

SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE COM BATERIA PARA REDUÇÃO DA DEMANDA NA UTFPR – CAMPUS NEOVILLE

Weliton da Maia¹, Marianna Aranda Lima², Jair Urbanetz Junior³

¹Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR), welitondamaia@gmail.com

²Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR), mariannarandalima@gmail.com

³Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR), urbanetz@utfpr.edu.br

RESUMO

A modernização do setor elétrico global tem impulsionado a adoção de tecnologias avançadas, incluindo sistemas fotovoltaicos com armazenamento por baterias. Essa combinação oferece uma série de benefícios, como otimização do consumo de energia, redução de custos de demanda, e geração de receitas por meio de serviços de arbitragem de energia. O armazenamento por bateria também desempenha um papel crucial ao fornecer energia de backup durante quedas de fornecimento elétrico, garantindo a continuidade das operações em setores críticos. Além disso, ajuda a reduzir a demanda durante horários de pico, contribuindo para uma maior eficiência energética e custos mais baixos. Um exemplo prático desse tipo de sistema é o Sistema Fotovoltaico com Baterias da UTFPR, que demonstrou eficiência ao operar durante os horários de pico e fornecer energia adicional quando necessário. Através desse projeto, a universidade conseguiu reduzir seus custos de demanda de energia, gerando economias significativas. No entanto, para impulsionar a adoção dessas tecnologias, é necessário avançar no desenvolvimento e reduzir os custos das baterias. À medida que se tornam mais acessíveis e eficientes, espera-se que mais consumidores, empresas e instituições optem por essas soluções, promovendo uma transição energética mais sustentável. Em resumo, os sistemas fotovoltaicos com armazenamento por baterias trazem benefícios para o setor elétrico, melhorando a eficiência, confiabilidade e sustentabilidade do sistema. Essas soluções permitem a integração de energias renováveis, a redução dos impactos ambientais e uma gestão de energia aprimorada. Com o avanço e aperfeiçoamento dessas tecnologias, podemos vislumbrar um futuro energético mais eficiente, limpo e resiliente.

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos com bateria, *peak shaving*, *load shifting*.

1. INTRODUÇÃO

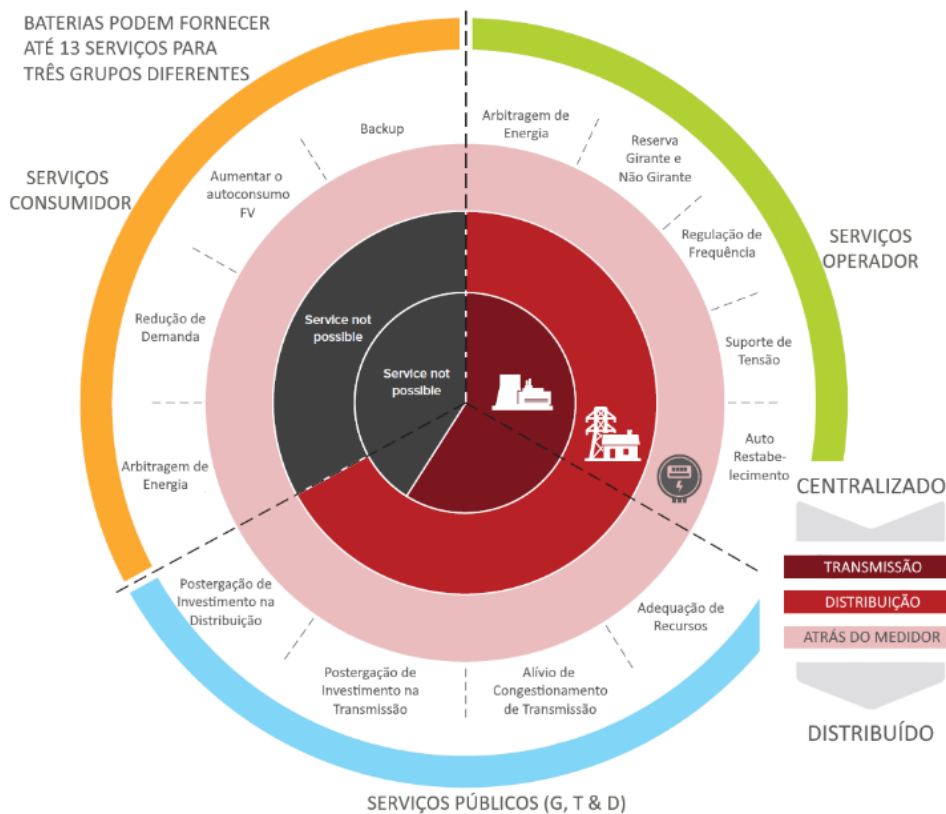
O setor elétrico mundial vem passando por inúmeras ações de modernização desde o começo do século. Atualmente essa modernização traz uma enorme quantidade de tecnologias embarcadas o que conceitualmente damos o nome de redes elétricas inteligentes (*Smart Grids*). Dentro desse contexto, outros conceitos também são comumente discutidos como as medições inteligentes, geração distribuída (GD), microrredes (*Microgrids*), veículos elétricos e sistemas de armazenamento por bateria (AOKI, OTTO, 2020).

Segundo relatório da EPE (2019), a utilização de baterias pode ser economicamente vantajosa quando aplicada em conjunto com sistemas fotovoltaicos. O relatório aponta ainda que sistemas com armazenamento podem fornecer diversos serviços para o sistema elétrico como back-up, arbitragem e compensação da viabilidade de geração solar e eólica.

Tradicionalmente sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) não possuem baterias, entretanto, por condições de preços da energia e queda dos preços dos sistemas, o interesse por SFCR com armazenamento vem mudando (RASIN, 2015).

Estudos realizados nas últimas décadas buscaram demonstrar os diferentes serviços que o armazenamento por baterias pode proporcionar. É possível classificar esses serviços dependendo de onde o sistema está localizado: atrás do medidor, no nível da distribuição ou no nível de transmissão. Ao todo, é possível encontrar até 13 serviços divididos nas três localidades, assim como demonstrado com mais detalhes na Figura 1 (FITZGERALD et al., 2015).

Figura 1. Serviços fornecidos por sistemas com baterias



Fonte: Adaptado de Fitzgerald et al. (2015)

A arbitragem de energia direcionado ao consumidor é descrita como a compra de energia quando a tarifa está mais barata e venda da energia quando a tarifa está mais cara. Com o uso do armazenamento este tipo de gerenciamento e controle se torna possível (FITZGERALD et al., 2015).

Ainda segundo Fitzgerald et al. (2015), o aumento do autoconsumo FV, é um serviço que tende a maximizar o benefício financeiro de um SFCR quando existe uma estrutura de tarifas desfavoráveis. Um exemplo disso é a não compensação de componentes tarifários na injeção de energia na rede em um Sistema tipo *net-metering*.

Os sistemas de armazenamento em conjunto com um sistema de geração de energia solar, por exemplo, podem fornecer energia de backup em escalas como para manter a qualidade de energia em redes industriais, e, inclusive, manter a operação diária de redes residenciais. Esse serviço pode manter de forma parcial ou total o fornecimento de energia após desligamento da rede da concessionária de origem (FITZGERALD et al., 2015).

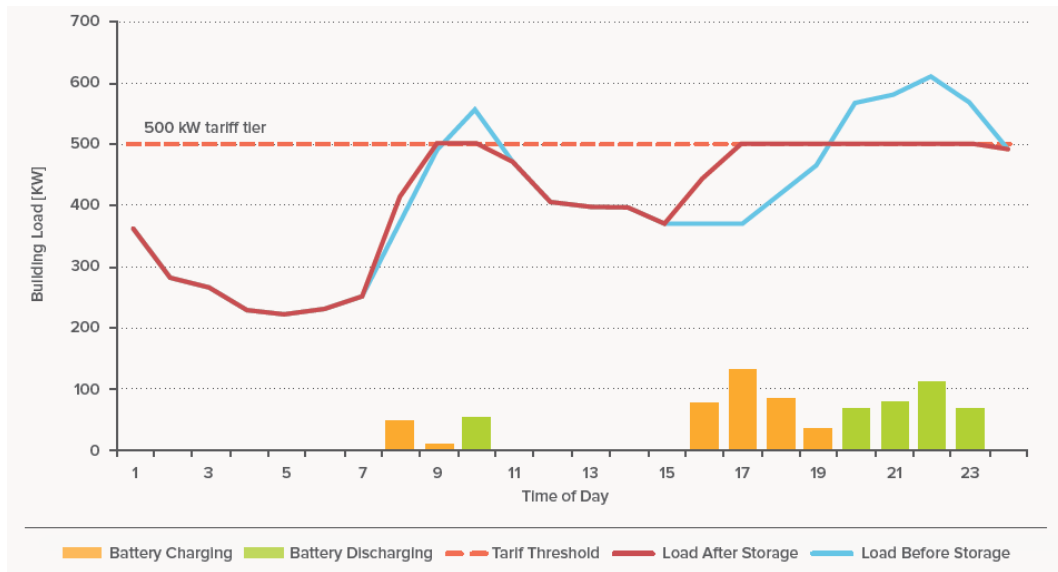
A redução da demanda é outro artifício técnico possível com o armazenamento de energia a fim de reduzir os custos de demanda, principalmente, em momentos de pico especificados pela concessionária (AKHIL, 2013). Costumeiramente os períodos de pico possuem tarifas de demanda mais caras que os períodos sem pico.

2. REDUÇÃO DA DEMANDA (PEAK SHAVING E LOAD SHIFTING)

Dentro do serviço de redução de demanda, há pelo menos dois módulos de operação que compõem o chamado Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD): o *Peak Shaving* e *Load Shifting* (RODRIGUES, ROMANELLI, URBANETZ, 2020).

No modo de operação *Peak Shaving* (Corte do Pico), o sistema de armazenamento por baterias é utilizado de forma a despachar energia no momento de maior demanda, quando for conveniente financeiramente ou por questões técnicas (FITZGERALD et al., 2015). Na Figura 2 é demonstrado a operação de um sistema com armazenamento atuando em momentos de pico de uma instalação que possui demanda máxima de 500 kW. A demanda atrás do medidor continua a aumentar, mas a rede da concessionária “enxerga” apenas a demanda máxima de 500 kW.

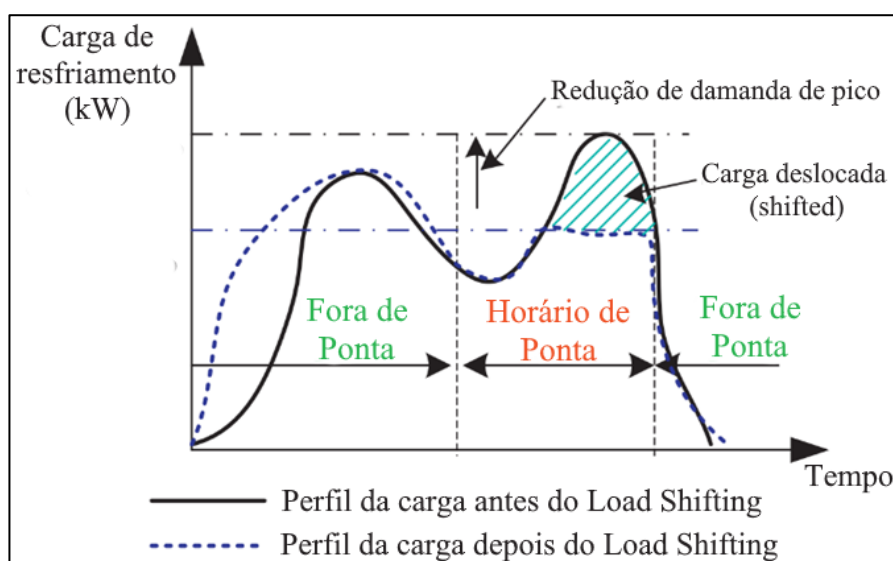
Figura 2. Operação de sistema com armazenamento



Fonte: Adaptado de Fitzgerald et al. (2015)

No caso da redução da demanda por *Load Shifting* (Deslocamento de Carga), a operação do sistema de armazenamento acontece a fim de deslocar o consumo nos horários de pico para horários fora de pico. Esse tipo de operação é comumente utilizado em sistemas que possuem deslocamento de carga, como sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (SUN et al., 2013). Na Figura 3 é demonstrado uma típica operação de *Load Shifting* para um sistema de resfriamento.

Figura 3. Perfil de operação de *Load Shifting* para resfriamento



Fonte: SUN et al. (2013)

3. SISTEMA FOTOVOLTAICO COM BATERIA DA UTFPR

Inaugurado em dezembro de 2019, o SFCR com bateria do Laboratório de Energia Solar (LABENS) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) é um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em colaboração com a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL). O projeto possui diversos objetivos, sendo o principal efetuar o gerenciamento da energia por aplicações de bateria junto a geração FV. Dentre das aplicações desenvolvidas está a redução de demanda por meio do método *Peak Shaving* (SOUZA, MARIANO, URBANETZ, 2020).

O sistema fotovoltaico instalado na universidade tem as seguintes especificações:

- 2 inversores bidirecionais de 5 kW da fabricante brasileira NHS, modelo 5K-HSM1;
- 32 módulos FV de 335 W com tecnologia policristalina da fabricante QCells.
- 80 baterias de 12 V e 60 Ah, modelo DF1000 da fabricante Heliar Freedom.

Os módulos são divididos igualmente em duas *strings* de 8 módulos em série, totalizando 5,36 kWp para cada inversor. As baterias formam quatro racks de 240 V/60 Ah. Cada inversor é conectado a dois racks formando um banco de baterias de 240 V/120 Ah para cada inversor. A Figura 4 mostra o sistema instalado na universidade.

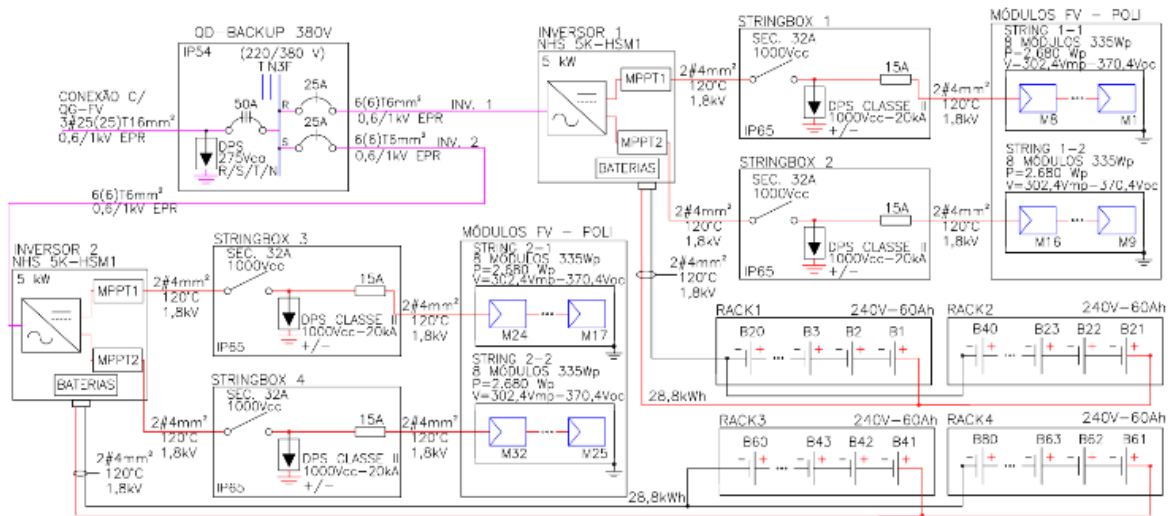
Figura 4. Sistema fotovoltaico com baterias instalado da UTFPR



Fonte: Os autores (2022)

Na figura 5 é possível verificar com detalhes o diagrama elétrico do sistema instalado.

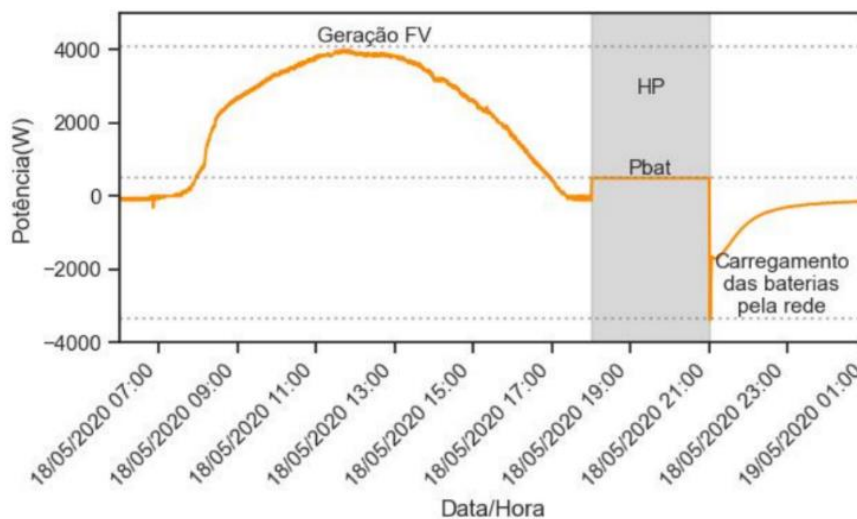
Figura 5. Diagrama elétrico SFCR com baterias UTFPR



Fonte: Souza (2021)

Em período de teste, o sistema operou para redução de demanda e energia no horário de ponta das 18h às 21h, de maio de 2020 até junho de 2021. Segundo dados da pesquisa de Souza, (2021), a universidade deixou de gastar R\$ 5.361,93 durante o período. Na figura 6 é demonstrado o comportamento do sistema no inversor bidirecional 1 em um dia do primeiro mês de teste, onde das 7 às 18h tem-se a geração fotovoltaica com um pico de geração de 4,24 kW. A partir das 18hrs inicia-se uma descarga programada do banco de baterias de cerca de 0,5 kW, após o término da descarga o banco inicia seu carregamento utilizando energia da rede, trata-se de uma configuração *default* do inversor.

Figura 6. Comportamento do sistema analisado de maio a junho de 2021

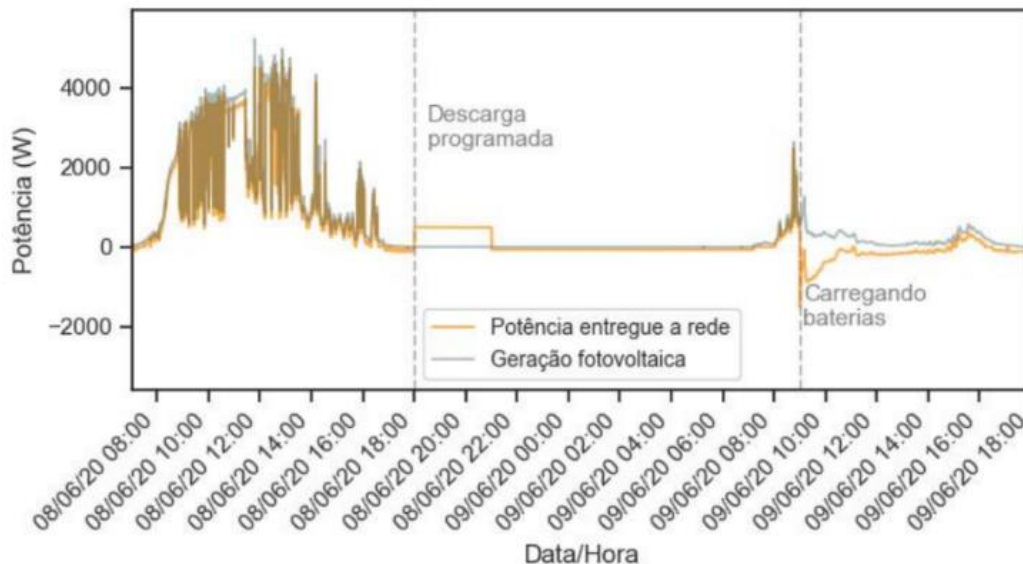


Fonte: Os autores (2022)

Nota-se que a geração solar ocorre normalmente durante o dia injetando energia na rede e, durante os horários de ponta configurados, o sistema de armazenamento entra em operação mantendo uma injeção de potência de 0,5 kW continuamente durante 3 horas. Após esse período o sistema inicia o carregamento das baterias consumindo energia da rede.

No mês de junho de 2020 o sistema foi configurado para iniciar o carregamento do banco de baterias no modo automático após as 9h do dia seguinte. Essa configuração permite que o inversor selecione automaticamente se irá carregar o banco de baterias com a geração solar, utilizando a rede disponível ou ambos. Na figura 7 é demonstrada essa operação.

Figura 7. Comportamento do sistema analisado com carregamento de baterias automatizado



Fonte: Os autores (2022)

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Curitiba Sede Neville apresentava durante o período analisado uma média de consumo fora de ponta de 23.594,43 kWh/mês, já na ponta o consumo era de 2.852 kWh/mês, com a implementação da planta os dados do sistema de energia apontaram que a adição da energia fotovoltaica representou uma redução de cerca de 2,7% mensal sobre o posto tarifário fora de ponta e na ponta cerca de 1,6%.

4. CONCLUSÃO

Com base nas informações apresentadas, podemos concluir que a adoção de sistemas fotovoltaicos com armazenamento por baterias traz uma série de benefícios para o setor elétrico. A modernização do setor, impulsionada pelo conceito de redes elétricas

inteligentes, tem permitido a integração de tecnologias avançadas, com o armazenamento de energia, para melhorar a eficiência, a confiabilidade e a sustentabilidade do sistema.

Estudos e relatórios mostram que o uso de baterias em conjunto com sistemas fotovoltaicos pode trazer vantagens econômicas, permitindo a otimização do consumo de energia, a redução de custos de demanda e a geração de receitas através de serviços de arbitragem de energia. Além disso, o armazenamento de energia possibilita o aumento de autoconsumo de energia solar, permitindo que os consumidores maximizem o benefício financeiro de seus sistemas fotovoltaicos.

Outro aspecto importante é a capacidade de fornecer energia de backup em situações de queda ou interrupção do fornecimento elétrico, garantindo a continuidade das operações em setores críticos, como indústrias e residências. Além disso, a redução da demanda durante os horários de pico contribui para a maior eficiência energética e para a redução dos custos de energia.

O caso do Sistema fotovoltaico com baterias da UTFPR demonstra de forma prática como essas tecnologias podem ser implementadas com sucesso. Através desse projeto de pesquisa e desenvolvimento, a universidade conseguiu reduzir os custos de demanda e energia, gerando economia significativa. O sistema demonstrou eficiência e desempenho satisfatórios ao operar durante horários de pico, utilizando o armazenamento de energia para fornecer potência adicional quando necessário.

É importante destacar que o avanço contínuo da tecnologia e a redução dos custos das baterias são fundamentais para impulsionar ainda mais a adoção de sistemas com armazenamento. À medida que essas tecnologias se tornam mais acessíveis e eficientes, é esperado que mais consumidores, empresas e instituições optem por essas soluções contribuindo para uma transição energética mais sustentável.

Em suma, a combinação de sistemas fotovoltaicos com armazenamento por baterias representa uma importante solução para enfrentar os desafios do setor elétrico atual, promovendo uma maior integração de energias renováveis, aprimorando a gestão de energia e reduzindo os impactos ambientais. Com o contínuo desenvolvimento e aperfeiçoamento dessas tecnologias, podemos vislumbrar um futuro energético mais eficiente, limpo e resiliente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKHIL, A. et al. (2013), **DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook in collaboration with NRECE**, Sandia National Laboratories.

AOKI, Alexandre R.; OTTO, Rodrigo B. (2020), **O mercado de microrredes**, ABMR – Associação Brasileira de Microrredes, Foz do Iguaçu – PR, p. 1-3.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. (2019), **Sistemas de armazenamento em baterias, Aplicações e Questões Relevantes para o Planejamento**.

FITZGERALD, G. MANDEL, J. MORRIS, J. TOUATI, H. (2015), **The economics of battery energy storage**: How multi-use, customer-sited batteries deliver the most services and value to customers and the grid, Rocky Mountain Institute.

RASIN, Z. Ragman, M. F. (2015), **Control of Bidirecional DC-DC Converter for battery storage system in grid-connected Quasi-ZSource PV Inverter**, IEEE Xplore.

RODRIGUES, M. A. ROMANELLI, E. F. URBANETZ, J. J. (2020), **Modo de operação do inversor bidirecional aplicáveis ao sistema fotovoltaico conectado à rede com armazenamento de energia**, XII CPPE, SPPE. Disponível em: <https://utfpr.curitiba.br/labens/producao-cientifica/>.

SOUZA, Adriana Schilibe de. (2021), **Implantação e análise de um sistema fotovoltaicos conectado à rede de 10,72 kWp com sistema de armazenamento de energia na UTFPR**, dissertação de mestrado. Disponível em: <https://utfpr.curitiba.br/labens/producao-cientifica/>.

SOUZA, Adriana Schilibe de; MARIANO, Juliana D'Angela; URBANETZ, Jair. (2020), **Sistema fotovoltaico de 10 kWp conectado à rede com armazenamento de energia em Curitiba**, VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, p. 1-9.

SUN, Y. WANG S. XIAO, F. GAO, D. (2013), **Peak load shifting control using different cold thermal energy storage facilities in commercial buildings: A review**, Energy Conversion and Management.