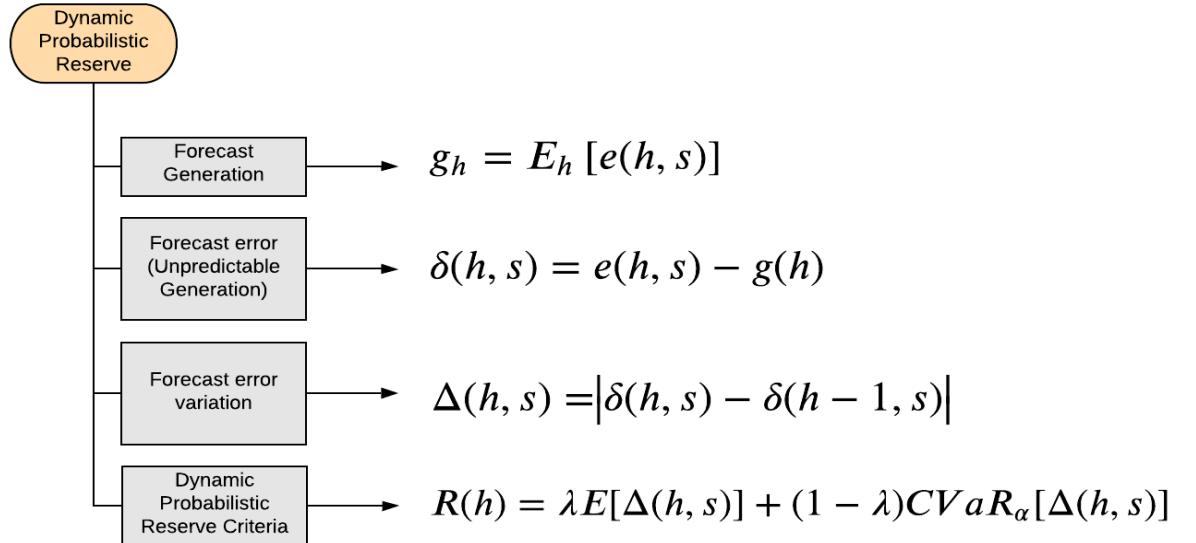
$$g_1 + r_1 \leq 100y_1$$

$$g_2 + r_2 \leq 100y_2$$

$$y_1, y_2 \in \{0,1\}$$



A Reserva Probabilística Dinâmica



Addressing the Time-Varying Dynamic Probabilistic Reserve Sizing Method on Generation and Transmission Investment Planning Decisions

Alessandro Soares, Ricardo Perez, Weslly Morais, Silvio Binato

Abstract—In this paper, we address the long-term system's requirement reserve sizing due to the high-level of variable renewable energy (VRE) sources penetration, inside the expansion planning model. The increase in the insertion of this kind of energy source will also bring an increase in the requirements. A higher requirement will be transferred to the system since the system operator needs to allocate generators for reserve purposes. The VRE implicitly cause these costs, so besides the investment expansion planning models should consider those costs in the expansion decision process. The methodology proposed to provide a probabilistic and dynamic evaluation of the errors of VRE sources generation, translating these errors into the system's requirement reserve. This evaluation is done in the expansion planning optimization model, treating the requirement as an endogenous variable. Finally, a real case of the Mexican system is presented, so that we can analyze the results of the methodology and the impacts of considering the reserve requirement along with the expansion planning.

Index Terms—Renewables, Reserve Requirements, Stochastic Optimization, Power Systems, Optimization

changes (increase or reductions) in the intermittent renewable generation to maintain the system reliability and stability. The work in [5] analyzes in detail all the technical aspects for



Article

A Probabilistic and Value-Based Planning Approach to Assess the Competitiveness between Gas-Fired and Renewables in Hydro-Dominated Systems: A Brazilian Case Study

Felipe Nazaré ¹, Luiz Barroso ² and Bernardo Bezerra ^{3,*}

¹ Electrical Engineering Department, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), Rio de Janeiro 22341-041, Brazil; felipeucasnaze@gmail.com

² Instituto de Investigación Técnologa, Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI), Universidad Pontificia Comillas, 28015 Madrid, Spain; luiz.barroso@comillas.edu

³ Omegas Geração S.A., R. Elvira Ferraz, 68, São Paulo 04552-040, Brazil

* Correspondence: bebezerra@gmail.com

Abstract: The main challenge with the penetration of variable renewable energy (VRE) in thermal-dominated systems has been the increase in the need for operating reserves, relying on dispatchable and flexible resources. In the case of hydro-dominated systems, the cost-effective flexibility provided by hydro-plants facilitates the penetration of VRE, but the compounded production variability of these resources challenges the integration of baseload gas-fired plants. The Brazilian power system illustrates this situation, in which the development of large associated gas fields economically depends on the operation of gas-fired plants. Given the current competitiveness of VRE, a natural question is the economic value and tradeoffs for expanding the system opting between baseload gas-fired generation and VRE in an already flexible hydropower system. This paper presents a methodology based on a multi-stage and stochastic capacity expansion model to estimate the optimal mix of baseload thermal power plants and VRE additions considering their contributions for security of supply, which includes peak, energy, and operating reserves, which are endogenously defined in a time-varying and sized in a dynamic way as well as adequacy constraints. The presented model calculates the optimal decision plan, allowing for the estimation of the economical tradeoffs between baseload gas and VRE supply considering their value for the required services to the system. This allows for a comparison between the integration costs of these technologies on the same basis, thus helping policymakers and system planners to better decide on the best way to integrate the gas resources in an electricity industry increasingly renewable. A case study based on a real industrial application is presented for the Brazilian power system.

Keywords: power system expansion; co-optimization of energy and reserve; associated natural gas;



Citation: Nazaré, F.; Barroso, L.; Bezerra, B. A Probabilistic and Value-Based Planning Approach to Assess the Competitiveness between Gas-Fired and Renewables in Hydro-Dominated Systems: A Brazilian Case Study. *Energies* **2021**, *14*, 7281. <https://doi.org/10.3390/en14217281>

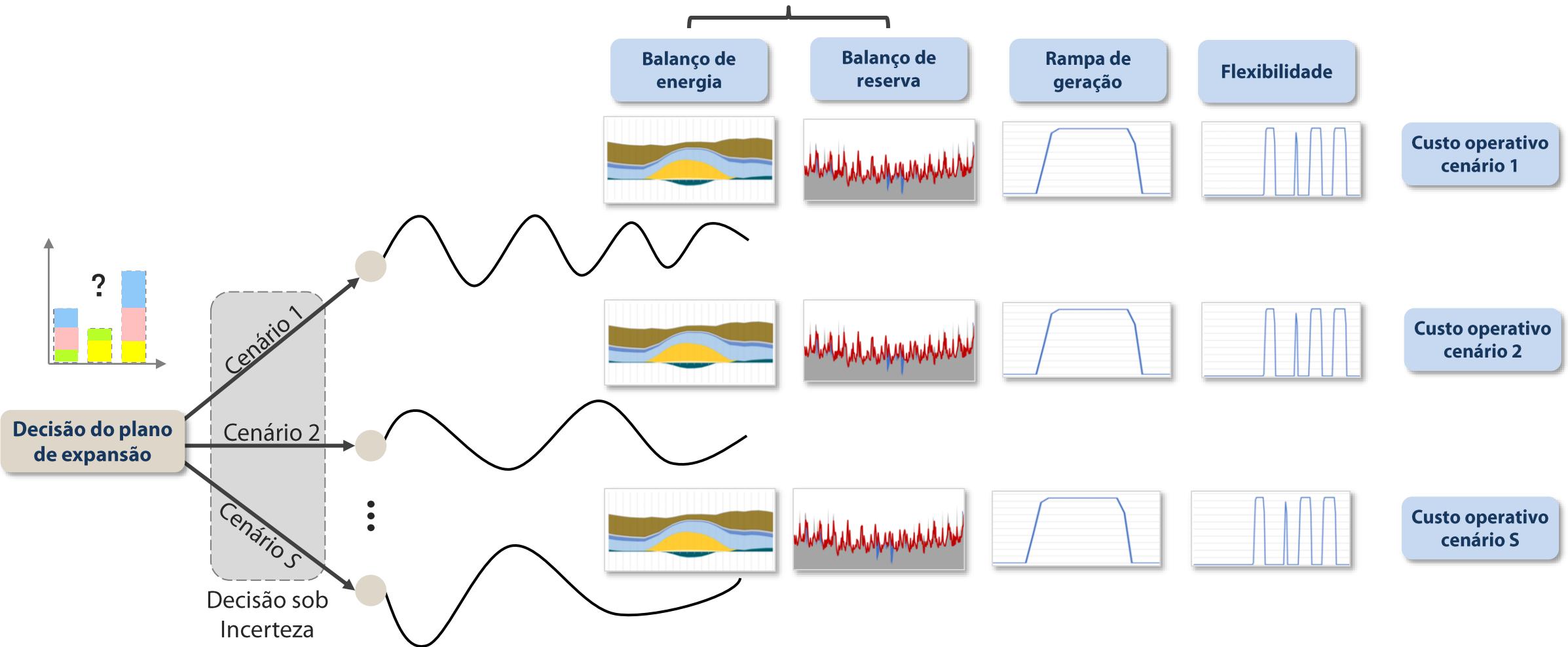
Academic Editor:
Dimitrios Katsaprakakis

Received: 16 September 2021
Accepted: 30 October 2021

Em resumo...

E onde entram os cenários?

Co-optimização energia e reserva



Minimizar Custo de investimento + Custo de operação

Sujeito à: Restrições operativas e de segurança

Softwares disponíveis “por ai”

Modelos de expansão

Gratuitos

- MDI (EPE)
- WASP (EnergyPLAN)
- anyMOD.jl
(<https://github.com/leonardgoeke/anyMOD.jl>)

Comerciais

- OptGen (PSR)
- MELP (CEPEL)
- PLEXOS (EnergyExemplar)
- GAP (IED)

Modelos de operação

Gratuitos

- SDDP.jl
(<https://github.com/odow/SDDP.jl>)
- PowerSimulations.jl
(<https://github.com/NREL-SIIP/PowerSimulations.jl>)
- HydroPowerModels.jl
(<https://github.com/andrewrosemberg/HydroPowerModels.jl>)

Comerciais

- SDDP (PSR)
- NEWAVE/DECOMP/DESSEM (CEPEL)
- PLEXOS (EnergyExemplar)

Modelos de renováveis

Gratuitos

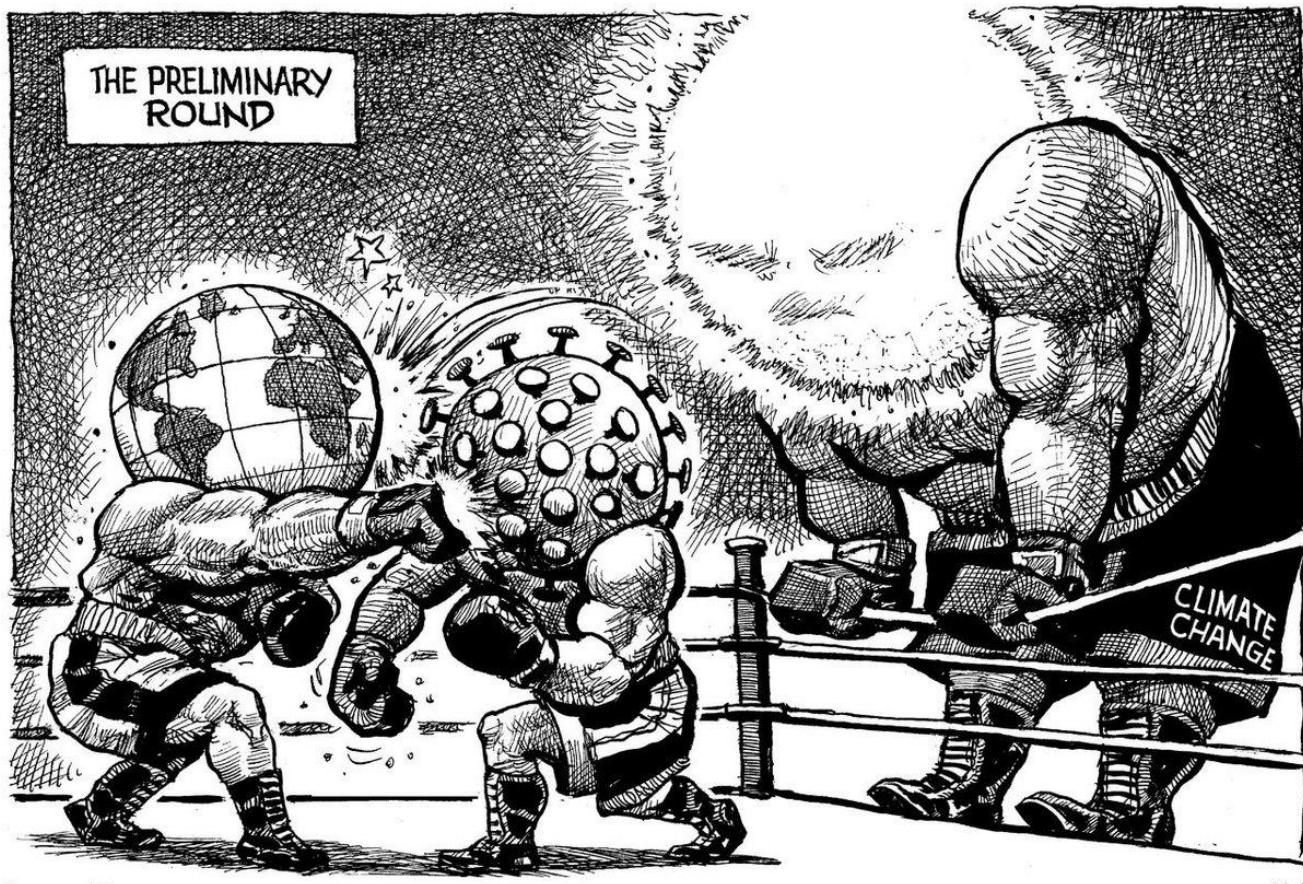
- SAM (NREL)
- Renewable Ninja
(<https://www.renewables.ninja/>)

Comerciais

- Time Series Lab (PSR)
- Vortex Energy
- VAISALA

Provocações finais

Agenda climática entrou na pauta



Economist.com

Como podemos aproveitar a crise atual para evitar riscos climáticos adicionais e qual pegada de carbono podemos nos permitir durante e após a recuperação?



A recuperação econômica terá muitas iniciativas – e metas – de sustentabilidade

A energia renovável passou a ser o foco mundial

Impulsionada por avanços tecnológicos, como a geração distribuída

IKEA home solar panels and battery storage

Building details

1. Zoom in and point to the corners of the sunny side of your roof

Datos de mapas ©2017 Google Imágenes ©2017, Infoterra Ltd & Bluesky | Términos de uso

Your estimate

1. Size **21.0m²**
2. Orientation
3. Pitch
4. Time of day use
5. Access

1 2 3 4 5

2. Great! Now choose the icon that reflects the position of your gutter

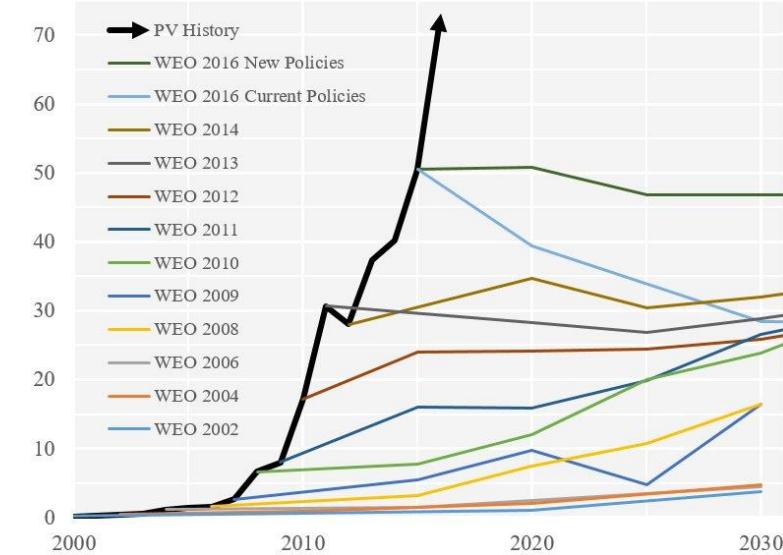
W E
SW SE S

Your results

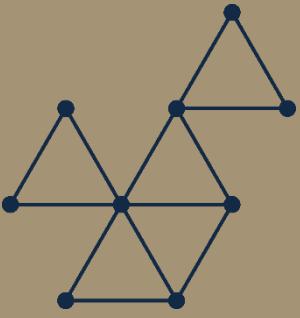
The table shows your savings and cost. This is very much an estimate at this stage. You can receive a much more accurate assessment of solar for your home by requesting a quote. Check the assumptions.

Option	Rooftop	Rooftop PLUS	Built-in PLUS
No. of panels	12	12	13
Panel	Canadian Solar 270W	JA Solar 280W	Sunstation 270W
Include battery storage	No <input type="checkbox"/>	Yes <input checked="" type="checkbox"/>	
Year one savings	£339	£348	£359
Savings over 20 years	£10,038	£10,288	£10,591
Cost of system	£4,848	£5,325	£6,500

Annual PV additions: historic data vs IEA WEO predictions
In GW of added capacity per year - sources World Energy Outlook and PVMA



Pequena barreira de entrada,
competitividade e rápido
desenvolvimento têm gerado
crescimento **exponencial**, levando o
mercado livre a quem ainda não é livre



www.psr-inc.com

psr@psr-inc.com

+55 21 3906-2100

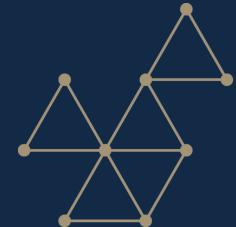
/psrenergy

@psrenergy

@psrenergy

Muito obrigado!

Q&A



PSR