

Fontes Renováveis e Geração Flexível

Rafael Morais

rafaelmorais@ppe.ufrj.br

7º Seminário de Inserção de Novas Fontes Renováveis e Redes
Inteligentes

Outubro de 2024

Agenda

1. Contextualização: fontes renováveis variáveis e geração flexível
2. Serviços de rede: modulação
3. Exemplo prático: aplicação ao histórico de operação
4. Considerações finais



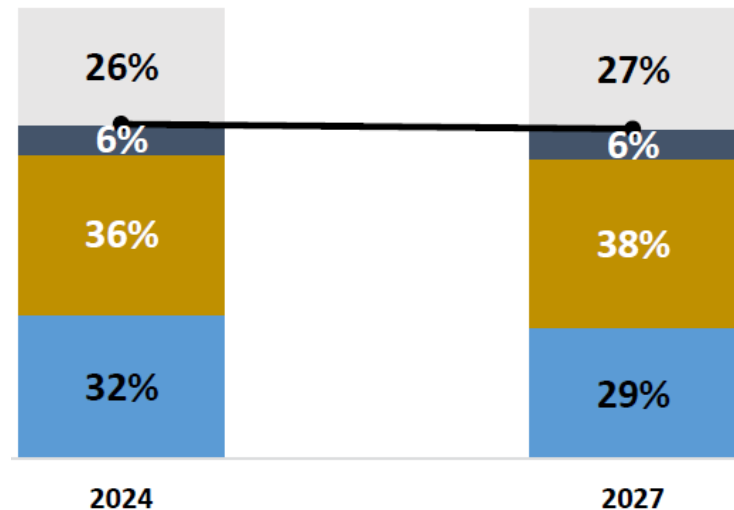
Contextualização | Por que olhar para fontes renováveis e geração flexível?

Potencial hidráulico da região Norte é formado por **usinas a fio d' água**.

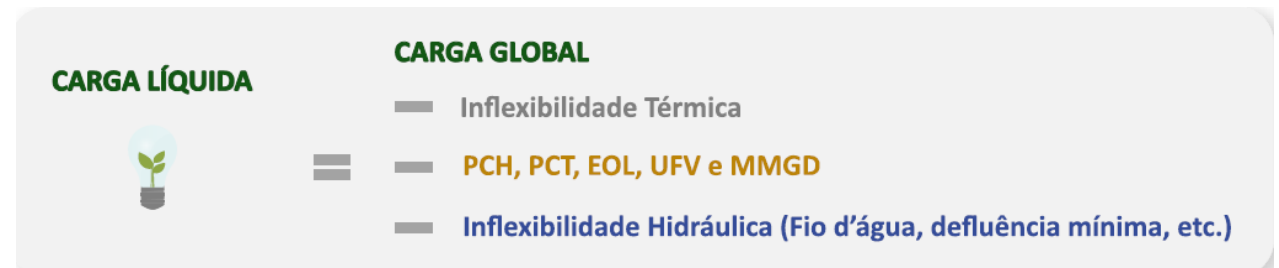
Existem **restrições de defluência** mínima nas hidrelétricas → geração inflexível.

Entrada em larga escala de **fontes renováveis variáveis** → geração não controlável (inflexível).

Inflexibilidade termelétrica → geração inflexível.



Fonte: [ONS \(2023\)](#)



A porcentagem da geração inflexível prevista para 2027 corresponde a 73% da carga total.

Contextualização | Setor elétrico discute a flexibilidade



A discussão acerca do atendimento dos requisitos de flexibilidade e serviços ancilares do SIN também está presente nos estudos atuais da EPE (NTs 76/2023; 90/2021; 67/2018).

Hidrelétricas aparecem como vitais na **garantia** de atendimento às necessidades de flexibilidade do SIN.

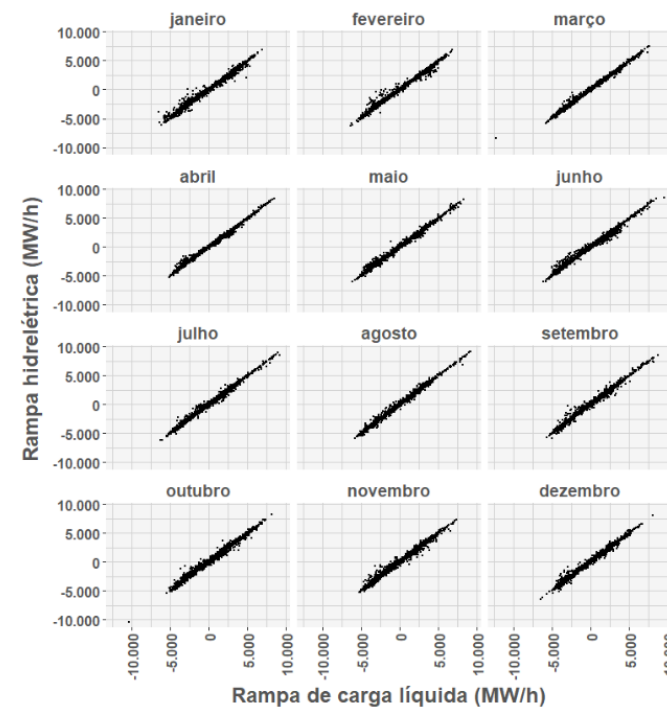


Figura 5 - Rampas horárias de carga líquida x rampas horárias de geração hidrelétrica. Fonte: Elaboração própria a partir de dados do ONS.

Contextualização | Flexibilidade

Antecedentes: conceito surgiu na década de 1980, motivado pela constatação de que os métodos tradicionais usados no planejamento de longo prazo não endereçavam as seguintes incertezas:

- Consumo crescente de energia elétrica;
- Exigências socioambientais;
- Inovações tecnológicas.

Falta consenso

Observam-se lacunas na base teórica sobre flexibilidade, em termos de métodos, critérios e modelos. Essa carência se reflete na ausência de indicadores de flexibilidade de uso universal.

Contextualização | Conceitos de flexibilidade

Conselho de Reguladores Europeus da Energia (CEER): definiu, em 2018, a flexibilidade como “*a capacidade da rede elétrica para responder a alterações que possam afetar o equilíbrio da oferta e da demanda em todos os momentos.*”

Agência Internacional de Energia (AIE): apresentou, ainda em 2018, uma definição ampla de flexibilidade: “*todas as características relevantes de um sistema de energia que facilitem a gestão confiável e econômica da variabilidade e da incerteza, tanto do lado da oferta como da demanda”.*

EPE (2018): “*capacidade de o sistema lidar com variações de oferta e demanda em períodos compatíveis com comandos de despacho de geração (períodos mensais e horários) [...]”.*

EPE (2023): “*relaciona-se à existência de recursos que promovam o atendimento às variações de carga do sistema entre dois instantes de tempo.*”

- “*Nesse contexto, flexibilidade operativa é conceituada como a habilidade do sistema lidar com variações de oferta e demanda compatíveis com os intervalos entre comandos de despacho de geração.*”

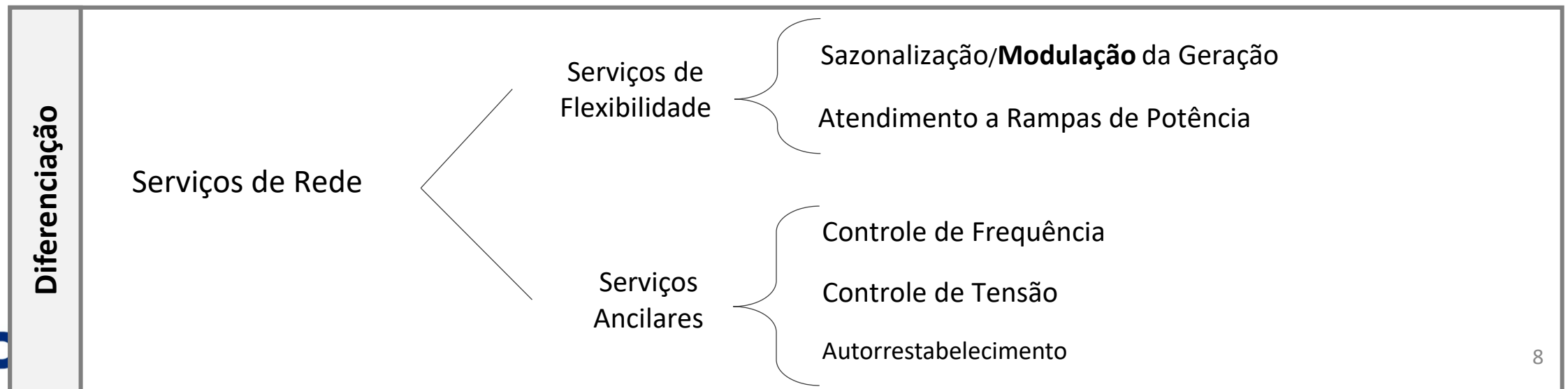
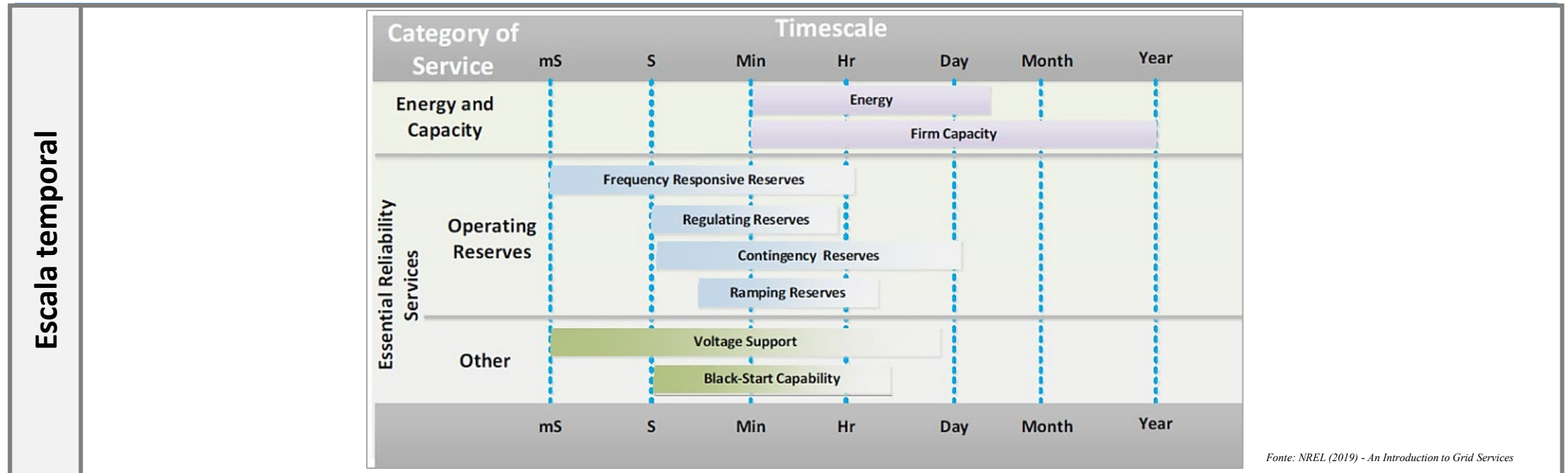
Contextualização | Nosso trabalho

Objetivos:

- 1 Destacar os serviços de flexibilidade que nossas fontes já prestam.
- 2 Identificar questões regulatórias que impedem que a flexibilidade se manifeste.
- 3 Valorar a flexibilidade sem criar novos encargos, como no caso da reserva de capacidade.
 - Evitar aumento de custo para o consumidor final.



Serviços de rede | Modulação



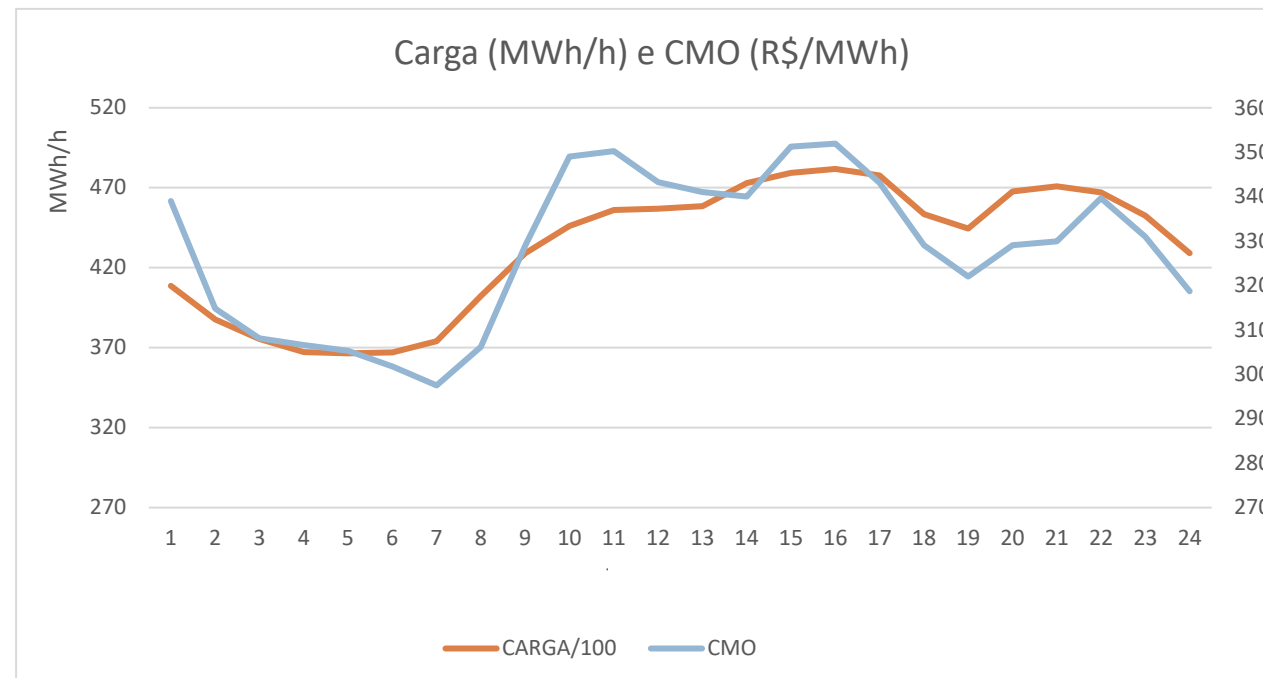
Serviços de rede | Modulação

A modulação é uma **parcela da energia entregue** por certas usinas.

- Nossa ideia é **destacar** esta parcela do restante dos serviços já prestados.

Exemplo didático (dia 13/01/2021):

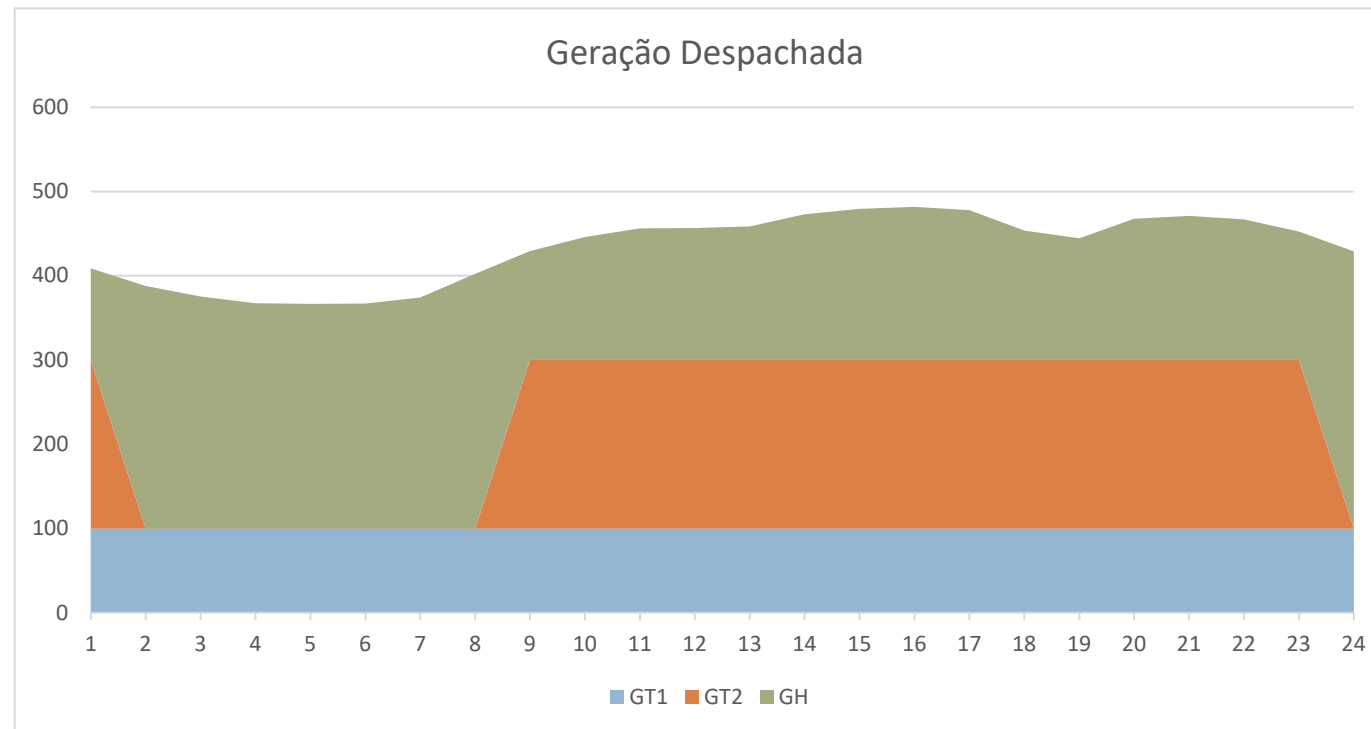
- Sistema elétrico formado por uma hidrelétrica (GH) e duas termelétricas (GT1 e GT2).
- Perfil de carga (SE) e Custo Marginal de Operação (CMO) descritos abaixo.



Serviços de rede | Modulação

Perfil da geração observada → despacho realizado pelo operador do sistema por ordem de mérito de custos.

1. GT1 opera na base → inflexível.
2. GT2 totalmente flexível (despachada se $CVU < CMO$).
3. GH compensa a geração de modo a fechar o balanço de potência (carga x geração).

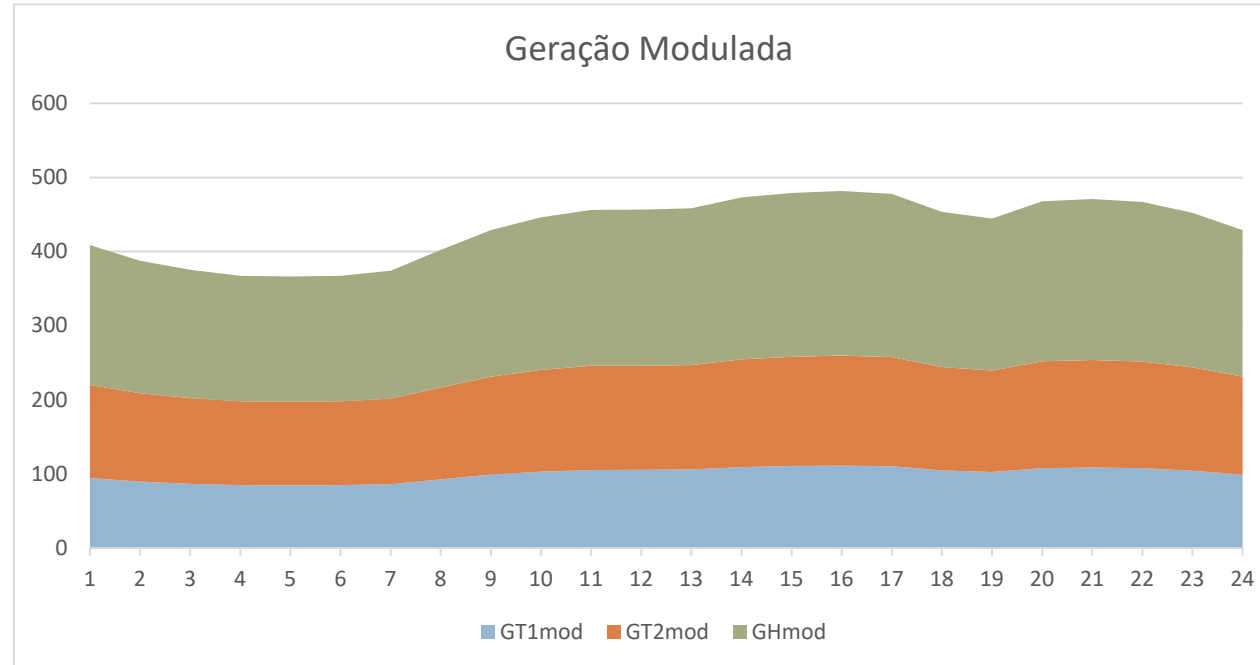


As usinas fecham o balanço de energia.

Mas será que elas modularam a potência de modo a atender o perfil da curva de carga?

Serviços de rede | Modulação

Geração modulada (“compromissos de geração de cada usina”): Atribui-se a cada usina uma parcela da carga referente à sua geração média do período analisado.

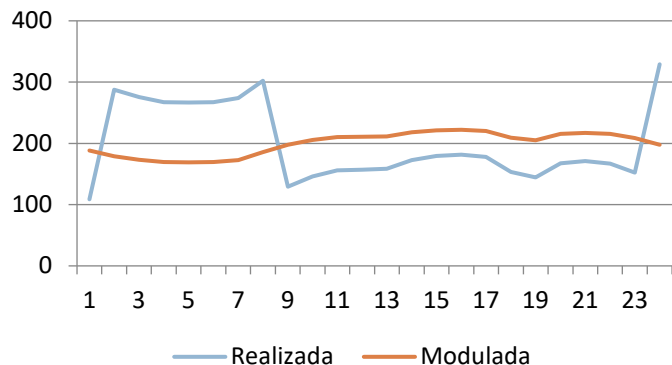


Geração modulada

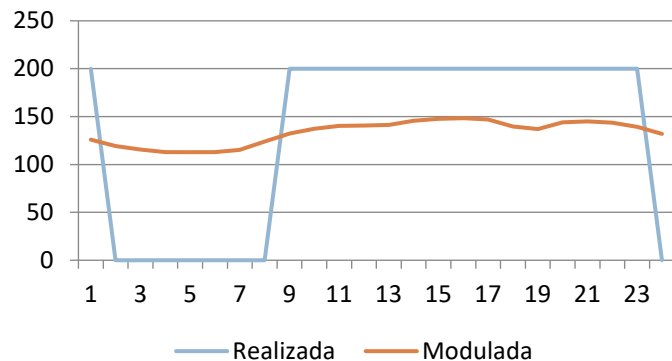
Idealmente: cada usina deveria entregar sua energia respeitando o perfil de variação da carga.

Serviços de rede | Modulação

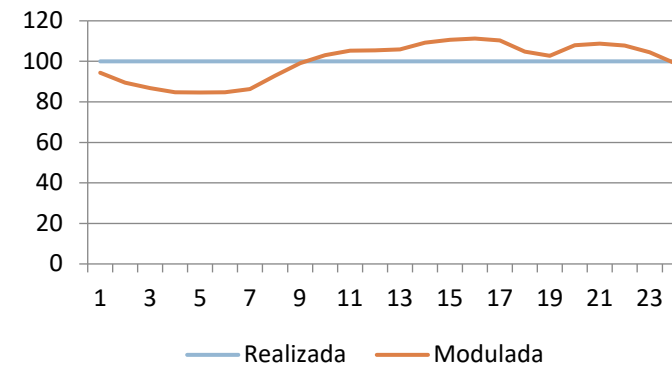
**Geração hidrelétrica |
Geração flexível**



**Geração termelétrica 2 |
Geração flexível**



**Geração termelétrica 1 |
Geração inflexível**



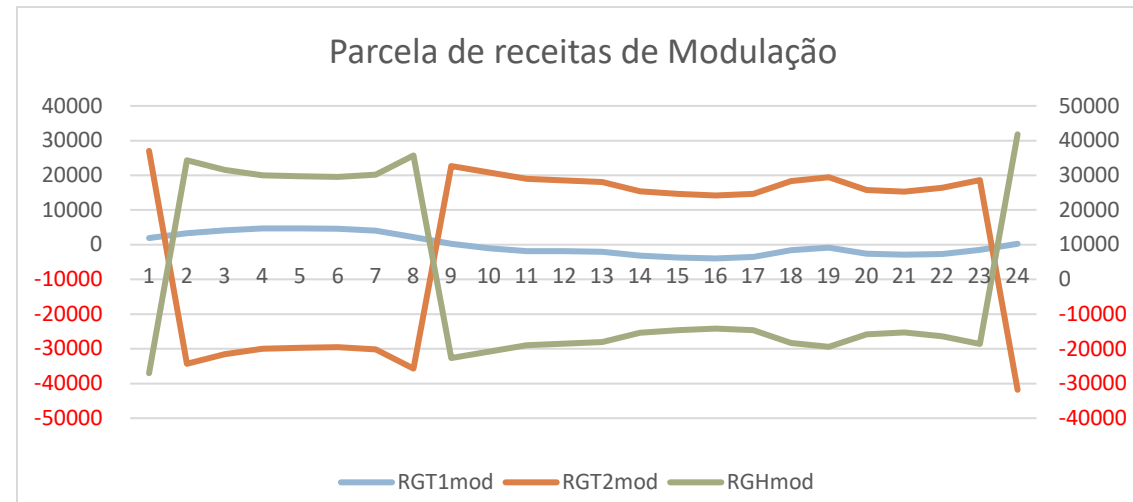
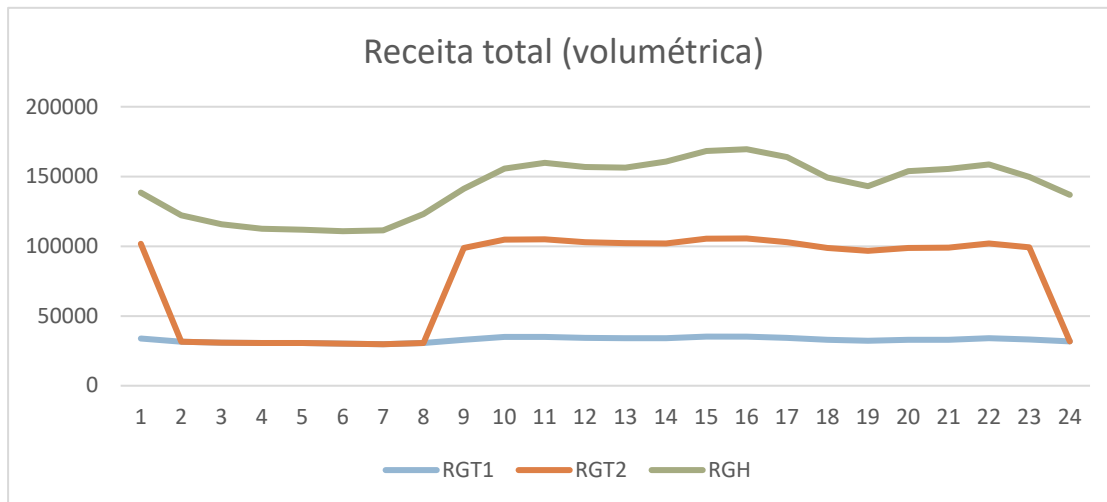
Benefício econômico = [geração realizada(t) – geração modulada (t)] x CMO (t)

- Hidrelétrica apresenta excesso de modulação de madrugada e falta ao longo do dia.
- GT2 não cumpre o compromisso de madrugada, mas realiza trabalho adicional ao longo do dia.
- GT1 não modula.

Hora	CMO (R\$/MWh)	
0	339	
1	315	} GH +
2	308	
3	307	
4	305	
5	302	
6	298	
7	306	
8	329	
17	329	} GT2 +
18	322	
19	329	
20	330	
21	340	
22	331	
23	319	

Serviços de rede | Modulação

Benefícios monetários advindos das duas formas de gerenciamento da geração apresentam diferentes **perfis**.



Modulação:

- Entre 2h e 8h: geração hidrelétrica “recebe” pagamento pelo serviço prestado no momento em que a termelétrica deveria ter atuado → volume alto com CMO baixo.
- Entre 9h e 23h: geração hidrelétrica “paga” pelo serviço prestado no momento em que deveria ter entregue mais energia → volume baixo com CMO alto.

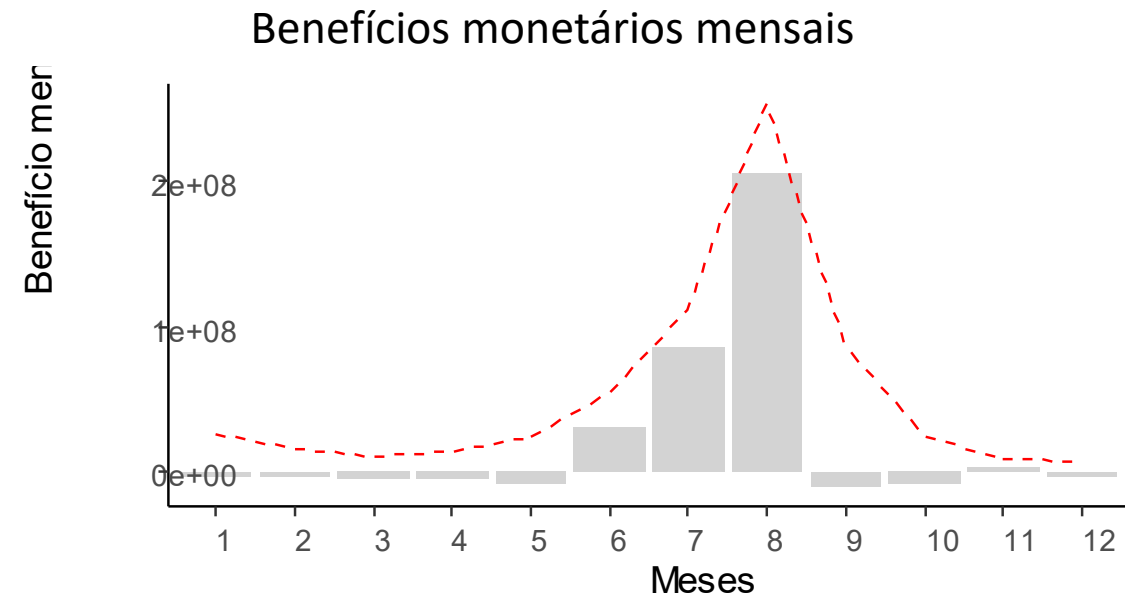
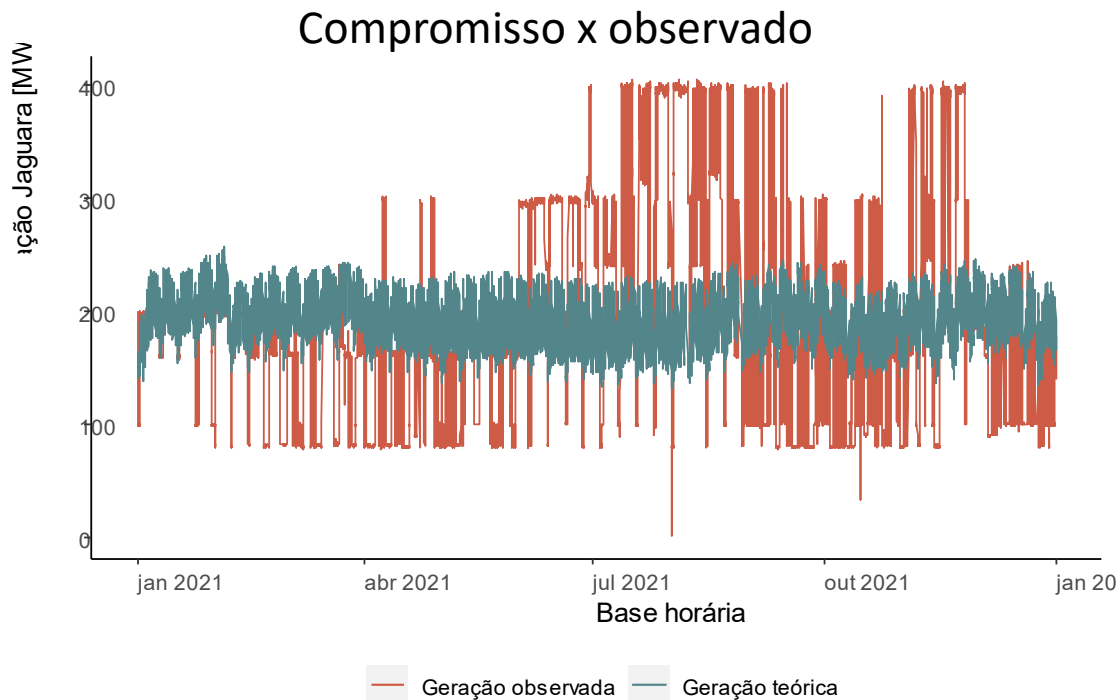
Exemplo prático | Histórico de operação

“Drops” de metodologia

1. Curva de carga do subsistema da usina.
2. Cálculo do fator de participação: participação da UHE na curva de carga do subsistema.
3. Construção da curva teórica de geração da usina: “compromisso de geração da usina”.
4. Cálculo das diferenças de geração: valor previsto/observado – curva de carga teórica.
5. Valoração das diferenças pelo CMO.
6. Estimativa do **índice de flexibilidade por modulação [R\$/MWh]**: soma do resultado monetário / geração média do período.

Exemplo prático | Histórico de operação (2021)

Aplicou-se a metodologia sugerida a uma usina do SIN para o histórico entre 2019 e 2023.



Ano	Geração	Índice de flexibilidade Modulação	Benefício monetário Modulação
<i>Unidades</i>	<i>MWh</i>	<i>R\$/MWh</i>	<i>Milhões R\$</i>
2019	2.009.579	15,70	31,54
2020	1.888.887	-6,33	-11,95
2021	1.692.269	168,13	284,52
2022	2.179.825	2,18	4,76

Considerações finais

Uma usina pode entregar a mesma quantidade de energia, utilizando **diversos perfis de geração** ao longo do período analisado.

A **falta de metodologias** de valoração dos serviços de flexibilidade **onera** sobremaneira a usina provedora desses atributos.

- Metodologia sugerida é neutra tecnologicamente.

A metodologia de valoração da modulação permite extrair a parcela do benefício econômico gerado pela usina que pode ser atribuída ao serviço de modulação.

A valoração do serviço de modulação garante **receitas mais estáveis** para as usinas que mais contribuem com a prestação de tal serviço → **justifica investimentos** em máquinas que não vão acrescentar garantia física, mas prestarão serviços adicionais.

Preço de Liquidação de Diferenças já remunera o serviço de modulação, mas como se todo este serviço estivesse entregue em um **“único pacote”** (não diferencia modulação de energia).

Metodologia aceita **métricas alternativas ao CMO**.

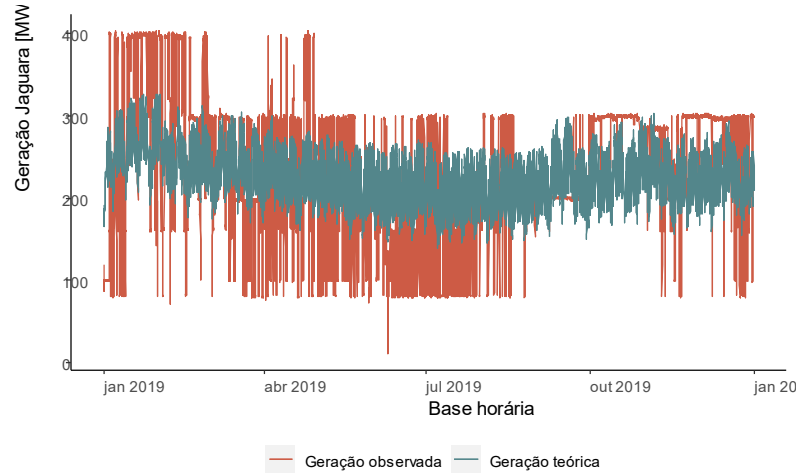
COPPE
UFRJ

Instituto Alberto Luiz Coimbra de
Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

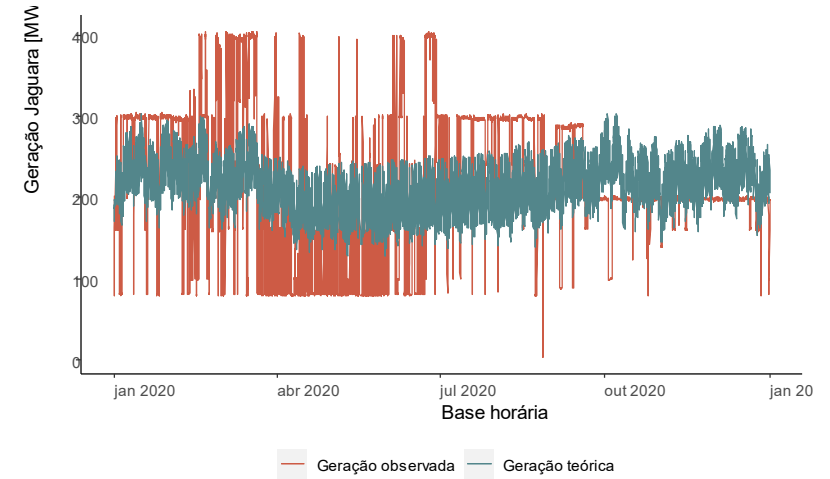
Obrigado!

Anexo | histórico completo (saldos de geração)

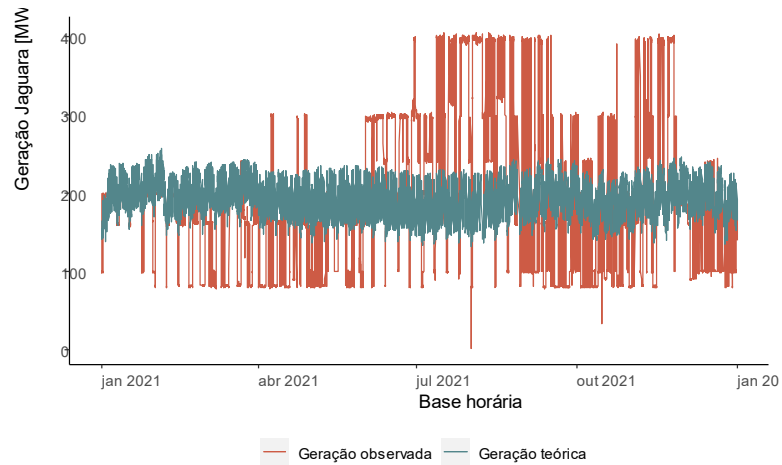
2019



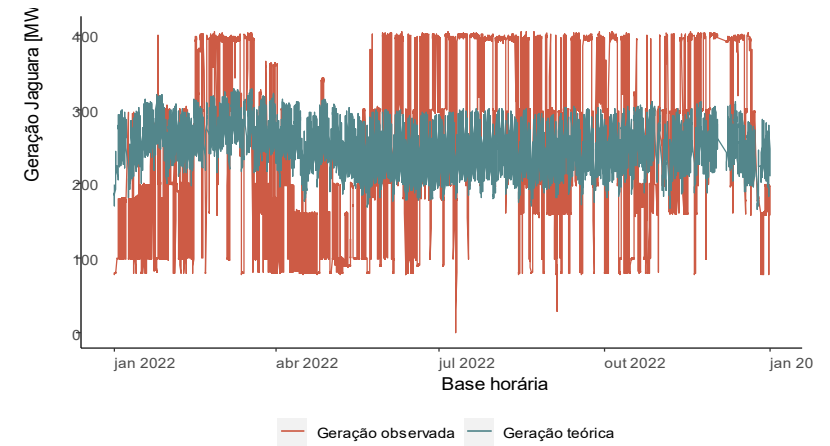
2020



2021

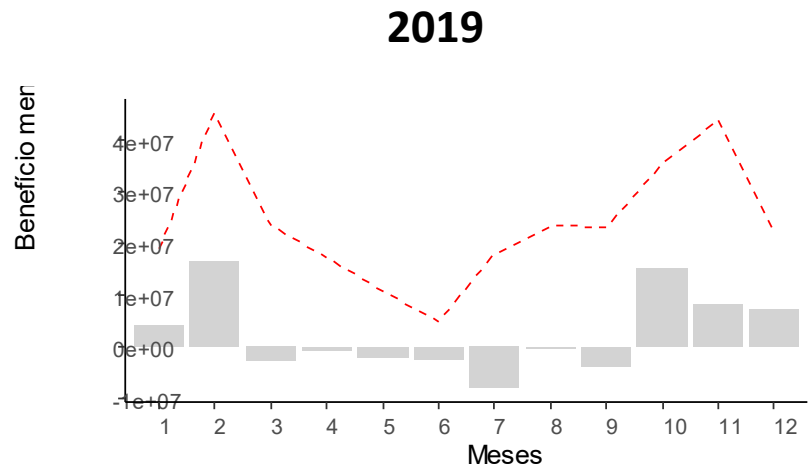


2022

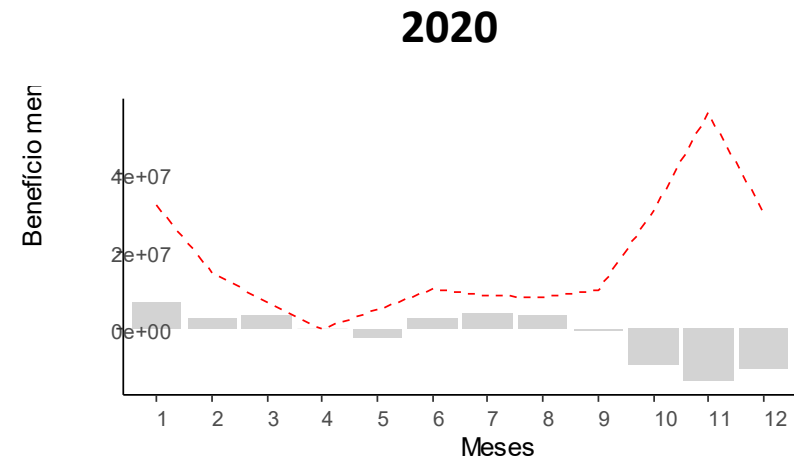


Anexo | histórico completo (benefícios monetários mensais)

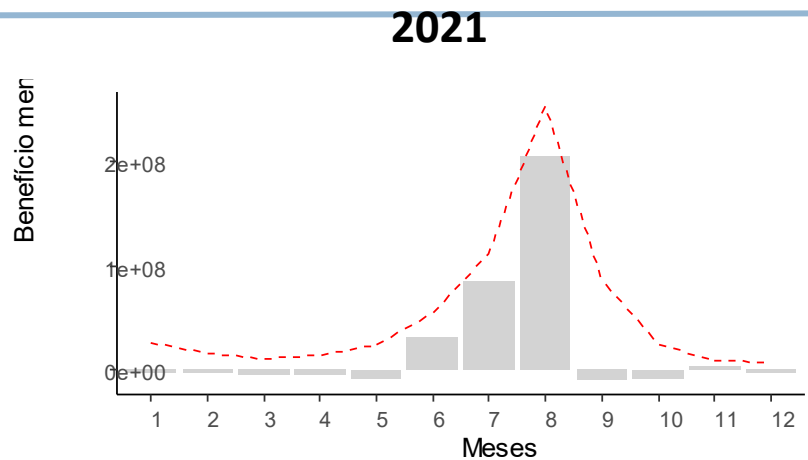
Mês	CMO - média mensal [R\$/MWh]
Jan	189
fev	453
Mar	234
Abr	173
Mai	108
Jun	50
Jul	181
Ago	233
Set	233
Out	356
Nov	437
Dez	221



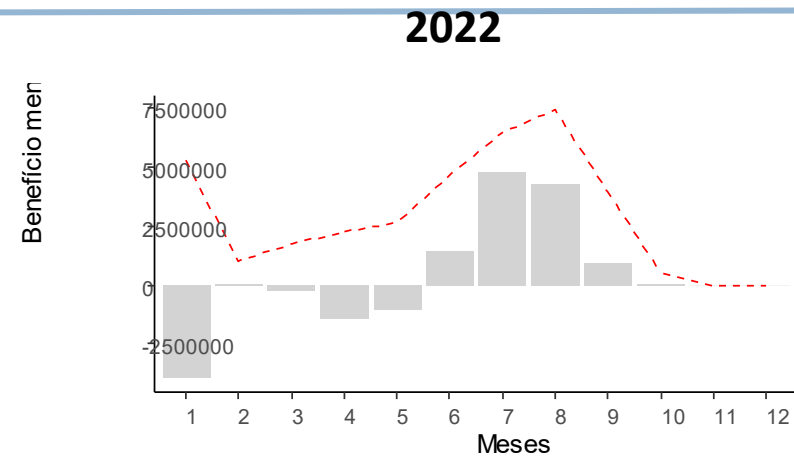
Mês	CMO - média mensal [R\$/MWh]
Jan	319
fev	143
Mar	68
Abr	0
Mai	52
Jun	105
Jul	87
Ago	82
Set	99
Out	305
Nov	560
Dez	303



Mês	CMO - média mensal [R\$/MWh]
Jan	255
fev	162
Mar	118
Abr	139
Mai	243
Jun	550
Jul	1,121
Ago	2,540
Set	859
Out	243
Nov	84
Dez	69



Mês	CMO - média mensal [R\$/MWh]
Jan	53
fev	10
Mar	17
Abr	23
Mai	26
Jun	46
Jul	65
Ago	75
Set	40
Out	5
Nov	0
Dez	0



Nota: Em vermelho, tem-se o perfil do CMO médio mensal.