

# Análise Técnica-Financeira da Adoção de Curvas Volt-var e Volt-Watt em Geradores Distribuídos – ID 8071

**Autor:** *Vinicius C. Cunha*

**Coautor:** *Heliton O. Vilibor, Augusto Janssen, Rodrigo S. Bonadia, Tiago R. Ricciardi, Paulo C. Meira, Walimir Freitas*

**Empresas:** *Energy Research and Analytics (ERA), CPFL, UNICAMP*



XXV Seminário  
Nacional de  
Distribuição de  
Energia Elétrica

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

instituto  
**abradee**



**CEMIG**



# Introdução

- A presença massiva de **geração distribuída** nos sistemas de distribuição resulta em **impactos técnicos**
- **Exemplo:** Elevação de tensão transgredindo os limites adequados de fornecimento
- Neste contexto, a agência reguladora e as distribuidoras desejam avaliar os aspectos técnicos-financeiros não só de **soluções tradicionais** (e.g., recondutoramento), bem como **soluções emergentes** (e.g. controle dos inversores)

## **Capacidade instalada (BR)\***

- ✓ 31,1 GW
- ✓ 3.419.552 microgeradores
- ✓ 1 conexão a cada 10 seg.  
(considerando horário comercial)

## **Resolução Normativa ANEEL N° 1000**

§ 1º Caso a conexão nova ou o aumento de potência injetada de microgeração ou minigeração distribuída implique inversão do fluxo de potência no posto de transformação da distribuidora ou no disjuntor do alimentador, a distribuidora deve realizar estudos para identificar as opções viáveis que eliminem tal inversão, a exemplo de: ([Incluído pela REN ANEEL 1.059, de 07.02.2023](#))

I - reconfiguração dos circuitos e remanejamento da carga; ([Incluído pela REN ANEEL 1.059, de 07.02.2023](#))

II - definição de outro circuito elétrico para conexão da geração distribuída; ([Incluído pela REN ANEEL 1.059, de 07.02.2023](#))

III - conexão em nível de tensão superior ao disposto no inciso I do **caput** do art. 23; ([Incluído pela REN ANEEL 1.059, de 07.02.2023](#))

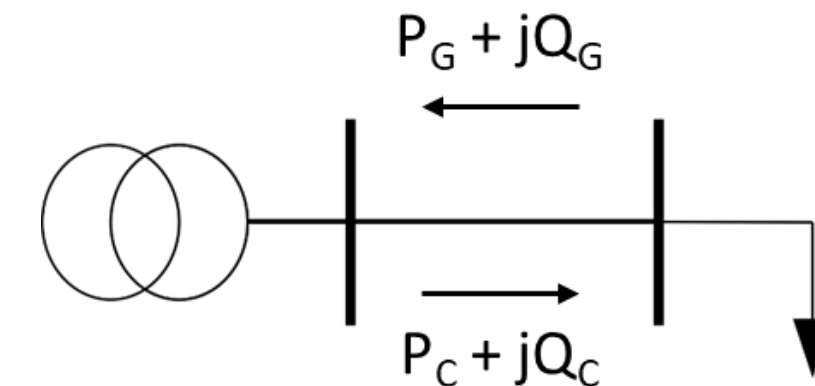
IV - redução da potência injetável de forma permanente; ([Incluído pela REN ANEEL 1.059, de 07.02.2023](#))

V - **redução da potência injetável** em dias e horários pré-estabelecidos ou de **forma dinâmica**; ([Incluído pela REN ANEEL 1.059, de 07.02.2023](#))

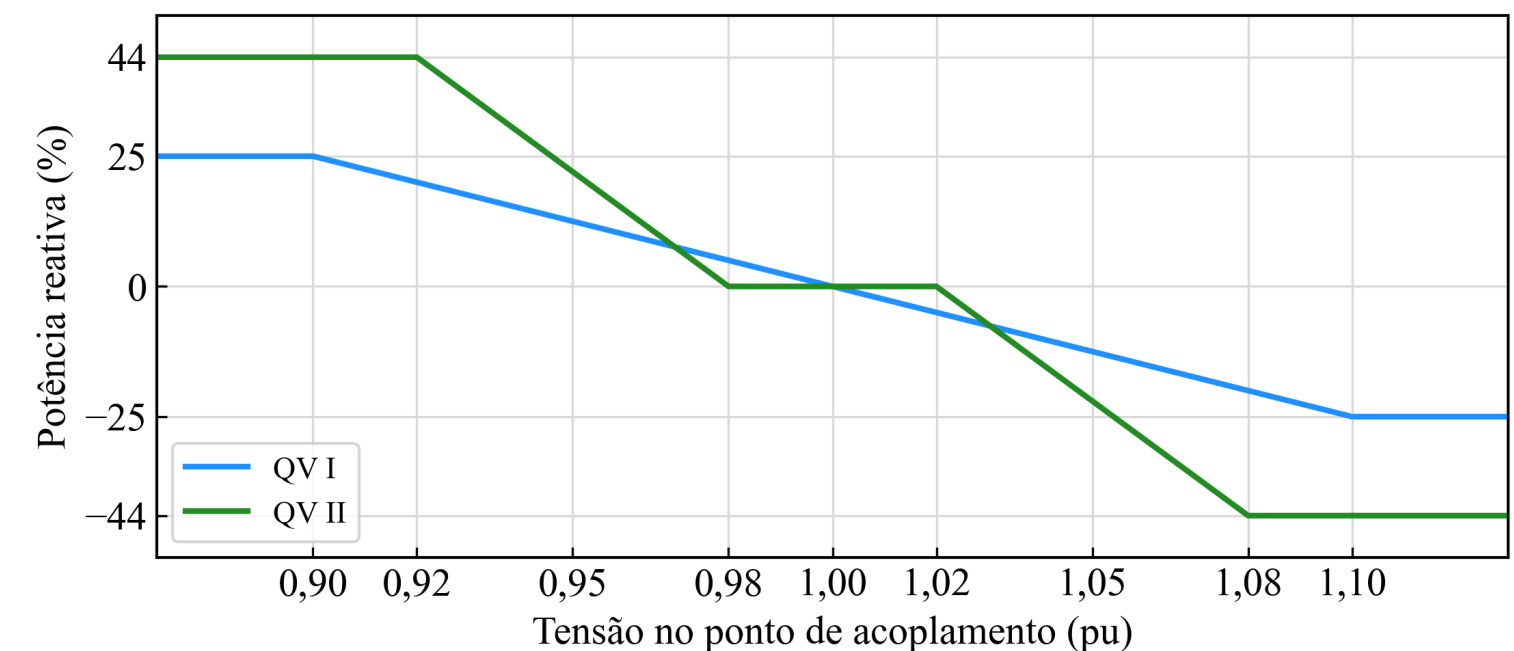
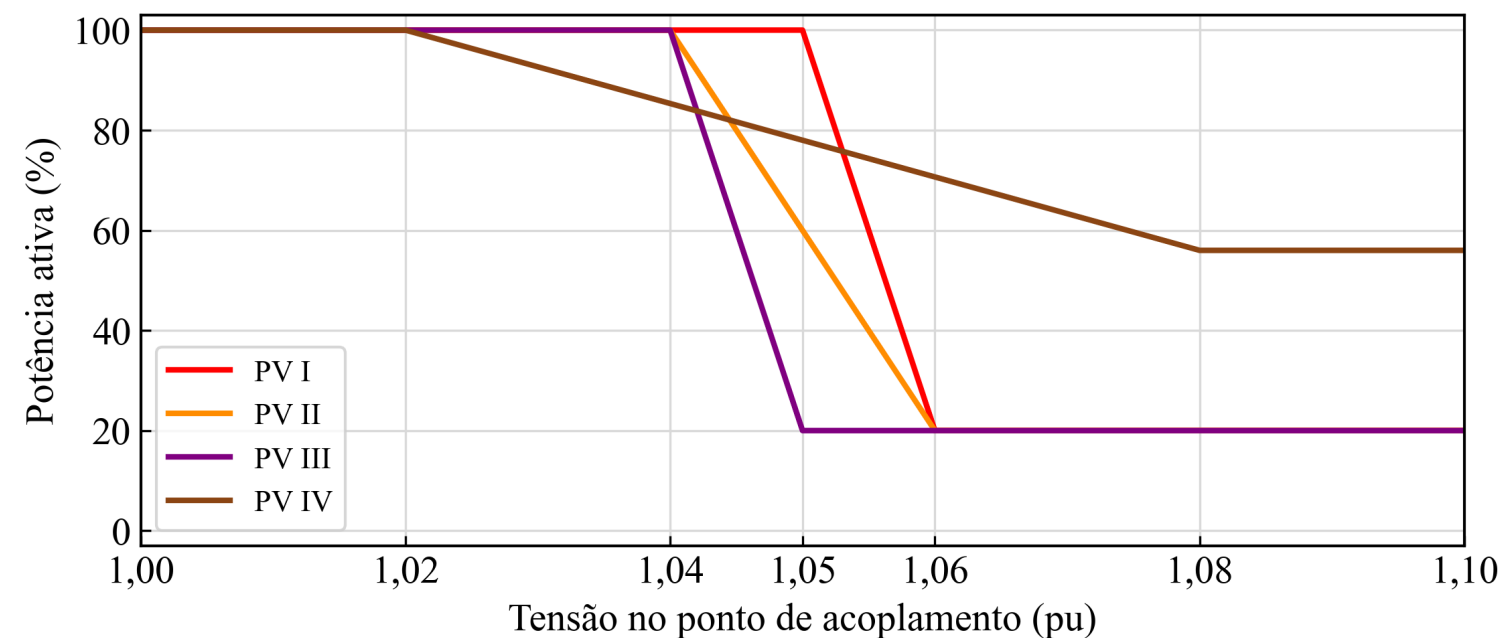


# Introdução: curvas Volt -Watt (PV) e Volt -var (QV)

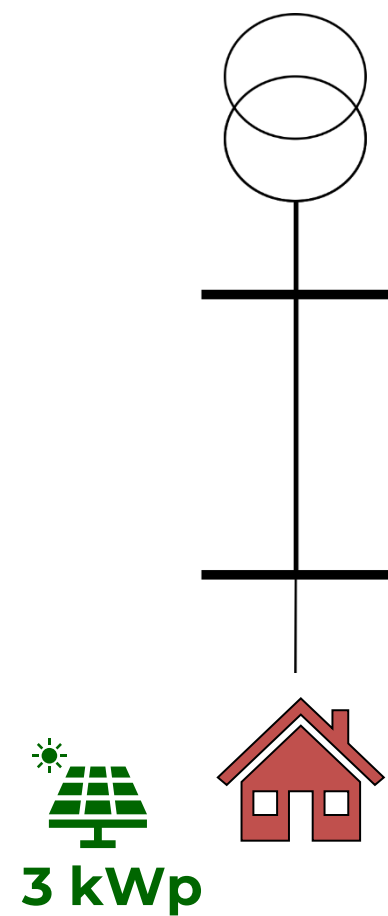
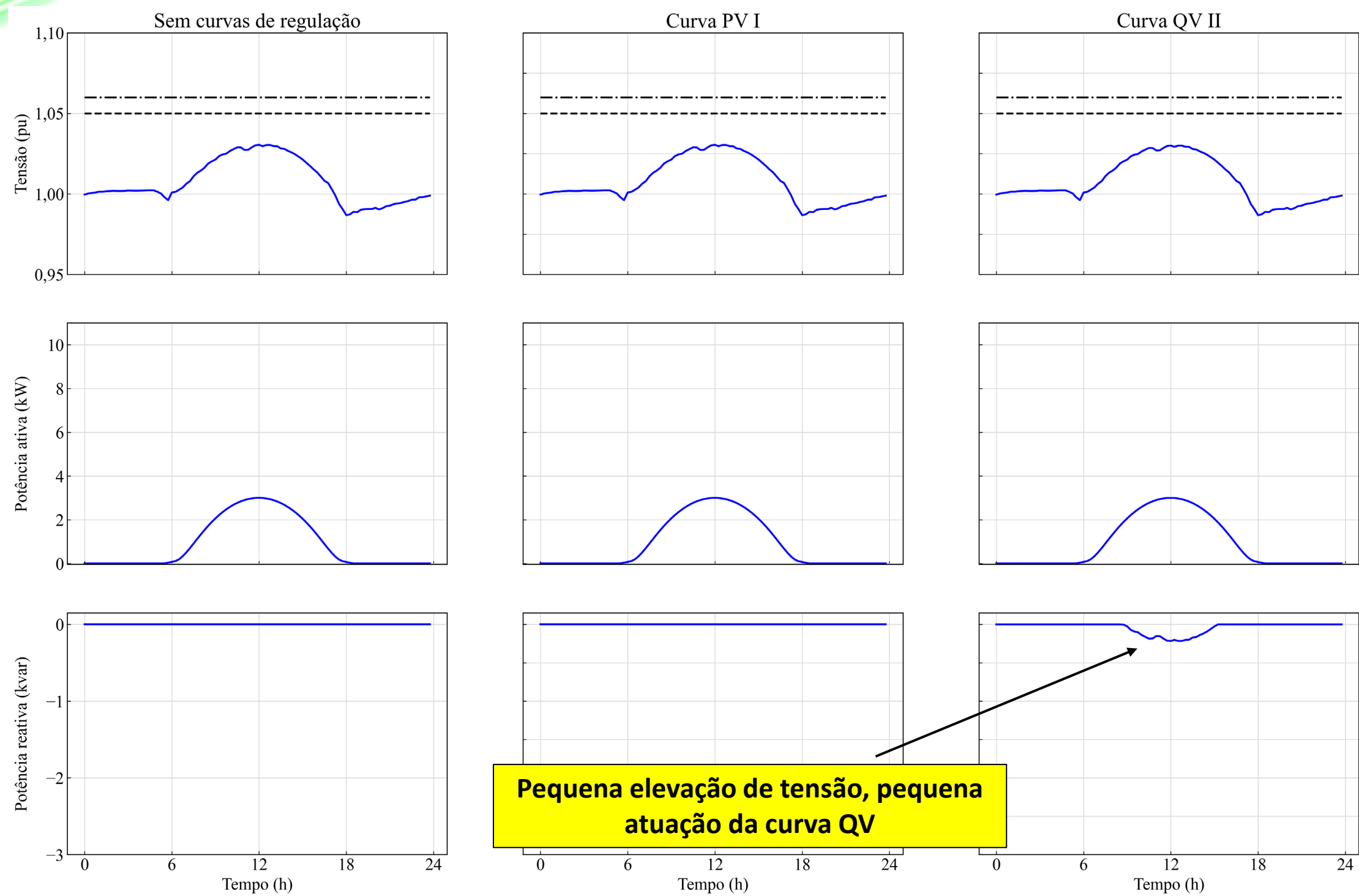
- **Curva Volt-Watt:** Aumento da tensão faz com que o limite máximo de injeção de potência ativa seja reduzido
- **Curva Volt-var:** Aumento de tensão faz com que haja aumento de absorção de potência reativa



$$\Delta V \approx \frac{R(P_G - P_C) + X(Q_G - Q_C)}{V}$$

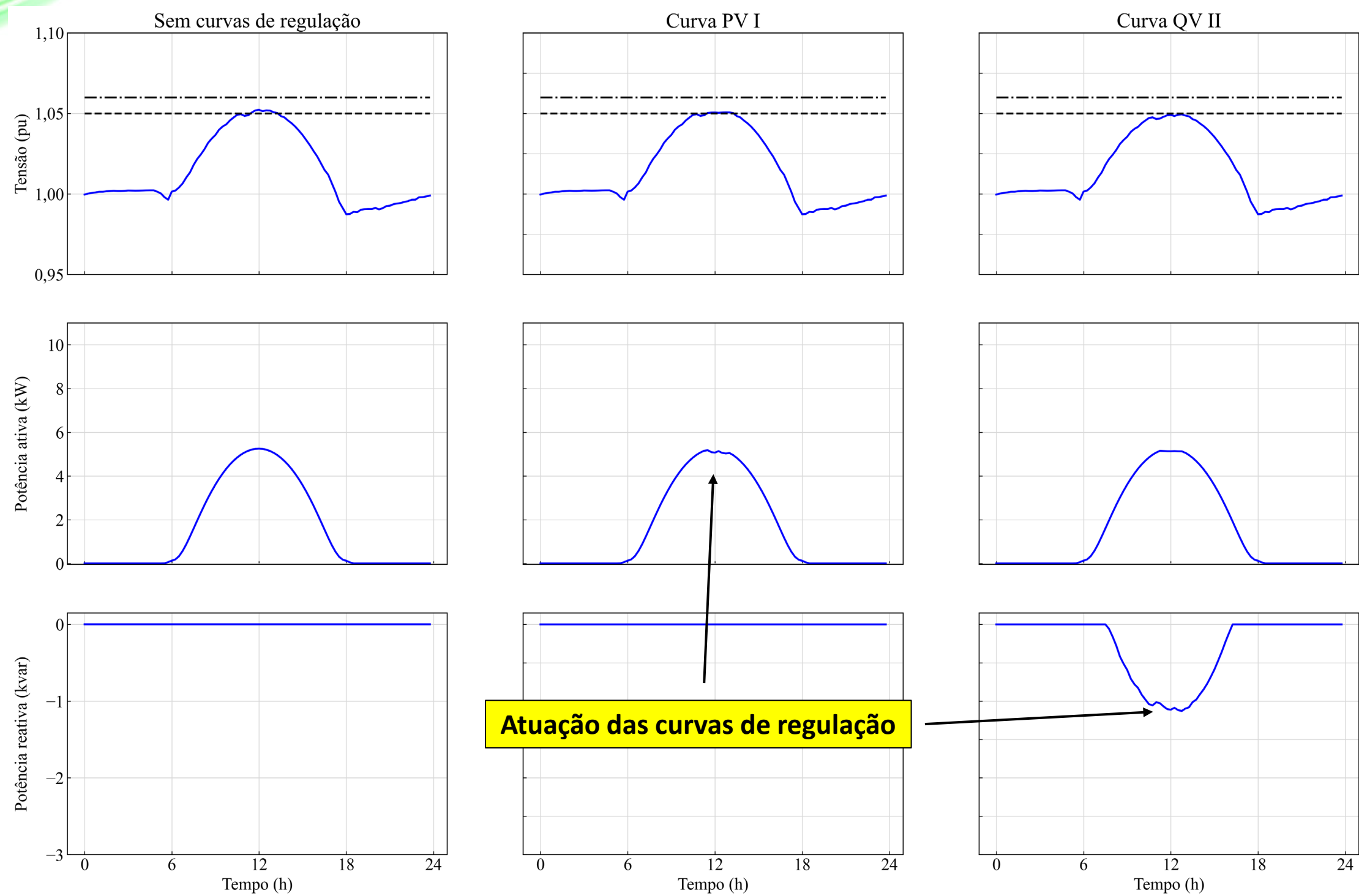


# Introdução: comparação das curvas de regulação PV e QV



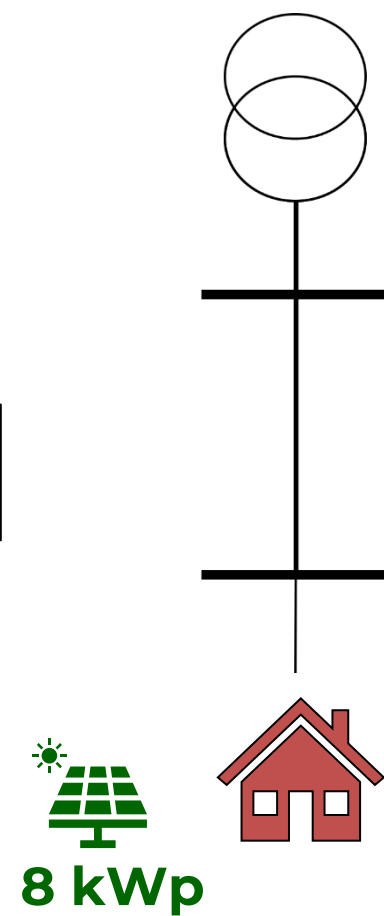
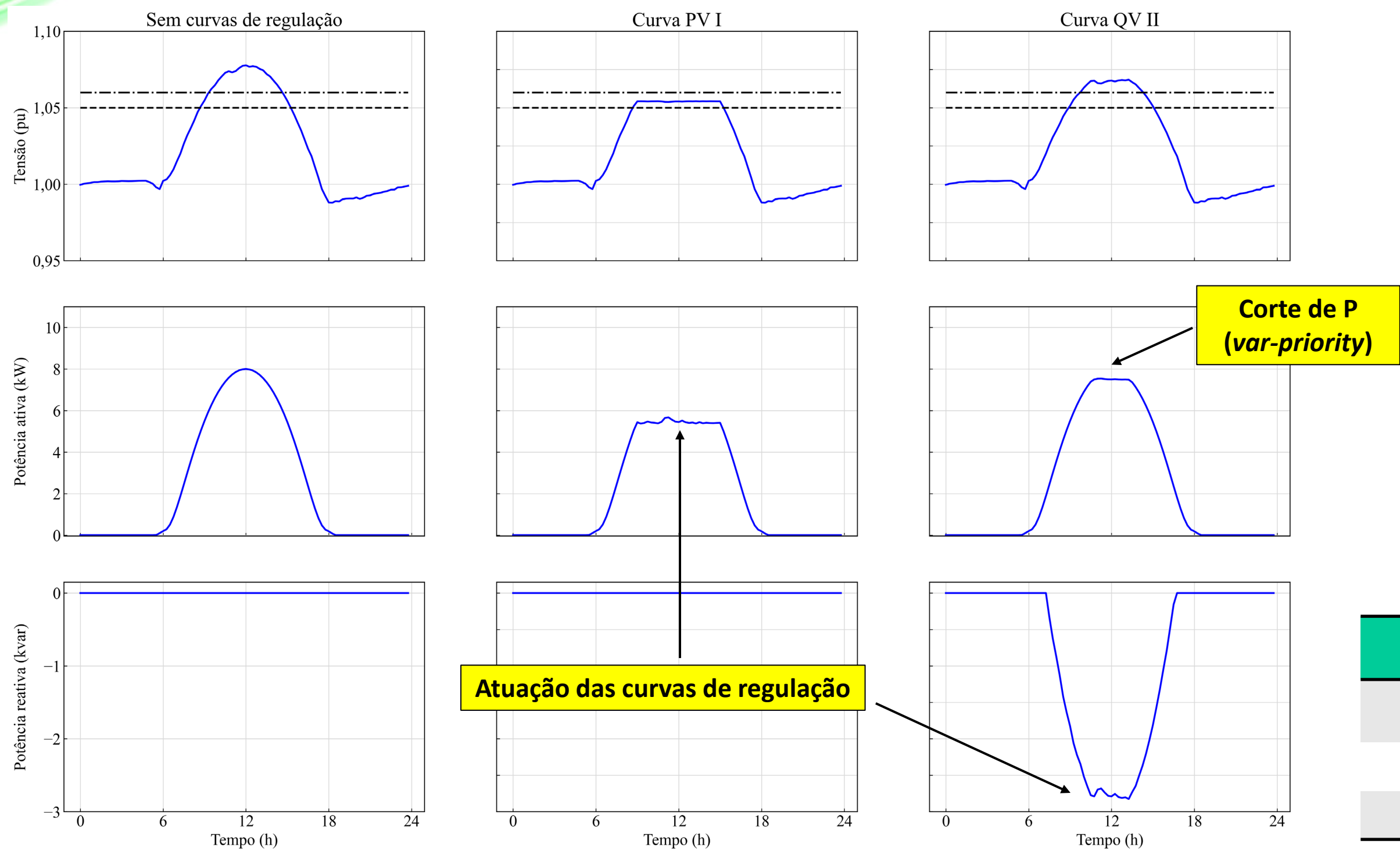
Cenário	I <sub>máxima</sub> (A)
Sem curvas de regulação	6,47
Curva PV	6,47
Curva QV	6,53

# Introdução: comparação das curvas de regulação PV e QV



Cenário	$I_{\text{máxima}}$ (A)
Sem curvas de regulação	11,93
Curva PV	11,51
Curva QV	12,22

# Introdução: comparação das curvas de regulação PV e QV



Cenário	I <sub>máxima</sub> (A)
Sem curvas de regulação	18,32
Curva PV	12,41
Curva QV	18,92

# Objetivos

- Os estudos presentes nesta apresentação são relacionados à segunda frente presente no projeto de P&D ANEEL PD-00063-3085
- Esta frente tem como objetivo avaliar metodologias de solução de compromisso para estabelecer critérios de requisitos mínimos de **curvas de regulação** de geradores distribuídos conciliando os requisitos do SIN, dos sistemas de distribuição e dos acessantes (Demanda ANEEL/Distribuidoras/Consumidores – **Tomada de Subsídios 11/2021**)
- No âmbito desta apresentação, serão avaliados os seguintes questionamentos:
  - As curvas **Volt-var** (QV) e **Volt-Watt** (PV) contribuem para a melhora na qualidade de energia em regime permanente no contexto de elevada penetração de microgeração?
  - Quais são os **custos** e **benefícios** para a distribuidora?
  - Quais são os **impactos** e **benefícios** para o acessante?

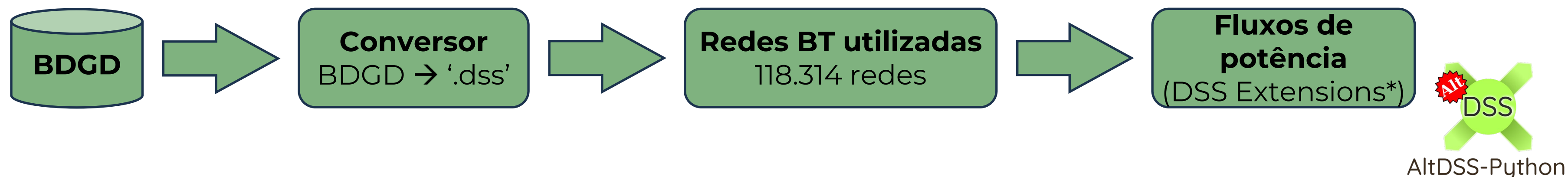


# Metodologia: simulações (fluxo de potência)

- Simulam-se as redes secundárias com aumento progressivo de penetração de microgeradores através de fluxos de potência série-temporais
- Nível de penetração:  $\frac{n^{\circ} \text{ geradores}}{n^{\circ} \text{ cargas elegíveis para receber geradores}}$
- Penetrações avaliadas = 0, 10, 20, 30, ..., 100%
- Ordem de conexão de microgeradores aleatória (probabilidade uniforme)

## Métricas armazenadas:

- Violações de limites de **tensão**:
  - ✓ sobretensão precária e crítica nos consumidores
- Sobrecorrentes nas **linhas**
- **Corte de geração** por acessante





# Metodologia: cálculo de custos

## Perspectiva acessante

- Energia não gerada (R\$)\*:

$$C_{corte} = TUSD \cdot E_{corte} + TE \cdot E_{corte}$$

## Perspectiva concessionária

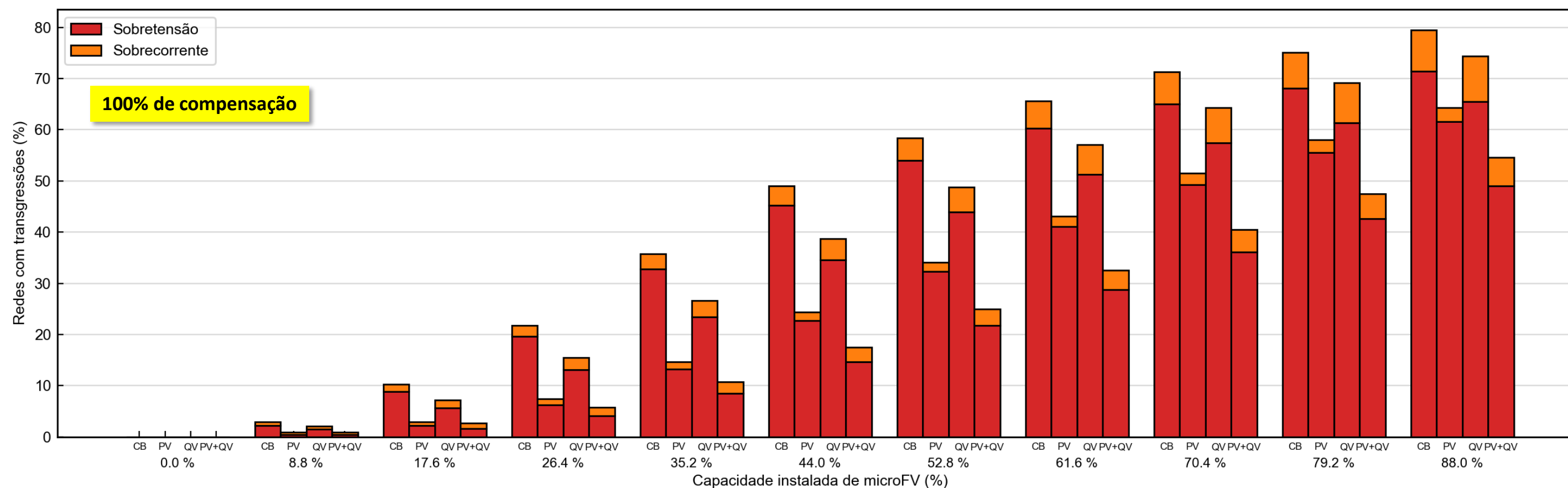
- Transgressão de tensão (R\$):

$$C_{transg} = \left[ \left( \frac{DRP - DRP_{lim}}{100} \right) k_1 + \left( \frac{DRC - DRC_{lim}}{100} \right) k_2 \right] \cdot EUSD$$

\*Por conta do Sistema de Compensação de Energia, a energia não gerada necessita ser comprada da distribuidora

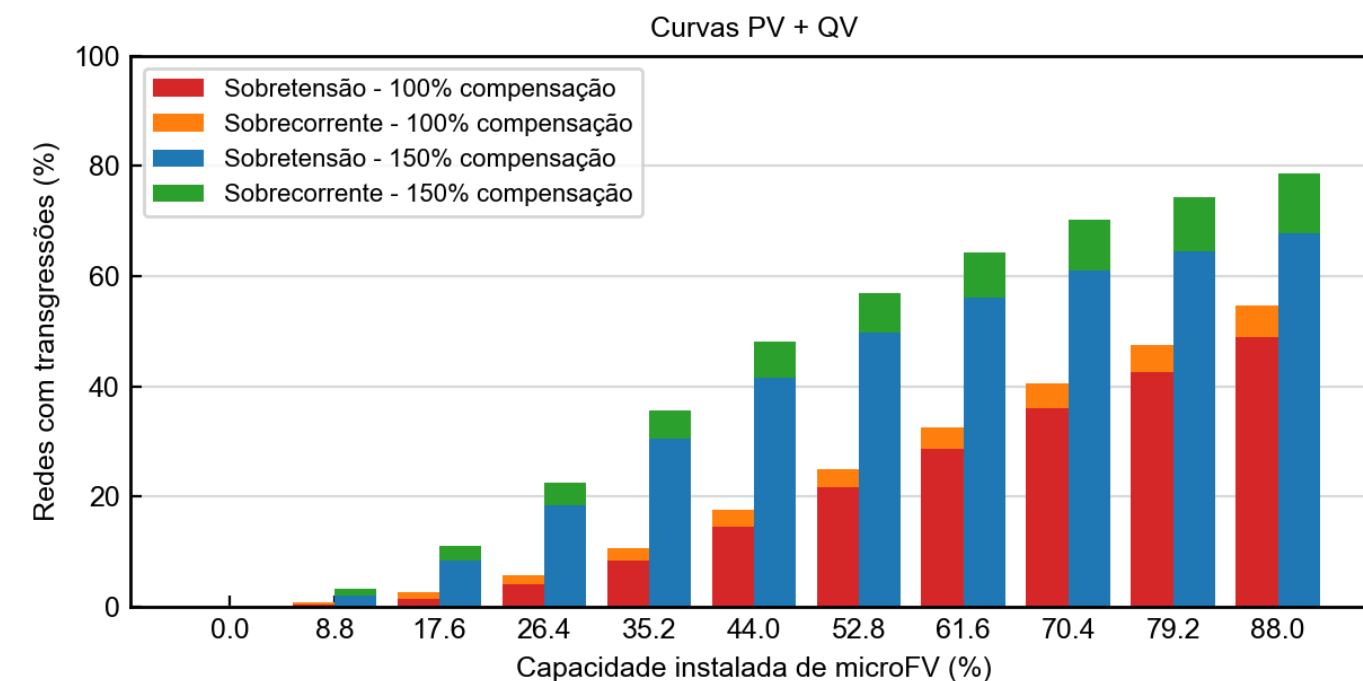
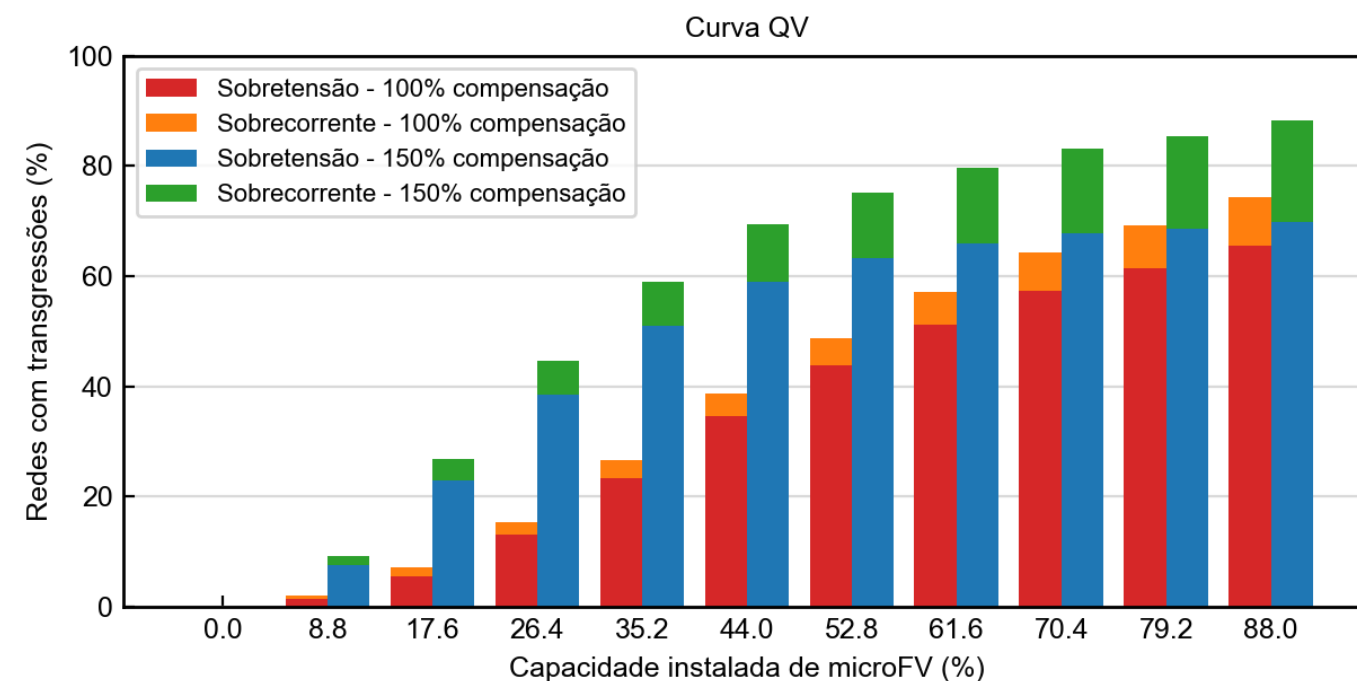
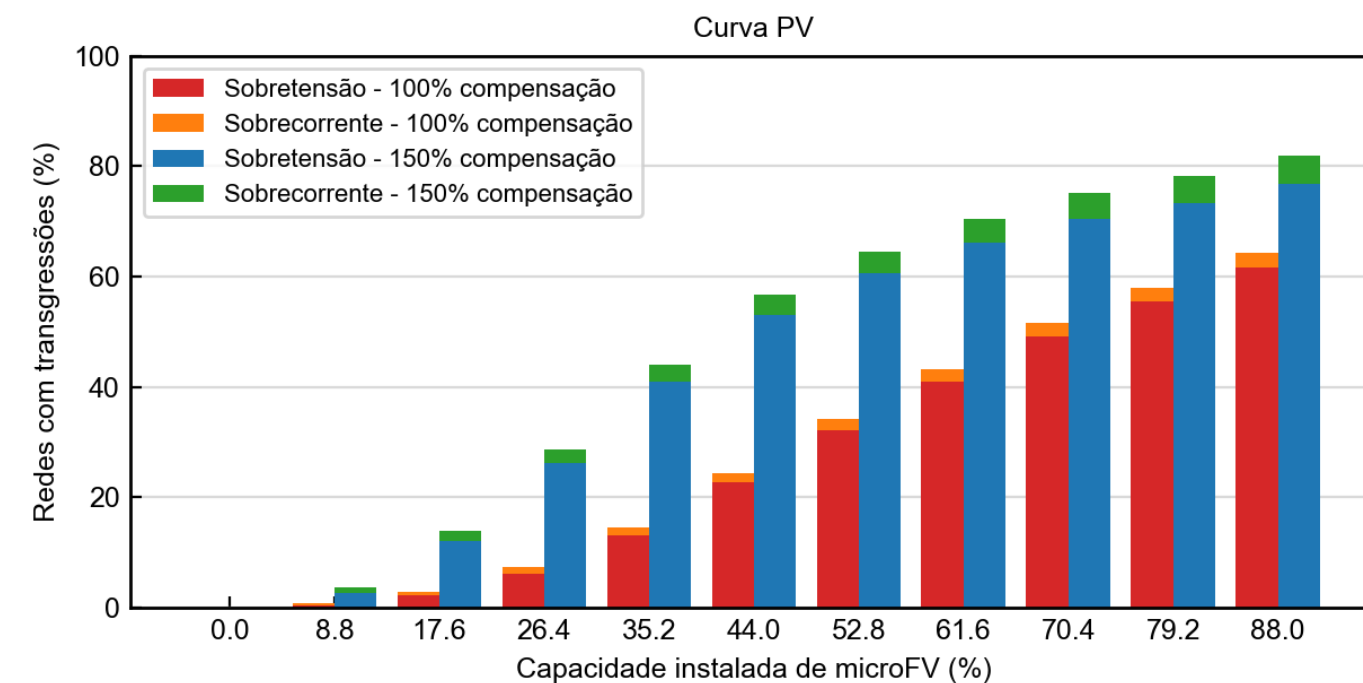
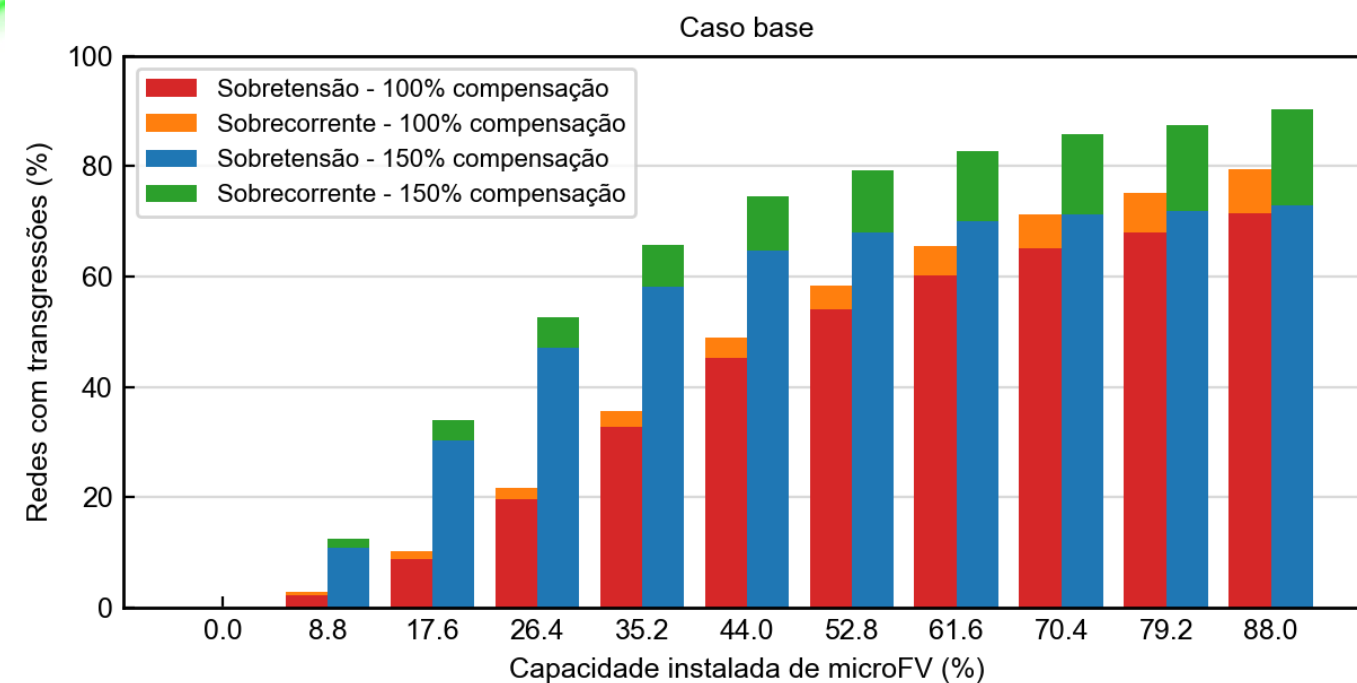
# Resultados: redes com transgressões

- A eficiência das curvas de regulação (i.e. diminuir o número de redes com transgressões) reduz em relação ao caso sem curvas de regulação (Caso Base – CB) à medida que a penetração FV aumenta
- A Curva PV tende a apresentar melhor desempenho na mitigação do número de redes com transgressões em relação à curva QV
- A Curva QV tende a aumentar o número de redes com problema de sobrecorrente (transformação de um problema de tensão em um problema de carregamento de condutores)



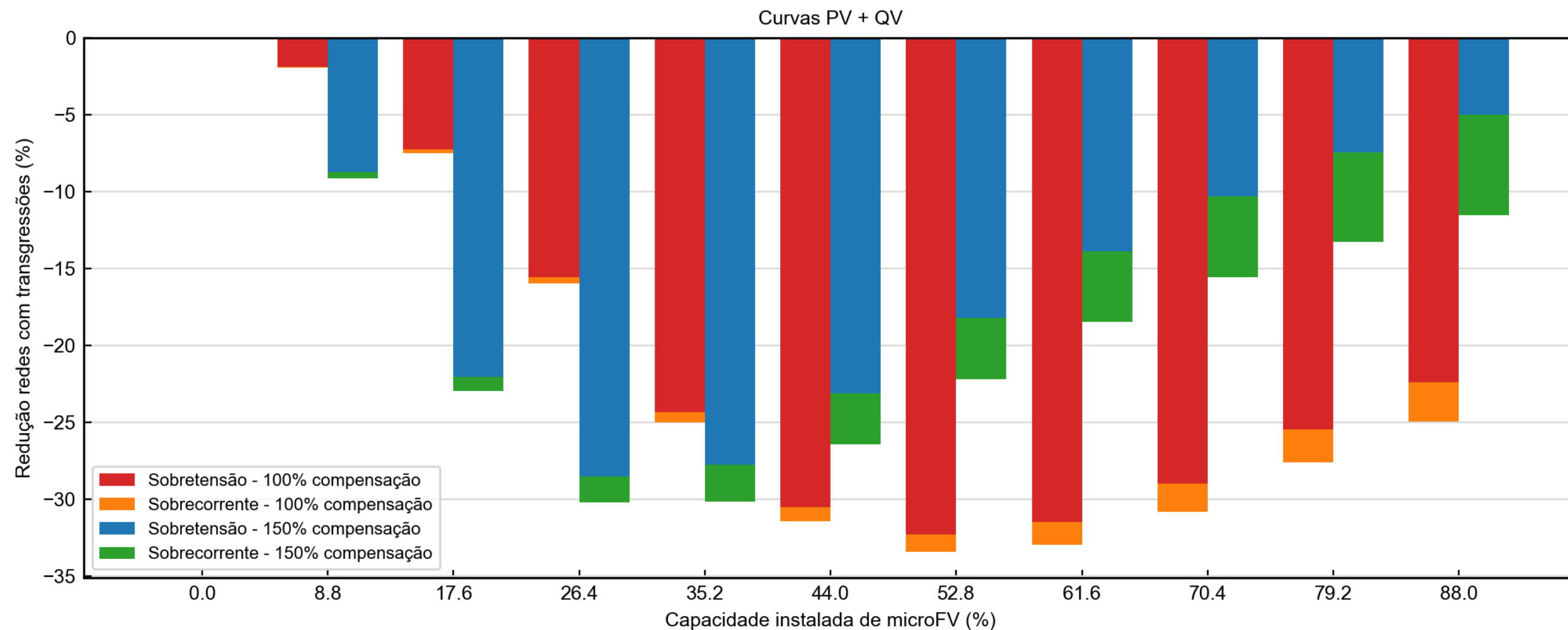
# Resultados: impacto dimensionamento microgeração FV

- A eficiência das curvas de regulação é negativamente impactada pelo sobredimensionamento da microgeração FV (exemplo, compensação remota)



# Resultados: impacto dimensionamento microgeração FV

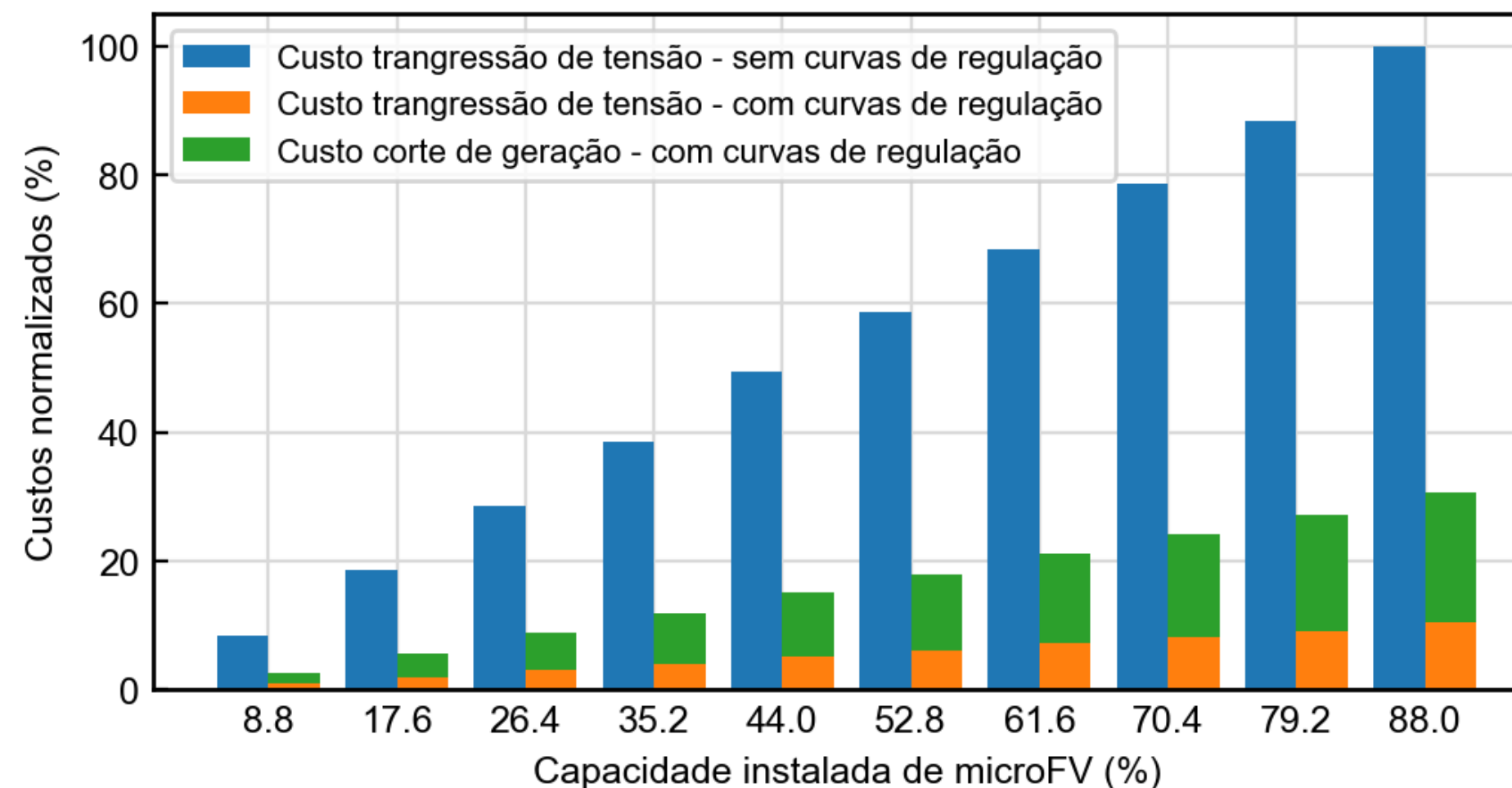
- A eficiência das curvas de regulação é negativamente impactada pelo sobredimensionamento da microgeração FV (exemplo, compensação remota)





# Resultados: distribuição dos custos com a aplicação das curvas de regulação

- Caso estudado: Curvas PV e QV combinadas
- Os custos são normalizados considerando o valor de transgressão de tensão para a penetração de 100%
- Há uma mitigação expressiva dos custos ao se considerar as curvas de regulação
- A maior parcela do custo remanescente ocorre para o acessante (corte de geração)



# Comentários finais

- ✓ As Curvas PV e QV podem mitigar as transgressões de tensão em consumidores
- ✓ Os custos relacionados às transgressões de tensão são expressivamente reduzidos com a utilização dessas curvas de regulação
- ✓ Contudo, a aplicação das curvas de regulação faz com que o custo de **corte de energia** para os acessantes seja ainda maior do que os custos de transgressão de tensão remanescentes
- ✓ Ademais, a eliminação do problema de transgressão de tensão não é atingida para maioria das redes BT sobretudo em elevadas penetrações de microgeração FV (**necessidade de reforços de rede**)





**OBRIGADO!**