

# Efeitos da Inclusão de Sistemas de Armazenamento no Despacho de Geração do SIN

Anderson Rodrigo de Queiroz

Lucas Scianni

José Wanderley Marangon Lima

Paulo F. Ribeiro

Rafael Salles



**ABSOLAR**  
Brazilian Photovoltaic Solar Energy Association

# Armazenamento no Contexto do Sistema Elétrico Brasileiro

# Armazenamento no Contexto do SEB



## Despacho Ótimo de Geração

- No despacho otimizado de geração os **armazenadores de energia** praticam um papel fundamental de **deslocamento de recursos mais baratos** ao longo do horizonte de análise (dia, semana, mês, ano)
- O **custo de geração do sistema varia ao longo do tempo**, com **horários fora de pico normalmente incorrendo em custos marginais mais baixos**. Armazenadores de energia pode ser carregados nesses períodos e descarregados durante as horas de alto custo, reduzindo os custos operacionais de todo o sistema
- O uso de **armazenamento no despacho de geração** buscando a **atenuação do pico de demanda**, **pode eliminar (ou postergar) novos investimentos em geração**
- Nesse contexto, o agente armazenador poderia receber pela diferença entre os custos marginais de carregamento e descarga da energia, além de uma receita mínima requerida para recuperar o investimento

\*De acordo com o objetivo de uso, horizonte de análise e as características do parque gerador e carga, diferentes configurações de sistema de armazenamento se mostram mais adequadas. Análises de despacho de geração auxiliam na definição de capacidades otimizadas a serem inseridas com o intuito de se otimizar recursos e minimizar custos do sistema

# Objetivo

Nosso objetivo é avaliar os impactos causados pela inclusão de sistemas de armazenamento no sistema interligado nacional (SIN)



Geração de  
Energia



Custos  
Operacionais



Intercâmbios  
entre Regiões

# Premissas

- Representação das usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) no programa *Tools for Energy Modeling Optimization and Analysis (TEMOA)*



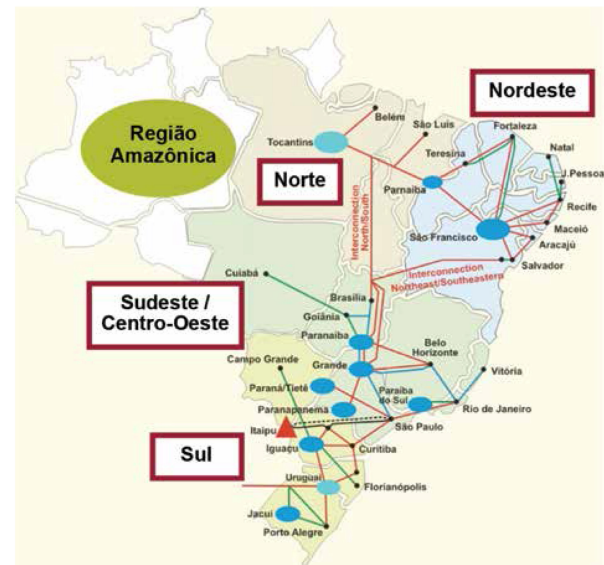
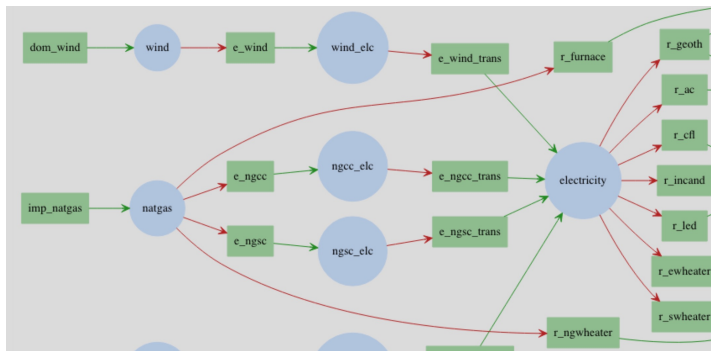
Temoa

Tools for Energy Model Optimization and Analysis

<https://temoacloud.com>

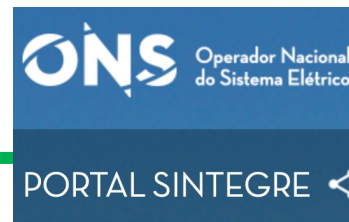
NC STATE  
UNIVERSITY

Otimização em redes com commodities e tecnologias para atendimento da demanda



# Fluxograma da Modelagem

- Usinas individualizadas (H & T)
- CVUs das Térmicas
- Interligações entre Regiões
- Taxas de Indisponibilidade, eficiência, perdas, etc



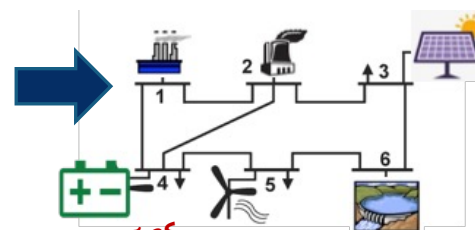
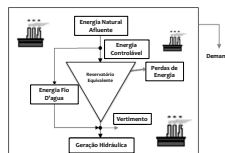
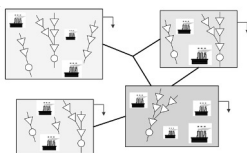
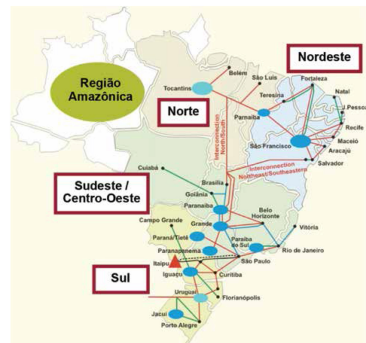
SIN

NEWAVE

TEMOA

Informações Horárias por Região

- **Eólicas**
- **Solar**
- **Demanda**

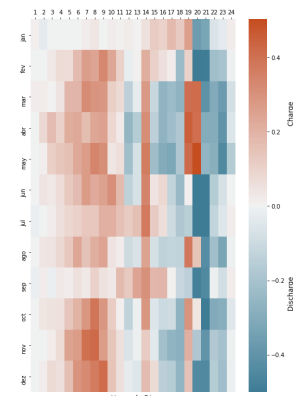
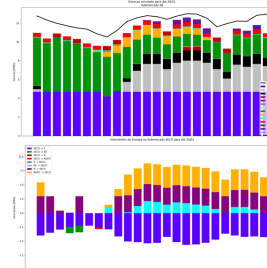


Geração Hidráulica Mensal por Reservatório Equivalente

*Restrições*

Resultados Horários para o Ano

- Despacho de Geração por Usina
- Carga/Descarga do Armazenador
- Intercâmbios de Energia
- Custo Total de Operação



# Simulações Computacionais

## PMO Janeiro de 2021

# Caso PMO Janeiro 2021

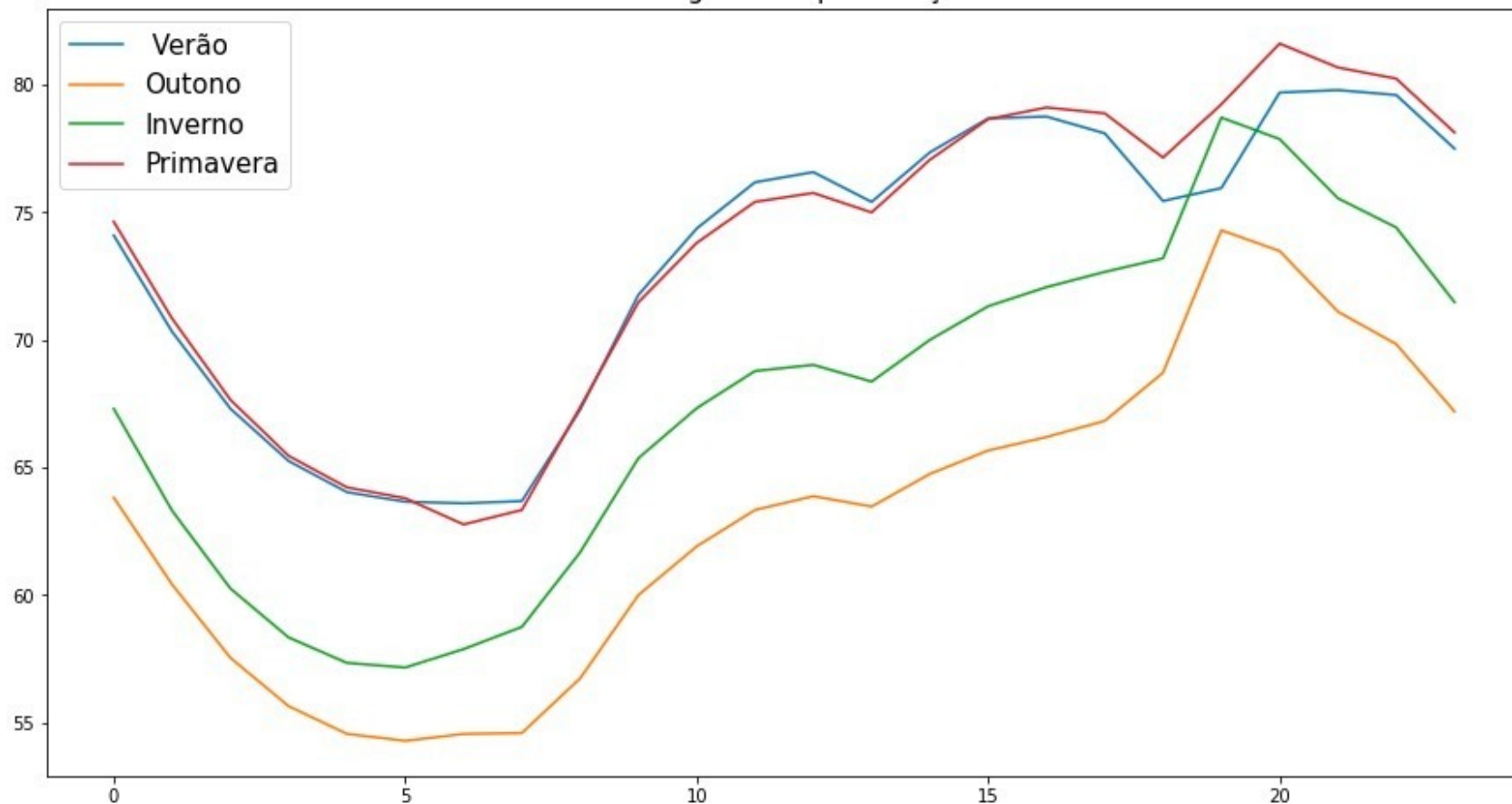
- Despacho Econômico das Usinas do SIN utilizando o deck do PMO referente parque gerador de Janeiro de 2021
- **Considerações:**
  - Perdas na transmissão: 3.5%
  - Tecnologias de Armazenamento: Li-Ion, Pumped Hydro, Hidrogênio
  - Eficiência do Sistema de Armazenamento: 85%, 75%, 60%
  - Localização: **Região Nordeste**, **Região Sudeste**
  - Capacidade: **0.5GW/4h**, **1GW/4h**, **2GW/4h**, **2GW/8h**, **4GW/24h**
  - Geração Hidráulica do NEWAVE: média das 2000 series + 15%
  - **Perfil de Demanda Horária:** Sintegre ONS 2020 (**efeito COVID**)

**Objetivos:** Avaliar alterações no perfil de geração, nos **intercâmbios** além de **características de armazenamento** e **redução de custo total do despacho**

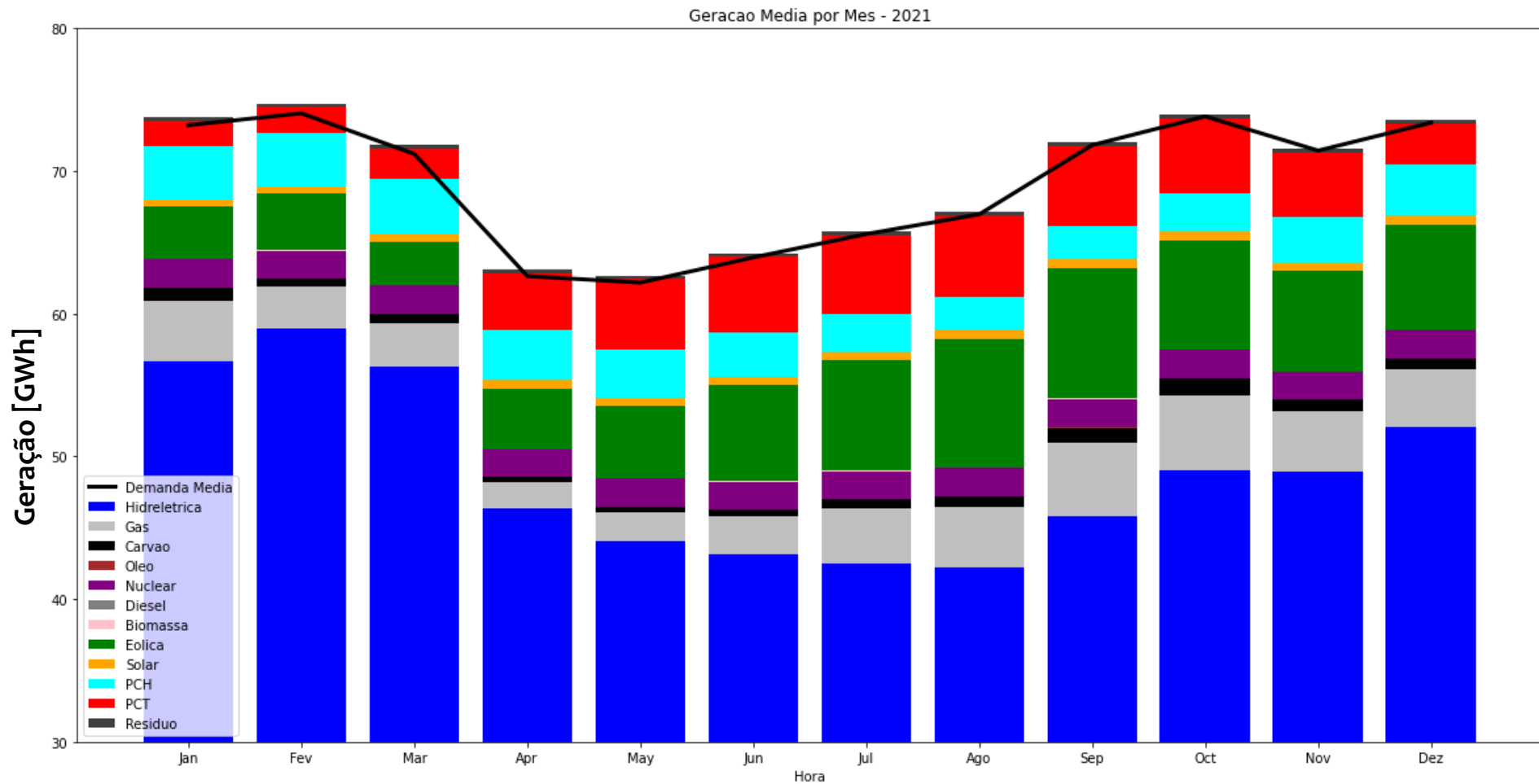


# Perfil de Carga – PMO 2021

Curvas de Carga Média por Estação - 2021



# Balanço Carga X Geração SIN – Caso Base



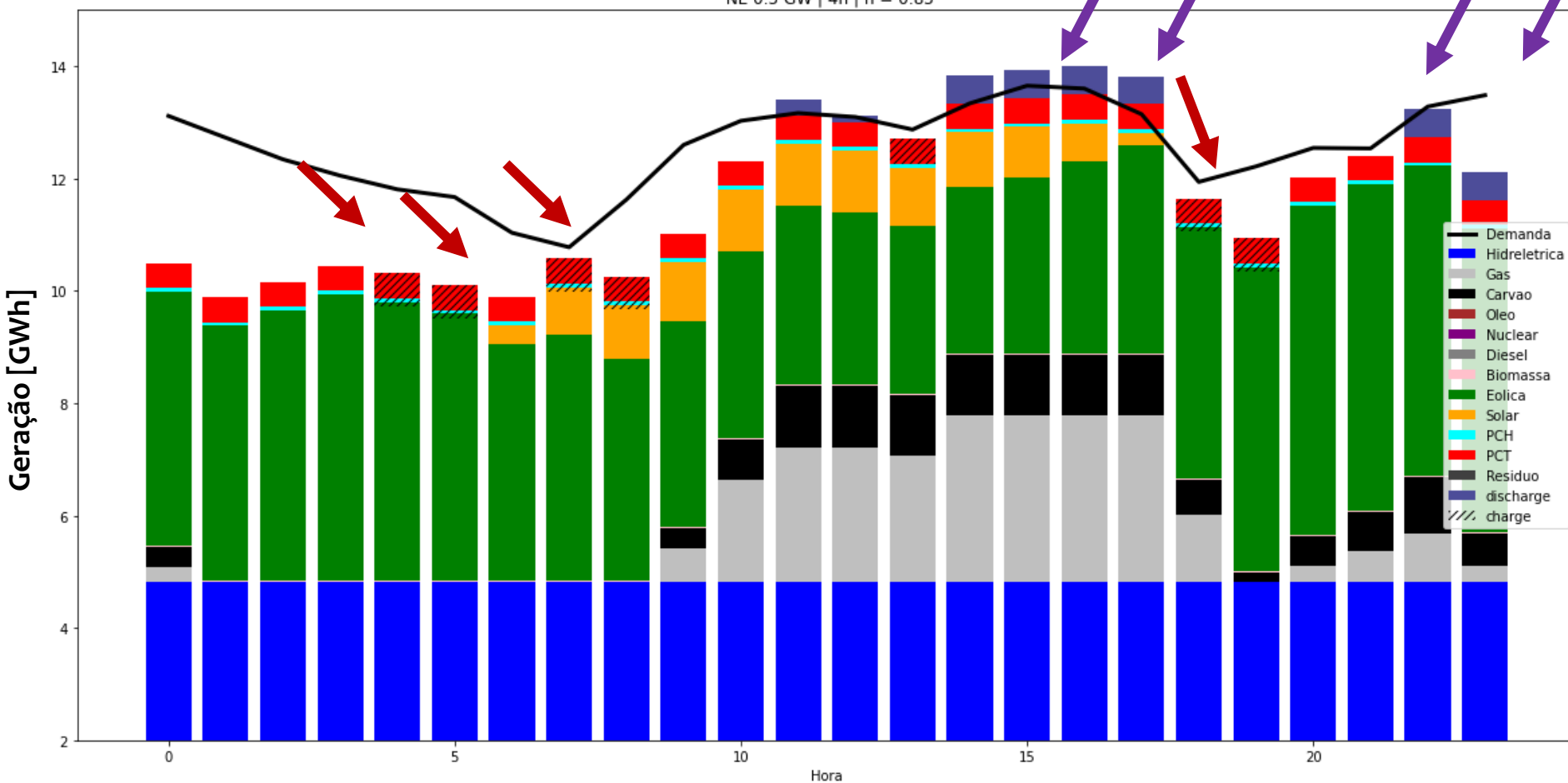
# Despacho de Geração por Região

Dia de Análise: 15/01

Armazenamento carregando fora da ponta e descarregando na ponta

Caso 0.5GW/4h NE

Geracao simulada para dia 15/01/2021  
Submercado NE  
NE 0.5 GW | 4h | n = 0.85



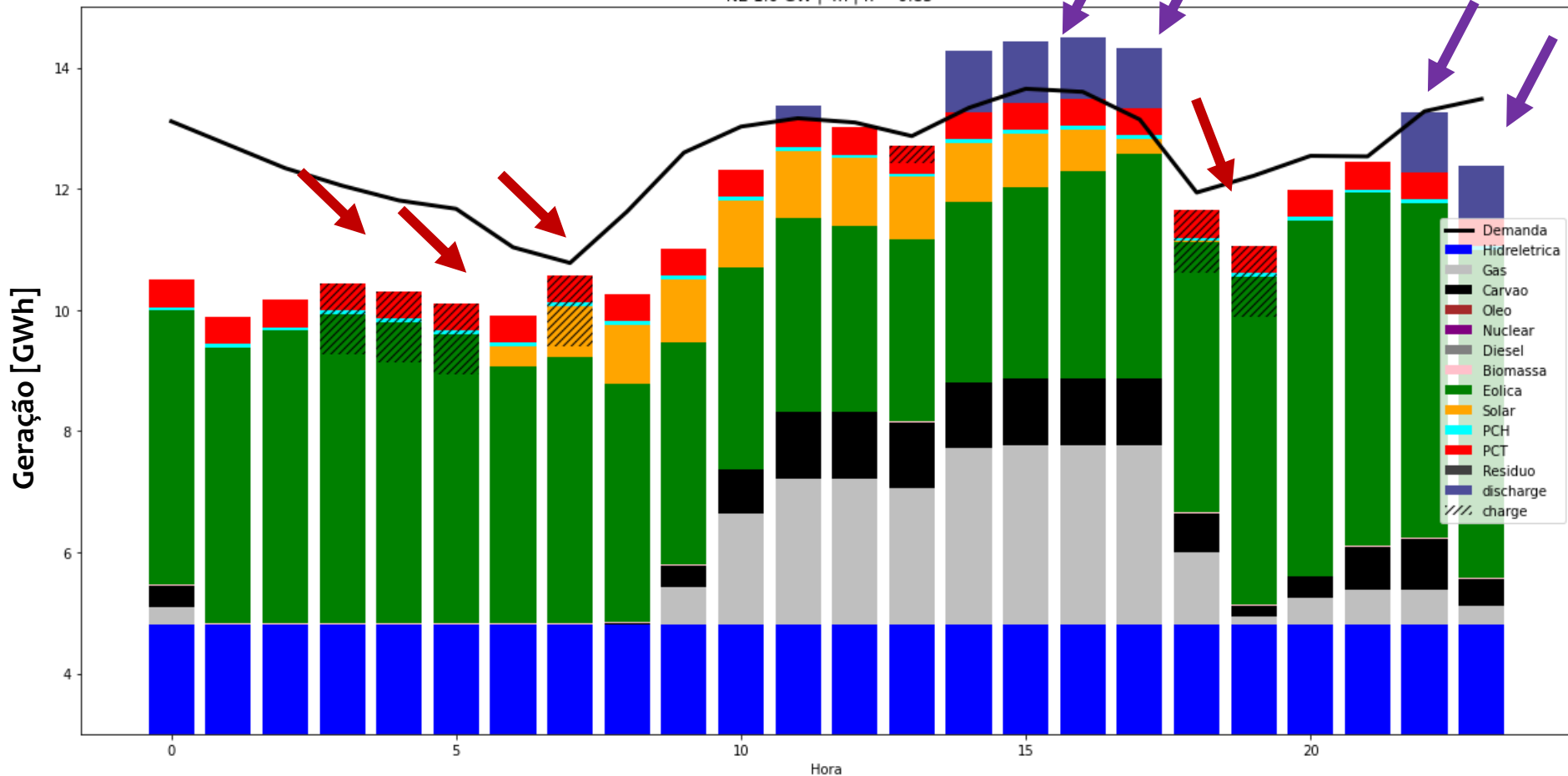
# Despacho de Geração por Região

Dia de Análise: 15/01

Armazenamento carregando fora da ponta e descarregando na ponta

Caso 1GW/4h NE

Geracao simulada para dia 15/01/2021  
Submercado NE  
NE 1.0 GW | 4h | n = 0.85



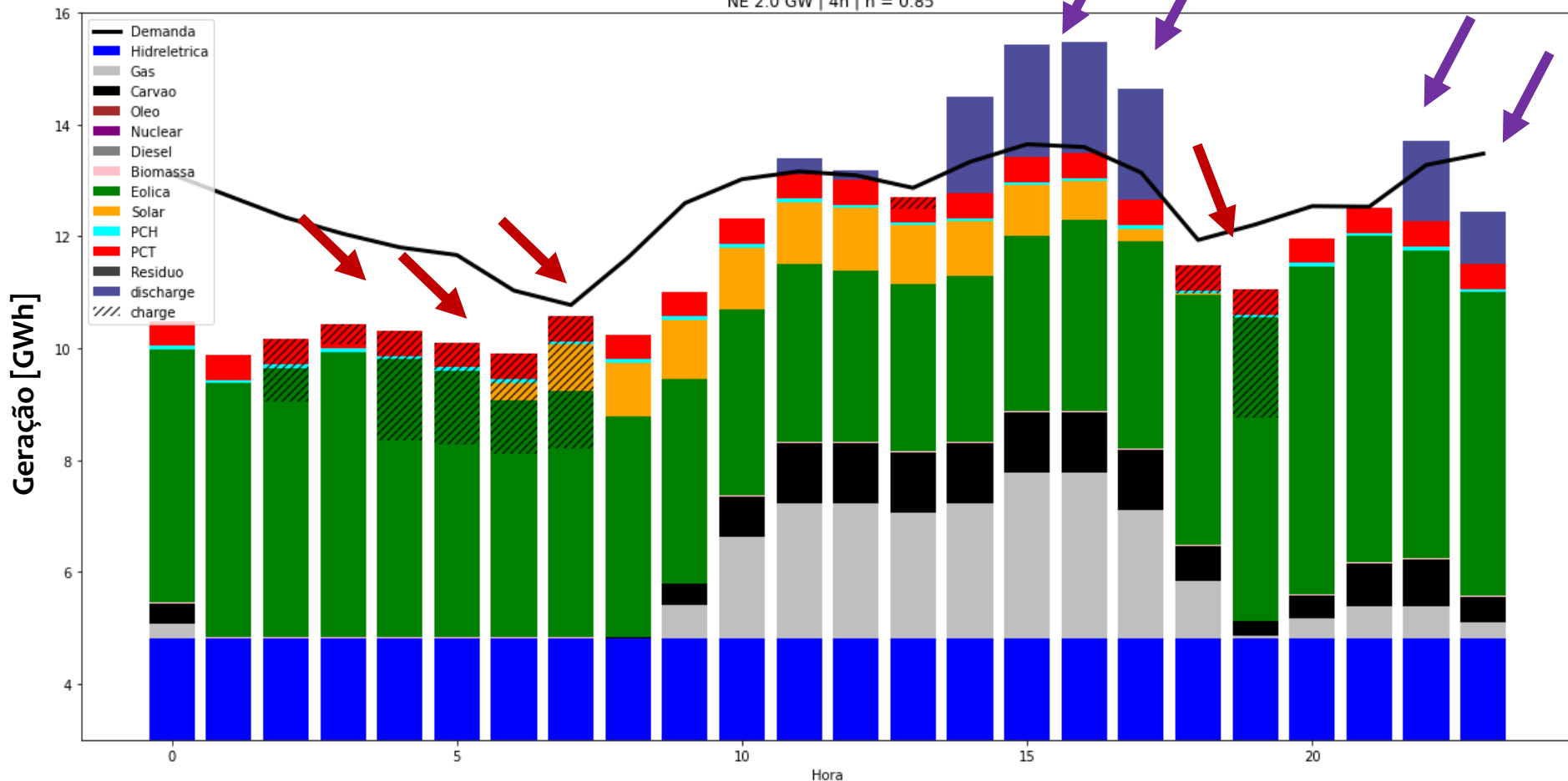
# Despacho de Geração por Região

Dia de Análise: 15/01

Armazenamento carregando fora da ponta e descarregando na ponta

Caso 2GW/4h NE

Geracao simulada para dia 15/01/2021  
Submercado NE  
NE 2.0 GW | 4h | n = 0.85



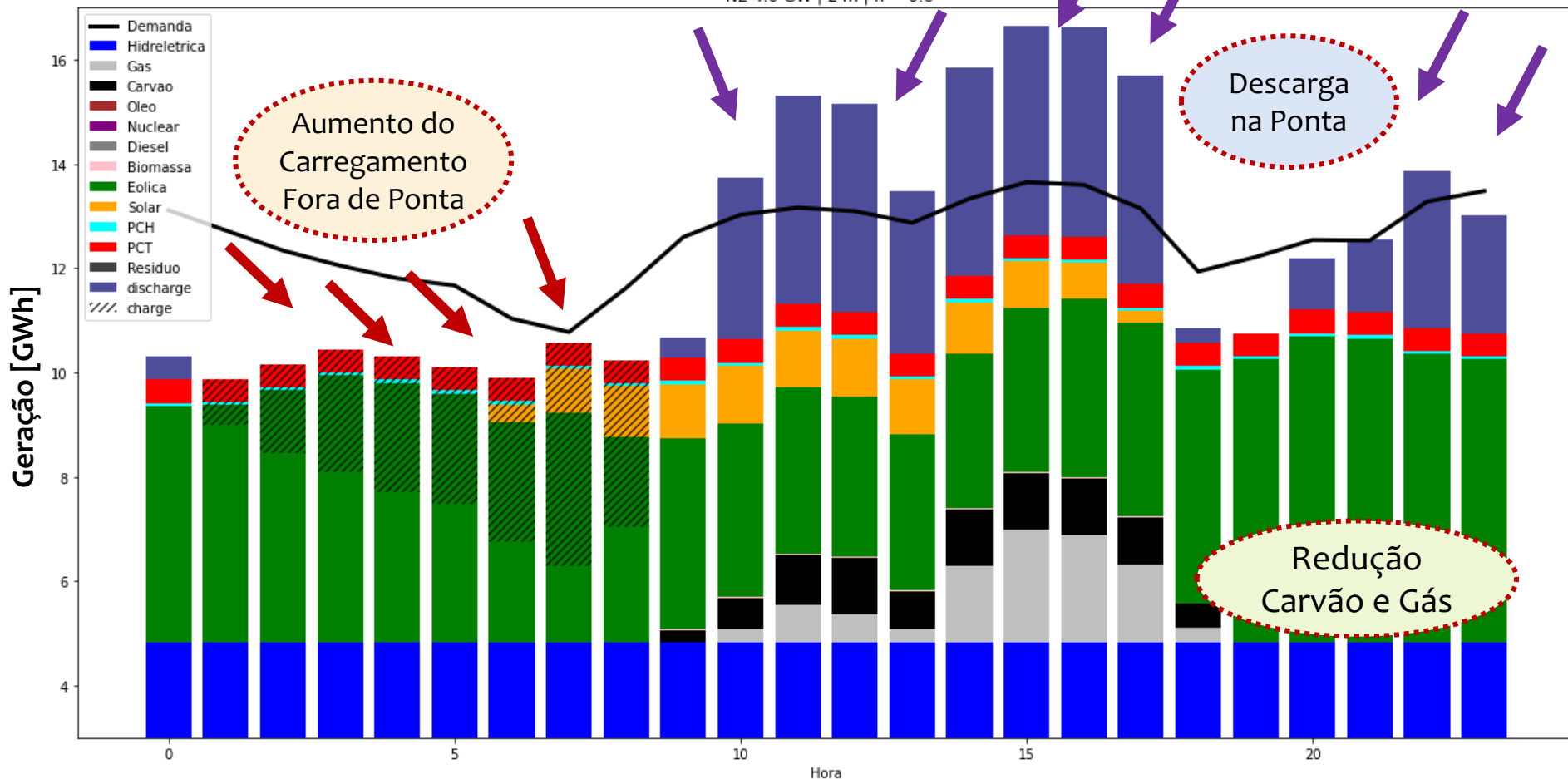
# Despacho de Geração por Região

Dia de Análise: 15/01

Armazenamento carregando fora da ponta e descarregando na ponta

Caso 4GW/24h NE

Geracao simulada para dia 15/01/2021  
Submercado NE  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6

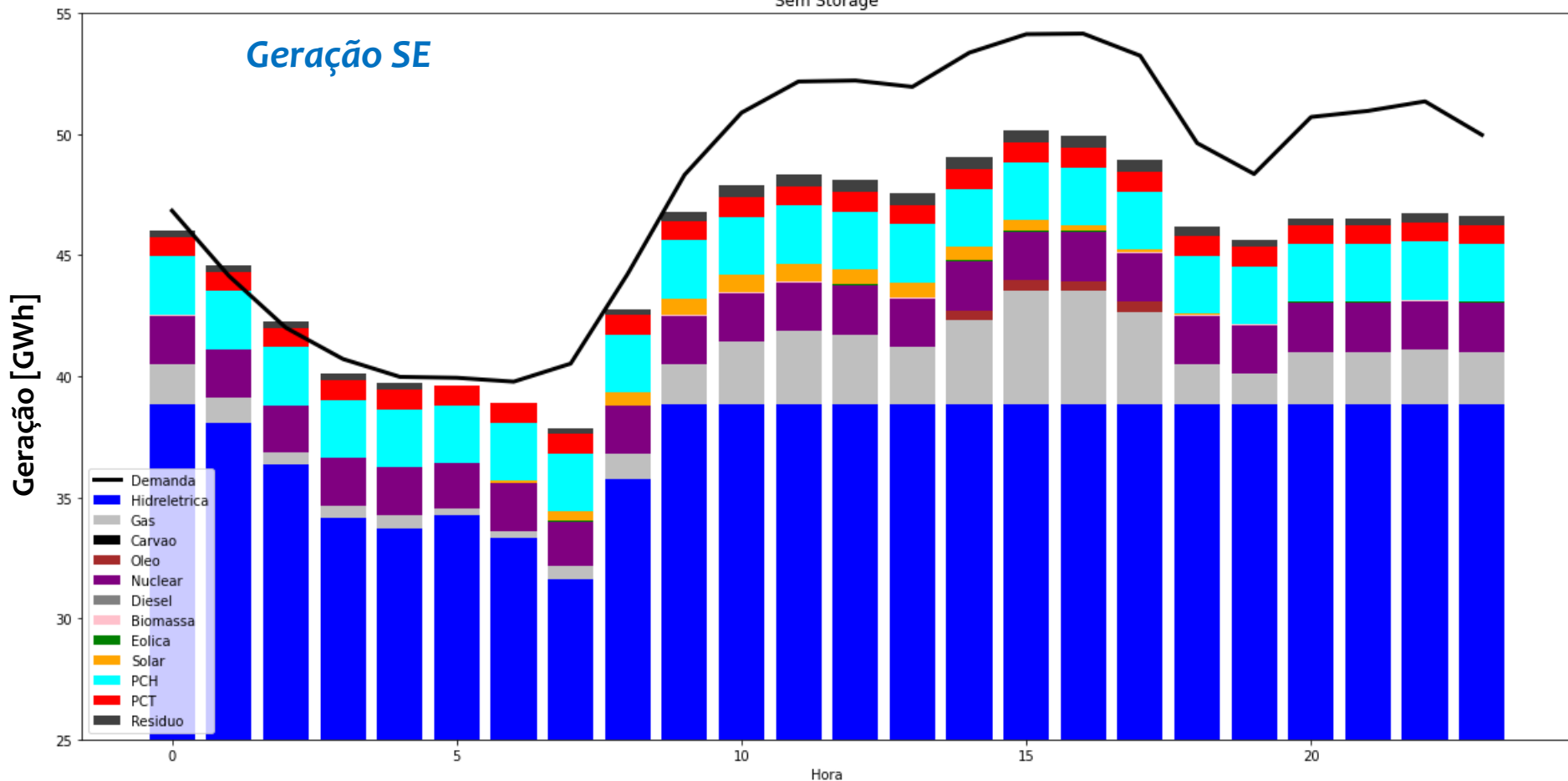


# Despacho de Geração por Região

Dia de Análise: 15/01

Caso Base

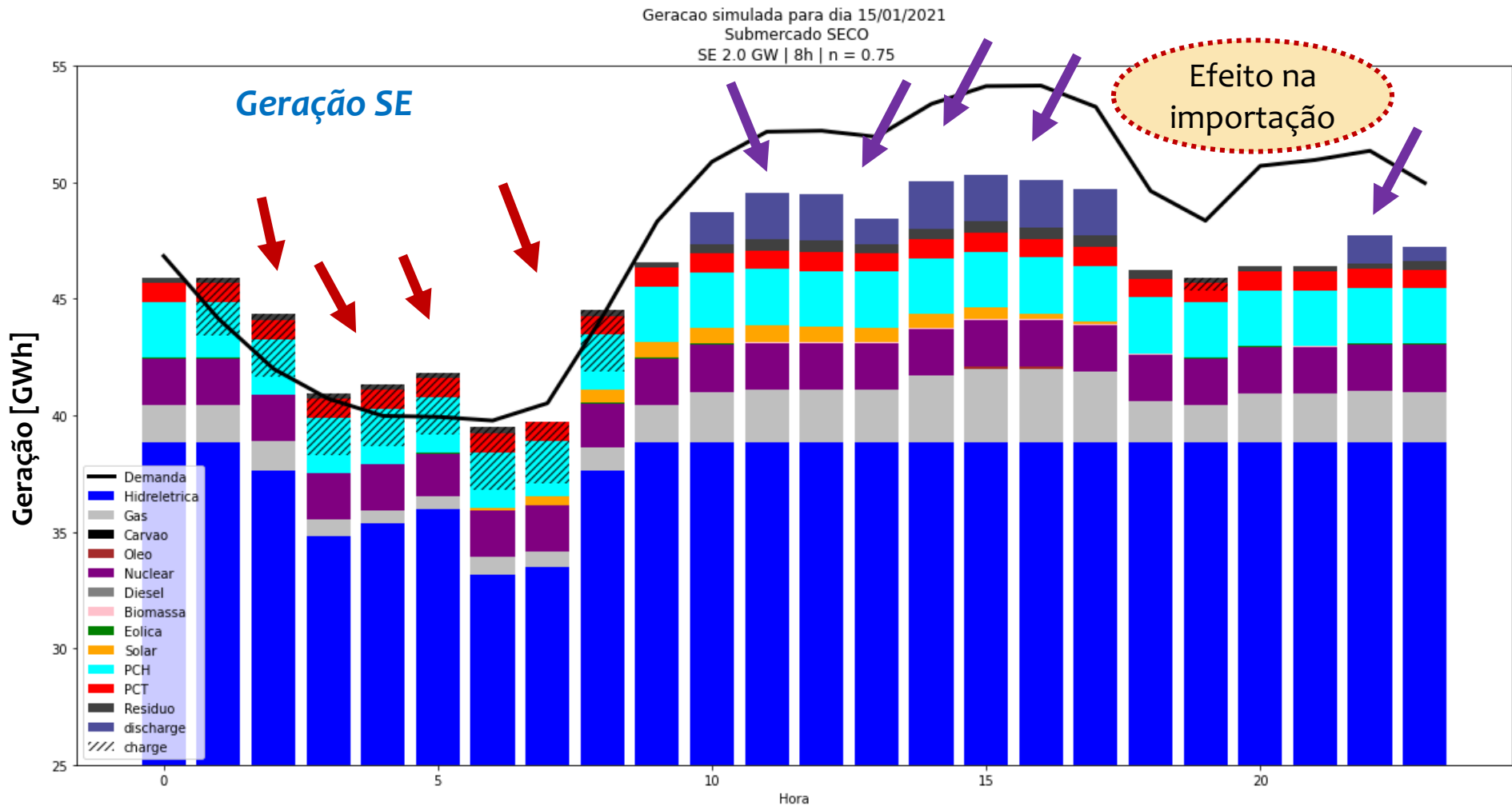
Geração simulada para dia 15/01  
Submercado SECO  
Sem Storage



# Despacho de Geração por Região

Dia de Análise: 15/01

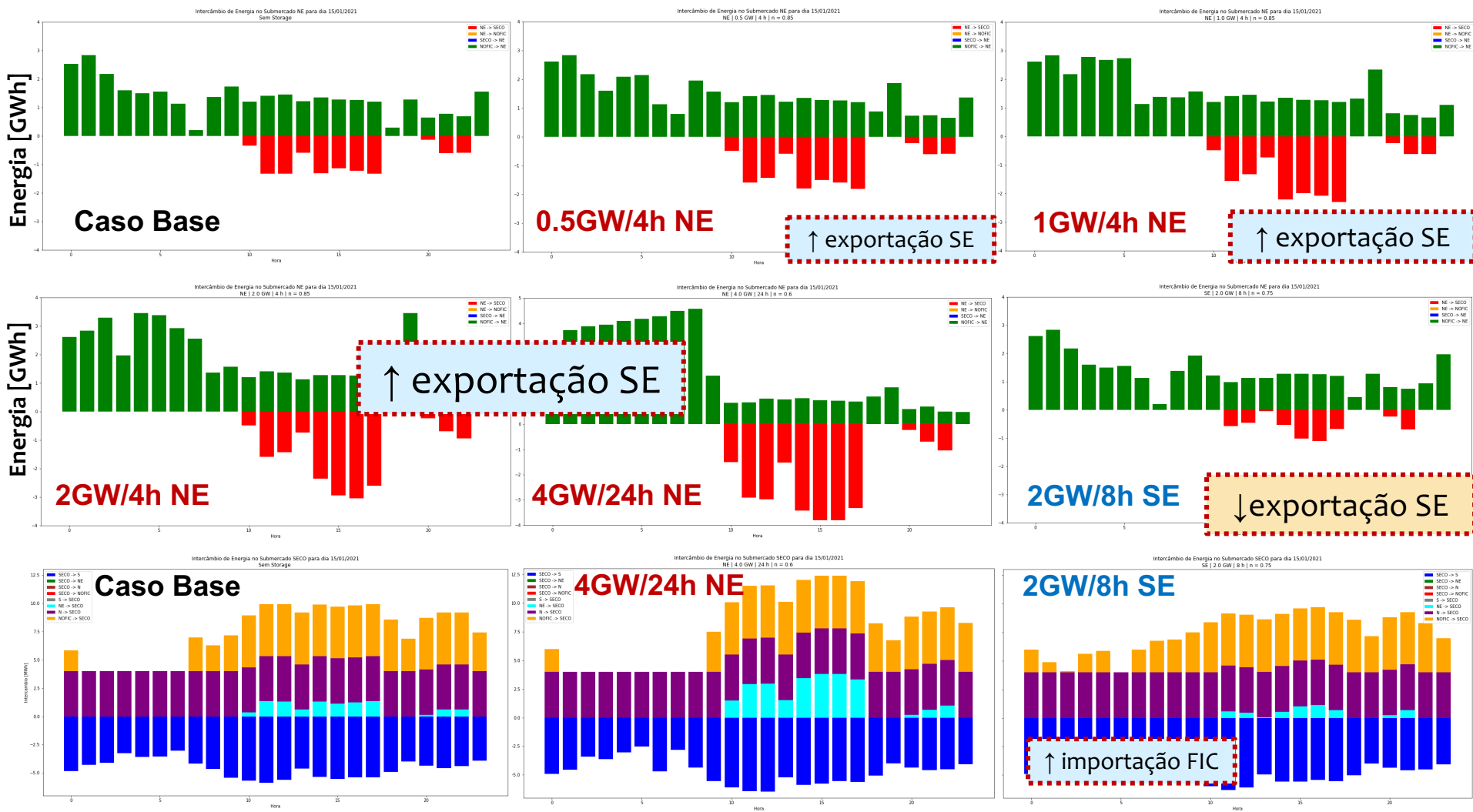
## Caso 2GW/8h SE





# Intercâmbios de Energia

Dia de Análise: 15/01



# Diferença na Geração Térmica

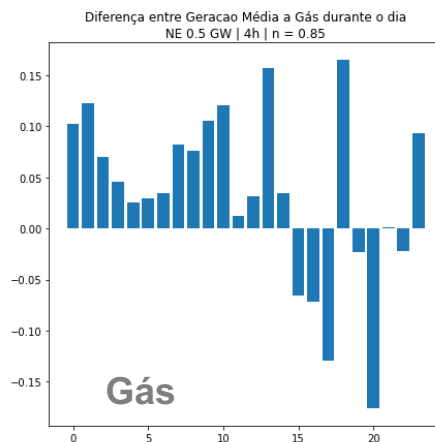
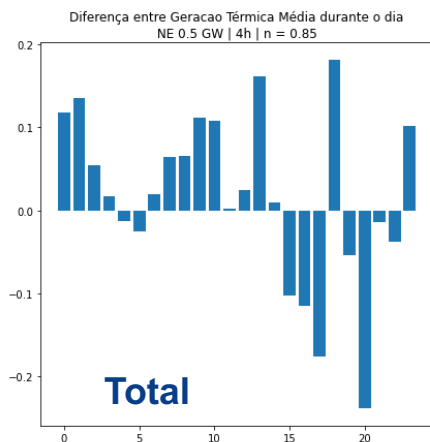
	Geração Térmica [GWh]				
	SECO	S	NE	N	Total
<b>Caso Base</b>	28166	13996	3971	11944	58077
<b>0.5GW/4h NE</b>	28006 0.57%	13940 0.39%	3746 5.67%	12528 -4.88%	58221 -0.25%
<b>1GW/4h NE</b>	27863 1.08%	13884 0.80%	3532 11.07%	13071 -9.43%	58349 -0.47%
<b>2GW/4h NE</b>	27905 0.93%	14091 -0.68%	3133 21.11%	13341 -11.69%	58469 -0.67%
<b>4GW/24h NE</b>	30166 -7.10%	14908 -6.52%	1338 66.30%	14757 -23.55%	61170 -5.33%
<b>2GW/8h SE</b>	28199 -0.12%	15005 -7.21%	2693 32.18%	13124 -9.88%	59022 -1.63%



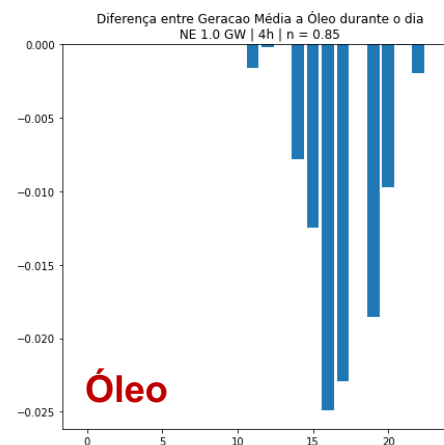
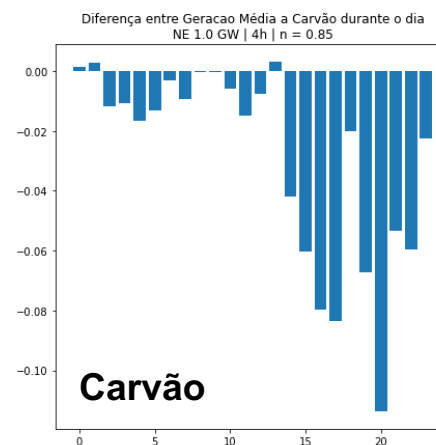
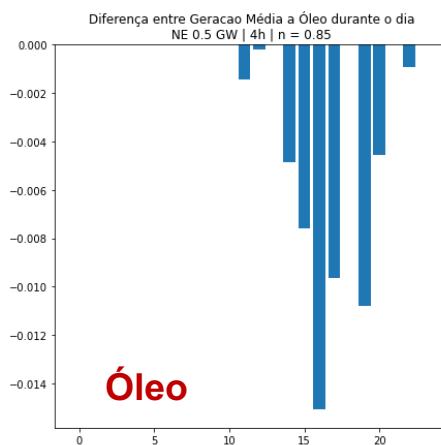
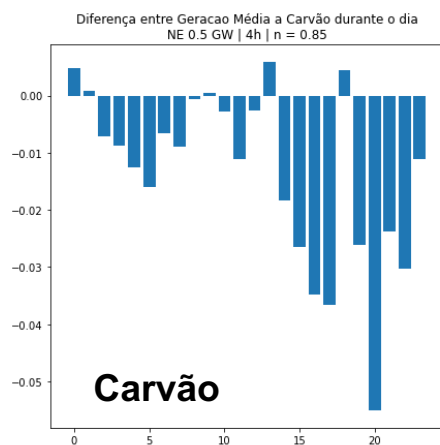
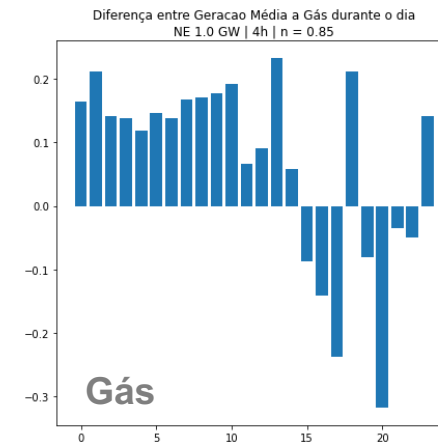
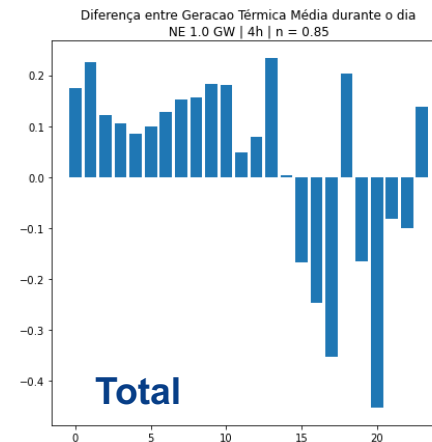
**Pode-se observar uma redução na geração térmica na região NE e aumento em outras regiões**

# Diferença na Geração Média - Térmicas

## 0.5GW/4h NE



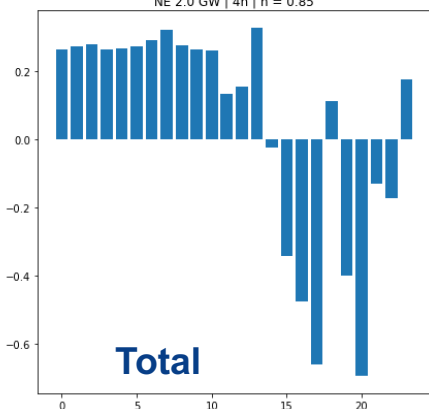
## 1GW/4h NE



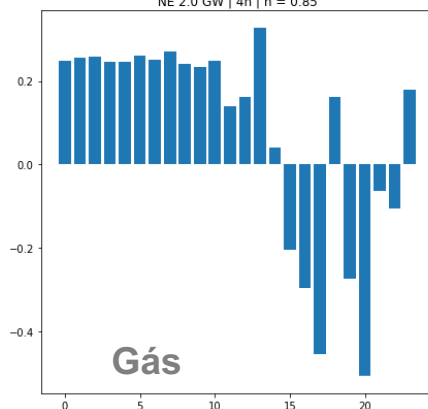
# Diferença na Geração Média - Térmicas

## 2GW/4h NE

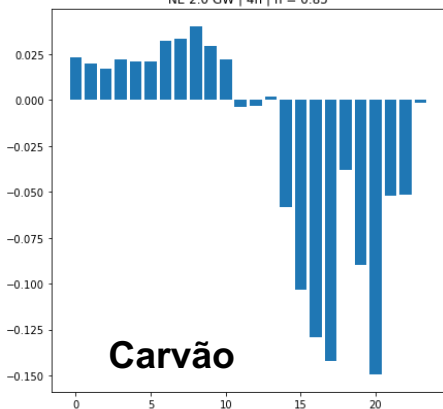
Diferença entre Geração Térmica Média durante o dia  
NE 2.0 GW | 4h | n = 0.85



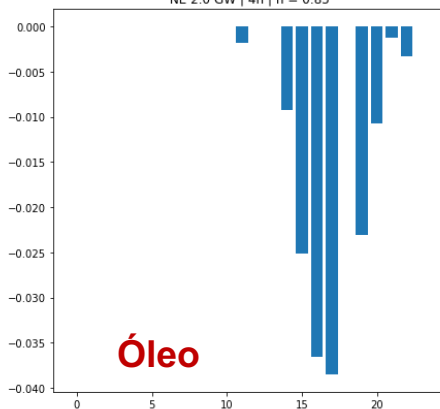
Diferença entre Geração Média a Gás durante o dia  
NE 2.0 GW | 4h | n = 0.85



Diferença entre Geração Média a Carvão durante o dia  
NE 2.0 GW | 4h | n = 0.85

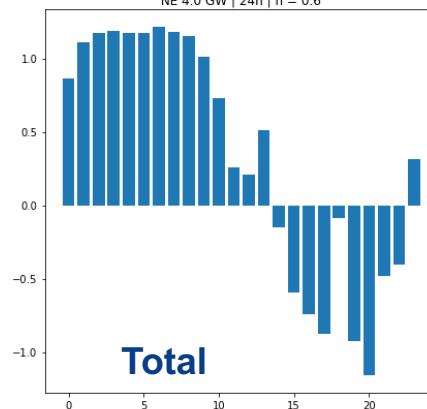


Diferença entre Geração Média a Óleo durante o dia  
NE 2.0 GW | 4h | n = 0.85

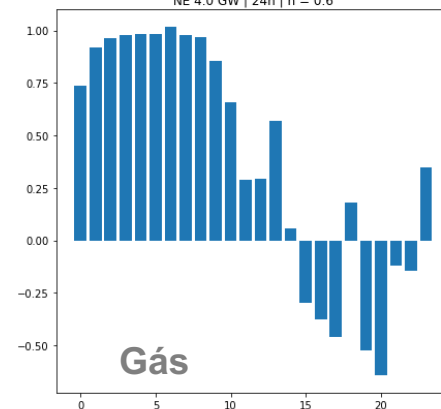


## 4GW/24h NE

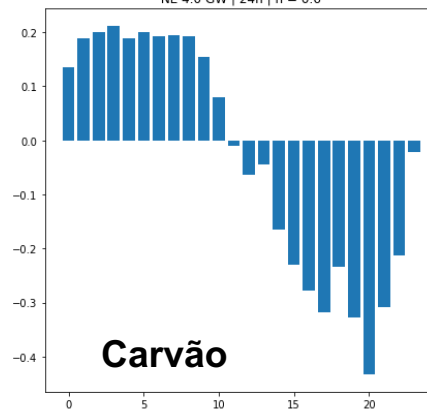
Diferença entre Geração Térmica Média durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



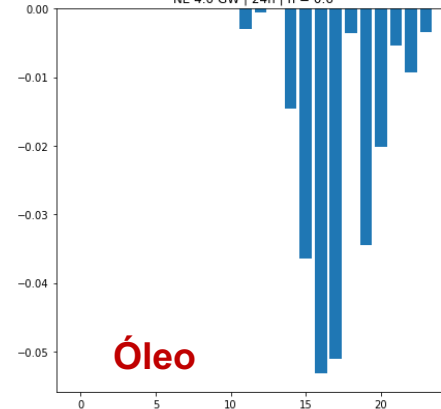
Diferença entre Geração Média a Gás durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



Diferença entre Geração Média a Carvão durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



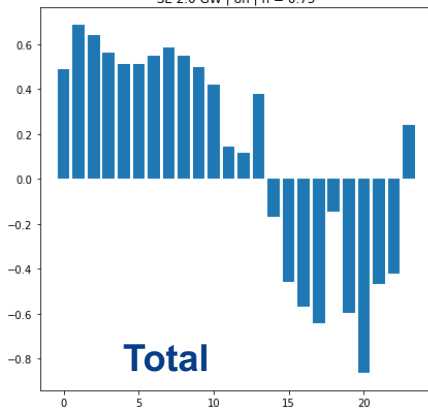
Diferença entre Geração Média a Óleo durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



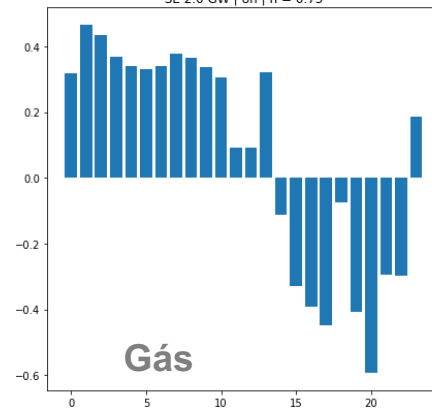
# Diferença na Geração Média - Térmicas

## 2GW/8h SE

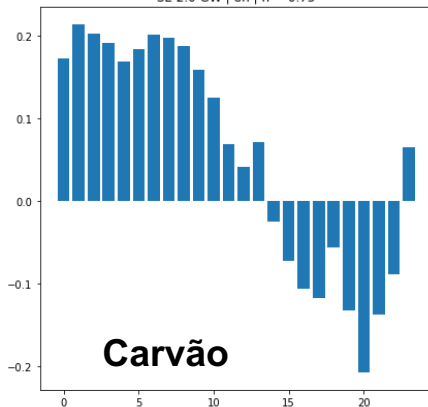
Diferença entre Geracao Térmica Média durante o dia  
SE 2.0 GW | 8h | n = 0.75



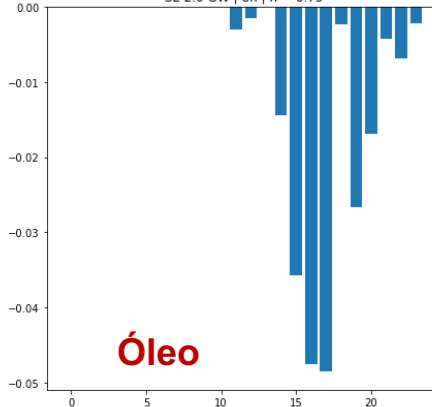
Diferença entre Geracao Média a Gás durante o dia  
SE 2.0 GW | 8h | n = 0.75



Diferença entre Geracao Média a Carvão durante o dia  
SE 2.0 GW | 8h | n = 0.75



Diferença entre Geracao Média a Óleo durante o dia  
SE 2.0 GW | 8h | n = 0.75

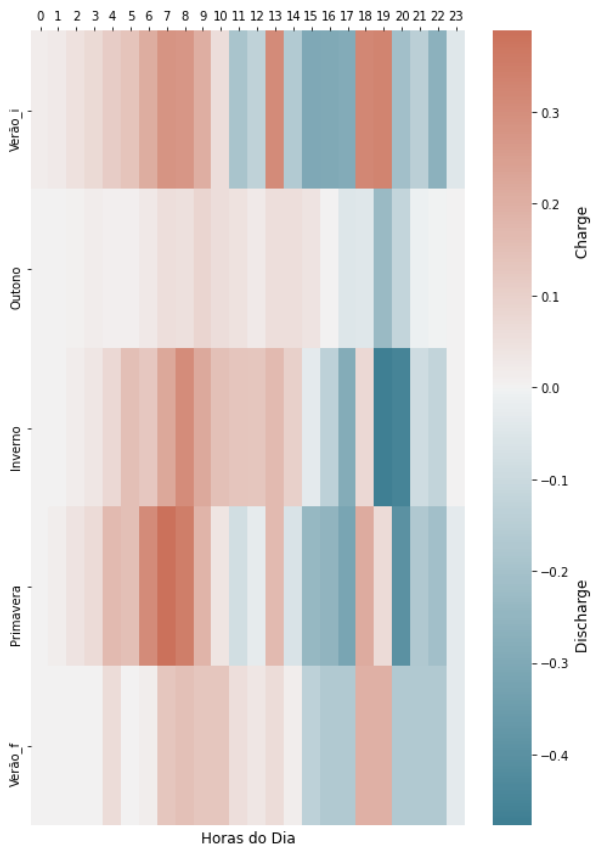


## Observações

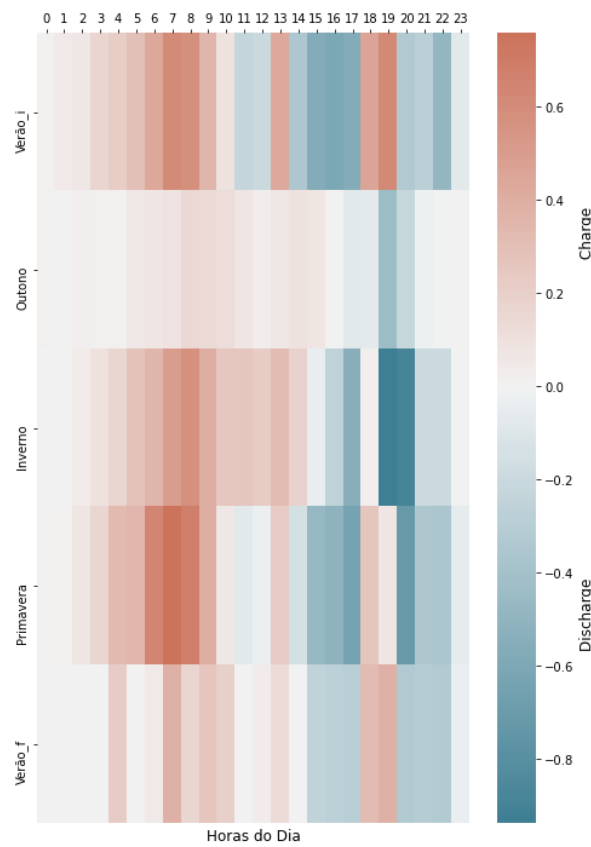
- De maneira geral Podemos observar **diminuição de geração térmica na ponta** do sistema
- Em alguns casos **UTES mais baratas são usadas fora da ponta** contribuindo para deslocar energia com o armazenamento
- Usinas a **Óleo Combustível sofrem reduções** em todos os exemplos apresentados

# Características do Armazenamento

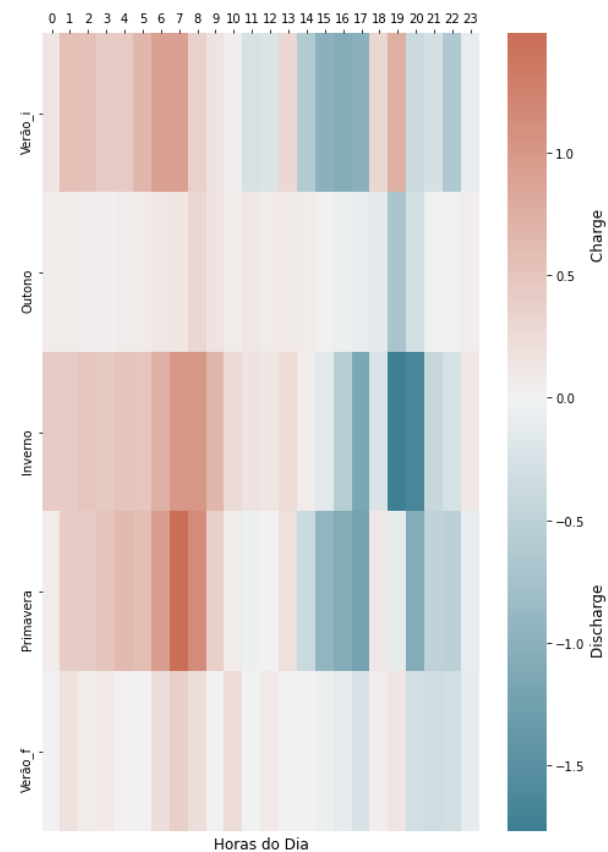
## 0.5GW/4h NE



## 1GW/4h NE

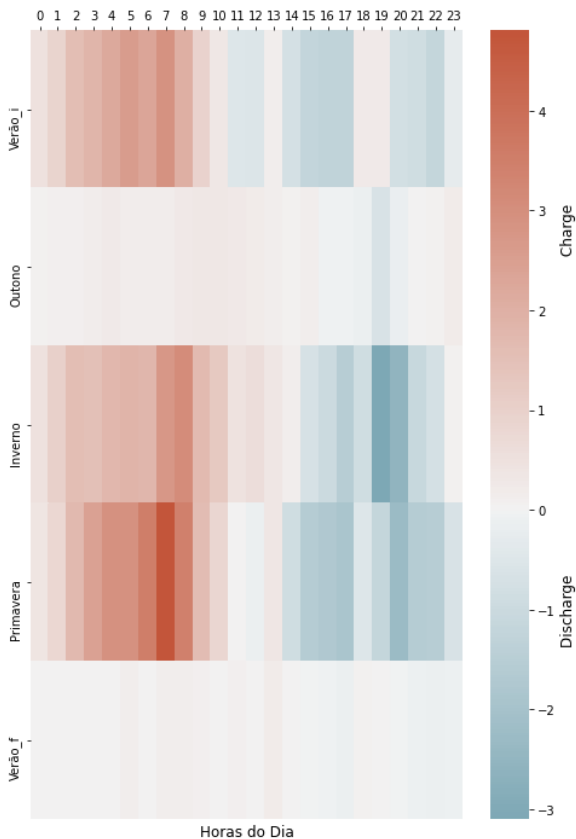


## 2GW/4h NE

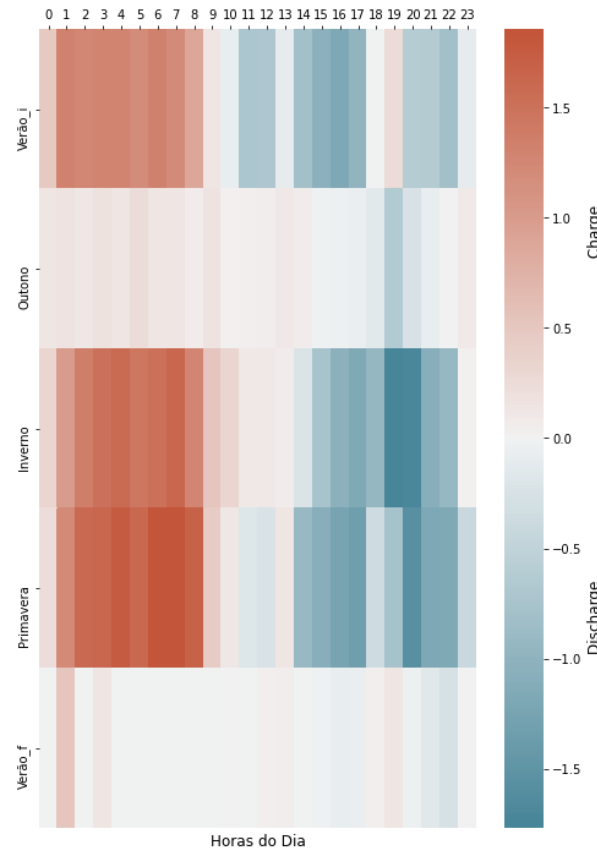


# Características do Armazenamento

## 4GW/24h NE



## 2GW/8h SE



## Observações

- Pode-se notar um **descarregamento mais concentrado por volta das 18-19hrs no inverno**
- Observa-se **uso em mais períodos do dia** na primavera e no **verão**
- Pouco uso do Sistema de armazenamento no outono (**efeito COVID**)

# Impactos nos Custos Operacionais – PMO 2021

	<b>Custo Total de Operação</b>	<b>Diferença Anual</b>	<b>Diferença %</b>
<b>Caso Base</b>	R\$ 3,095,735,478.81	-	-
<b>0.5GW/4h NE</b>	R\$ 3,027,438,253.09	R\$ 68,297,225.72	2.21%
<b>1GW/4h NE</b>	R\$ 2,968,356,135.78	R\$ 127,379,343.03	4.11%
<b>2GW/4h NE</b>	R\$ 2,873,845,056.25	R\$ 221,890,422.56	7.17%
<b>4GW/24h NE</b>	R\$ 2,802,850,998.80	R\$ 292,884,480.01	9.46%
<b>2GW/8h SE</b>	R\$ 2,721,487,681.82	R\$ 374,247,796.99	12.09%

	Aumento
	Diminuição



# Simulações Computacionais

## Plano Decenal de Energia (PDE) 2030

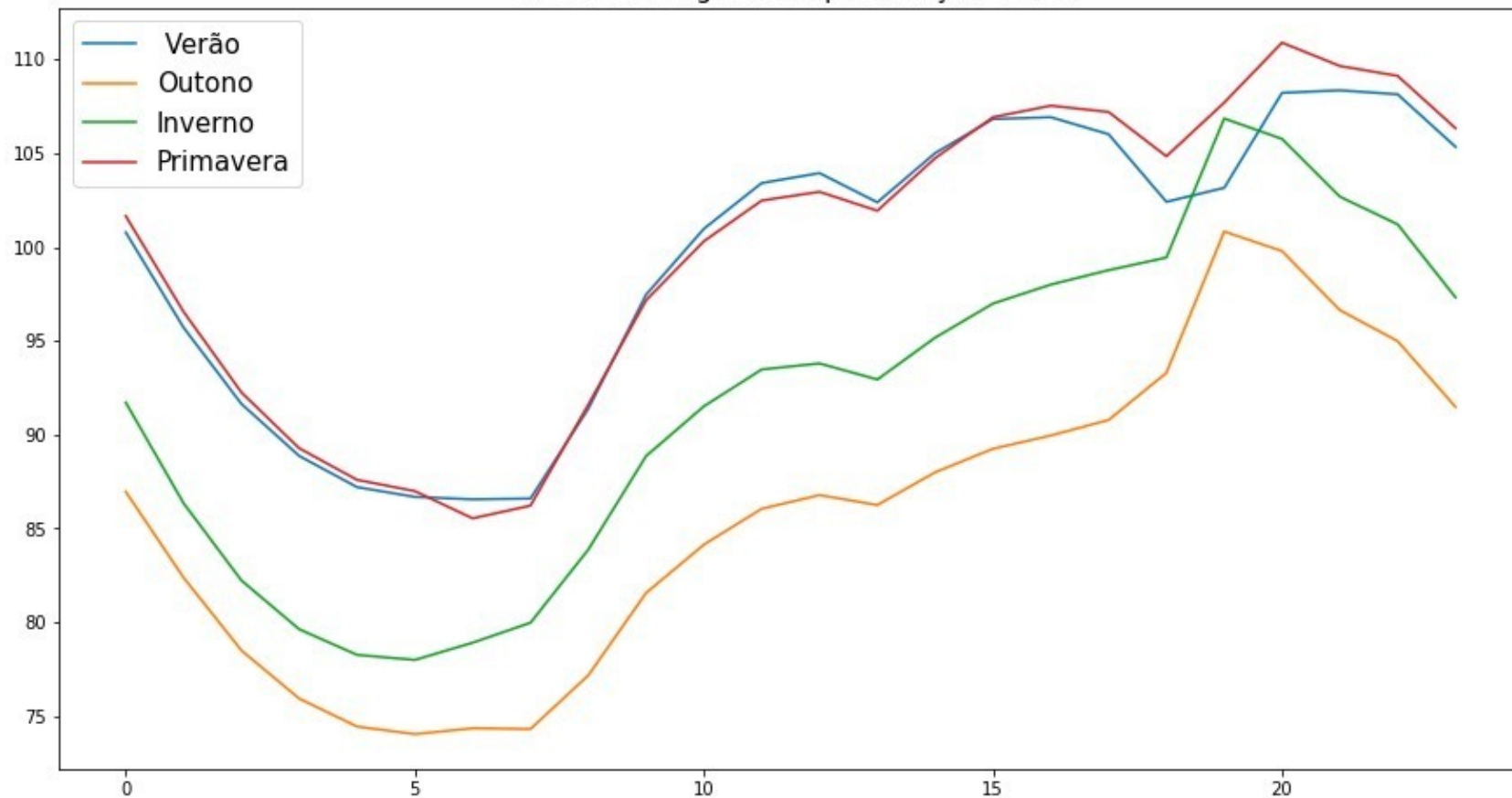
# Caso PDE 2030

- Despacho Econômico das Usinas do SIN utilizando o deck do PDE referente parque gerador de Janeiro de 2030
- **Considerações:**
  - Perdas na transmissão: 3.5%
  - Tecnologias de Armazenamento: Li-Ion, Pumped Hydro, Hidrogênio
  - Eficiência do Sistema de Armazenamento: 85%, 75%, 60%
  - Localização: **Região Nordeste**, **Região Sudeste**
  - Capacidade: **0.5GW/4h**, **1GW/4h**, **2GW/4h**, **2GW/8h**, **4GW/24h**
  - Geração Hidráulica do NEWAVE: média das 2000 series + 15%

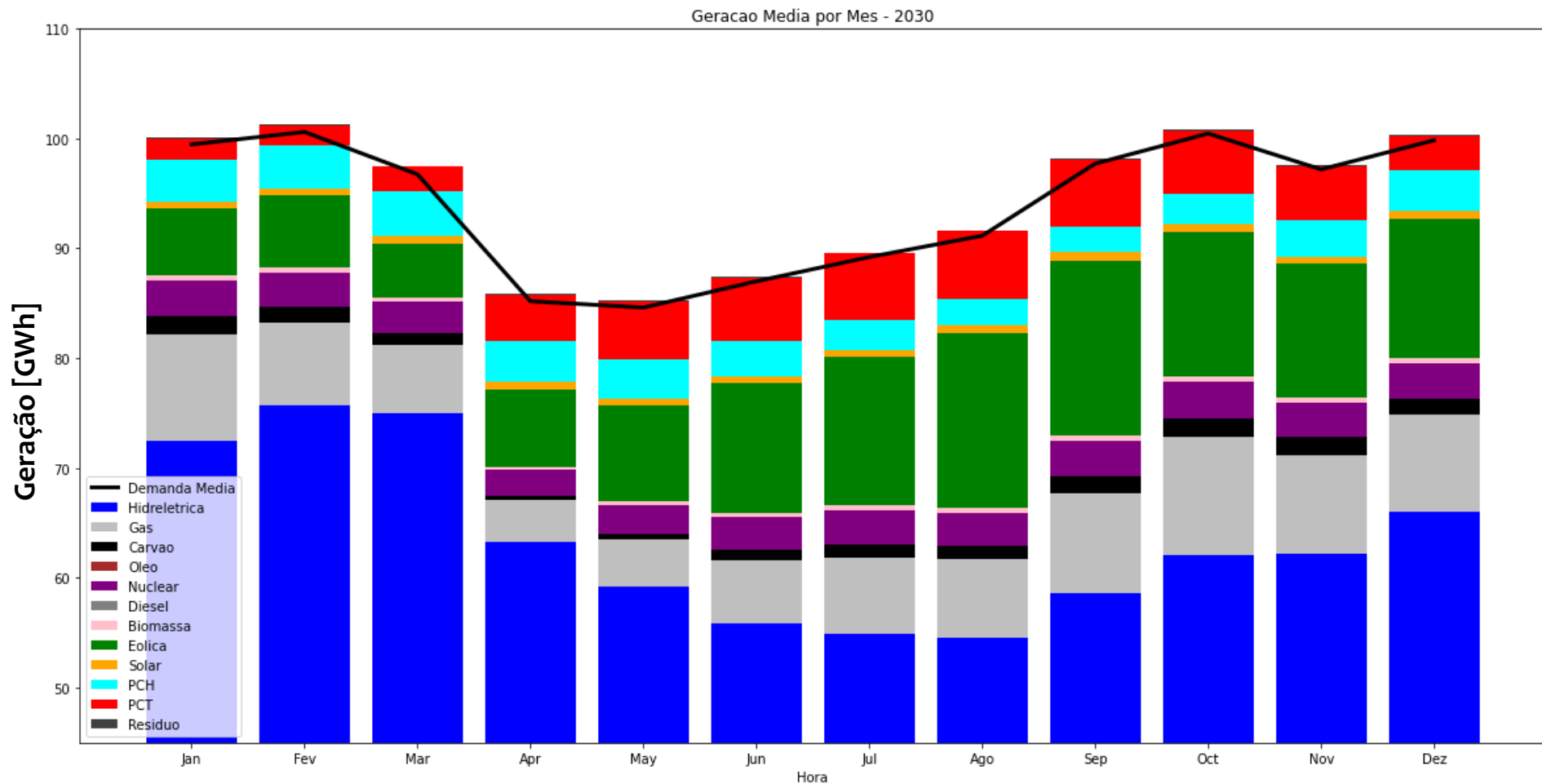
**Objetivos:** Avaliar alterações no perfil de geração, nos **intercâmbios** além de **características de armazenamento** e **redução de custo total do despacho**

# Perfil de Carga – PDE 2020

Curvas de Carga Média por Estação - 2030

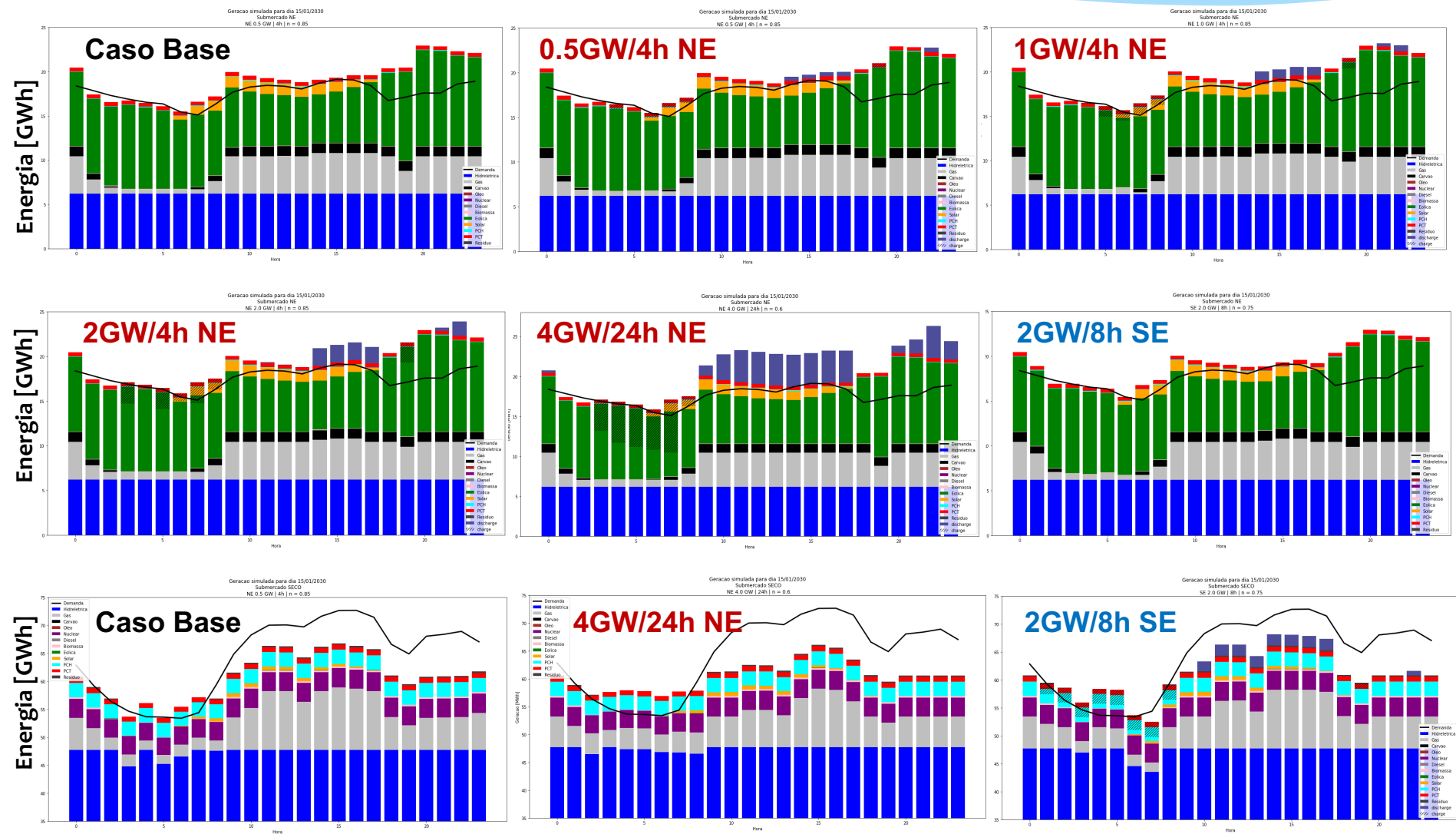


# Balanco Carga X Geraçao SIN – Caso Base



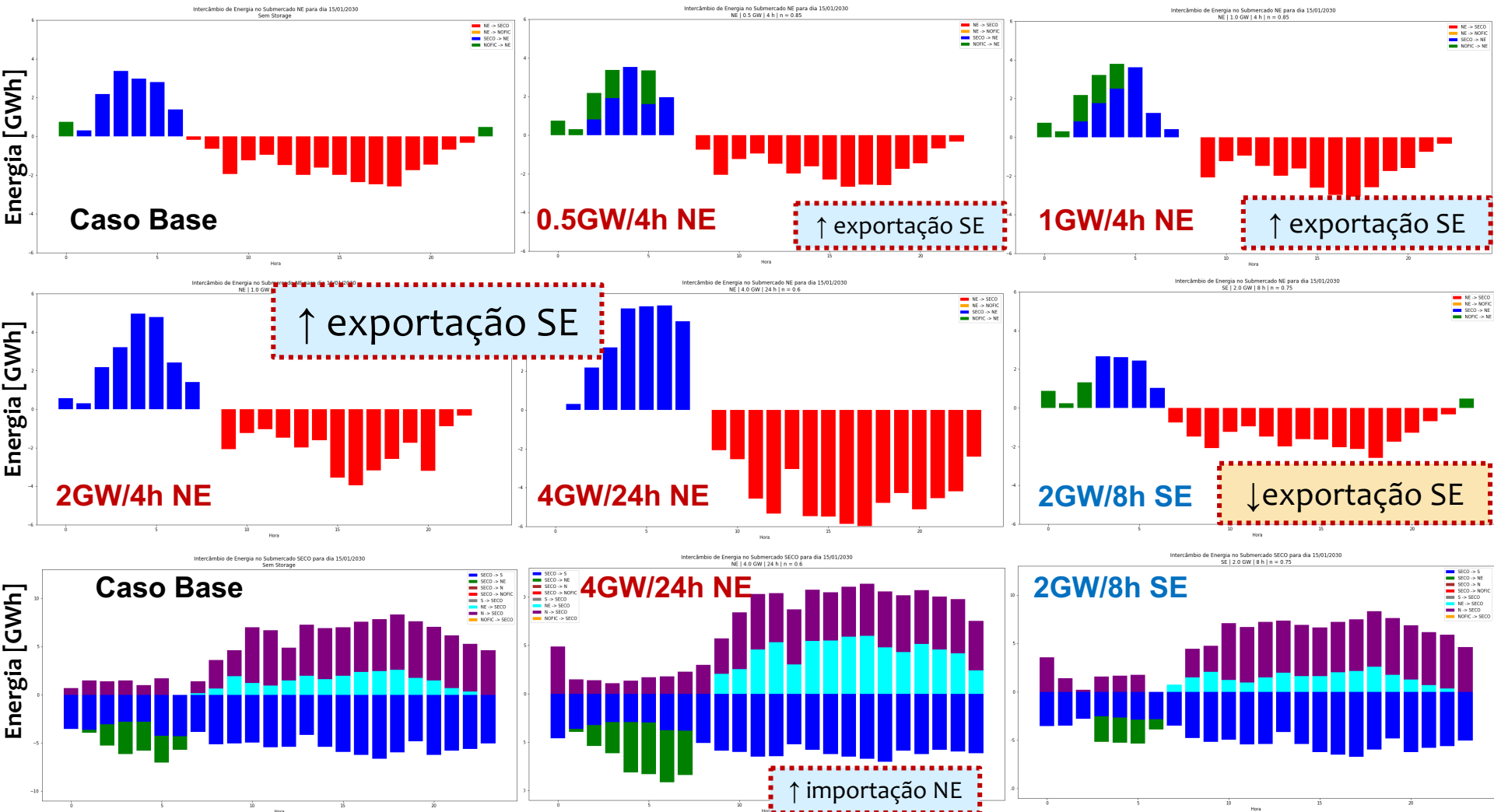
# Despacho de Geração

Dia de Análise: 15/01



# Intercâmbios de Energia

Dia de Análise: 15/01



# Diferença na Geração Térmica

	Geração Térmica [GWh]				
	SECO	S	NE	N	Total
<b>Caso Base</b>	57226	8593	16259	24650	106728
<b>0.5GW/4h NE</b>	57553 -0.57%	8470 1.43%	16180 0.49%	24638 0.05%	106841 -0.11%
<b>1GW/4h NE</b>	57243 -0.03%	8664 -0.83%	16304 -0.28%	24715 -0.26%	106926 -0.19%
<b>2GW/4h NE</b>	57415 -0.33%	8553 0.46%	16441 -1.12%	24698 -0.20%	107107 -0.36%
<b>4GW/24h NE</b>	60712 -6.09%	7591 11.66%	16607 -2.14%	24739 -0.36%	109649 -2.74%
<b>2GW/8h SE</b>	58286 -1.85%	8427 1.93%	16327 -0.42%	24706 -0.23%	107746 -0.95%

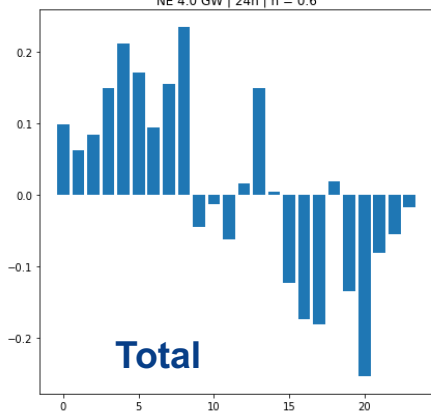


**Pode-se observar aumentos na geração térmica do SIN, com reduções na Região Sul**

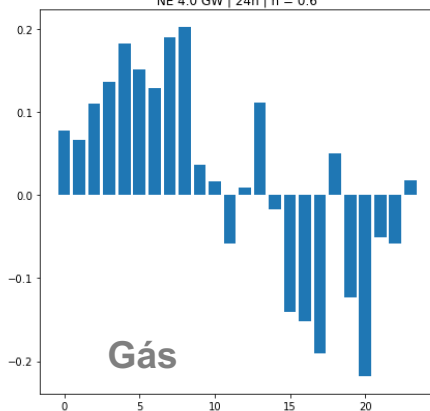
# Diferença na Geração Média - Térmicas

## 0.5GW/4h NE

Diferença entre Geracao Térmica Média durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6

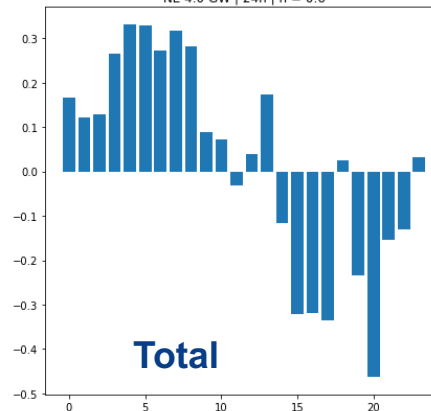


Diferença entre Geracao Média a Gás durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6

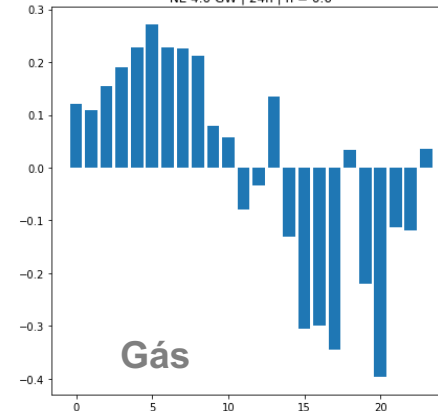


## 1GW/4h NE

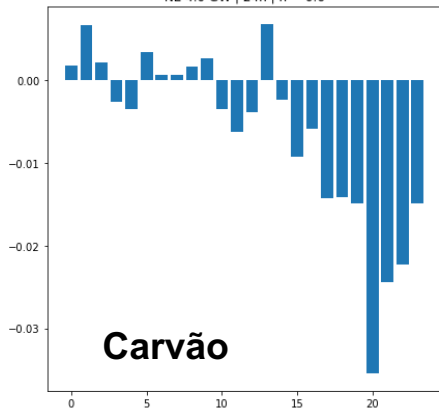
Diferença entre Geracao Térmica Média durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



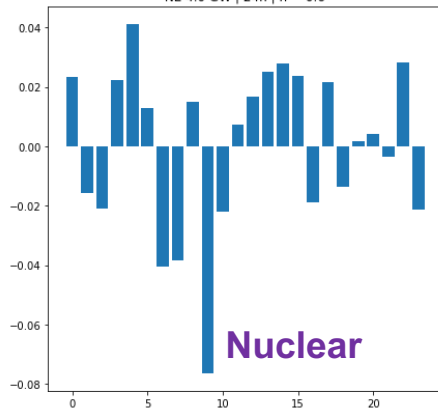
Diferença entre Geracao Média a Gás durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



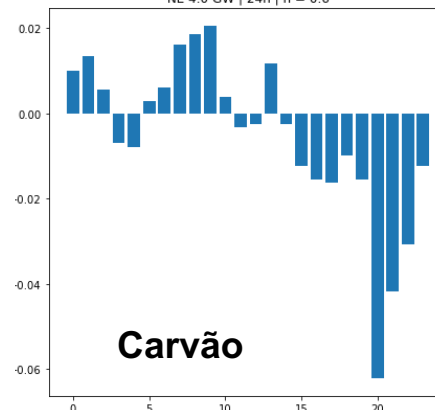
Diferença entre Geracao Média a Carvão durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



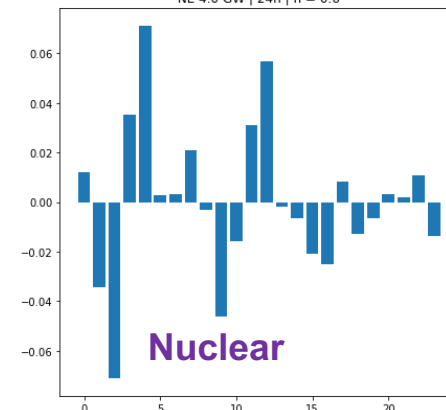
Diferença entre Geracao Média a Nuclear durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



Diferença entre Geracao Média a Carvão durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



Diferença entre Geracao Média a Nuclear durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6

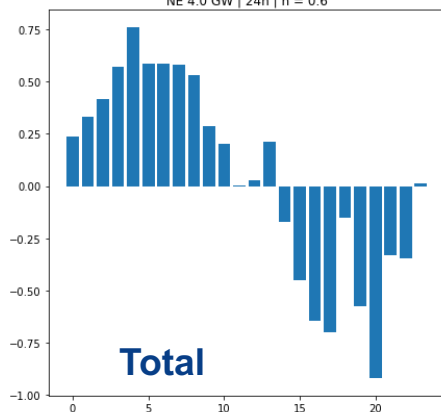




# Diferença na Geração Média - Térmicas

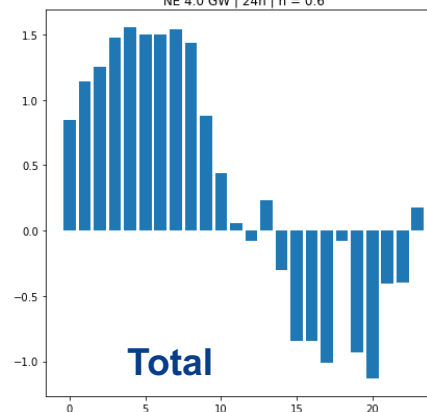
## 2GW/4h NE

Diferença entre Geracao Térmica Média durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6

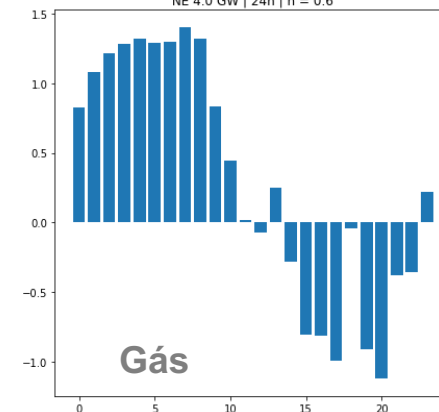


## 4GW/24h NE

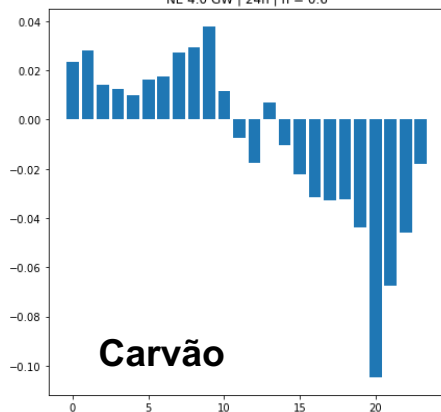
Diferença entre Geracao Térmica Média durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



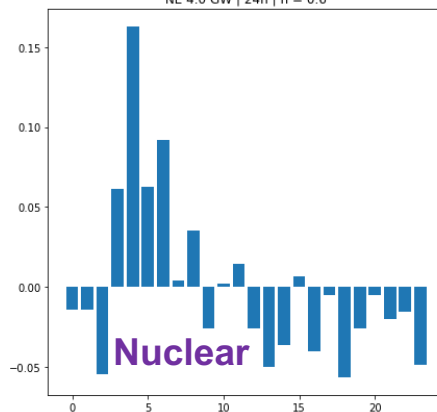
Diferença entre Geracao Média a Gás durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



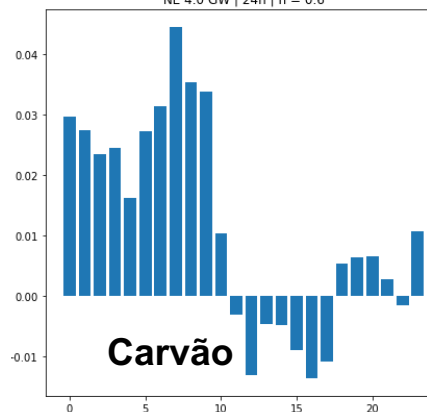
Diferença entre Geracao Média a Carvão durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



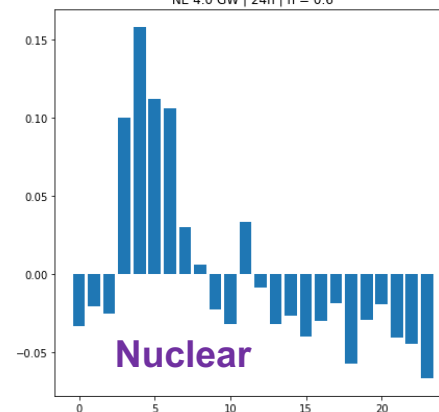
Diferença entre Geracao Média a Nuclear durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



Diferença entre Geracao Média a Carvão durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



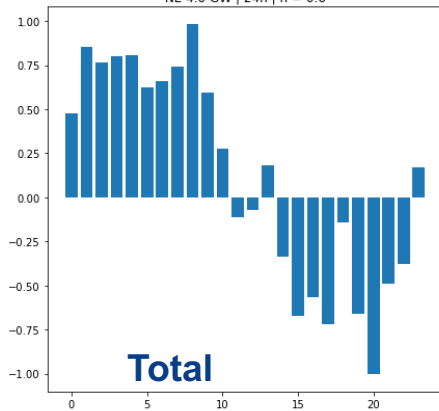
Diferença entre Geracao Média a Nuclear durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



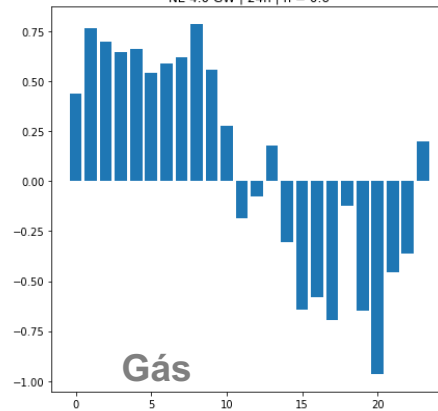
# Diferença na Geração Média - Térmicas

## 2GW/8h SE

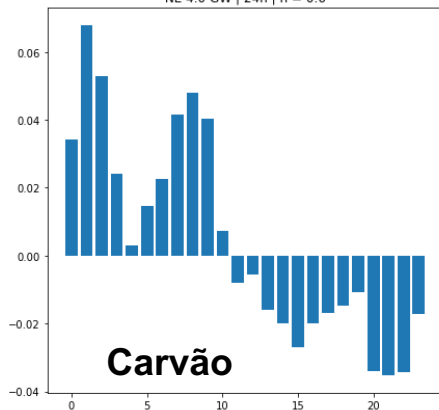
Diferença entre Geracao Térmica Média durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



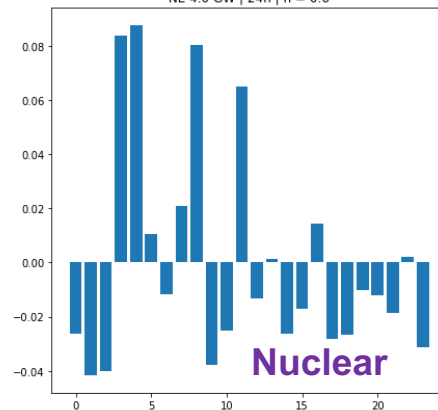
Diferença entre Geracao Média a Gás durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



Diferença entre Geracao Média a Carvão durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6



Diferença entre Geracao Média a Nuclear durante o dia  
NE 4.0 GW | 24h | n = 0.6

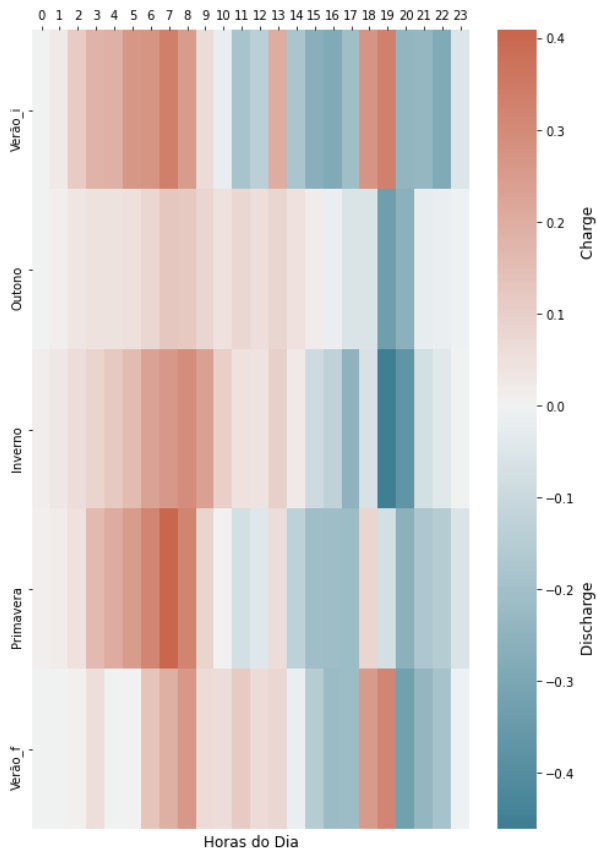


## Observações

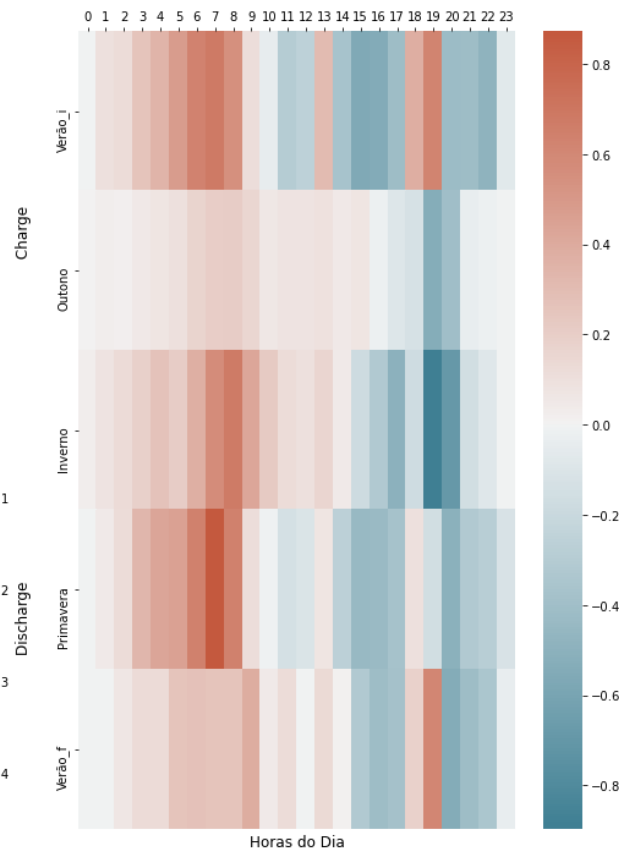
- De maneira geral Podemos observar **diminuição de geração térmica na ponta** do sistema
- Em alguns casos **UTES mais baratas são usadas fora da ponta** contribuindo para deslocar energia com o armazenamento
- **Alteração no despacho de usinas a Óleo Combustível (não ha despacho)**

# Características do Armazenamento

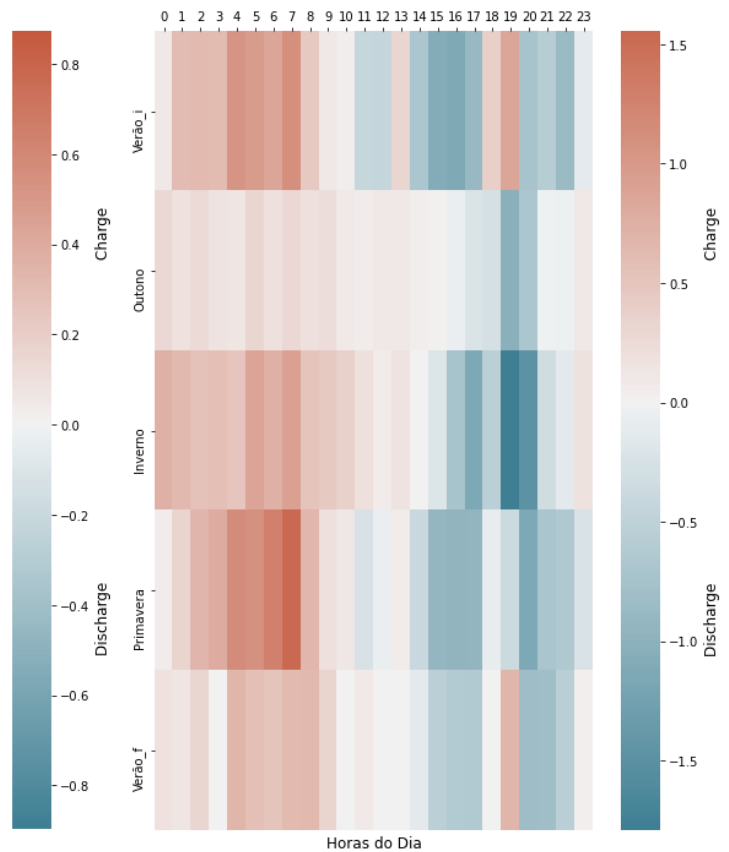
## 0.5GW/4h NE



## 1GW/4h NE

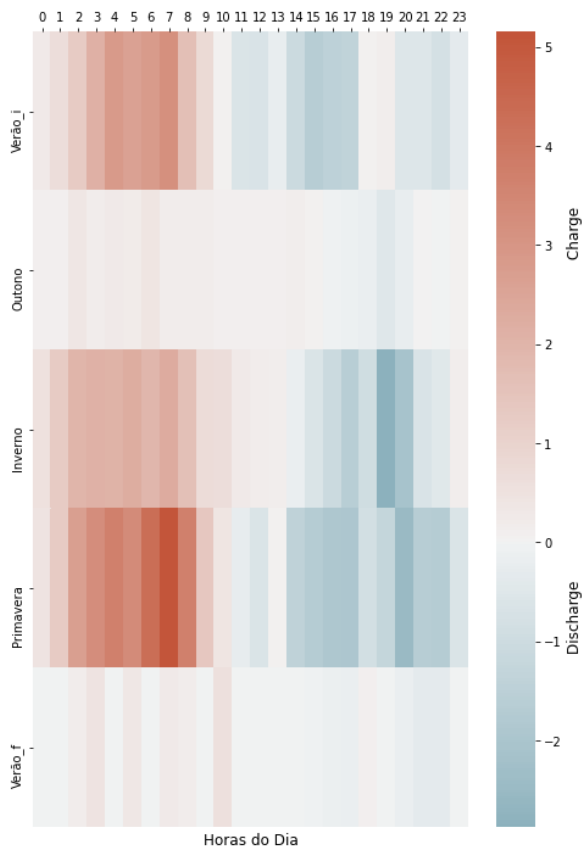


## 2GW/4h NE

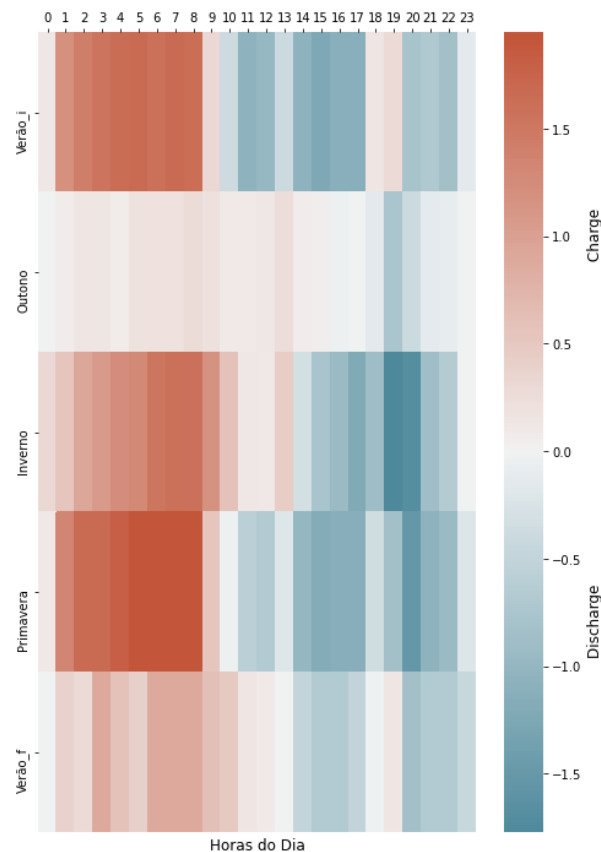


# Características do Armazenamento

## 4GW/24h NE



## 2GW/8h SE



## Observações

- Pode-se notar alterações no **descarregamento no inverno**
- Observa-se **uso em mais períodos do dia na primavera e no verão**
- Maior uso do armazenamento no outono **em relação ao PMO Jan 2021**

# Impactos nos Custos Operacionais – PDE 2030

	<b>Custo Total de Operação</b>	<b>Diferença Anual</b>	<b>Diferença %</b>
<b>Caso Base</b>	R\$ 12,062,398,526.10	-	-
<b>0.5GW/4h NE</b>	R\$ 11,986,997,334.80	R\$ 75,401,191.30	0.63%
<b>1GW/4h NE</b>	R\$ 11,921,727,024.20	R\$ 140,671,501.90	1.17%
<b>2GW/4h NE</b>	R\$ 11,812,433,223.20	R\$ 249,965,302.90	2.07%
<b>4GW/24h NE</b>	R\$ 11,821,421,457.50	R\$ 240,977,068.60	2.00%
<b>2GW/8h SE</b>	R\$ 11,754,140,482.30	R\$ 308,258,043.80	2.56%



# Impactos nos Custos Operacionais PMO X PDE

		<b>Custo Total de Operação</b>	<b>Diferença Anual</b>	<b>Diferença %</b>
<b>PMO JAN 2021</b>	<b>Caso Base</b>	R\$ 3,095,735,478.81	-	-
	<b>0.5GW/4h NE</b>	R\$ 3,027,438,253.09	R\$ 68,297,225.72	2.21%
	<b>1GW/4h NE</b>	R\$ 2,968,356,135.78	R\$ 127,379,343.03	4.11%
	<b>2GW/4h NE</b>	R\$ 2,873,845,056.25	R\$ 221,890,422.56	7.17%
	<b>4GW/24h NE</b>	R\$ 2,802,850,998.80	R\$ 292,884,480.01	9.46%
	<b>2GW/8h SE</b>	R\$ 2,721,487,681.82	R\$ 374,247,796.99	12.09%
<b>PDE 2030</b>	<b>Caso Base</b>	R\$ 12,062,398,526.10	-	-
	<b>0.5GW/4h NE</b>	R\$ 11,986,997,334.80	R\$ 75,401,191.30	0.63%
	<b>1GW/4h NE</b>	R\$ 11,921,727,024.20	R\$ 140,671,501.90	1.17%
	<b>2GW/4h NE</b>	R\$ 11,812,433,223.20	R\$ 249,965,302.90	2.07%
	<b>4GW/24h NE</b>	R\$ 11,821,421,457.50	R\$ 240,977,068.60	2.00%
	<b>2GW/8h SE</b>	R\$ 11,754,140,482.30	R\$ 308,258,043.80	2.56%

 Aumento  
 Diminuição

# Muito Obrigado !!!!



[marangonenergia.com.br](http://marangonenergia.com.br)



[jose.marangon@marangonenergia.com.br](mailto:jose.marangon@marangonenergia.com.br)  
[adequeiroz@nccu.edu](mailto:adequeiroz@nccu.edu)



Marangon Consultoria & Engenharia

