

Aplicações e Tecnologias de Sistemas de Armazenamento de Energia em Baterias na Transmissão e Distribuição

Ivan Luiz Bianchini

Resumo – Este artigo apresenta inicialmente uma introdução ao tema de armazenamento de energia em baterias e o estado atual de pesquisa, aplicabilidade e tecnológico deste sistema. São descritas algumas tecnologias empregadas e aplicações direcionadas especificamente ao uso deste sistema na transmissão e distribuição de energia. Será apresentado de forma breve os principais componentes e as tecnologias que envolvem um sistema de armazenamento de energia e suas funcionalidades, como também o funcionamento do sistema como um todo. As principais aplicações descritas neste artigo são abordadas de forma generalizada, mas preservando suas características técnicas em relação ao tema. Por fim, é exposto as considerações e as possíveis evolução tecnológicas e de aplicação do uso de sistemas de armazenamento na transmissão e distribuição de energia.

Abstract - This paper, initially, presents an introduction to the topic of energy storage in batteries and the current status of research, applicability and technology of this system. Some used technologies and applications are described, specifically directed to the use of this system in the transmission and distribution of energy. The main components and technologies that involve an energy storage system and its functionalities, as well as the functioning of the system as a whole. The main applications described in this article are presented in a generalized way, but preserving their technical characteristics in relation to the theme. Finally, it is exposed the considerations and possible technological and application evolution of the use of storage systems in transmission and distribution of energy.

Palavras-chave – Armazenamento, BESS, distribuição, energia, transmissão.

Keyword – Storage, BESS, distribution, energy, transmission.

I. INTRODUÇÃO

As buscas de alternativas de armazenamento de energia, especialmente para atender às demandas decorrentes sobre o melhor aproveitamento operacional de fontes renováveis com redução de seus impactos sistêmicos, estão avançando juntamente ao aumento de novas tecnologias mais eficientes e economicamente viáveis, além do progresso das legislações e normativas sobre qualidade da energia na transmissão e distribuição de energia elétrica e as questões ambientais. [1]

Os sistemas baseados em tecnologias de armazenamento de energia são geralmente conhecidos pela sigla em inglês ESS (*Energy Storage System*). Embora os ESS possam funcionar com os mais variados princípios físicos relacionados

a energia mecânica, térmica, química e cinética, esse trabalho aborda apenas as tecnologias baseadas em baterias, por isso o “B” da sigla BESS (*Battery Energy Storage System*). [2]

Nesta perspectiva, a utilização dos BESS aliados ao avanço da eletrônica de potência com equipamentos mais robustos e um sistema de controle eficiente, podem incrementar a confiabilidade e qualidade na operação e planejamento do sistema elétrico devido a possibilidade de atender as necessidades técnicas e energéticas simultaneamente. Mesmo que a crescente atenção do meio técnico e científico incline-se para a utilização dos BESS em complementariedade à geração, principalmente de fontes renováveis, o campo de pesquisa para a utilização na transmissão e distribuição de energia também tendem muito a evoluir.

Dentre as possíveis aplicações, além da rápida resposta dos BESS frente às flutuações e demandas da rede e melhorias no perfil de tensão, as vantagens como gestão de energia, redução de perdas, melhoria na distribuição e no fator de carga de transformadores, suporte de energia em horário de pico e frente às contingências nas redes de distribuição com possíveis adiamento dos investimentos na rede elétrica podem ser alcançadas com a instalação desses sistemas em pontos específicos da rede, incluindo a possibilidade de prover melhor qualidade da energia elétrica. [3]

Diante do exposto, os próximos capítulos abordarão as principais tecnologias que estão no foco das pesquisas e uma breve explanação dos equipamentos utilizados para tal finalidade, como também as principais características de aplicação na transmissão e distribuição de energia.

II. SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS

Dentre as diversas tecnologias existentes para o armazenamento de energia, com objetivo de posterior utilização na forma de energia elétrica, as baterias eletroquímicas se apresentam como a principal solução para aplicação no setor elétrico brasileiro visando qualidade e confiabilidade do fornecimento, principalmente pela rápida capacidade de resposta operacional dessa tecnologia e por sua flexibilidade modular e locacional. [4]

Neste sentido, a utilização de sistema de armazenamento em baterias de íon-lítio é justificada por apresentarem vantagens em relação às outras topologias, entre elas, a alta densidade energética, vida útil prolongada, elevada capacidade de carga e descarga, modularidade e baixa manuten-

ção. Contudo, mesmo que as baterias íon-lítio sejam algo difundido apenas na última década, baterias de chumbo-ácido, por exemplo, há muito tempo são usadas para armazenar eletricidade, provando que o conceito de BESS não é tão novo. [5]

Apesar das inúmeras aplicabilidades de BESS, centralizadas ou distribuídas, de grande ou pequeno porte, observa-se que algumas das aplicações ainda dependem de questões regulatórias, técnicas e comerciais, o que fomenta a importância da discussão de forma a buscar a inserção de BESS no mercado brasileiro de forma sustentável, contribuindo para melhorias dos requisitos do sistema elétrico e que se mostrem atrativas frente às outras soluções. [4]

Nesse sentido, as atuais discussões sobre a modernização do setor elétrico e a busca de novas tecnologias, principalmente em armazenamento de energia, são vistas como uma grande oportunidade para os BESS, uma vez que sua viabilidade pode depender de remuneração para a prestação de serviços diferentes para um mesmo sistema. [4]

Desta forma, inicialmente serão apresentados os principais componentes do BESS e sua funcionalidade e, para cada uma das possíveis aplicações identificadas na construção deste artigo, serão discutidas suas vantagens e limitações, bem como os desafios, inclusive ambientais, relacionados à entrada e ampliação da utilização dos BESS na transmissão e distribuição de energia na matriz elétrica brasileira.

A. Battery Energy Storage System

O BESS é constituído de diversos equipamentos elétricos e eletrônicos agrupados de uma forma modular otimizada. Em sistemas de maior porte para utilização na transmissão e distribuição, que fogem do uso pontual como o residencial ou de mobilidade elétrica, por exemplo, os equipamentos são geralmente instalados dentro de containers específicos diante de sua praticidade de construção. Estes containers específicos adaptados para a instalação dos equipamentos do BESS são denominados de “eletrocentros”. [5]



Figura 1. Elementos do BESS em um eletrocentro. Adaptado de [5]

Cada componente do BESS ilustrado no eletrocentro da Figura 1 será apresentado de forma sucinta nos próximos itens deste artigo.

1) Baterias

As células da bateria de íon-lítio são elementos capazes,

por meio de reações químicas, de armazenar energia elétrica possibilitando a arbitragem de carga e descarga conforme necessário. A célula é definida como a menor unidade de armazenamento de energia em um sistema de armazenamento. [6]

Essas células de baterias são organizadas em módulos e empilhadas em racks que compõe o banco de baterias, conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2. Organização das células de baterias. [5]

A tensão nominal de cada célula varia de acordo com a combinação dos elementos químicos utilizados e é proporcional a profundidade de carga que o elemento foi submetido, ou seja, quanto maior a tensão elétrica sobre os polos da bateria, maior será seu percentual de carga. [6]

É importante esclarecer que ultrapassar os limites, tanto superiores quanto inferiores, da tensão da célula acarreta sérios danos aos elementos, gerando riscos ao funcionamento do sistema como um todo, como incêndios e curtos-circuitos. Por este motivo, durante o procedimento de carregamento é fundamental que haja um monitoramento individual da tensão de cada célula do grupo e que haja um balanceamento das cargas entre elas caso o valor da tensão se aproxime do limite máximo estabelecido.

Além da tensão, corrente, capacidade e energia, existem outras variáveis importantes relacionadas ao funcionamento das baterias de íon-lítio. A temperatura, por exemplo, é um fator crucial no desempenho e na vida útil das baterias, pois as reações químicas nas baterias são exotérmicas e exigem que haja controle do limite de calor aceitável. [7]

Outros parâmetros associados ao monitoramento das baterias também podem ser mencionados, como SoC (*State of Charge*) ou estado de carga, SoH (*State of Health*) ou estado de saúde e DoD (*Depth of Discharge*) ou profundidade máxima de descarga. [8] Diante da complexidade de definição de cada parâmetro específico do funcionamento da bateria eletroquímica, que não é o foco deste estudo, essas definições não serão apresentadas e foram abordadas neste tópico apenas para conhecimento geral.

2) PCS (Power Conversion System)

O conversor de potência PCS nada mais é do que um inversor eletrônico de tensão, um dispositivo bastante conhecido especialmente para sua utilização em sistemas fotovoltaicos e geradores eólicos *full-converter*. Em sistemas de armazenamento de médio e grande porte, o que antes era chamado de inversor, passa agora a ser apelidado de PCS, uma vez que a inteligência de controle está não integrada ao

inversor, sendo alocada em um equipamento específico. Essa separação ocorre devido à complexidade dos grandes sistemas onde cada projeto é diferente e, portanto, o sistema de controle precisa ser personalizado conforme a necessidade técnica.

Outra grande diferença entre o PCS e os inversores de tensão convencionais é a capacidade de fluxo de corrente bidirecional, que permite que as baterias sejam carregadas e descarregadas retificando ou invertendo a corrente senoidalmente, sem a necessidade de utilização de dispositivos de chaveamento com maiores capacidades de tensão e de forma a melhorar as formas de onda de tensão de saída. [9]

O princípio de funcionamento de um PCS é o mesmo de um inversor de tensão comum, onde sua função é transformar a corrente contínua em corrente alternada e vice-versa. Essa conversão é necessária porque a característica construtiva das baterias permite que o processo de armazenamento de energia seja apenas na forma de corrente contínua, obrigando-as a mudar para corrente alternada para que a energia possa ser utilizada para alimentar equipamentos convencionais e conectar o sistema à rede. [10]

Mesmo com seu princípio de funcionamento sendo o mesmo de conversores comuns, o PCS apresenta uma eletrônica de potência e equipamentos internos de maior potência e robustez, com sistema de refrigeração integrada e otimizada, trazendo maior confiabilidade ao sistema. Na Figura 3 pode ser observado um exemplo de PCS com seus equipamentos internos.



Figura 3. PCS de um BESS de grande porte. [5]

3) Transformador

Os transformadores são equipamentos elétricos estáticos utilizados para transferir energia de um lado para o outro de um circuito, através de um fluxo magnético comum a ambos os lados, transformando tensão e corrente alternada entre dois ou mais enrolamentos sem mudança de frequência. [11]

Em sistemas de armazenamento de energia, devido às características eletrônicas e de isolamento dos componentes internos do PCS, na maioria dos casos, a saída de corrente alternada é em baixa tensão. Para maior flexibilidade de utilização, principalmente em sistemas de distribuição e transmissão em tensões mais elevadas, se faz necessário a utilização de um transformador de potência específico para conexão do BESS ao sistema elétrico.

A utilização de transformadores à seco é maior empregada devido aos baixos custos de instalação e manutenção, economia de espaço, pois são compactos comparativamente a transformadores imersos em fluido isolante, dispensar obras civis especiais, como paredes corta-fogo ou bacias de contenção e possuir sistema de proteção simplificado, conforme ilustrado na Figura 4. [12]



Figura 4. Transformador de potência. [12]

4) Sistemas de controle

De forma generalista, os sistemas de controle do BESS são constituídos por um conjunto de dispositivos que gerenciam o comportamento de cada equipamento individualmente ou do sistema como um todo, objetivando garantir a operação de maneira otimizada e segura, mantendo níveis adequados de controle e a estabilidade do sistema, independentemente do seu modo de operação. [13]

Os sistemas de controle principais que compõem um BESS serão descritos de forma sucinta nos próximos subitens deste trabalho.

a) BMS (Battery Management System)

Com a utilização de banco de baterias, principalmente com células de íon-lítio, houve a necessidade de um maior controle individualizado e preciso de cada elemento, pois sua operação segura exige um monitoramento mais rigoroso de tensão, corrente e temperatura. A especificação de cada célula de íon-lítio determina os valores máximos de corrente, tensão e temperatura aos quais ela pode ser submetida, como também o valor mínimo de tensão ao qual a célula pode ser descarregada, conforme já abordado anteriormente. A principal função do BMS é monitorar e proteger o sistema para que esses limites não sejam ultrapassados, o que pode causar danos ao sistema ou até mesmo ao meio ambiente, como chamas e vazamento de elementos químicos. [14]

Além do monitoramento individual de cada célula de bateria do BESS, outra das principais funções do BMS é o balanceamento da carga entre cada célula, realizando o procedimento de controle necessário para que todos permaneçam em um nível semelhante de tensão e possam ser totalmente carregados e descarregados igualmente. [15]

Devido à constante medição dos parâmetros associados a cada célula, o BMS também é capaz de calcular a quantidade

de de energia disponível e o monitoramento do estado de saúde da bateria, fazendo um gerenciamento dos parâmetros importantes conforme sua forma de operação de fluxo de carga. [8]

Em termos de interface com outros dispositivos, em geral, o BMS está equipado com protocolos de comunicação que permitem a troca de informações, aumentando a versatilidade e segurança do dispositivo e maior controle de sua operação, entretanto não mantem uma interface diretamente com o usuário. Contudo, mesmo com a interface com outros elementos de controle, o foco da malha de controle do BMS é o monitoramento e gerenciamento apenas das baterias.

b) Sistema de controle do PCS

O PCS além de sua função de conversão de energia por meio da eletrônica de potência, controlando o sentido do fluxo de corrente em suas extremidades, possui um sistema de controle altamente complexo que realiza a leitura dos parâmetros da rede elétrica a qual está conectado e ajusta seus parâmetros de entrada e saída para uma conexão em sincronismo com a frequência da rede, mantendo a estabilidade e eficiência do sistema. O PCS deve manter os níveis de tensão e frequência dentro dos requisitos mínimos do sistema, tanto para transmissão, definidos nos Procedimentos de Rede, como para distribuição, definidos no Prodist,

A inteligência desenvolvida no sistema de controle do PCS deve garantir o equilíbrio da potência ativa entre a rede e o banco de baterias de forma contínua, de acordo com seu modo de operação, como ter uma resposta rápida o suficiente para manter a estabilidade da tensão e da frequência da rede na ocorrência de eventos intempestivos. [16]

A tecnologia de controle do PCS se desenvolve em uma direção com foco em obter cada vez menos perdas, maior confiabilidade e maior grau de modularidade de utilização e aplicação do BESS. Além disso, como a estratégia de controle pode ser customizada, o PCS poderá adotar de forma flexível diferentes estratégias de controle de acordo com diferentes modos de operação conforme sua aplicabilidade disseminada na transmissão e distribuição de energia. [16]

c) EMS (Energy Management System)

O EMS é o sistema de gestão global de energia do BESS, conforme seu próprio nome sugere, e é responsável pela aquisição de dados dos demais sistemas de controle para uma melhor tomada de decisão e atuação no BESS, garantindo o bom funcionamento e a segurança de todos os componentes envolvidos. A atuação do EMS deve levar em consideração os parâmetros fornecidos individualmente pelo BMS e pelo PCS, colocando o sistema como um todo em um ponto ótimo de operação.

Em geral, o EMS é implementado usando um controlador lógico programável, conhecido por PLC (*Programmable Logic Controller*), ou outra plataforma de automação industrial e, em certos casos, utilizam *hardware* e *softwares* dedicados específicos. O controlador do EMS deve ser equipado com várias entradas e saídas, analógicas e digitais, e diferentes protocolos de comunicação, permitindo a sua aplicação em muitas tarefas de monitorização e controle. Desta forma,

com a finalidade industrial do PLC, por exemplo, o EMS garante elevada confiabilidade e robustez, razão pela qual é amplamente usado para compor o "cérebro" de um BESS. [17]

Outra função importante do EMS é a interação com o usuário ou operador, a fim de informar sobre falhas, alarmes, o estado dos parâmetros e permitir a execução local ou remota de comandos. Localmente os comandos podem ser realizados através de uma IHM (interface homem-máquina) que consiste basicamente em um conjunto de botões, interruptores e luzes que permitem ao usuário realizar tarefas e ter *feedback* visual sobre o sistema. Remotamente, é possível a utilização de um *software* específico capaz de reproduzir basicamente as mesmas funções da IHM ou, em sistemas de maior porte utilizado na distribuição ou transmissão de energia, pode ser realizada a interface direta com o sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) de um centro de operações.

d) Microrredes

Com uma visão sistêmica para o aprimoramento da utilização de sistemas de armazenamento no sistema elétrico, um último estágio de controle do BESS, em constante desenvolvimento, é o conceito de microrredes que, segundo a definição formal da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), são redes de distribuição de energia elétrica que podem operar conectadas ou isoladas da rede de distribuição. [1]

Um controle global de redes de distribuição associado a utilização de BESS e outros componentes de operação e controle desta rede, como religadores inteligentes, é capaz de operar autonomamente em situações específicas, como em situações nas quais o atendimento a cargas locais deve ser assegurado mesmo que de forma isolada, quando a conexão com a rede principal é suspensa, garantindo o equilíbrio de geração e carga.

O conceito de microrrede visa aumentar a eficiência energética e a funcionalidade de distribuição de energia dos sistemas elétricos de forma otimizada, segura e inteligente. Isso é possível devido ao alto nível tecnológico inerente ao processo de aquisição de dados, tomada de decisão, operação e automatização do sistema de controle de uma microrrede. Este sistema de controle pode estar integrado ao BESS ou em uma camada de controle independente e autônoma do modo de operação do BESS. Contudo, vale ressaltar que para um elevado nível tecnológico é necessário um elevado investimento. [18]

Para efetivamente se colocar em prática uma microrrede com sistemas de armazenamento, algumas adequações técnicas devem ser levadas em consideração, como a modernização da infraestrutura elétrica, instalação de equipamentos de comunicação em diversos pontos da rede, elementos de medição e controle das cargas e softwares sofisticados com capacidade de processamento de dados. Também deve ser levado em consideração as mudanças nas regras de comercialização de energia necessárias para viabilizar a aplicação de uma microrrede. [18]

Por fim, com um amadurecimento do conceito de micror-

rede e sua aplicabilidade em sistemas de distribuição mais robustos, por exemplo, com tecnologias e comunicação com interface com os centros de controle das distribuidoras, poderemos em breve tratar a operação das microrredes em conjunto de sistemas de armazenamento como um complemento de controle do sistema elétrico como um todo.

5) QDCC (*Quadro de Distribuição de Corrente Contínua*)

O painel de distribuição de corrente contínua é o ponto de conexão elétrica de todos os equipamentos conectados ao barramento CC do BESS, desconectados por chaves, disjuntores e contadores específicos para corrente contínua, devido a características de elétricas da abertura e fechamento de circuitos CC, e também protegidos por um protetor de sobretensão (DPS) e fusíveis. O funcionamento é simples, o QDCC é responsável por garantir que as falhas ocorridas no lado CC do sistema sejam facilmente contidas, antes que se tornem problemas graves como curtos-circuitos e incêndios. [19]

O QDCC também, na maioria dos casos, é onde são conectadas individualmente cada grupo de baterias onde terão suas grandezas elétricas de tensão e corrente monitoradas. Desta forma além de apenas um quadro de distribuição, o QDCC também fornece informações importantes para o controle do BESS.

6) QDCA (*Quadro de Distribuição de Corrente Alternada*)

O painel de distribuição de energia em corrente alternada é onde o PCS, o lado de baixa tensão do transformador e demais componentes CA do BESS se conectam, fornecendo toda a proteção adequada para esta conexão com segurança.

O QDCA não se distingue muito de um quadro de distribuição industrial, entretanto seu projeto pode variar muito dependendo de definições técnicas de topologia, utilização de componentes de conexão com a rede, cargas, funções desejadas, bem como outras necessidades de proteção do sistema. [19]

A principal função do QDCA é a segurança e operação na conexão do BESS com a rede elétrica através de disjuntores, DPS, fusíveis e outros componentes auxiliares.

O QDCA também permite manobras de conexão com a rede, entre seus componentes, isolamento de peças para manutenção e desligamento de equipamentos específicos em caso de falha elétrica.

7) *Equipamentos e Sistemas auxiliares*

Não menos importante, os sistemas auxiliares de um BESS são essenciais para uma operação segura em relação principalmente de temperatura e incêndio.

O sistema de aquecimento, ventilação e ar-condicionado, conhecido pela sigla em inglês HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*), é responsável por garantir que a temperatura e a umidade dentro do gabinete do BESS atendam aos parâmetros especificados pelos fabricantes de todos os componentes. Geralmente os componentes mais delicados

em termos de limitação da temperatura operacional são as células de baterias, portanto, o valor de temperatura ideal para as baterias é geralmente o valor definido para a operação do HVAC. [20]

Outro componente de fundamental importância é o sistema de detecção e detecção de incêndio, capaz de atuar rapidamente em caso de incêndio ou fumaça no interior do BESS. Sensores instalados em diferentes partes do sistema sinalizam anomalias à unidade de controle, que então toma a decisão de liberar agentes extintores, que devem ser adequados para uso em caso de incêndio nos sistemas elétricos. Em especial para baterias de lítio, devido suas características químicas, os sistemas de extinção de chamas devem ser capazes de impedir a propagação do fogo preservando a integridade dos demais componentes do BESS. [21]

Além dos principais sistemas auxiliares, outros subsistemas, como alimentação 24 Vcc, iluminação e tomadas de 220 V, também são elementos essenciais no projeto de um BESS para uma melhor operação e manutenção do sistema.

III. APLICAÇÕES NA TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO

Sistemas de armazenamento de energia, especialmente em baterias, possuem diversas aplicações possíveis no setor elétrico, entretanto, vale ressaltar que a viabilidade de cada solução específica depende das características e necessidades que cada sistema considera, como na geração, transmissão ou distribuição de energia. Em sistemas de menor porte com a penetração de fontes renováveis variáveis, por exemplo, a utilização de BESS pode contribuir para o aumento da confiabilidade no atendimento à demanda diante de variações significativas de geração ou na carga. Para sistemas de maior porte e mais robustos, como o Sistema Interligado Nacional (SIN), a utilização de BESS na transmissão de energia pode aprimorar a capacidade e flexibilidade do sistema elétrico, tornando a operação mais segura, previsível e confiável. [4]

Outra possibilidade é a utilização dos BESS na distribuição de energia como alternativa e solução a restrições locais, substituindo investimentos tradicionais na rede de distribuição. Dependendo da evolução do mercado de energia, o fornecimento de serviços ancilares de controle de tensão e frequência, ou reserva operativa, também seria possível de ser realizado por sistemas de armazenamento de energia. [4]

Contudo, devemos considerar que dependendo da aplicabilidade pretendida para o BESS, é possível que o sistema fique ocioso em uma fração significativa do tempo. Desta forma, a viabilidade dessa solução na transmissão e distribuição de energia, principalmente, depende de uma combinação de aplicações, ou seja, o mesmo BESS deverá prover diferentes serviços no mesmo ponto de conexão, dependendo das necessidades e características do sistema em cada momento. [4]

Apesar de muitas vezes a utilização dos sistemas de armazenamento de energia em baterias serem relacionadas com a geração renovável, principalmente pela geração solar e eólica, visando mitigar sua intermitência e variabilidade de geração, nos próximos itens serão apresentadas algumas funcionalidades referentes a utilização dos BESS em sistemas de transmissão e distribuição de energia. Contudo, vale

ressaltar que a tecnologia do BESS nem sempre é adequada para todos os tipos de aplicação, sendo necessário um estudo para a adequada identificação de atributos e requisitos de cada sistema.

A. Prestação de Serviços Ancilares

Uma das principais utilizações de BESS na transmissão de energia é o fornecimento de serviços ancilares, que são serviços auxiliares oferecidos ao operador do sistema visando garantir o funcionamento com qualidade, segurança e confiabilidade do sistema elétrico como um todo. A resposta rápida do sistema de controle e eletrônica de potência associada a utilização de baterias é uma característica que favorece sua aplicação em serviços associados a controle de frequência e tensão da rede. Mesmo sendo equipamentos estáticos, a eletrônica de potência do BESS pode prover a chamada “inércia sintética” ao sistema, atuando rapidamente e fornecendo tempo hábil para adequada atuação do controle primário de frequência através das fontes geradoras. Com esta característica de emular inércia ao sistema, mesmo que por um curto período, o uso dessa tecnologia também é possível como reserva operativa, auxiliando na recuperação da estabilidade entre geração e carga após a ocorrência de perturbações no sistema elétrico, pode garantir maior confiabilidade para o atendimento a carga. [4]

Outros serviços possíveis também são os de controle de frequência e tensão e a participação em Sistemas Especiais de Proteção (SEP), podendo evitar o corte de carga ou geração por restrições elétricas como o desligamento de uma linha de transmissão, por exemplo, também podem ser atribuídos pela utilização do BESS em determinados pontos do sistema, proporcionando mais recursos para a operação de forma otimizada e com segurança.

Devemos lembrar que no Brasil os serviços ancilares ainda são realizados de forma mandatória, não havendo atualmente uma regulamentação a qual os BESS possam participar para fornecimento desses serviços. O mecanismo atual de contratação e expansão se baseia nos requisitos de garantia física e energia firme, desta forma, para permitir a contratação e a adequada remuneração para a prestação exclusiva de serviços ancilares, é necessário um novo modelo de mercado. Nesse cenário, os BESS se mostram como potencial solução para prestação de tais serviços, o que pode vir a viabilizar a utilização e contratação desta tecnologia, principalmente quando associadas a outras aplicações. [4]

B. Alternativa à Expansão do Sistema de Transmissão ou Distribuição

A aplicação de sistemas de armazenamento de energia como alternativa para expansão da transmissão ou distribuição se dá no alívio de sobrecarga em sistemas que eventualmente apresentam picos de carga, em particular em locais de acesso difícil e áreas de maior ocupação urbana, quando os custos de expansão do sistema elétrico podem ser muito elevados, como também próximo às unidades de conservação ambiental que impedem a construção de novas linhas e

subestações. Nestes casos, a inclusão do BESS localmente pode representar uma alternativa economicamente competitiva capaz de agregar uma margem adicional de abastecimento de energia, sem sobrecarregar o sistema de transmissão ou distribuição existente. [4]

Sistemas de armazenamento também podem ser empregados para aumentar a confiabilidade de sistemas interligados por redes sensíveis há alta incidência de falhas e consequentes interrupções no suprimento de energia. Neste cenário, o BESS pode atuar como um *backup* da rede de transmissão ou distribuição, sendo projetado para descarregar durante o período de falha ou manutenção da rede, por um período relativamente de curta duração. Como exemplo, em 2018 entrou em operação nos Estados Unidos um sistema de armazenamento de energia em baterias com a função principal de atendimento a picos locais de energia, evitando o investimento em mais de 30 quilômetros de linhas de transmissão e distribuição. [22]

Não é simples chegar à uma conclusão se a utilização do BESS será economicamente viável ao ponto de ser uma alternativa generalizada para a expansão do sistema elétrico. Entretanto, diante da possibilidade técnica desta aplicação, devemos levar em consideração tal tecnologia nos estudos do planejamento da ampliação de um sistema de transmissão e distribuição de energia.

C. Mitigação de Restrições Elétricas no Curto Prazo

Sistemas de armazenamento como BESS podem ser utilizados como recurso para garantir a segurança elétrica do sistema, em situações emergenciais, até a entrada em operação das soluções estruturais definitivas, levando em consideração os investimentos necessários devido aos prazos de implantação da solução estrutural final. Nestes casos, a aplicabilidade do BESS se mostra tecnicamente viável devido a instalação rápida, em comparação a linhas de transmissão e distribuição, além da portabilidade do BESS após a conclusão da solução estrutural, podendo ser reutilizado em outro local, diminuindo seu investimento inicial. [4]

Esta solução de aplicação do BESS pode configurar uma alternativa mitigadora das restrições elétricas de curto prazo, em caso de atrasos na implantação de empreendimentos de transmissão já licitados ou expansão da rede de distribuição emergenciais. Contudo, vale ressaltar que a limitação de quantidade de energia armazenada pode fazer com que a utilização do BESS, nestes casos, não apresente a mesma confiabilidade proporcionada por um sistema de transmissão e distribuição convencional. [4]

D. Arbitragem de Energia

Esse modelo de negócio de aplicação do BESS consiste em utilizar o sistema para carregar as baterias com energia nos momentos em que a oferta de energia no sistema é maior e, conseqüentemente, com preços mais baixos, para fornecer energia à rede elétrica nos momentos de escassez e preços mais elevados de comercialização. Esta aplicação e operação do BESS requer sistemas com maior capacidade

de armazenamento de energia, para que estes possam suprir a necessidade da carga e aproveitar as oscilações de preço.

Contudo, a possibilidade dessa solução depende fundamentalmente do amadurecimento das alterações regulatórias com diversidade temporal do preço de energia, conhecida como PLD (Preço de Liquidação das Diferenças) horário, que entrou em vigor em janeiro de 2021. [23]

Com isso, a utilização do BESS em sistemas de distribuição, juntamente com as oportunidades de negociação de energia do PLD horário, permite a criação de novos modelos de contrato e maior flexibilização do uso da energia elétrica, além de viabilizar investimentos em novos negócios e tecnologias, principalmente relacionados ao armazenamento e energia.

Ainda assim, devido principalmente às incertezas das oscilações de preço no longo prazo, é pouco provável que um BESS seja construído exclusivamente para essa aplicação, sendo que a composição de aplicações parece ser uma estratégia mais interessante para viabilização da utilização de um sistema de armazenamento. Entretanto, a aplicação simultânea para diversas finalidades pode encontrar barreiras regulatórias mais complexas, sendo necessária uma discussão mais ampla sobre essas possibilidades. [4]

E. Sistemas Isolados

As aplicações apresentadas anteriormente tiveram como foco as características de aplicação na transmissão e distribuição relacionadas ao SIN, com um mercado estabelecido, extensas linhas, grande número de subestações e muitos geradores e consumidores dos mais diversos tamanhos. Contudo, há oportunidades de utilização de BESS também em sistemas isolados, principalmente em regiões remotas. Inclusive, é possível que os benefícios obtidos com o uso dessas tecnologias sejam mais significativos para esses casos, que possuem sistemas elétricos menores e menos robustos que o SIN. [4]

Embora o SIN cubra mais de 99% das cargas do Brasil, algumas localidades ainda não possuem conexão com o nosso sistema interligado, principalmente na região Norte, os chamados sistemas isolados (SISOL). A demanda por energia elétrica dessas localidades é suprida, principalmente, por pequenas unidades geradoras térmicas a óleo diesel. [24] Desta forma, não é difícil perceber que há um grande espaço para o desenvolvimento e a utilização de BESS para esta aplicabilidade.

Além de tudo, devido a tecnologia empregada no sistema de armazenamento, é possível a utilização do BESS em complementariedade com as fontes já existentes, não apenas as gerações térmicas a óleo como também geração solar distribuída, tornando o sistema mais estável e eficiente.

IV. CONCLUSÕES

A expectativa do setor elétrico com relação ao uso de sistemas de armazenamento de energia, principalmente em baterias por sua facilidade e flexibilidade operativa e à diversidade de serviços que podem surgir, está crescendo em suas diversas áreas. Podendo a utilização do BESS ser de

maneira centralizada pelo operador do sistema ou por qualquer agente de geração, distribuição ou transmissão, ou mesmo de comercialização de energia, trazendo um grande potencial de transformação do setor elétrico. Para isso se tornar realidade, além das questões técnicas, econômicas e socioambientais, necessitamos de uma ampla discussão sobre os aspectos regulatórios com os agentes do setor.

Entretanto, para outras aplicações, como em sistemas isolados, as questões regulatórias já são mais favoráveis. Devido aos elevados custos de geração térmica a óleo diesel em localidades remotas isoladas do SIN, estudos indicam que há viabilidade econômica para a utilização do BESS nesta aplicação.

De forma semelhante, algumas aplicações de BESS de maneira distribuída para postergação ou até mitigação de investimentos em infraestrutura estão sendo estudadas pelos agentes do setor. O planejamento da expansão do setor elétrico deve monitorar a evolução tecnológica dessas soluções buscando alternativas disruptivas na forma funcionamento e operação do setor elétrico em geral.

Por fim, espera-se que os sistemas de armazenamento de energia em baterias sejam amplamente utilizados de forma técnica e economicamente viável no setor elétrico em breve, principalmente pela rápida evolução tecnológica. Os esforços dos agentes para a modernização do setor estão direcionados para permitir o desenvolvimento de novas tecnologias, incluindo nestas o BESS, criando um ambiente comercialmente competitivo entre as tecnologias disponíveis para atendimento às necessidades de otimização na transmissão e distribuição de energia.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANEEL. Chamada ANEEL nº 21/2016 – Projeto Estratégico “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro. Brasília: ANEEL, Jul. 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656831/14930433/Chamada+P+D_Estrategico_21_Armazenamento_Julho2016/0210802b-b6a6-4ed5-aa9e-2ec3911f7b44>.
- [2] NYSEERDA. Types of Energy Storage. Disponível em: <<https://www.nyserda.ny.gov/All-Programs/Programs/Energy-Storage/Energy-Storage-for-Your-Business/Types-of-Energy-Storage>>
- [3] Pereira, C.O., Cunha, V.C., Ricciardi, T.R., Torquato, R., Freitas, W., Riboldi, V.B., and Tuo, J. (2019). Pre- Installation Studies of a BESS in a Real LV Network with High PV Penetration. In 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America).
- [4] EPE. Sistemas de Armazenamento em Baterias - Aplicações e Questões Relevantes para o Planejamento. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-441/EPE-DEE-NT-098_2019_Baterias%20no%20planejamento.pdf>
- [5] WEG. Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias ESSW. Disponível em: < https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Critical-Power/Armazenamento-de-Energia-em-Baterias/c/BR_WDC_CP_ARMAZ_ENERG_BAT>
- [6] ADAFRUIT. Voltages. Disponível em: <<https://learn.adafruit.com/lithium-and-lipoly-batteries/voltages>>
- [7] ZHUANG, W. et al. An intelligent thermal management system for optimized lithium-ion battery pack. Applied Thermal Engineering, v. 189, n. August 2020.
- [8] MANTHOPOULOS, A.; WANG, X. SOC Estimation Methods for Electric Vehicles. IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference). Anais 2020.
- [9] CHOI, W. et al. Reviews on grid-connected inverter, utility-scaled battery energy storage system, and vehicle-to-grid application-

- challenges and opportunities. In: IEEE. 2017 IEEE Transportation
- [10] MUELLER, J. et al. Power Conversion Systems. 2020.
- [11] NBR 5356-1. Transformadores de potência Parte 1: Generalidades). Disponível em: <https://pdfcoffee.com/abnt-nbr-5356-1-transformadores-de-potencia-parte-1-generalidades-dez-2007-substitui-a-nbr-5380-1993-tabela-de-deslocamento-angular-na-pag-38-cancelada-substituida-pela-errata-1-ano-2010pdf-pdf-free.html>
- [12] WEG. Transformador a Seco . Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/MN/pt/Gera%C3%A7%C3%A3o%2C-Transmiss%C3%A3o-e-Distribui%C3%A7%C3%A3o/Transformadores-a-Seco/c/GTD_TS
- [13] Armazenamento de Energia Elétrica com Baterias: Tecnologias e Aplicações. Disponível em: <https://www.ihm.com.br/cases-articles/armazenamento-de-energia-eletrica-com-baterias-tecnologias-e-aplicacoes>
- [14] ORION BMS. How the BMS works. Disponível em: <https://www.orionbms.com/general/how-it-works/#:~:text=There are also secondary functions,are charged more than others.&text=Monitors the temperature of the,the temperature of the pack>
- [15] NIZAM, M. et al. Design of Battery Management System (BMS) for Lithium Iron Phosphate (LFP) Battery. ICEVT 2019 - Proceeding: 6th International Conference on Electric Vehicular Technology 2019.
- [16] Chen Hongbing, Four-leg Power Converter in Power Conversion System(PCS) of Energy Storage and Its Control Strategies. [J]. HeFei University of Technology, 2013.
- [17] WAGO. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL. Disponível em: <https://www.wago.com/br/automacao-wago/controlador-logico-programavel>
- [18] Ministério de Minas e Energia. Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/documents/36148/342584/RELAT%C3%93RIO+SMART+GRID/cf509d1b-b503-5eda-5392-97738fe6f45a?version=1.0>
- [19] JUNIOR, G. M. Dispositivos de proteção. 2013.
- [20] AIRLINK. Entenda o que é HVAC e a importância do sistema para conforto térmico de ambiente. Disponível em: <https://www.airlinkfiltros.com.br/artigos/entenda-o-que-e-hvac-e-importancia-do-sistema-para-conforto-termico-de-ambiente>
- [21] FIREPRO. Tecnologia FirePro. Disponível em: <https://www.firepro.com/pt-BR/tecnologia-supressao-incendios>
- [22] Fluence. (2019). Project Spotlight: Energy Storage Used in Place of Traditional Infrastructure on the Distribution Grid.
- [23] PLD horário: o que muda? Disponível em: <https://www.focusenergia.com.br/pld-horario-o-que-muda/>
- [24] ONS. Sistemas isolados. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/sistemas-isolados>