

## OPÇÕES DE OFERTA DE FLEXIBILIDADE AO PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

Giovana Bortoluzzi Brondani<sup>1</sup>, Dra. Luciane Neves Canha<sup>2</sup>, Vinícios Lucca<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria, [giovanabortbrondani@gmail.com](mailto:giovanabortbrondani@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Maria

### RESUMO

O sistema atual de compensação de energia, chamado de *net metering*, é uma política amplamente adotada em muitos países para promover a geração distribuída de energia solar e eólica. Quando a produção de energia excede o consumo, o excedente é enviado para a rede elétrica e, como contrapartida, o consumidor recebe créditos em sua conta de energia. Esse sistema impulsionou significativamente a instalação de energia solar fotovoltaica, o que por sua vez trouxe desafios operacionais devido às flutuações instantâneas no equilíbrio entre geração e consumo. Para minimizar esses desafios, novas tecnologias, como os sistemas de armazenamento, surgem como uma alternativa, pois, oferecem flexibilidade operacional aos sistemas e, devido à sua modularidade, podem desempenhar diferentes funções. O objetivo deste projeto é analisar o modelo de compensação atual e propor uma solução de flexibilidade energética que permita aos consumidores disponibilizarem sua capacidade excedente à distribuidora, recebendo uma compensação diferenciada em relação ao sistema atual. A Agência Nacional de Energia Elétrica já abre a possibilidade das baterias fazerem parte dos sistemas elétricos contribuindo com a flexibilidade operacional inerente à tecnologia do armazenamento, através da Resolução Normativa ANEEL Nº 1.059 de fevereiro de 2023. Esse novo modelo de negócio pode trazer benefícios significativos para a distribuidora, evitando a necessidade de investir em ativos para atender demandas específicas e reduzindo custos operacionais. Para os consumidores, incentiva a aquisição de sistemas de armazenamento e contribui para uma recuperação mais rápida do investimento inicial.

Palavras-chave: Armazenamento de energia, Flexibilidade de energia elétrica, Geração distribuída, Sistema de compensação.

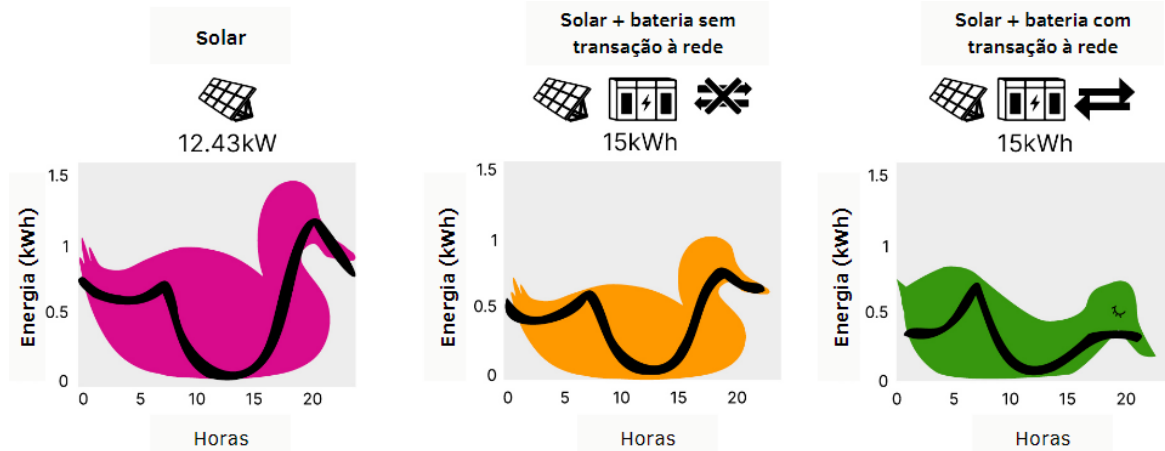
### 1. INTRODUÇÃO

No contexto do setor elétrico brasileiro, a segurança no fornecimento de energia elétrica é uma premissa fundamental para a tomada de decisões na operação dos sistemas e transmissão e distribuição. O desafio operacional é de natureza complexa, uma vez que exige o equilíbrio instantâneo entre a oferta e a demanda de energia em todos os pontos do sistema. Quando os parques geradores são despacháveis e controláveis, o desafio da operação é minimizado, uma vez que o controle pode ser ajustado de acordo com o perfil de demanda. No entanto, no Brasil, com a crescente adoção de fontes renováveis intermitentes, a imprevisibilidade da oferta de energia torna essa operação ainda mais desafiadora.

A Resolução Normativa 1.059, emitida em 2023 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), estabeleceu as diretrizes e regulamentos que dizem respeito à geração distribuída (GD) de energia no Brasil. Esta resolução determina que, para que a energia solar fotovoltaica seja considerada despachável, sua potência instalada deve se limitar a 3 MW de potência instalada, e apresentar capacidade de modulação de geração por meio de armazenamento de energia em baterias, em quantidade de, pelo menos, 20% da capacidade de geração mensal das unidades de geração fotovoltaicas. Isso implica que os sistemas de armazenamento estão sendo utilizados em conjunto com outras fontes de geração para reduzir a quantidade de energia excedente injetada na rede de distribuição. Essa abordagem desempenha um papel essencial na manutenção do equilíbrio entre a oferta e a demanda de energia, o que, por sua vez, diminui a exposição dos consumidores às tarifas de energia mais elevadas. Portanto, é possível identificar três nichos de mercado nos quais as baterias ganharão destaque: aumento do autoconsumo da GD, adoção de tarifas binômias e/ou dinâmicas (como a tarifa branca) e substituição de geradores à diesel durante os horários de pico.

Uma modelagem na Austrália do Instituto de Economia Energética e Análise Financeira, IEEFA (2023) mostra que as baterias podem mudar a curva de oferta e demanda criada pela fonte de energia solar. No estudo foram abordados cenários considerando a utilização de baterias de 15kWh em conjunto com um sistema solar de 12,43kW. Os resultados apontaram que se as baterias forem utilizadas para armazenamento do excedente de produção durante o dia, há uma nova curva sendo criada de um “pato barrigudo para um pato adormecido”. Isso é resultado da redução do pico noturno, no qual as baterias carregadas assumirão o suprimento de energia para os consumidores. Para descobrir o quanto esse pato será adormecido dependerá muito da quantidade de baterias e da sua utilização em larga escala, mas quanto maior a carga flexível do sistema, maior a probabilidade de ocorrer. Essa curva resultante pode ser observada na Figura 1.

Figura 1 - Curva do pato adormecido. Fonte: Adaptado de IEEFA, 2023.



A Resposta da Demanda (RD) implica na capacidade dos clientes de modificar seu perfil de consumo de eletricidade em resposta a um sinal, geralmente preço. Portanto, o consumo de certos equipamentos é deslocado para períodos em que não há picos, quando a tarifa de energia é mais barata. Os consumidores residenciais do grupo B podem optar pela modalidade de tarifa branca, no qual há diferenciação da tarifa dependendo do horário de consumo nos dias úteis. Seu funcionamento é semelhante as tarifas do grupo A. As tarifas são mais caras nos horários de ponta (P), geralmente das 18 às 21 horas, e o restante é chamado de fora ponta (FP) e seu valor é mais barato. Na tarifa branca há uma hora de intervalo entre as duas, conhecida como intermediário. Na Figura 2 é apresentada a diferenciação de cobrança em cada hora do dia.

Figura 2 – Categorias de cobrança por horário de consumo

Dias \ Horas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Dias úteis	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	I	P	P	P	I	FP
Sábado	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP
Domingo	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP

### 1.1 Caso real Califórnia

Como exemplo de um caso real, a Tesla possui uma solução de baterias residenciais conhecida como Tesla Powerwall. Desde 2021, a Tesla em parceria com a PG&E, Pacific Gas and Electric Company, por meio do Programa de Redução de Carga de Emergência, busca consumidores que moram na Califórnia para sua primeira VPP (*virtual power plant*) geradora de energia virtual. Ao optar pela VPP, o cliente poderá despachar seu Powerwall quando a rede precisar e em troca o cliente receberá US\$ 2 para cada kWh fornecido. O primeiro evento contou com 2,3 mil residências e uma capacidade de injeção na rede de 16,5MW (Tesla, 2022).

## **1.2 Justificativa**

No cenário Brasileiro, o prosumidor, consumidor que produz sua própria energia, recebe créditos na sua fatura pelo saldo positivo de energia gerada através do sistema de compensação de energia elétrica. Se o saldo de energia for positivo o consumidor recebe créditos de energia (kWh) com validade de 60 (sessenta) meses. No entanto, os prosumidores não podem comercializar o excedente de energia elétrica. Além disso, a rede da concessionária é utilizada como backup quando a energia gerada localmente não é suficiente para suprir todo o consumo da unidade.

## **2. OBJETIVOS**

Com a acelerada expansão dos sistemas de energia solar e de armazenamento, surge uma nova opção de negócio. Ao invés do cliente optar pelo sistema atual de compensação de energia, a proposta é comercializar energia com a distribuidora por meio da flexibilidade de energia. Neste caso, o consumidor seria responsável por disponibilizar uma quantidade de potência à distribuidora e o seu formato de cobrança seria negociado entre as partes por meio de contratos de flexibilidade. Esses contratos poderiam ter diferenciação de preços dependendo da hora em que a energia é disponibilizada e seu formato de pagamento seriam créditos na fatura ou outra forma a ser combinada. Sendo assim, o objetivo principal do trabalho é apresentar uma discussão sobre o papel dos consumidores de energia elétrica no setor elétrico, não apenas como consumidores, mas também agentes de mercado.

## **3. PREMISSAS DE ESTUDO**

A metodologia utilizada para este trabalho consiste no levantamento e aquisição de dados para demonstrar os formatos possíveis de flexibilidade. Como premissa de estudo, considerou-se a curva de carga residencial com tarifa branca, porém, esse método pode ser aplicado a outras classes de consumo que possuam diferenciação de tarifas entre os horários de consumo. Quanto à GD, considerou-se a utilização de energia solar fotovoltaica.

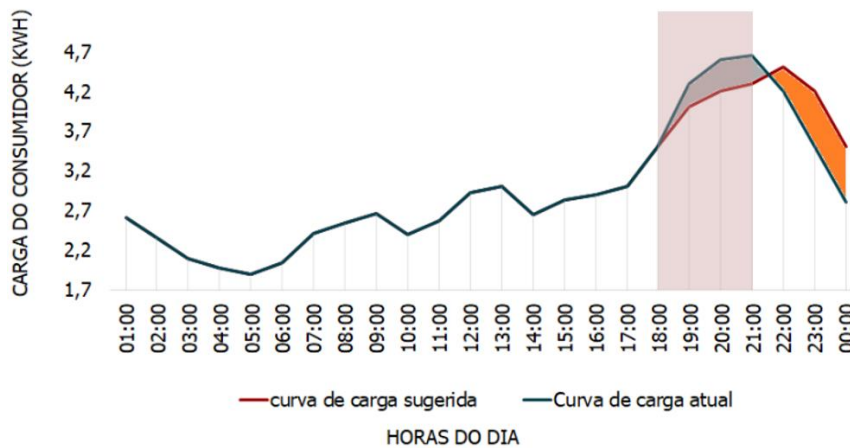
## **4. RESULTADOS OBTIDOS**

No primeiro caso, se pensarmos em um consumidor que não possui GD nem armazenamento de energia, o único formato de flexibilidade disponível são suas próprias

cargas. Nesse caso, o cliente poderia optar por deslocar o seu consumo de acordo com seus hábitos e de acordo com os valores da tarifa. Nesse caso, a flexibilidade pode ser positiva ou negativa, pois em alguns momentos do dia ao invés de ofertar energia à distribuidora, o consumidor poderá comprá-la.

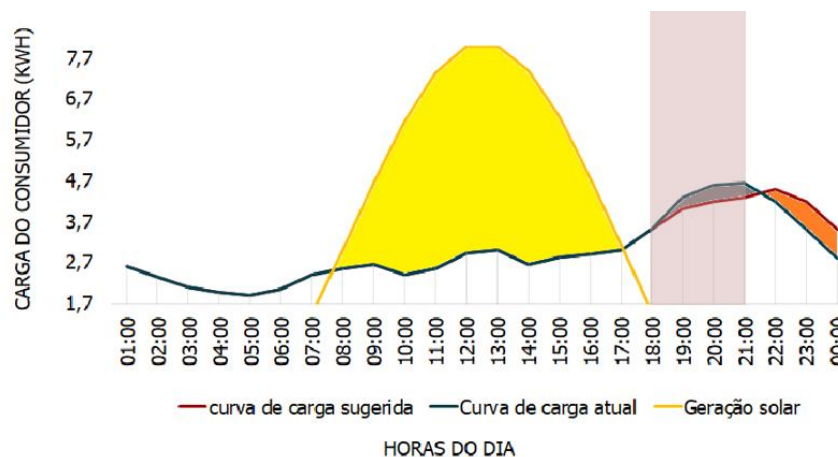
Na Figura 3 é possível verificar o funcionamento da curva de carga com deslocamento do consumo nos horários de pico. A área resultante em cinza seria ofertada à distribuidora como flexibilidade de energia e o consumidor consequentemente mudaria seus hábitos de consumo para os horários posteriores ao horário de ponta, área em laranja.

Figura 3 -Curva de carga com deslocamento de consumo



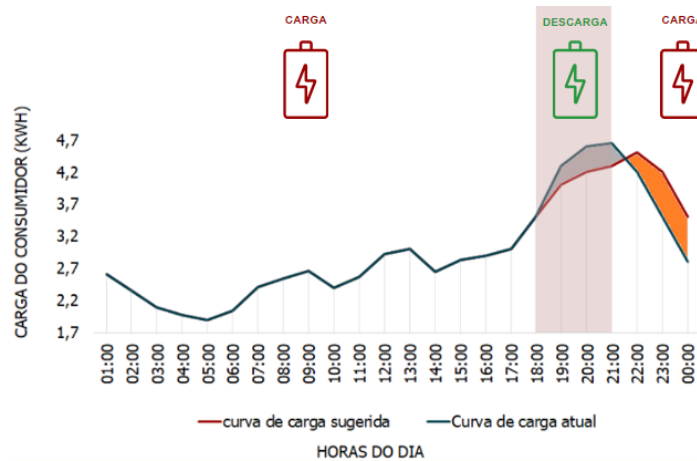
A segunda opção de oferta de flexibilidade para a rede destina-se aos consumidores que possuem GD solar instalada. Nesse caso, o cliente ainda poderia manter a oferta de flexibilidade realocando seu consumo para outros horários e, adicionalmente, poderia oferecer o excedente de produção de energia solar, destacado em amarelo. A Figura 4 apresenta essa opção.

Figura 4 – Curva de carga com deslocamento de consumo e GD solar



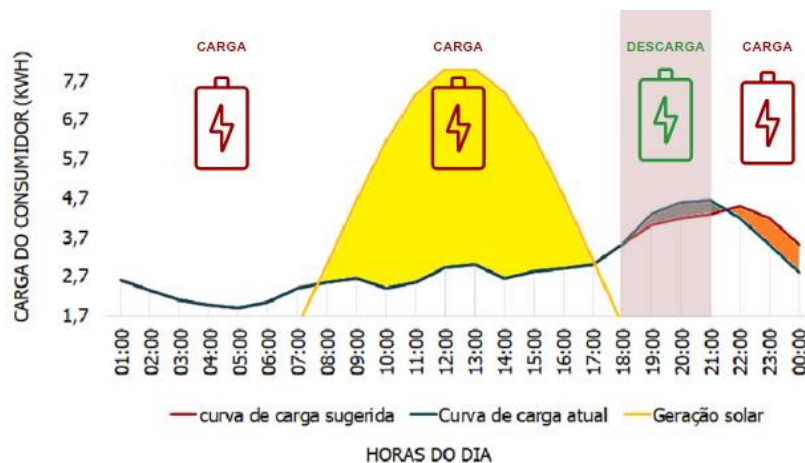
A terceira opção, que pode ser visualizada na Figura 5, considera a flexibilidade de consumo e a implementação de um sistema de armazenamento com baterias. Nesse caso, a flexibilidade resultante é a combinação do deslocamento do consumo com a descarga das baterias, que serão recarregadas nos horários mais econômicos.

Figura 5 - Curva de carga com deslocamento de consumo e armazenamento



A quarta opção, que é a mais completa, envolve a utilização de energia solar fotovoltaica com armazenamento. Seu funcionamento pode ser visualizado na Figura 6, onde a flexibilidade resultante engloba a flexibilização das cargas, além da produção solar e do armazenamento, que pode ser utilizado tanto da energia armazenada no horário de FP quanto da energia excedente da produção solar fotovoltaica.

Figura 6 - Curva de carga com deslocamento de consumo, GD solar e armazenamento



## 5. CONCLUSÕES

Com a diferenciação das tarifas por horário de consumo, aumentará o incentivo para que os consumidores ajustem seu perfil de consumo. Para isso, a utilização de GD e armazenamento poderá possibilitar trocas com a rede da distribuidora de forma inteligente. Outro fator que contribuirá nos próximos anos são os veículos elétricos, pois, através de trocas bidirecionais, a energia é armazenada nas baterias e despachada à rede nos horários vantajosos, conhecido como *vehicle-to-grid* (V2G).

Para esse modelo de negócio com exportação de energia para a distribuidora, é fundamental a composição e utilização das várias tecnologias, pois só fará sentido para ambas as partes se a energia a ser disponibilizada for garantida. Como na maioria das GDs, as fontes de geração são intermitentes, o ideal é utilizar um sistema de armazenamento em conjunto para que sejam realizados contratos firmes de energia.

Assim como na VPP da Califórnia, a diferença de valor entre a tarifação do consumo e da injeção na rede deve ser maior do que 1 (um) para viabilizar o consumidor a comercializar energia com a distribuidora. Ou seja, as distribuidoras podem incentivar os consumidores a oferecerem flexibilidade à rede. Portanto, as tarifas não podem ser estáticas, mas sim variáveis de acordo com a disponibilidade e utilização da energia elétrica. Em casos em que a distribuidora esteja disposta a valorar o kWh de forma mais vantajosa, o cliente, em vez de instalar um sistema para suprir somente o seu consumo, poderá fazer o investimento em um sistema superior para participar desse modelo de negócio. Com isso, o consumidor poderá ter seu payback (retorno do investimento) reduzido e auxiliar a distribuidora em relação aos novos investimentos em redes de distribuição para atender cargas específicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL (2023), **Resolução normativa ANEEL nº 1.059**. 7 de fevereiro de 2023.

IEEFA (2023), **Saturation DER modelling shows distributed energy and storage could lower costs for all consumers if we get the regulation right**, Disponível em: <<https://ieefa.org/resources/saturation-der-modelling-shows-distributed-energy-and-storage-could-lower-costs-all>>, Acesso em: 25/09/2023.

TESLA (2022), **Join the Tesla Virtual Power Plant**. Disponível em:  
<<https://www.tesla.com/support/energy/tesla-virtual-power-plant-pge-2022>>, Acesso em:  
25/09/2023.