



# Baterias atrás do medidor

## Aplicações e viabilidade econômica

---

25 de Maio de 2023

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA

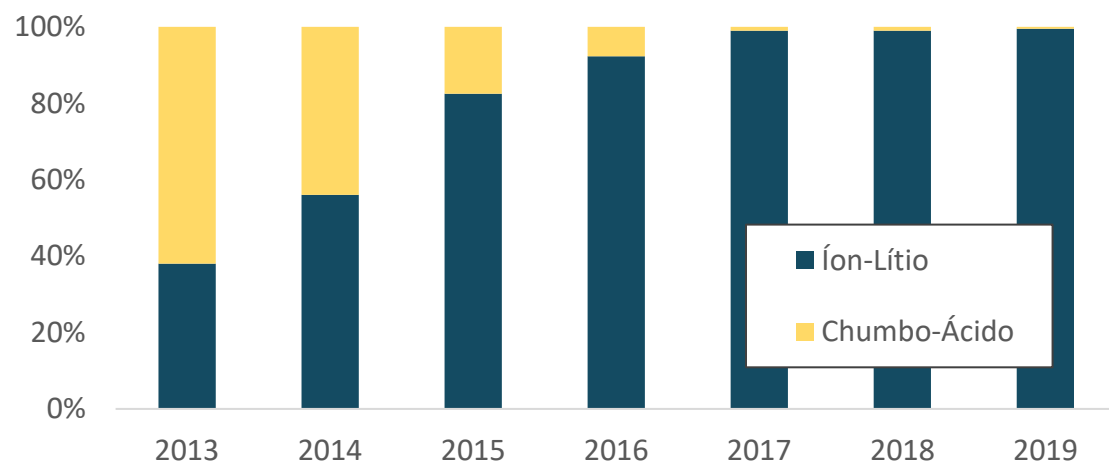
GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

# Contexto Internacional

## Contexto Internacional

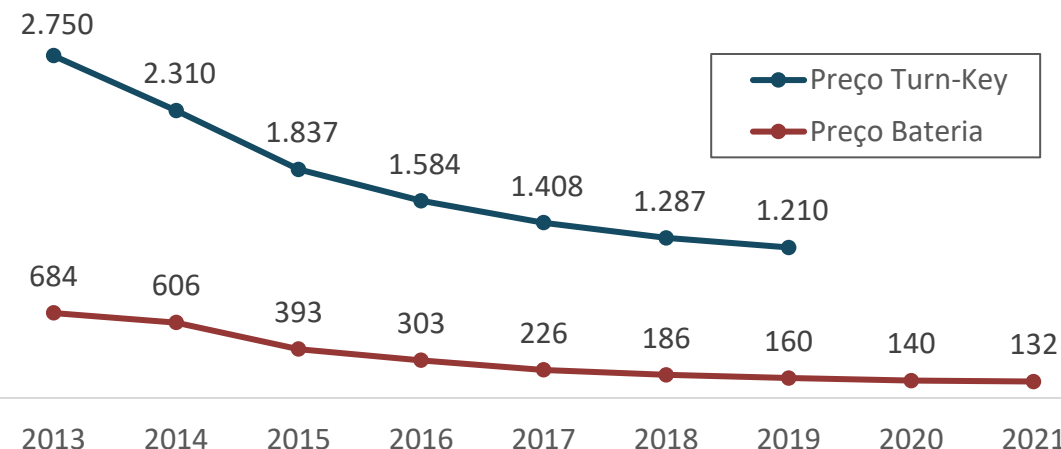
- Mercado de baterias em grande expansão no mercado externo, para atendimento da indústria de eletrônicos, veículos elétricos e de eletricidade;
- Tecnologia de íon-lítio se tornando predominante (figura abaixo);
- Aplicação por consumidores residenciais e comerciais tem se popularizado em função da redução do custo e de desenhos tarifários que incentivam o deslocamento do consumo ou o armazenamento da geração distribuída excedente.

## Market share por tecnologia para baterias residenciais na Alemanha



Fonte: Figgner et al. (2021)

## Preço turn-key de sistemas de baterias na Alemanha vs. preço mundial de baterias de íon-lítio (valores médios em USD/kWh)



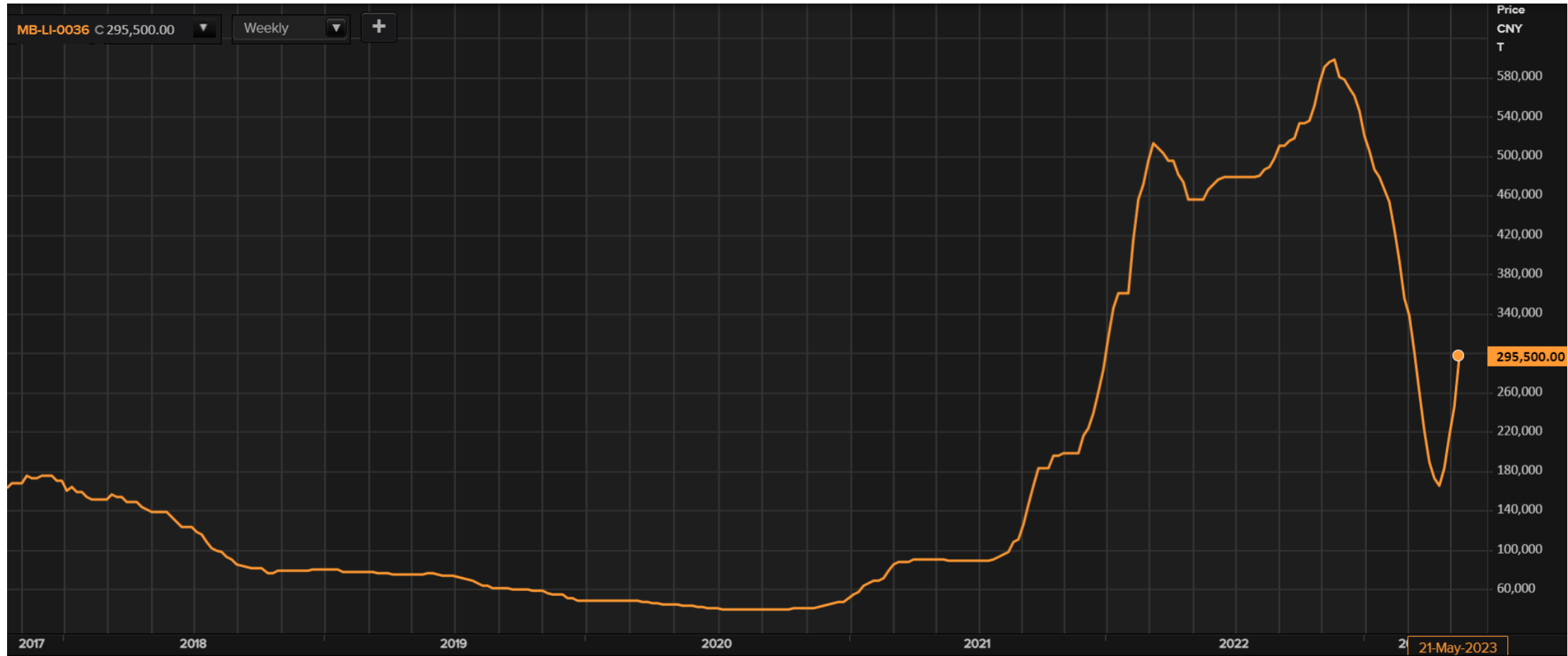
Notas: (1) Preço turn-key de sistemas entre 5 e 10 kWh; (2) Considera taxa de câmbio de 1,1 USD = 1 EUR.

Fontes: BloombergNEF (2021) e Figgner et al. (2021)

Dados da BloombergNEF apontam um custo internacional de US\$ 132/kWh para packs de baterias. No entanto, esse preço é verificado especialmente em veículos elétricos, e não inclui a instalação, equipamentos adicionais, margens de venda, etc., necessários em sistemas estacionários. Dessa forma, o preço da solução completa costuma ser bem superior.

# Preços do lítio continuam acima dos níveis pré-pandemia

MBI Lithium carbonate 99.5% Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> min battery Grade Spot Price range EXW Domestic China



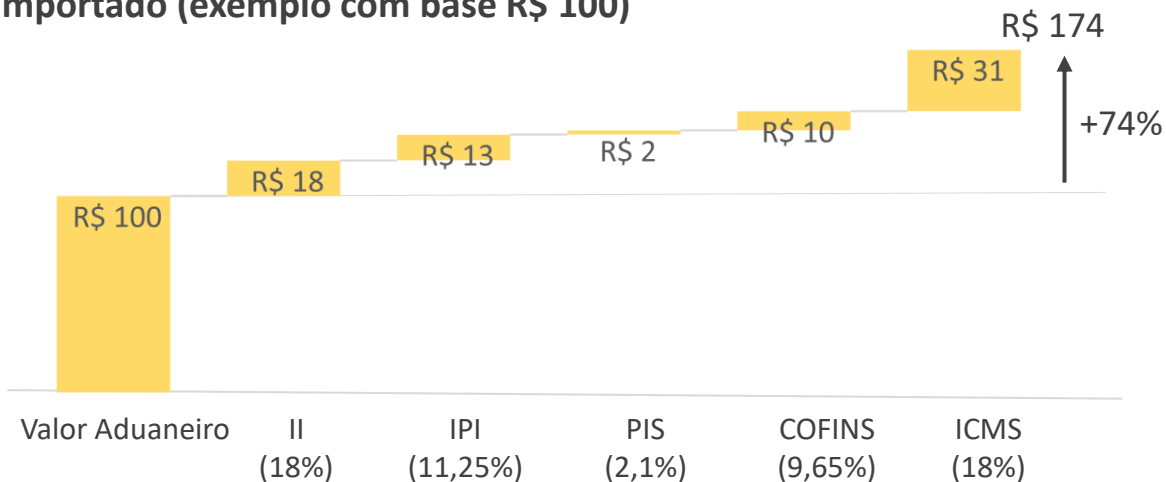
Fonte: Refinitiv

# Preço de baterias ao consumidor final no Brasil

## Preço no Brasil

- Estudo da Greener e Newcharge (2021) considera valor de R\$ 4.000/kWh como referência para o Brasil para sistemas comerciais de grande porte. No entanto, esse valor pode variar de acordo com o fornecedor, com a escala e configuração do empreendimento.
- Estima-se que atualmente haja um aumento de 74% no preço final das baterias em função da incidência de tributos (figura abaixo).

## Efeito tributário sobre o preço de um sistema de baterias de lítio importado (exemplo com base R\$ 100)

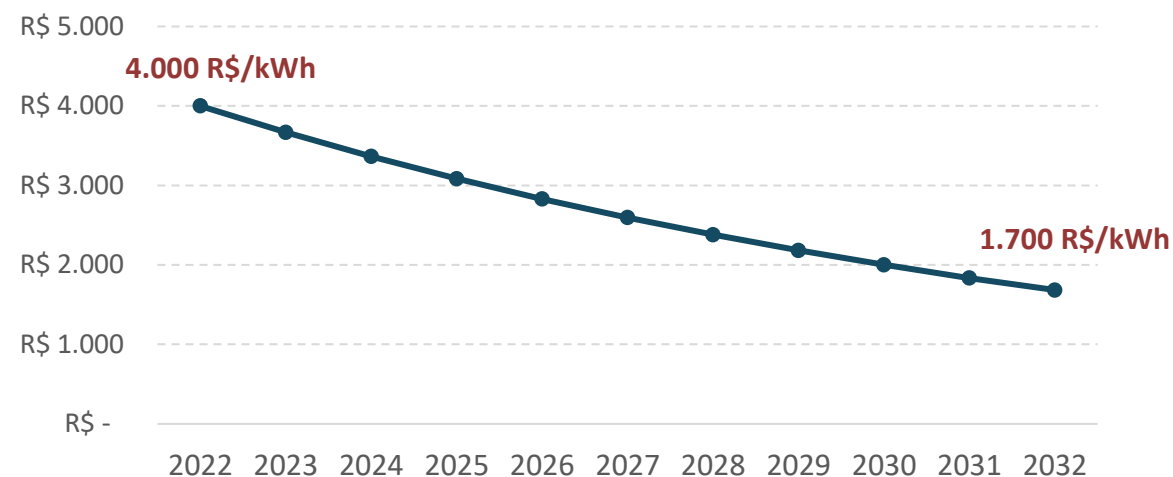


Nota: Números representam simulação feita para o NCM 8507.60.00 no [Simulador da Receita Federal](#), em 12/08/2022. A base de cálculo pode variar de acordo com o tributo.

## Qual será o preço das baterias em 2032?

- Em termos internacionais, o estudo de Schmidt et al. (2019) aponta uma queda no CAPEX de baterias de íon-lítio de 8,3% a.a. entre 2020 e 2030;
- Aplicando-se esse percentual anual de redução entre 2022 e 2032, se estima um preço final na faixa de R\$ 1.700/kWh em 2032;
- No entanto, a desoneração de alguns tributos nacionais poderia levar a preços ainda menores nos próximos dez anos.

## Simulação de redução do preço de baterias no BR (R\$/kWh)



# Contexto nacional e aplicações simuladas

## Contexto Nacional

- Com exceção de aplicações em sistemas remotos, ainda há pouca difusão de baterias para uso junto às unidades consumidoras;
- A regulação da MMDG no Brasil não favorece o armazenamento da geração. É como se a rede funcionasse como uma bateria para o gerador;
- A REN nº 1.000 da ANEEL e o Módulo 3 do PRODIST autorizam a conexão de sistemas de armazenamento em unidades consumidoras.

## Principais aplicações para o uso de armazenamento atrás do medidor no Brasil

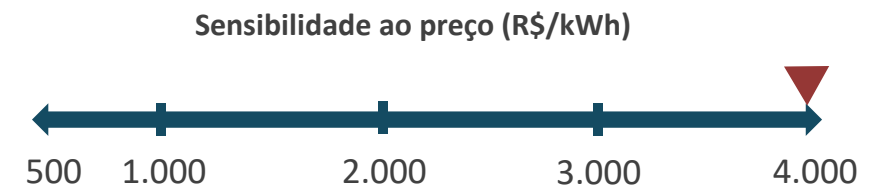
	Tarifa BT Convencional	Tarifa BT Branca	Tarifa A4 (Verde ou Azul)
Backup e qualidade	✓	✓	✓
Redução do pico da demanda	X	X	✓
Deslocamento do consumo	X	✓ Avaliado no PDE	✓ Avaliado no PDE
Aumento do autoconsumo da MMDG	✓ Avaliado no PDE	✓	✓

## Aplicações simuladas neste caderno:

- Gestão do consumo com tarifa branca para consumidores atendidos em baixa tensão (BT);
- Gestão do consumo com tarifa A4 – Verde para consumidores atendidos em média tensão. Simulação somente da bateria e também em comparação com solução diesel;
- Aumento do autoconsumo fotovoltaico para consumidores BT que possuem sistema de microgeração distribuída.

## Sensibilidade ao preço do sistema de armazenamento

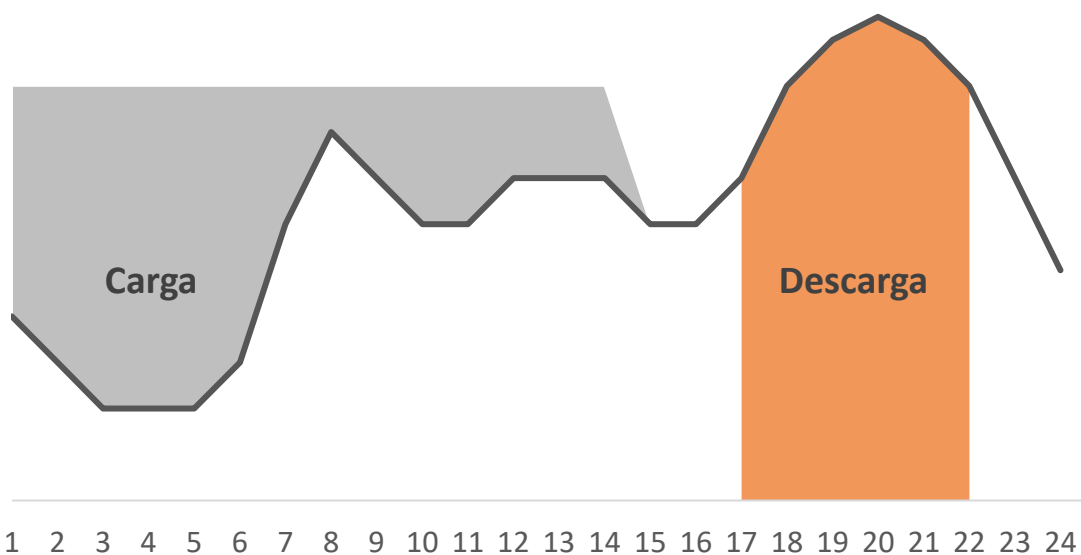
- Devido à incerteza no preço das baterias e sua perspectiva futura, a EPE realizou as simulações com preço final de R\$ 500 a R\$ 4.000/kWh. Com essa sensibilidade, o leitor pode estimar a viabilidade com base em diferentes valores.



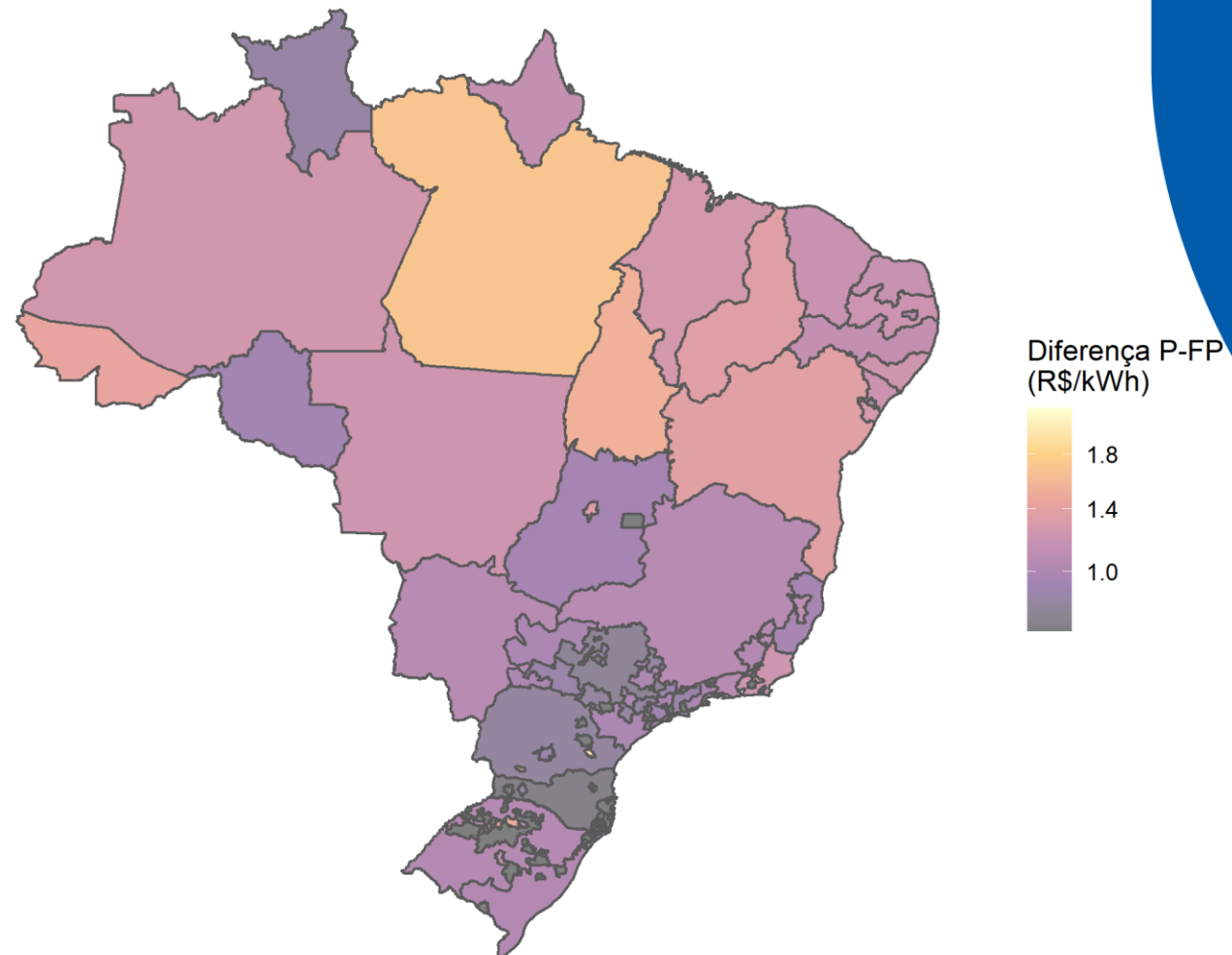
# Aplicação I: Gestão do consumo com Tarifa Branca

- Desde 2018, consumidores atendidos em baixa tensão podem optar pela Tarifa Branca, com tarifas diferenciadas ao longo do dia;
- As baterias podem ser utilizadas para deslocar o consumo da ponta para fora da ponta. Quanto maior a diferença entre as tarifas, maior a atratividade;
- Diferença entre Tarifa de Ponta e Fora Ponta na Tarifa Branca é menor do que a diferença nas Tarifas do Grupo A.

## Ilustração do funcionamento das baterias para a aplicação I

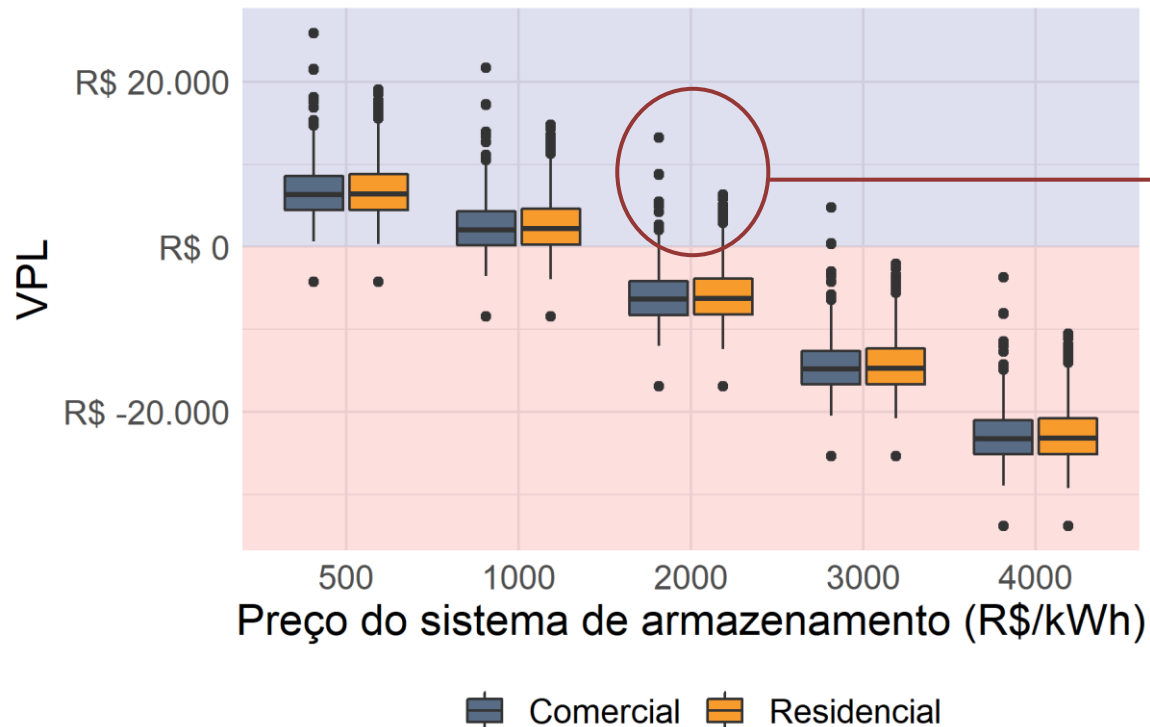


## Diferença entre Tarifa Ponta menos Tarifa Fora Ponta, com impostos



# Aplicação I: Gestão do consumo com Tarifa Branca

Distribuição do VPL do investimento em baterias para gestão do consumo com Tarifa Branca. Análise para diferentes distribuidoras.



- Com o preço atual de R\$ 4.000/kWh, a aplicação I é inviável economicamente para todos os consumidores simulados e em todas as distribuidoras.
- Com preço de R\$ 2.000/kWh, em algumas (pequenas) distribuidoras há viabilidade (VPL positivo):

EFLUL  
COCEL  
Equatorial PA  
Energisa Nova Friburgo  
EFLJC  
Energisa TO  
Energisa AC  
Eletrocar  
HIDROPAN

↑  
Maior Viabilidade

↓  
Menor viabilidade (VPL ≈ 0)

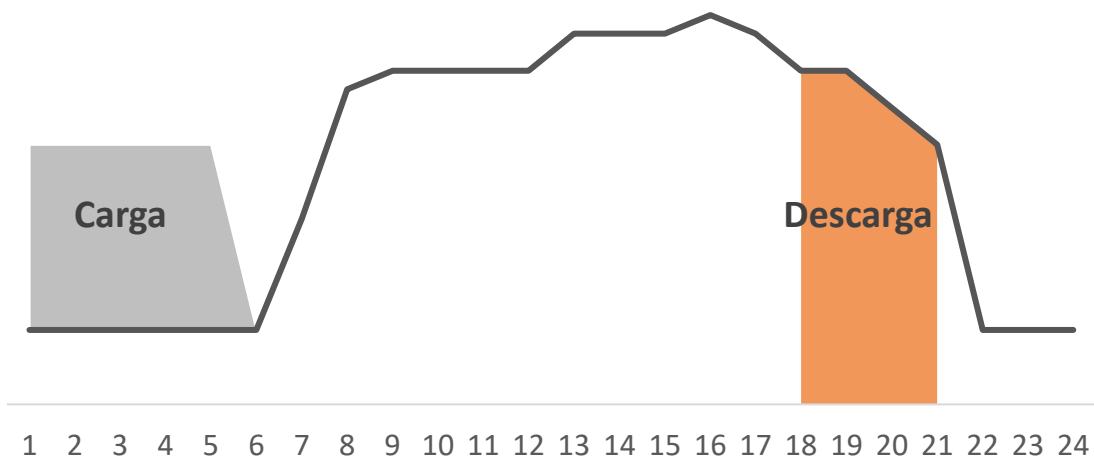
Nota: Preço final para o consumidor, representado em reais por unidade de armazenamento

Para a aplicação I, simulações demonstram que o preço das baterias teria que cair muito além do atual para que o investimento seja viável economicamente.

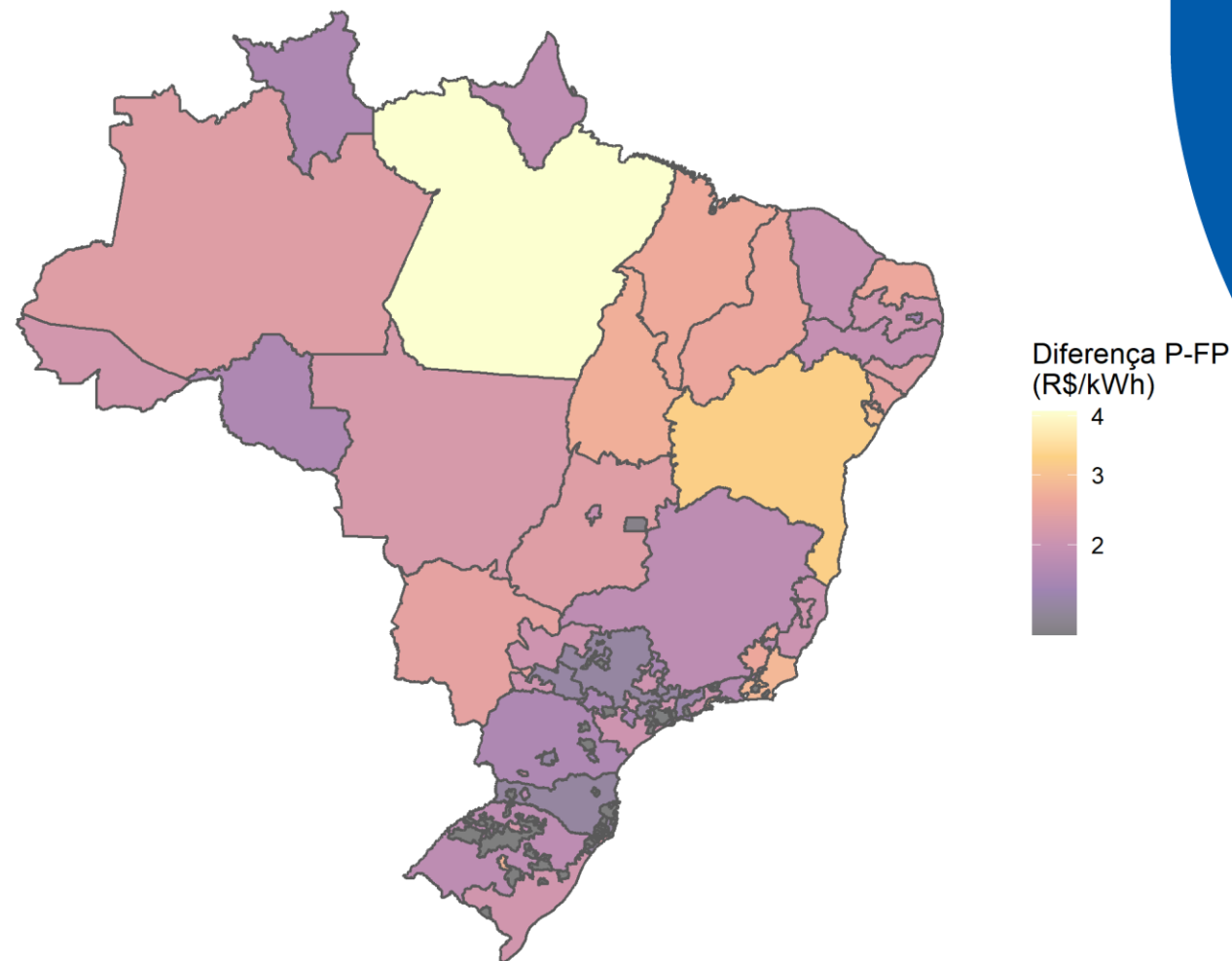
# Aplicação II: Gestão de consumo com Tarifa A4 - Verde

- Desde 1988, consumidores atendidos em alta tensão são submetidos às tarifas horo-sazonais, com diferença entre horário de ponta e fora de ponta;
- As baterias podem ser utilizadas para deslocar o consumo da ponta para fora da ponta. Quanto maior a diferença entre as tarifas, maior a atratividade;
- No entanto, ressalta-se que muitos consumidores utilizam geradores a diesel para evitar o consumo no horário de ponta. Em 2015, a EPE estimou entre 7-9 GW de geradores para esse fim (EPE, 2015).

## Ilustração do funcionamento das baterias para a aplicação II



## Diferença entre Tarifa A4 Verde Ponta menos Tarifa Fora Ponta, com impostos

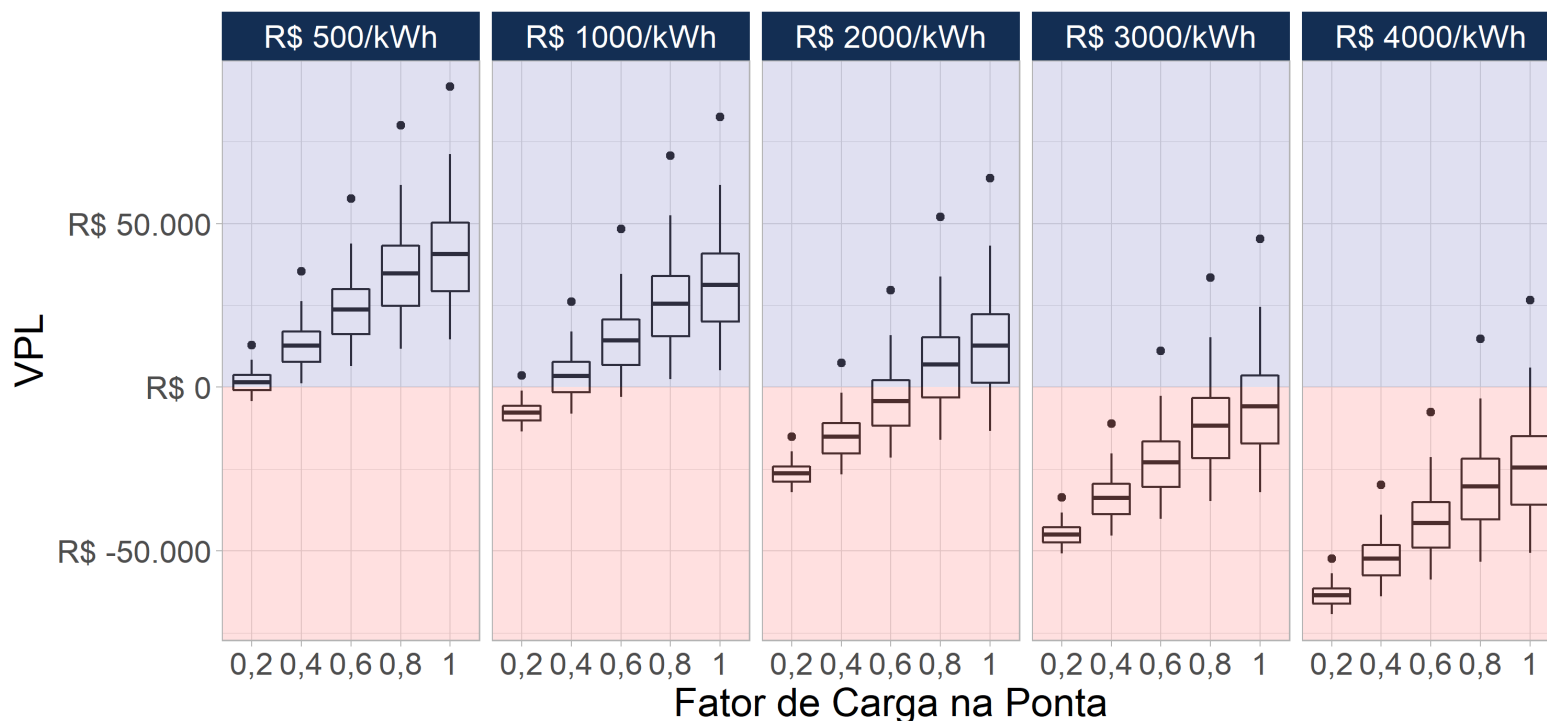




# Aplicação II: Gestão de consumo com Tarifa A4 - Verde

VPL do investimento em baterias para gestão do consumo com Tarifa A4 Verde de acordo com o preço final da bateria e fatores de carga na ponta. Análise para diferentes distribuidoras.

Custo Unitário da Bateria



## Entendendo o Fator de Carga na Ponta (FCp)

Esse fator anual é a relação do consumo médio de um consumidor no horário de ponta (MW<sub>méd</sub>) pela sua demanda máxima no mesmo período (MW).

Um baixo FCp indica que a bateria ficaria ociosa na maior parte do tempo, diminuindo a atratividade do investimento.

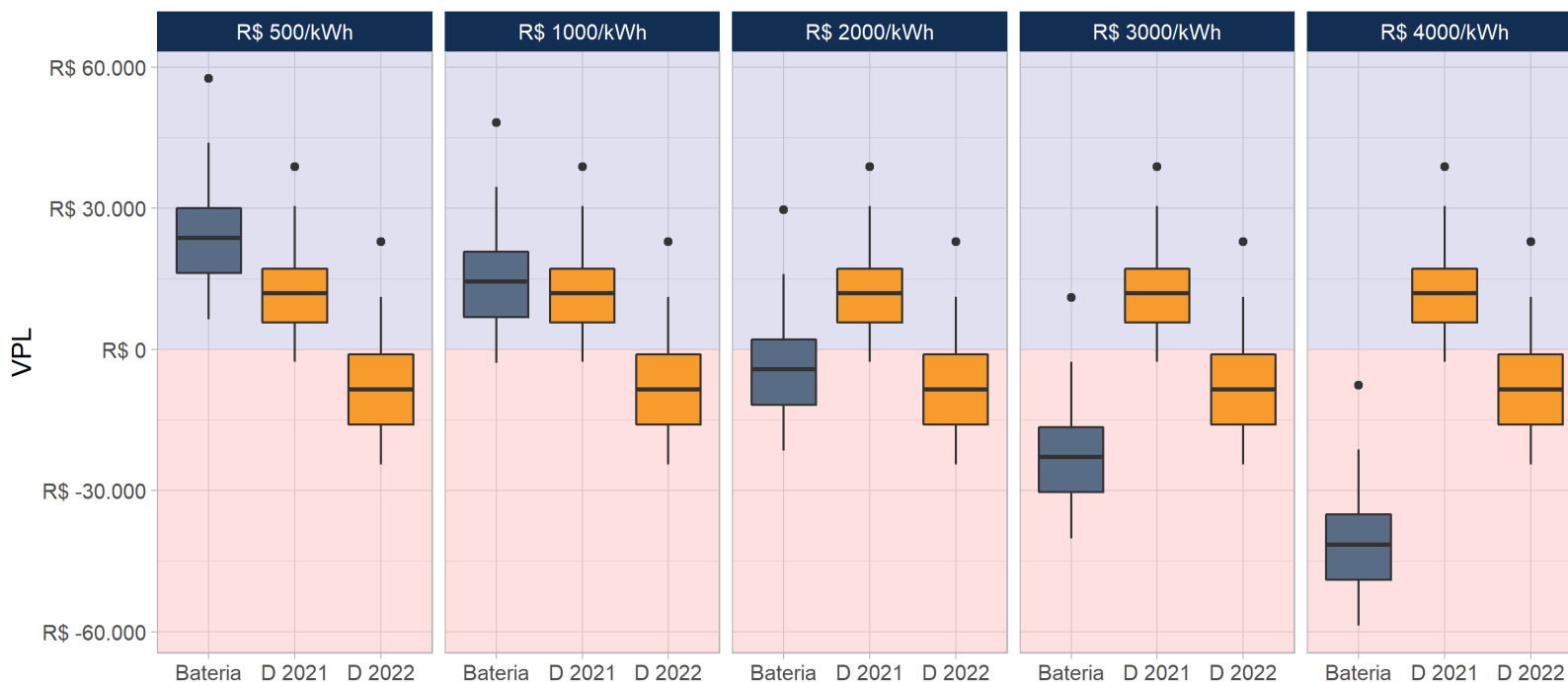
- Resultados mostram que para consumidores com alto FCp, já pode ser viável a instalação de baterias em algumas distribuidoras com o preço atual.

Analizando exclusivamente a opção de baterias para o atendimento do horário de ponta, enxerga-se viabilidade econômica no horizonte decenal para consumidores com alto fator de carga na ponta.

# Aplicação II comparada com geração a diesel

VPL do investimento em baterias *versus* geração a diesel (preços de 2021 e 2022) para gestão do consumo com Tarifa A4 Verde de acordo com o preço final da bateria. Análise para diferentes distribuidoras.

Custo Unitário do Sistema de Baterias



Considera Fator de Carga na Ponta = 0,6

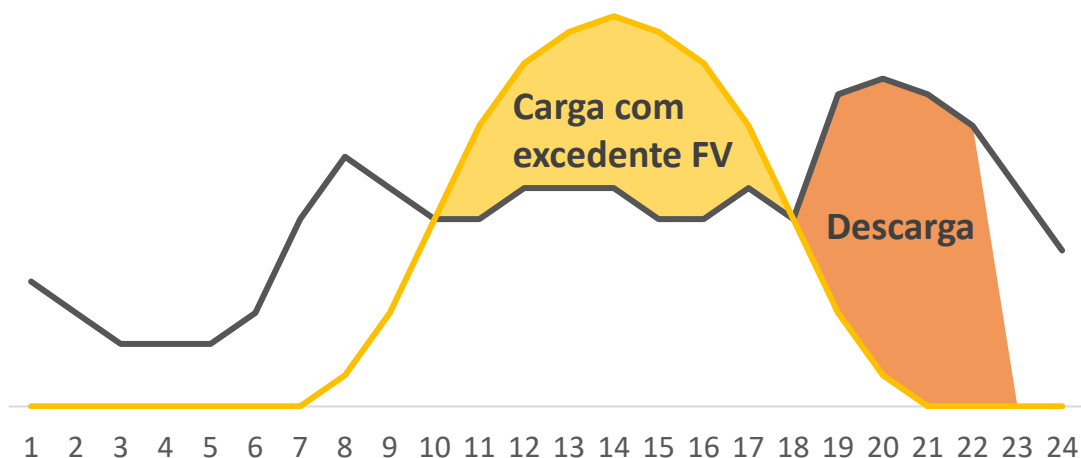
- O aumento do preço dos combustíveis verificado no último ano reduziu a competitividade da geração a diesel para evitar a tarifa de ponta.
- Com um custo de baterias próximo de R\$ 2.000/kWh, há uma equivalência entre a solução a diesel e baterias;
- Adicionalmente, outros fatores, como aspectos elétricos, redução do ruído, logística de obtenção do diesel e questões ambientais podem estimular a troca do diesel por baterias.

A solução a diesel perdeu competitividade no último ano e deixou mais próxima a viabilidade das baterias em determinados locais.

# Aplicação III: Aumento do autoconsumo da micro GD

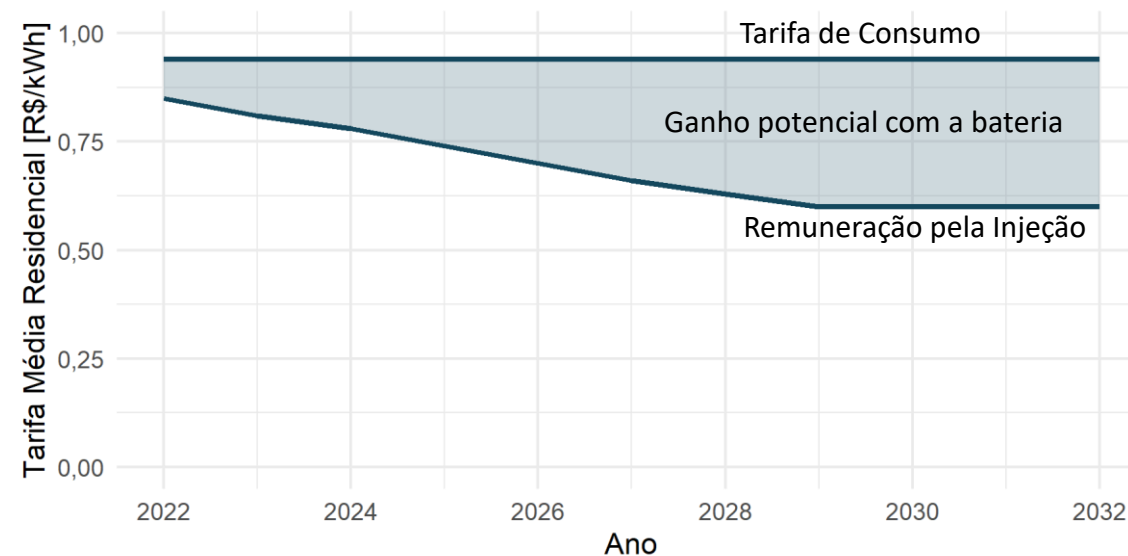
- A Lei nº 14.300 trouxe uma mudança no Sistema de Compensação de Energia Elétrica que deve diminuir o valor da geração distribuída injetada na rede;
- Dessa forma, as baterias podem ser utilizadas para evitar a injeção na rede, armazenando o excedente da geração para consumo posterior;
- No entanto, a diferença entre a tarifa de consumo e a remuneração pela injeção na rede continua sendo baixa (ver gráfico ao lado). Logo, há pouco ganho potencial com o uso da bateria.

## Ilustração do funcionamento das baterias para a aplicação III



- Em termos de operação, as variações da geração e do consumo fazem com que seja difícil otimizar o uso da bateria. Em alguns momentos, há muita geração e pouco consumo, carregando a bateria completamente e tendo que exportar para a rede parte da geração. Caso seja aumentada a capacidade da bateria, aumenta-se o custo do sistema, e em muitos momentos a capacidade é subutilizada. Por esse motivo, o dimensionamento não é trivial.

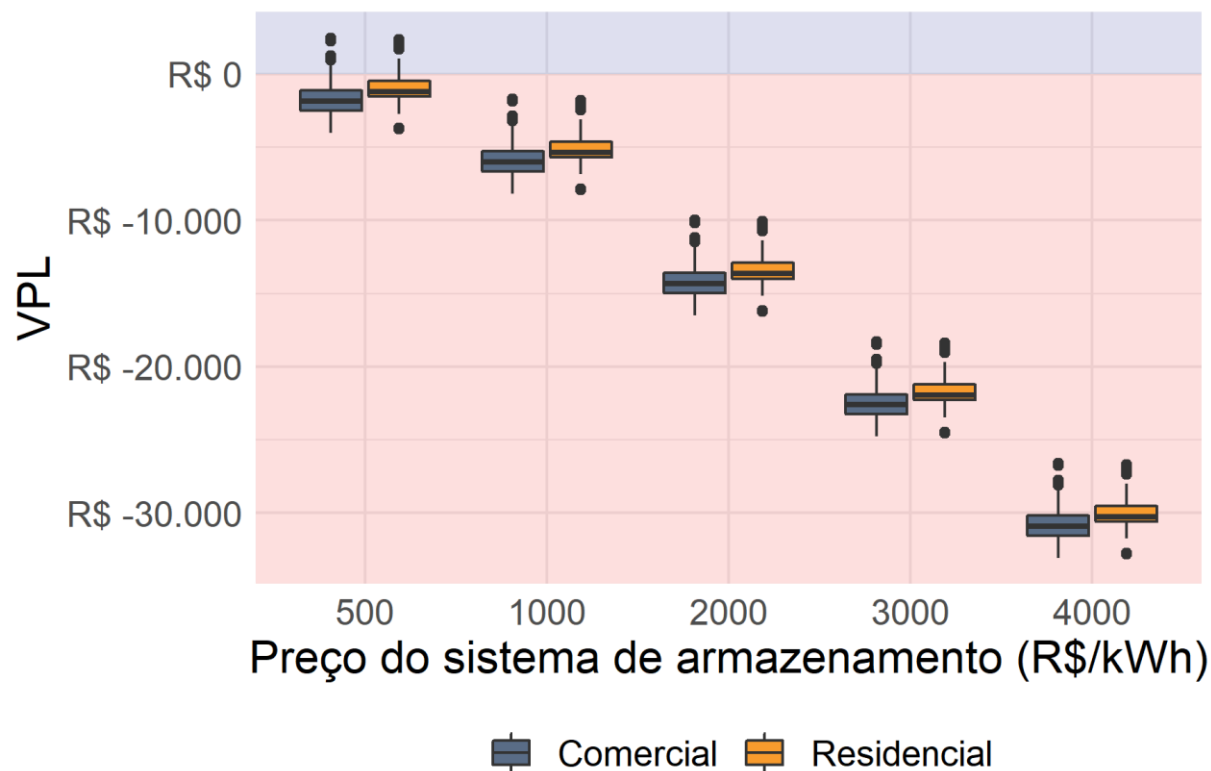
## Tarifas de consumo e injeção com Lei nº 14.300 (Residencial)



Notas: (1) a partir de 2029, considera o Cenário de Referência para MMGD, ou seja, sem a compensação da TUSD Distribuição; (2) Considera tarifa real constante.

# Aplicação III: Aumento do autoconsumo da micro GD

VPL do investimento em baterias para o aumento do autoconsumo da micro GD. Análise para diferentes distribuidoras.



Os resultados da simulação mostram que dadas as regras previstas na Lei nº 14.300, não há viabilidade econômica no investimento em baterias para fins de aumento do autoconsumo fotovoltaico.

## O efeito da Lei nº 14.300 na atratividade das baterias

- Conforme antecipado no slide anterior, a Lei nº 14.300 prevê um pequeno e gradual desconto sobre a energia injetada na rede. Com isso, há pouco ganho para ser capturado com a instalação de uma bateria.
- Esse cenário pode se alterar a partir de 2029, quando a energia injetada na rede passará a ser valorada a partir de um cálculo de seus custos e benefícios. Quanto menor a remuneração pela energia injetada da GD, maior a viabilidade das baterias.

Não se vê viabilidade econômica para o investimento em baterias no horizonte decenal para a aplicação de aumento do autoconsumo da micro GD

# Conclusões e considerações finais

- Simulações apontaram baixa viabilidade econômica para baterias;
- Em aplicações comerciais de média tensão, as baterias têm melhor atratividade, mas a geração diesel é ainda mais competitiva.
- Preço das baterias teria que cair de R\$ 4.000/kWh para R\$ 1.000/kWh para se tornarem competitivas.
- Simulações adicionais com maior vida útil das baterias, com valoração do custo de déficit e precificação de carbono alteraram poucos os resultados.
- Fatores ambientais, elétricos ou logísticos podem justificar a compra para um nicho.



[www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)

### **Coordenação Executiva**

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira  
Giovani Vitória Machado

### **Coordenação Técnica**

Arnaldo dos Santos Junior  
Carla da Costa Lopes Achão  
Gustavo Naciff de Andrade  
Luciano Basto Oliveira

### **Equipe Técnica**

Gabriel Konzen  
Thiago Toneli Chagas



**EPE - Empresa de Pesquisa Energética**  
Praça Pio X, 54  
20091-040  
Centro - Rio de Janeiro



## METODOLOGIA

- Simulações horárias para um ano de operação, utilizando o software System Advisor Model (SAM);
- Dados horários de carga foram fornecidos, através de um acordo, pela empresa Sun Mobi. Após tratamento dos dados, foram utilizados dados de 15 consumidores BT residenciais e comerciais;
- Foi utilizado um fator de ajuste para que todos os consumidores totalizem um consumo anual de 10.000 kWh;
- Para a aplicação II, o consumo no horário de ponta foi alterado de forma a simular diferentes fatores de carga nesse período, com demanda máxima de 5 kW;
- Simulações com baterias de Lithium Ion (LFP), com mínimo State of Charge (SOC) de 10% e máximo de 100%. Eficiência do ciclo de 89%. Vida útil de 10 anos. OPEX de 0,5% do CAPEX ao ano. Degradação linear, atingindo 60% da capacidade com 4.000 ciclos e DoD = 90%.
- Taxa de desconto real de 6% a.a.;
- Tarifas de eletricidade de dezembro de 2021;
- Para a aplicação III, foi simulada a geração fotovoltaica horária com dados de cidades representativas de 35 distribuidoras. Dados de irradiação e temperatura da base de reanálise MERRA-2;
- Geração diesel simulada com CAPEX de R\$ 1.000/kW, OPEX de R\$ 25/MWh, preço do diesel por estado em junho de 2022 e consumo específico de 329 litros/MWh. Fator de emissões igual a 0,77 tCO<sub>2</sub>/MWh.

- Foram testadas diferentes configurações de potência e capacidade de armazenamento para cada aplicação. Os gráficos mostram a configuração que teve o melhor resultado médio:
  - Aplicação I: 2 kW/8 kWh;
  - Aplicação II: 5 kW/18 kWh (equivalente a 300 kW/1080 kWh);
  - Aplicação III: 4 kW/8 kWh.

## REFERÊNCIAS

- BloombergNEF, 2021. Battery Pack Prices Fall to an Average of \$132/kWh, But Rising Commodity Prices Start to Bite. Noivember 30, 2021.
- EPE, 2015. Estimativa da Capacidade Instalada de Geração Distribuída no SIN: Aplicações no Horário de Ponta. Fevereiro de 2015.
- Figgener, J. et al., 2021. The development of stationary battery storage systems in Germany – status 2020. Journal of Energy Storage, v. 33, 2021.
- Greener e Newcharge, 2021. Estudo Estratégico Mercado de Armazenamento. Aplicações, Tecnologias e Análises Financeiras.
- Schmidt et al., 2019. Projecting the Future Levelized Cost of Electricity Storage Technologies. Joule, Volume 3, Issue 1, 16, Pages 81-100.