

# Estudo de caso do impacto da MMGD no SEP do norte da EDP Espírito Santo – ID 8094

**Autor:** *Gustavo Caus Santos*

**Coautores:** *João Marcus Ramos Bacalhau, Douglas Figueiredo  
Vasconcelos e Vinícios Aparecido Rosa Ferreira*

**Empresa:** *EDP*

Realization:

instituto  
**abradee**



Host Company:

**CEMIG**



XXV Seminário  
Nacional de  
Distribuição de  
Energia Elétrica

**SENDI**  
**2025**  
BELO HORIZONTE

# Sumário

1. **[Contextualização]** Evolução e perspectivas de penetração MMGD na área de concessão da EDP ES
2. **[Pré Implementação]** Impactos sistêmicos na análise de novos acessantes
  1. Dinâmica de relação carga x geração norte EDP ES
  2. Esgotamento em subsistema de 69 kV
3. **[Pós Implementação]** Impactos na operação do sistema
  1. Impactos na comutação automática de equipamentos
  2. Impactos na filosofia de operação de subestações


Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**

- 
1. **[Contextualização]** Evolução e perspectivas de penetração MMGD na área de concessão da EDP ES
  2. **[Pré Implementação]** Impactos sistêmicos na análise de novos acessantes
    1. Dinâmica de relação carga x geração norte EDP ES
    2. Esgotamento em subsistema de 69 kV
  3. **[Pós Implementação]** Impactos na operação do sistema
    1. Impactos na comutação automática de equipamentos
    2. Impactos na filosofia de operação de subestações

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

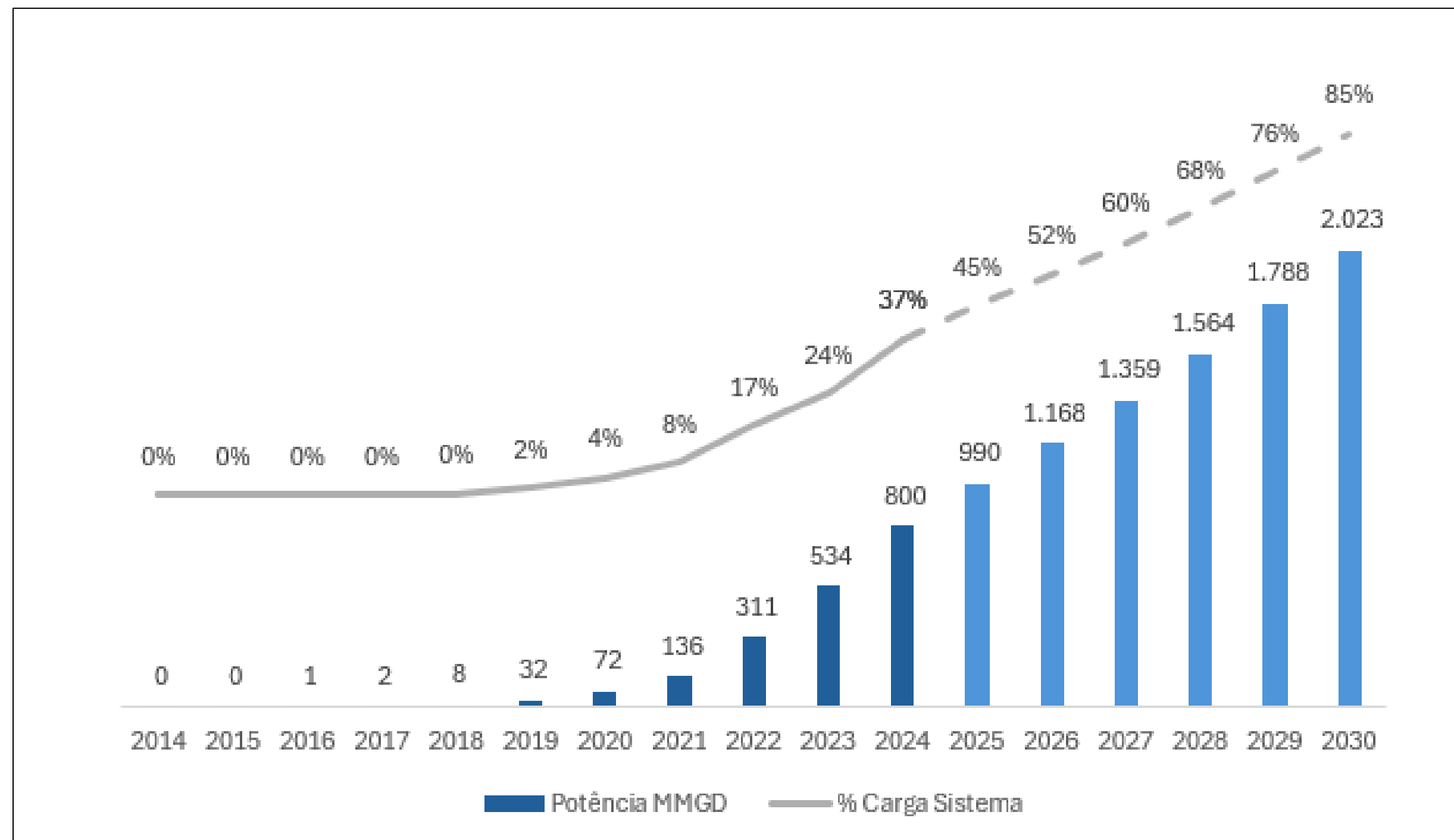
**CEMIG**



# Evolução e perspectivas de penetração MMGD na área de concessão da EDP ES

- Capacidade instalada corresponde a **42% da demanda pico**;

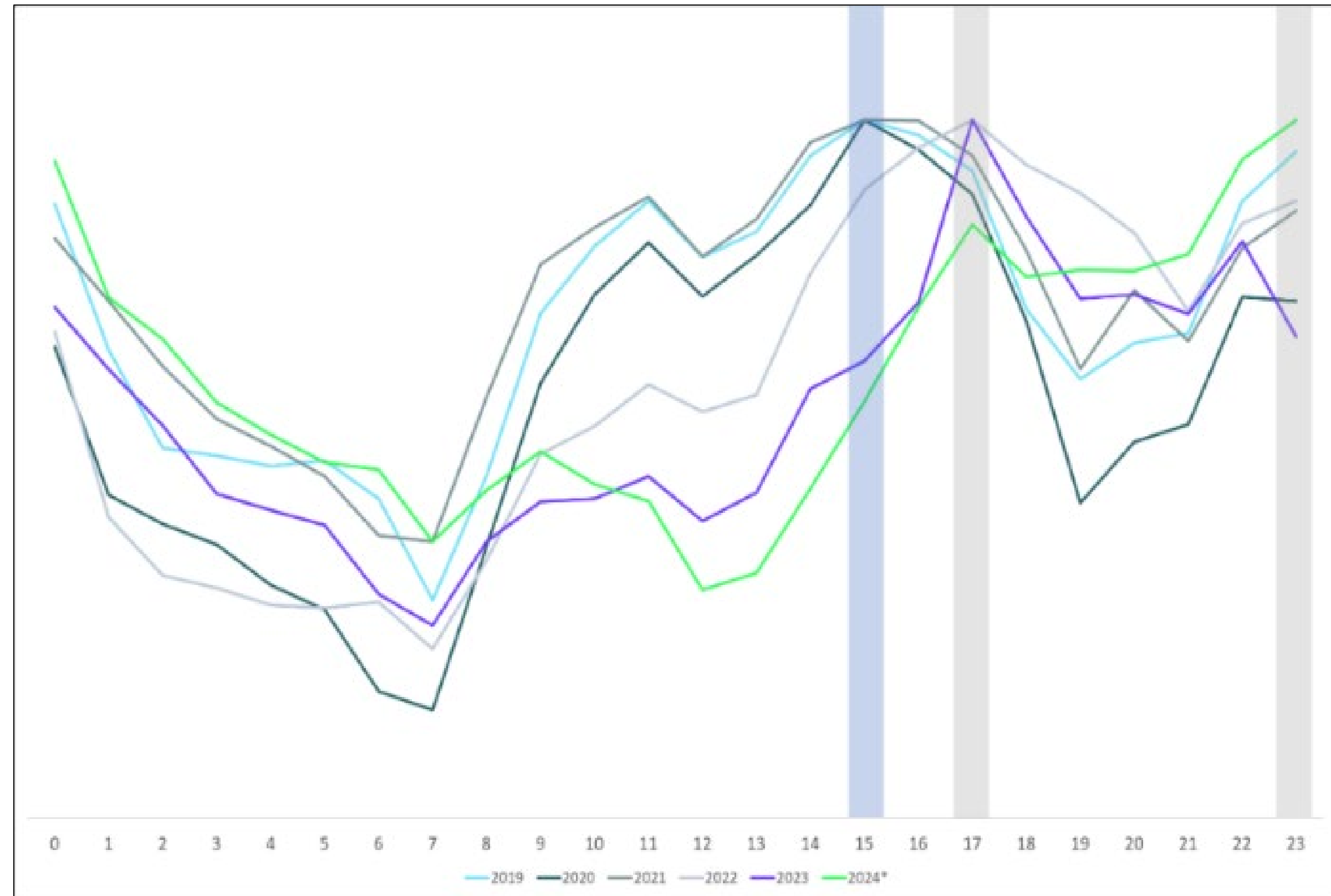
Evolução da potência instalada [MW] e representatividade face à demanda pico EDP ES



# Evolução e perspectivas de penetração MMGD na área de concessão da EDP ES

- Mudança de comportamento da curva de carga do sistema (“**curva de pato**”);
- Deslocamento da carga máxima de 15h para 17h (saída da MMGD) e 23h (cargas de refrigeração domésticas e cargas de irrigantes, na região norte do estado).

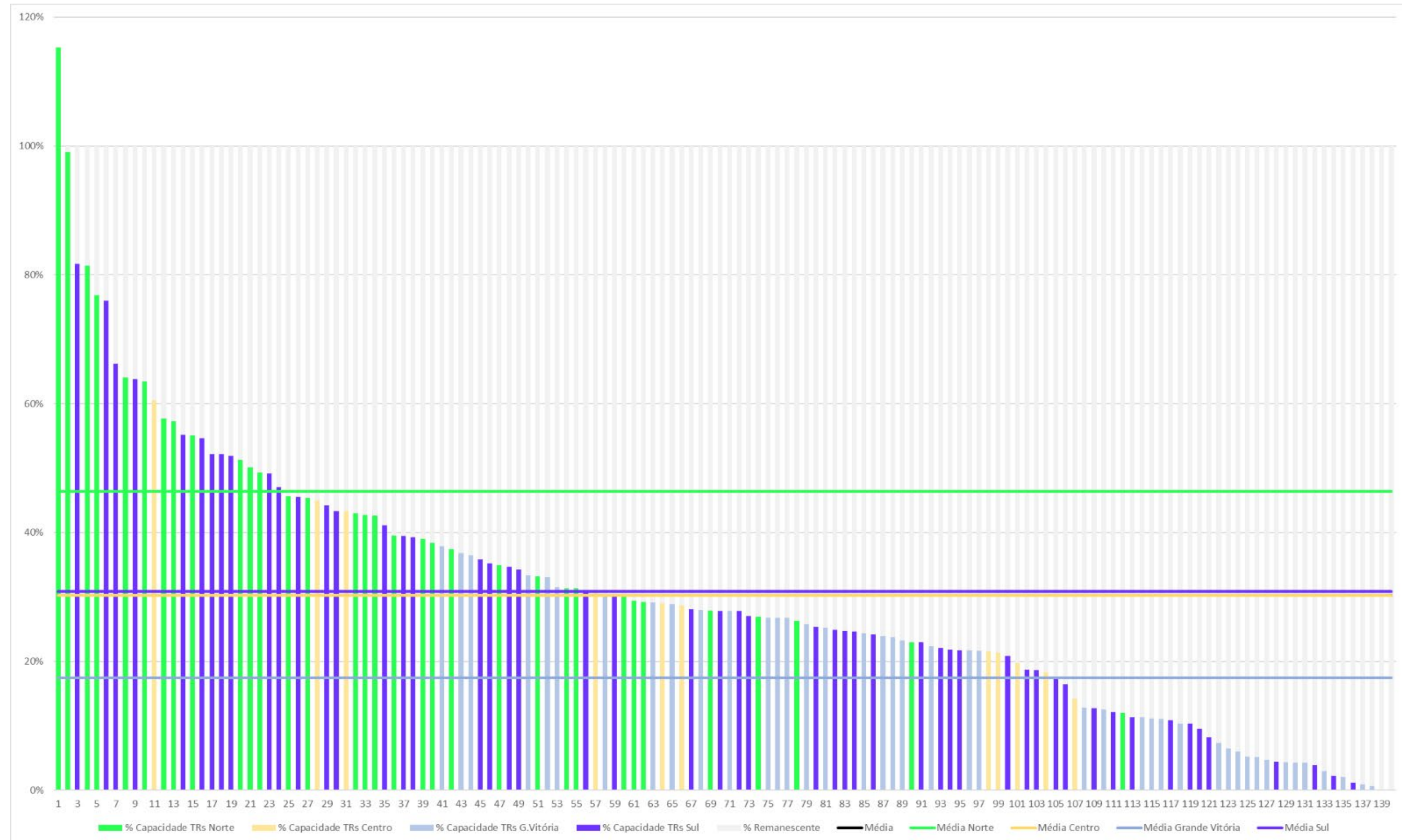
Curvas de carga horária dos dias das máximas globais da EDP ES, entre 2019 e 2024.




# Evolução e perspectivas de penetração MMGD na área de concessão da EDP ES

Representatividade da potência instalada MMGD face potência nominal do transformador; e média de representatividade (geral e por região).

- Verifica-se diferentes níveis de penetração entre as regiões:
- Média geral EDP ES, Centro e Sul: ~30% (preto, amarelo e roxo).
- Grande Vitória: 17% (azul claro).
- **Norte: 46% (verde).**



- 
1. **[Contextualização]** Evolução e perspectivas de penetração MMGD na área de concessão da EDP ES
  2. **[Pré Implementação]** Impactos sistêmicos na análise de novos acessantes
    1. Dinâmica de relação carga x geração norte EDP ES
    2. Esgotamento em subsistema de 69 kV
  3. **[Pós Implementação]** Impactos na operação do sistema
    1. Impactos na comutação automática de equipamentos
    2. Impactos na filosofia de operação de subestações

Realization:

instituto  
**abradee**



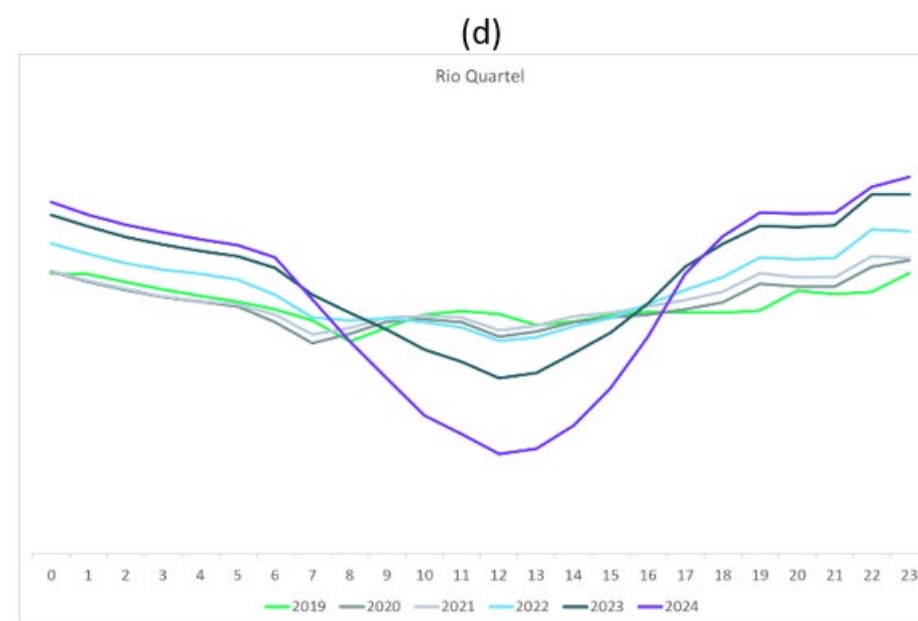
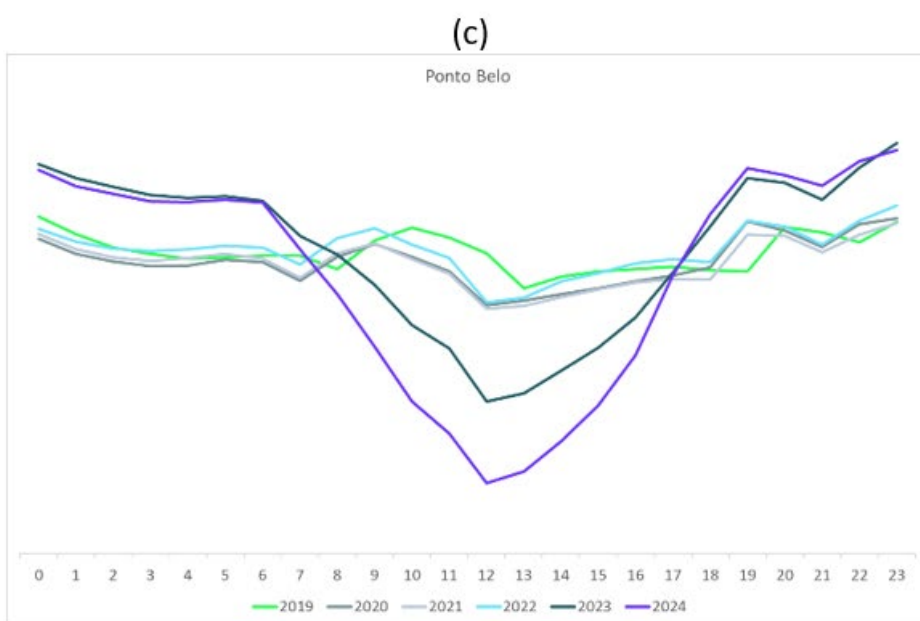
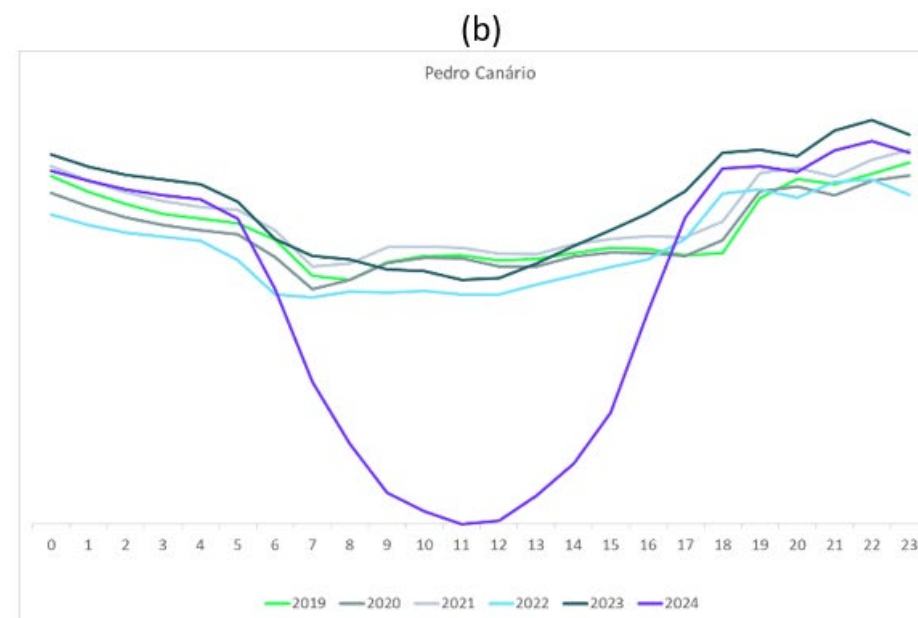
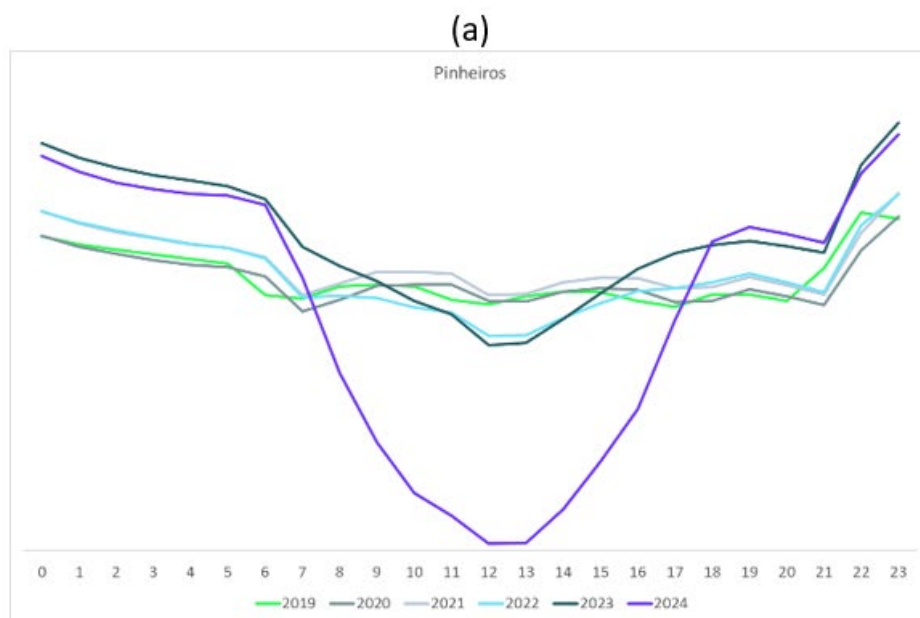
HostCompany:

**CEMIG**



# Relação carga x geração norte EDP ES

Demanda média ativa de dias úteis, de 2019 a 2024, em subestações distintas..

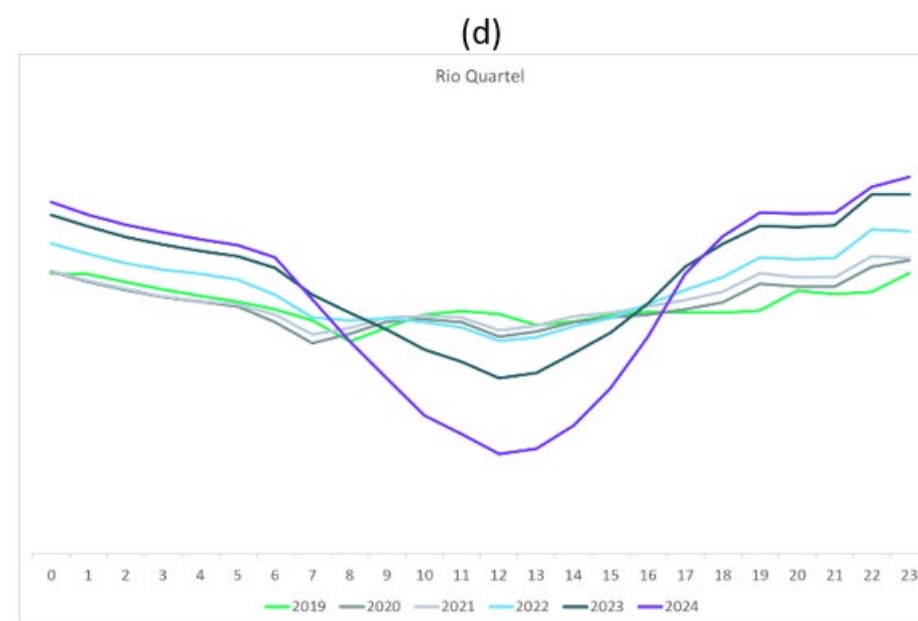
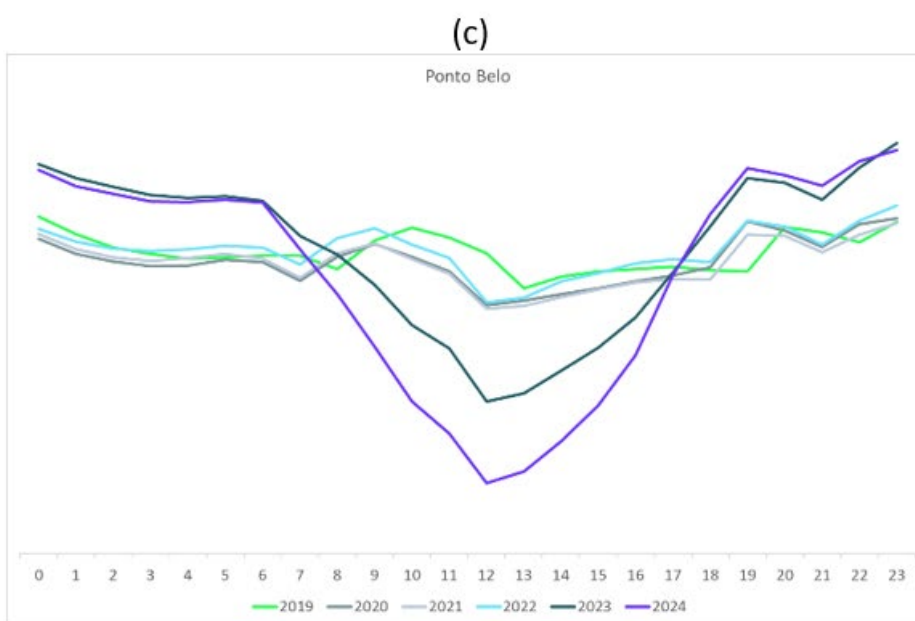
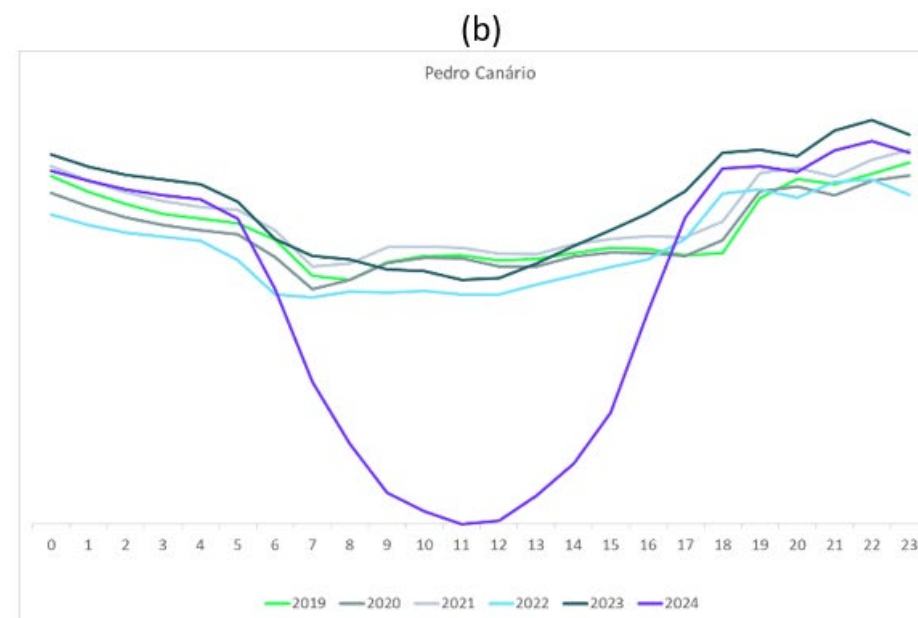
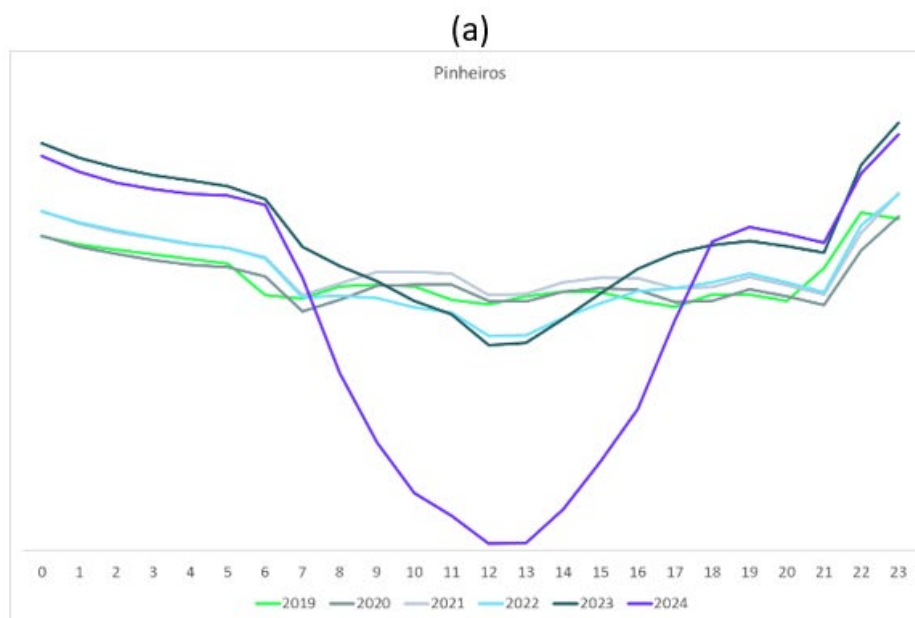


- **Principais benefícios esperados MMGD:** postergação de investimentos, modicidade tarifária, redução de perdas técnicas, etc.
- Porém, a região norte da EDP ES possui:
  - **Carga máxima no período noturno:** associado à carga irrigante, em período de estiagem;
  - **MMGD solar** (diurno).




# Relação carga x geração norte EDP ES

Demanda média ativa de dias úteis, de 2019 a 2024, em subestações distintas..



## Consequências:

- **Grande investimento em conexões e reforços** associados a usinas afastadas dos centros de carga, consumindo recursos físicos e financeiros (caráter obrigatório e com prazo regulado);
- **Aumento do consumo fora do período de geração**, hipóteses:
  - Política de compensação;
  - Crescimento vegetativo.
- **Não se verificou postergação de investimentos** para os subsistemas em questão; talvez, até acelerando o crescimento da carga;

- 
1. **[Contextualização]** Evolução e perspectivas de penetração MMGD na área de concessão da EDP ES
  2. **[Pré Implementação]** Impactos sistêmicos na análise de novos acessantes
    1. Dinâmica de relação carga x geração norte EDP ES
    2. Esgotamento em subsistema de 69 kV
  3. **[Pós Implementação]** Impactos na operação do sistema
    1. Impactos na comutação automática de equipamentos
    2. Impactos na filosofia de operação de subestações

Realization:

instituto  
**abradee**



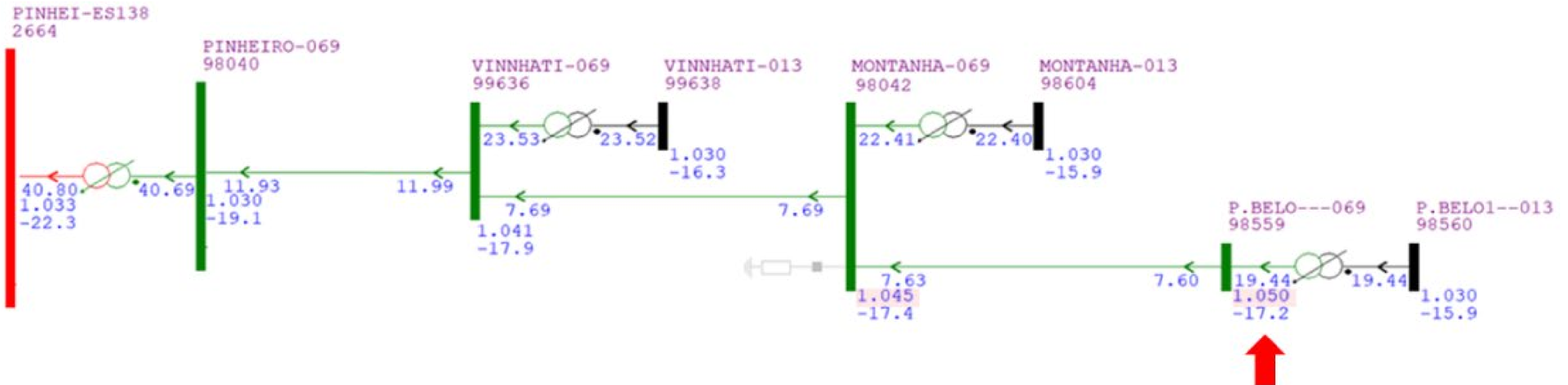
HostCompany:

**CEMIG**

# Esgotamento em subsistema de 69 kV

- Motivado pela “**corrida do ouro**”, houve um grande volume de processos de acesso e concentração em “locais chave”;
- **Efeitos cumulativos culminaram em esgotamento** para alguns subsistemas (esgotamento de alimentadores e transformadores de subestação ou nível de tensão AT);
- Necessidade de um **tratamento diferenciado** a nível sistêmico e uma avaliação mais cautelosa e abrangente, instituindo-se uma força tarefa;


Simulação ANAREDE do subsistema 69 kV Pinheiros - Vinhático - Montanha - Ponto Belo.





# Esgotamento em subsistema de 69 kV

- **Ex:** A subestação Pedro Canário totalizou ~30 MW de pedidos x transformador de 12,5 MVA, esgotando o sistema AT.
- **Balanco:**
  - Diversas restrições complexas foram verificadas durante as análises da “corrida do ouro”, com estudos de acesso extremamente **criteriosos** (viabilidade do acesso x risco sistêmico).
  - Não foi verificada **nenhuma sobrecarga em transformadores de subestação oriunda de fluxo inverso**, pior caso com 50% de inversão; **nenhuma sobretensão em regime normal** em sistemas AT; e/ou **necessidade de intervenção a nível do ONS ou COS**, no sentido de ajustar as tensões de fronteira ou transformações AT/AT.
  - Implementação do conceito de “**inversão de fluxo**”, Art. 73 REN 1000, **afastando o risco de colapso sistêmico** de tensão e sobrecarga.

- 
1. **[Contextualização]** Evolução e perspectivas de penetração MMGD na área de concessão da EDP ES
  2. **[Pré Implementação]** Impactos sistêmicos na análise de novos acessantes
    1. Dinâmica de relação carga x geração norte EDP ES
    2. Esgotamento em subsistema de 69 kV
  3. **[Pós Implementação]** Impactos na operação do sistema
    1. Impactos na comutação automática de equipamentos
    2. Impactos na filosofia de operação de subestações

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**



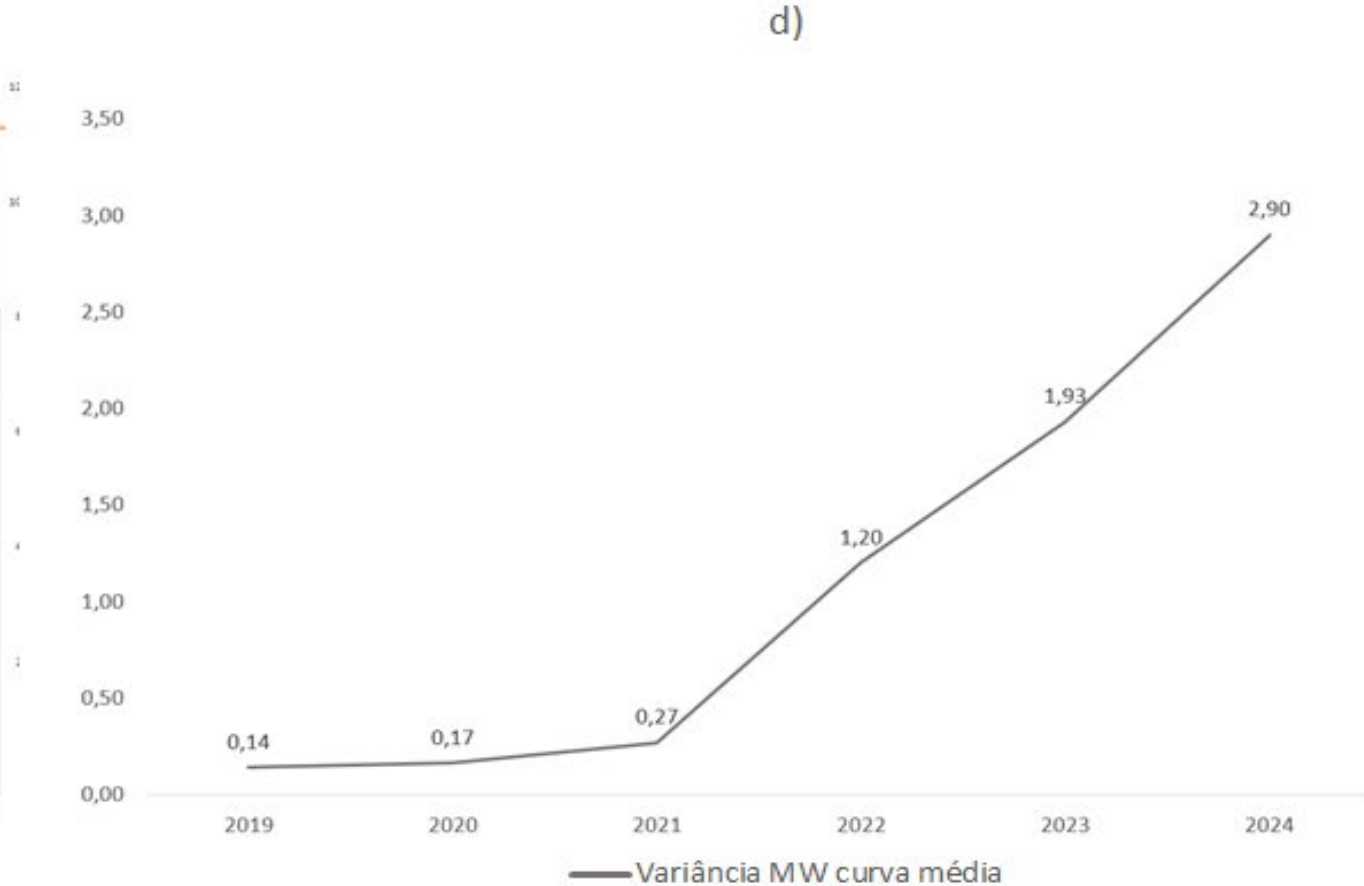
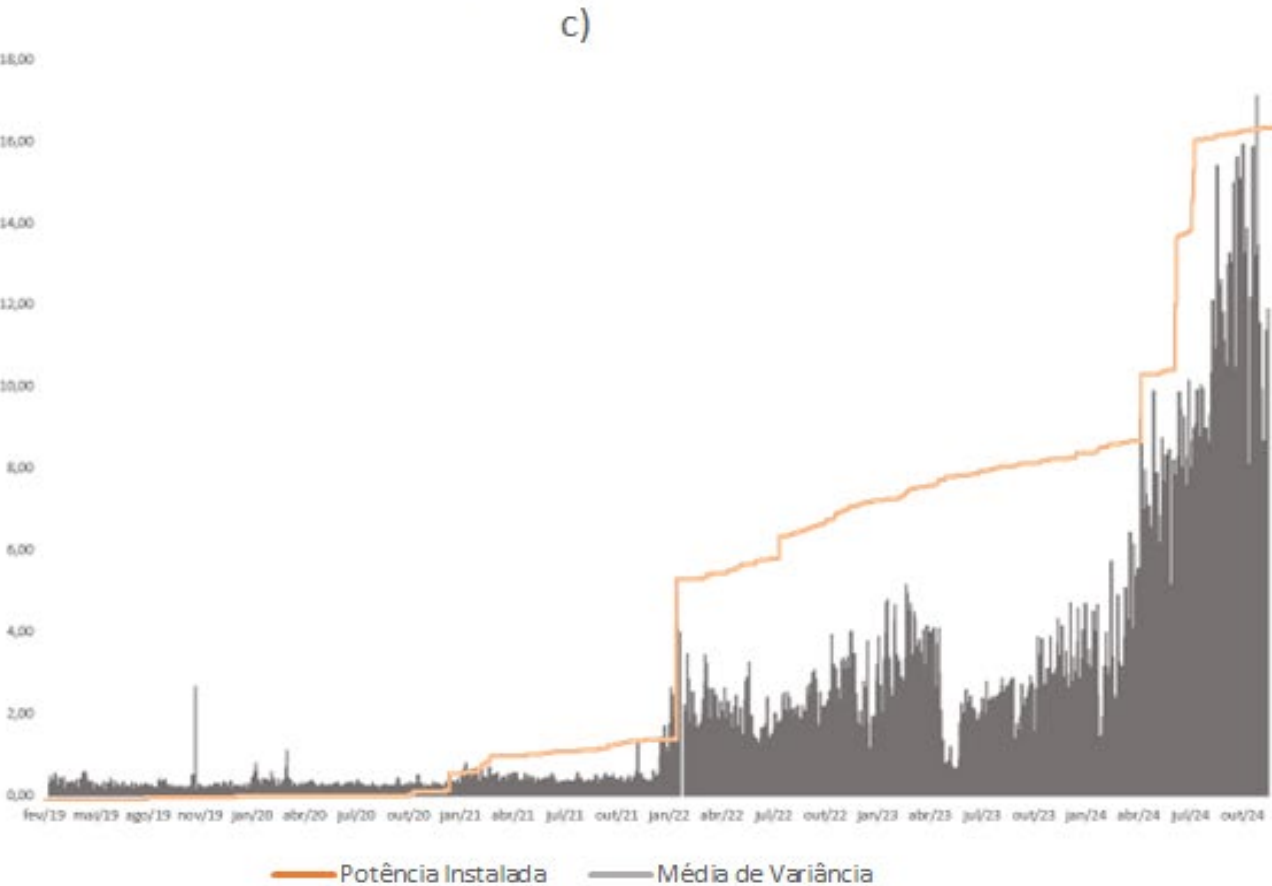
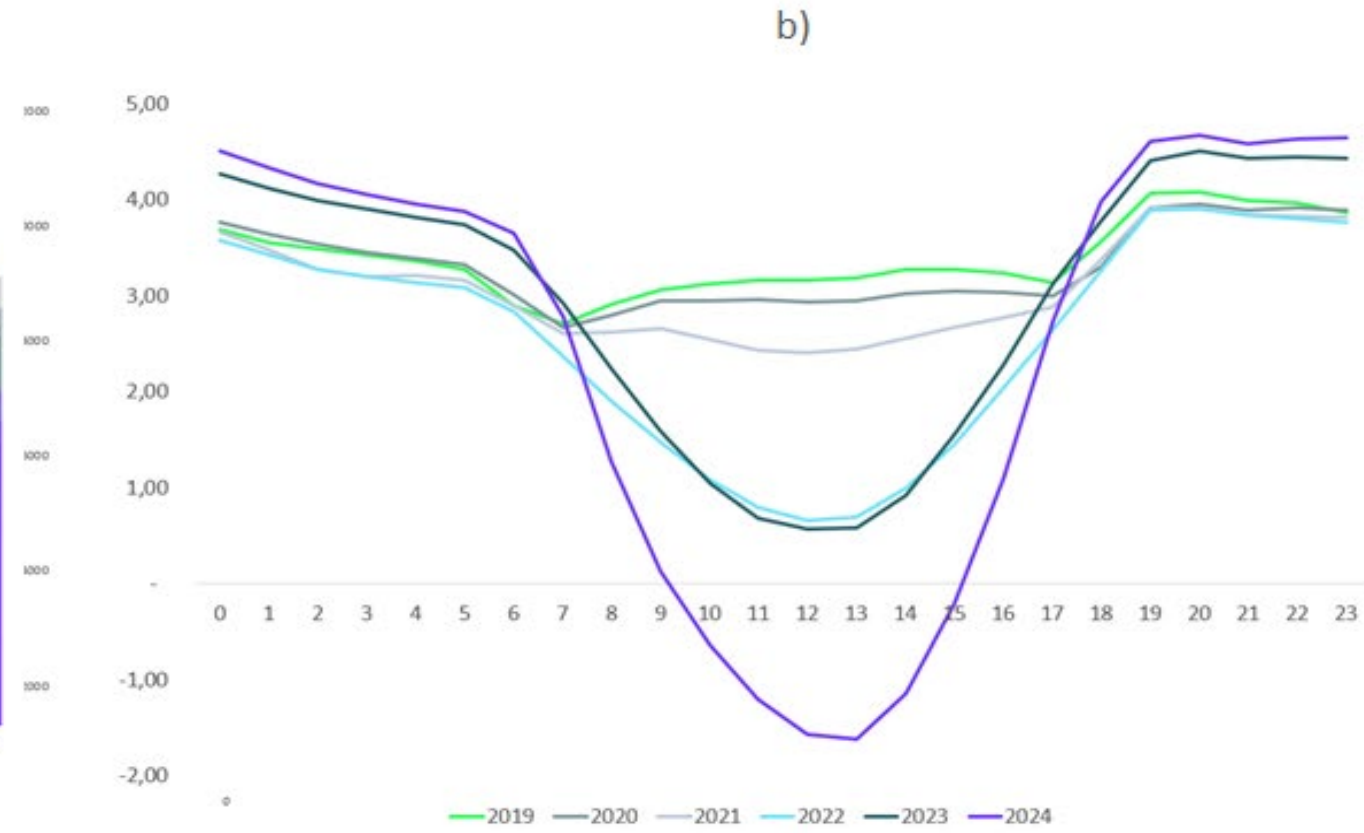
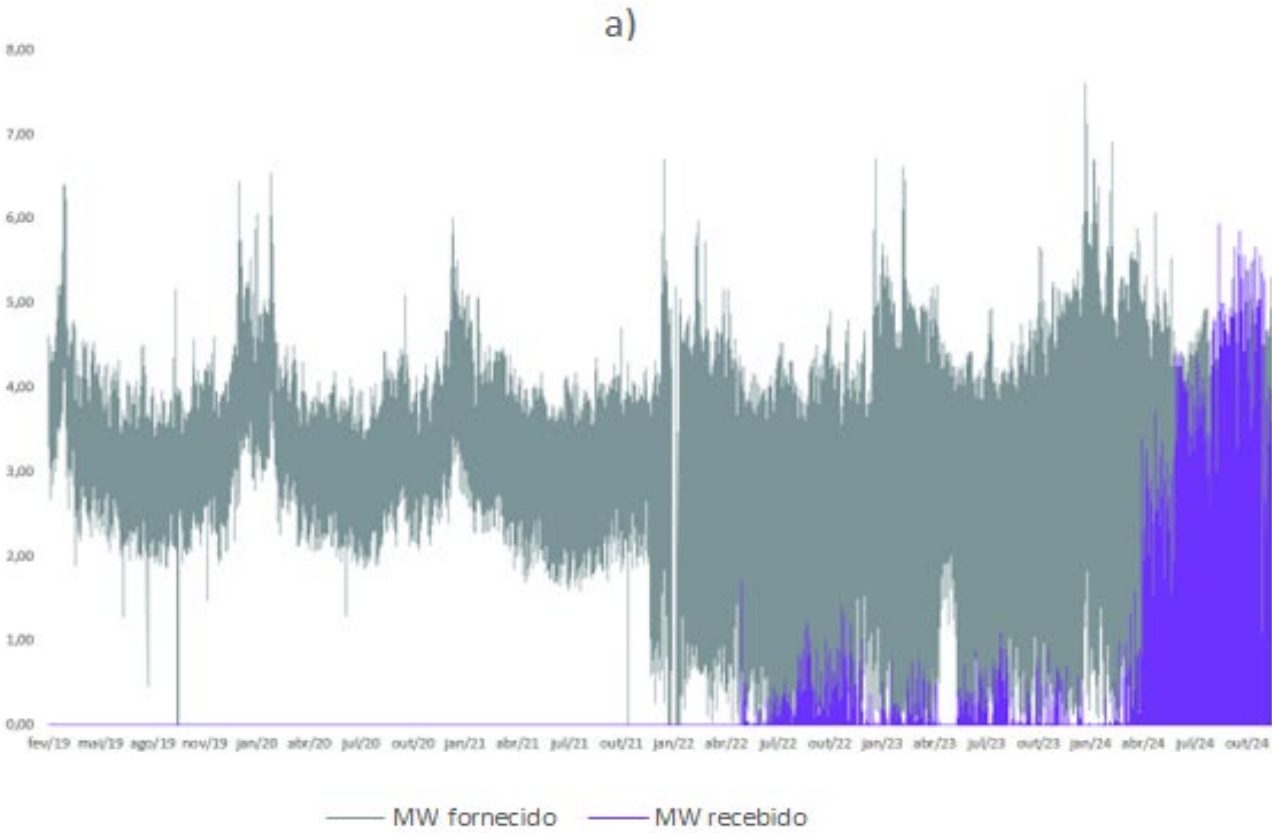
# Impactos na comutação automática de equipamentos

- Conforme Módulo 8 do PRODIST: tensão em regime adequada deve estar entre 1,05 pu a 0,93 pu, em MT, e 0,95 pu, em AT;
- Uma das principais ferramentas do SEP para atingir essa faixa de tensão são os comutadores de tap automáticos, **OLTC**, mediante **alteração eletromecânica** da relação de espiras;
- Com a evolução da penetração da MMGD, a direção do fluxo de potência passou a ser mais complexa, aumentando ainda mais a importância dos OLTC para manutenção dos níveis de tensão dentro dos limites regulatórios.



# Impactos na comutação automática de equipamentos

- a) Demanda ativa enviada e recebida horária;
- b) Demanda média de dias úteis;
- c) Potência instalada MMGD e média da variância da demanda líquida;
- d) Variância da demanda líquida — média anual; entre 2019 e 2024.




# Impactos na comutação automática de equipamentos

Comportamento do OLTC de transformadores de distribuição frente três cenários de relação carga e geração e suas respectivas potências de curto nos barramentos de alta.

Característica			Posição do tap				
Subestação	Curto circuito		0% Carga / 0% Geração	80% Geração	80% Carga	▲ Geração	▲ Carga
	Triásico	Simétrico MOD (MVA)					
SD Linhares	2300		1,00	1,01	1,09	0,01	0,09
SD Rio Quartel	1689		1,00	1,00	1,05	0,00	0,05
SD Pinheiros	575		1,00	1,00	1,13	0,00	0,13
SD Conceição da Barra	207		1,00	1,00	1,06	0,00	0,06
SD Vinhático	132		1,00	0,99	1,07	0,00	0,07
SD Pedro Canário	131		1,00	0,99	1,08	-0,01	0,08
SD Montanha	106		1,00	0,99	1,09	-0,01	0,09
SD Ponto Belo	81		1,00	0,97	1,13	-0,02	0,13

- Subestações com menores potências de curto são mais susceptíveis à variações de *tap*, por aumento da variância, motivada pelo balanço carga x geração no decorrer dos dias, **podendo levar ao desgaste precoce dos OLTCs.**

- 
1. **[Contextualização]** Evolução e perspectivas de penetração MMGD na área de concessão da EDP ES
  2. **[Pré Implementação]** Impactos sistêmicos na análise de novos acessantes
    1. Dinâmica de relação carga x geração norte EDP ES
    2. Esgotamento em subsistema de 69 kV
  3. **[Pós Implementação]** Impactos na operação do sistema
    1. Impactos na comutação automática de equipamentos
    2. Impactos na filosofia de operação de subestações

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**



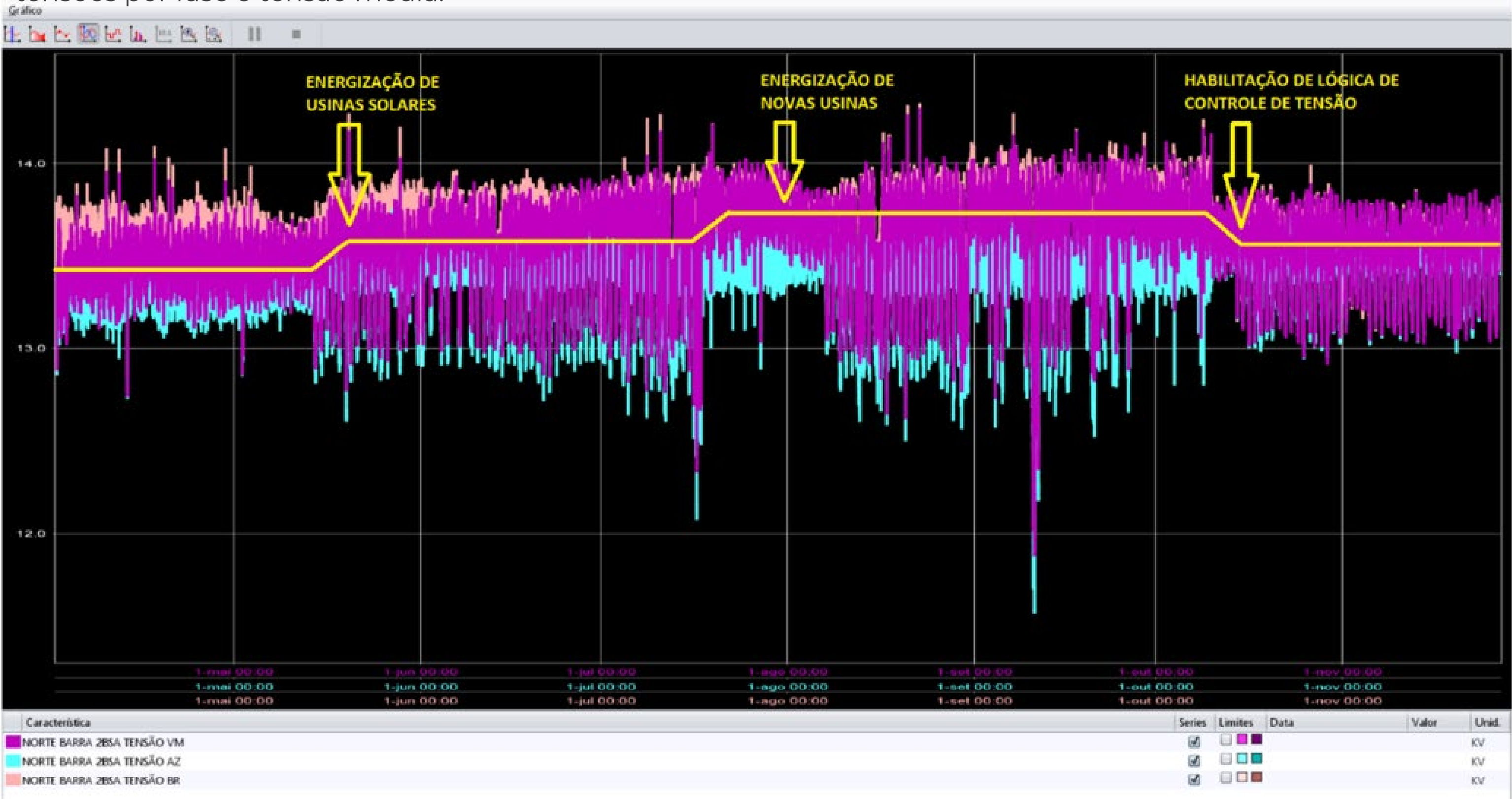


# Impactos na filosofia de operação de subestações

- Alguns desafios operacionais associados ao aumento da presença da geração distribuída:
  - perfis de curva de carga, incertezas quanto à precisão da carga bruta e líquida;
  - complexidade nas programações de desligamentos ou intervenções;
  - aumento na complexidade para execução de atividades de manutenção ou obras na rede;
  - sobretensão nas redes.
- Nesta sessão é abordado um exemplo prático de necessidade de intervenção que aconteceu na subestação Pedro Canário após a integração de diversas usinas, onde foi implementado **lógica no sistema supervisório** para mitigar o problema de sobretensão no período diurno na região de Pedro Canário, com controle dinâmico de tensão no barramento.

# Impactos na filosofia de operação de subestações

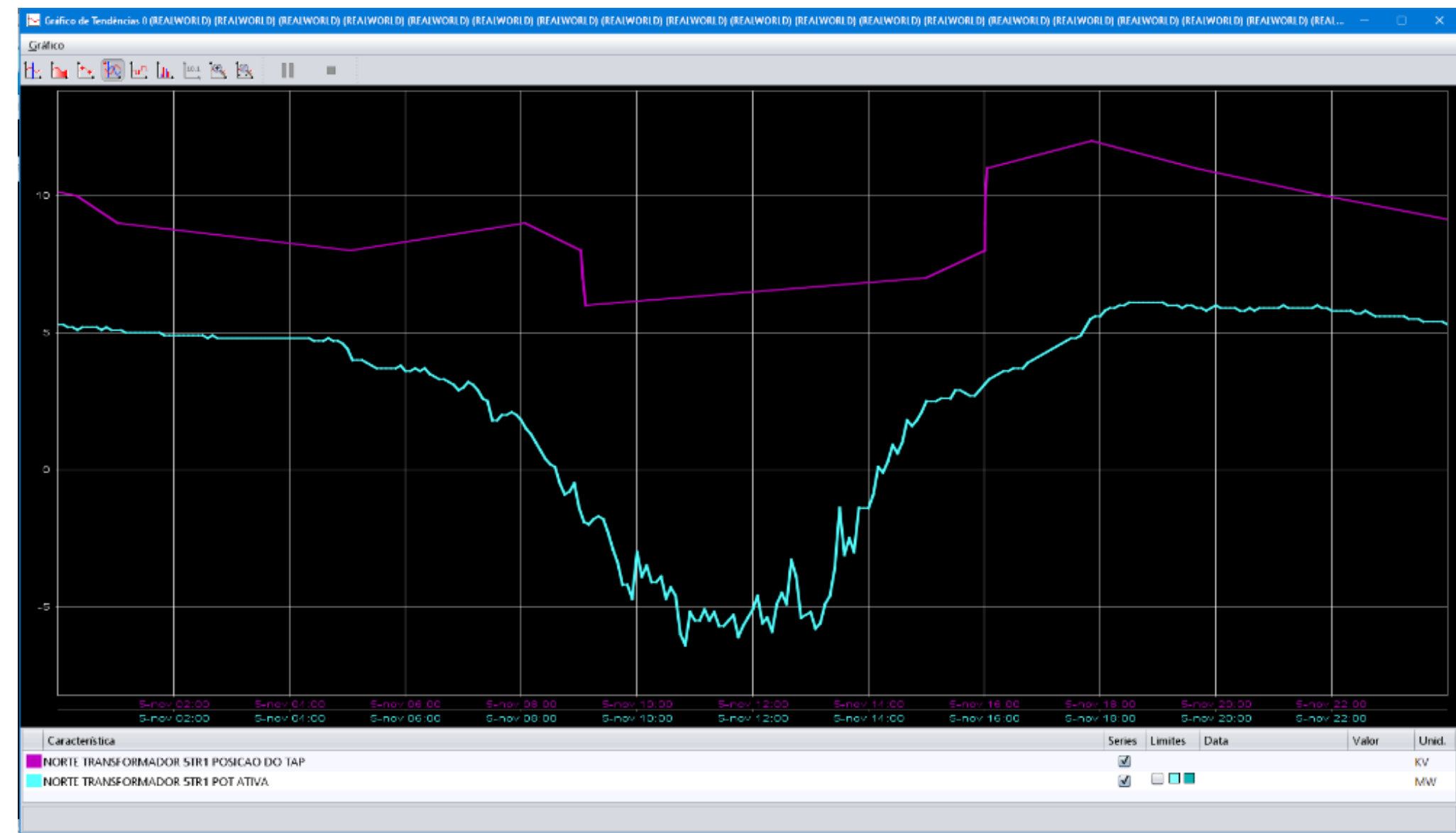
Perfil tensão nas barras de MT da subestação Pedro Canário durante o período de março até novembro de 2024, tensões por fase e tensão média.



# Impactos na filosofia de operação de subestações

- Lógica no sistema supervisorio de controle dinâmico de tensão no barramento, entre 08 e 16h:
  1. Bloqueio do relé controlador;
  2. Lógica com controle de tensão 1% mais baixo;
  3. Desbloqueia relé.
- A adoção de critérios mais flexíveis nas lógicas de controle de tensão permite limitar operações de OLTC, preservando equipamentos.

Potência, em MW, do transformador de Pedro Canário (ciano) e tap do comutador deste (magenta).





# Conclusões

Conclui-se que a experiência da EDP ES com o tema evidenciou:

- Importância de um **planejamento criterioso**;
- **Adaptação** contínua das **práticas operacionais**;
- Os estudos e intervenções realizados até o momento têm se mostrado eficazes, mas a **evolução contínua** do setor elétrico exigirá **monitoramento constante** e ajustes nas estratégias para garantir a **confiabilidade e eficiência do sistema**.

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**





OBRIGADO!