

TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA PARA SUPORTE À INTEGRAÇÃO DE FONTES RENOVÁVEIS NO BRASIL

Felippe Melo Campos – felippe.campos@fbter.org.br

Danielly Norberto Araújo – danielly.araujo@fbter.org.br

Olga Moraes Toledo – olga.toledo@fbter.org.br

Lucas do Espírito Santo Fernandes – lucas.fernandes@fieb.org.br

Ana Tereza Andrade Borba – ana.borba@fieb.org.br

SENAI CIMATEC, Área de Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica

Resumo. A necessidade de adequação dos sistemas de energia elétrica às novas realidades com a inclusão de conceitos como controle de qualidade, eficiência e automação faz com que sejam necessários estudos de diferentes topologias e equipamentos para conferir a este sistema maior flexibilidade e confiabilidade. Desde a geração da energia elétrica, passando pela distribuição e transmissão e chegando à comercialização e consumo, diversos aspectos e sistemas foram desenvolvidos e introduzidos nas redes para que estes estivessem cada vez mais contextualizados com a nova era da informação. A maior inserção de fontes renováveis de energia nos sistemas elétricos é um dos pontos principais para a necessidade do desenvolvimento de novas soluções para as redes elétricas. Tendo em vista principalmente a adoção de geração fotovoltaica (FV) como recurso emergente, o equilíbrio entre a geração e o consumo tende a ser cada vez mais complexo para as redes de distribuição e por isso os sistemas de armazenamento de energia em bancos de baterias (BESS, Battery Energy Storage Systems) surgem como uma alternativa, principalmente por permitir a flexibilização na operação dos sistemas e por sua modularidade possibilitar a atuação em diferentes escalas. Este trabalho tem por objetivo fazer uma revisão sobre as tecnologias mais utilizadas de BESS e suas aplicações principais e secundárias para sistemas de geração distribuída, especialmente sistemas fotovoltaicos. Por meio de estabelecimento de benchmarking verificou-se que atualmente no Brasil os sistemas BESS compostos por baterias de íons de lítio representam cerca de 90% da capacidade instalada, o que está em acordo com a tendência mundial, seguindo o viés de crescimento. Além disso, percebeu-se que 65% destes sistemas possuem integração com geração FV, representando um sistema de suporte à intermitência das fontes renováveis.

Palavras-chave: Banco de Baterias, Geração Distribuída, Energia Solar

1. INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas de armazenamento de energia está se tornando cada vez mais comum e essencial no Sistema Elétrico de Potência (SEP), levando em consideração que podem ser implementados não somente nos segmentos de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica, mas também nos consumidores finais do setor elétrico (Koochifayegh; Rosen, 2020). Além disso, com a iminente modernização das redes elétricas e o avanço da tecnologia, os sistemas de armazenamento estão sendo vistos como suporte para tornar os sistemas elétricos mais flexíveis, confiáveis e resilientes por meio de suas aplicações e benefícios (McMahon; Infante, 2017). Adicionalmente, em razão da crescente inserção das energias renováveis, está sendo frequente correlacionar a utilização de sistemas de armazenamento em aplicações que visam otimizar a geração renovável (Mallapragada; Sepulveda; Jenkins, 2020).

As energias renováveis possuem características intermitentes, o que ocasiona variações e incertezas na geração de energia elétrica e, conseqüentemente, impacta na confiabilidade do sistema elétrico (Mararakanye; Bekker, 2019). Assim, os sistemas de armazenamento estão sendo integrados às fontes renováveis de energia, de modo a absorver ou despachar potência à medida que há picos ou vales de geração renovável, respectivamente (Krishan; Suhag, 2019).

Em relação às tecnologias, os Sistemas de Armazenamento de Energia por Baterias (BESS, *Battery Energy Storage Systems*) têm se destacado no SEP devido às suas principais vantagens, entre as quais: versatilidade, redução crescente dos custos, alta eficiência e maturidade tecnológica (Sperstad et al., 2020). A versatilidade do BESS é caracterizada por sua diversidade de utilização, que pode estar associada, mas não se limita, à: (i) otimização da geração renovável; (ii) prestação de serviços ancilares (regulação de frequência e tensão, por exemplos); e (iii) redução e gerenciamento dos picos de demanda nas linhas de transmissão e distribuição (Datta; Kalam; Shi, 2021).

A escolha da bateria a ser utilizada no BESS depende da aplicação, com seus critérios e parâmetros, em conjunto com os benefícios e as limitações da tecnologia da bateria. Visando fornecer informações relevantes sobre as baterias, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão sobre as principais tecnologias de baterias utilizadas em BESS, bem como suas aplicações principais e secundárias mediante a integração de fontes renováveis, especialmente a fonte solar.

Além disso, são apresentadas as iniciativas realizadas no Brasil para viabilização da utilização de BESS nas redes elétricas, bem como o *benchmarking* das aplicações atuais de BESS no Brasil, identificando as tecnologias de baterias utilizadas, as fontes renováveis associadas e o tipo de aplicação no contexto de geração, transmissão, distribuição ou consumo de energia elétrica. O objetivo é identificar as principais tendências do mercado nacional.

2. METODOLOGIA

Para realização desse trabalho, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre as tecnologias e aplicações de BESS e sua contextualização no Brasil por meio de relatórios e artigos técnico-científicos. Para o estabelecimento do *benchmarking* do setor nacional, foram realizadas buscas no site da ANEEL e de concessionárias para o levantamento dos dados necessários a esta finalidade.

3. TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

As tecnologias de armazenamento de energia podem ser classificadas como: elétrica, química e mecânica. Como exemplos de armazenamento elétrico, pode-se citar os supercapacitores; de químico, as baterias e de mecânico, as usinas hidrelétricas reversíveis (Cantane; Hideo; Junior, 2020). No mesmo viés dessa classificação, na Fig.1 é apresentado um comparativo entre as tecnologias de armazenamento, em função do tempo de descarga e da potência do sistema.

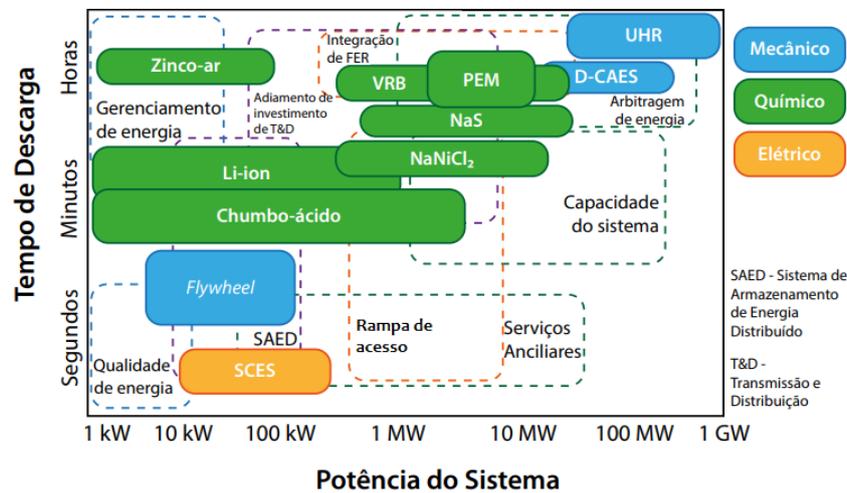


Figura 1 - Classificação das tecnologias de armazenamento (Adaptado de Cantane; Hideo; Junior, 2020).

Com a crescente utilização das fontes renováveis para geração de energia elétrica e a necessidade de diversidade de aplicação, as baterias têm se destacado como dispositivos para armazenamento de energia. Nesse sentido, as baterias acumulam energia em forma química e a converte em energia elétrica a partir de reações químicas, sempre que necessário. Existem diferentes tipos de baterias (chumbo-ácido e íons de lítio, por exemplo), que dependendo da aplicação em que será utilizada, algumas tecnologias são mais apropriadas do que outras.

Além disso, as baterias podem ser categorizadas em primárias e secundárias, sendo do tipo não recarregáveis e recarregáveis, respectivamente. As baterias secundárias são utilizadas em diversas aplicações no sistema elétrico e são indicadas para situações que exigem respostas rápidas. As principais características das baterias secundárias são: alta energia específica, alta densidade de potência, baixa resistência, efeito memória não considerável e ampla faixa de eficiência e de temperatura de operação.

Na Tab.1 é apresentada uma comparação de parâmetros das baterias secundárias de chumbo-ácido, íons de lítio, íons de alumínio, fluxo de vanádio e enxofre-sódio. Os parâmetros avaliados são: potência nominal, densidade de energia, tempo de descarga, eficiência energética e ciclo de vida. Adicionalmente, na Tab.2 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens das respectivas baterias.

Tabela 1 - Comparação de parâmetros de baterias (Adaptado de Zhang et al., 2017).

TECNOLOGIA	POTÊNCIA NOMINAL (MW)	DENSIDADE DE ENERGIA (Wh/kg)	TEMPO DE DESCARGA (h)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)	CICLO DE VIDA (anos)
Chumbo-ácido	< 36	50	8	75 – 85	3 – 12
Íons de Lítio	< 102	200	6	90 – 94	5 – 15

TECNOLOGIA	POTÊNCIA NOMINAL (MW)	DENSIDADE DE ENERGIA (Wh/kg)	TEMPO DE DESCARGA (h)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)	CICLO DE VIDA (anos)
Íons de Alumínio	Não encontrado	60	6	90 – 94	5 – 15
Fluxo de vanádio	< 28	30	10	70 – 85	5 – 15
Enxofre-Sódio	< 50	240	8	75 – 86	5 – 10

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens de tipos de baterias.

TECNOLOGIA	PRÓS	CONTRAS	REFERÊNCIAS
Chumbo - ácido	<ul style="list-style-type: none"> • Maturidade tecnológica; • Baixo custo; • Alta potência específica; • Bom desempenho em baixas e altas temperaturas; • Recicláveis. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclo de vida limitado; • Longo tempo de carga/descarga; • Elevada auto descarga; • Impacto ambiental adverso; • Densidade energética baixa. 	Mariano et al.; 2021 Zhang et al., 2017 GREENER, 2021
Íons de Lítio	<ul style="list-style-type: none"> • Altas densidade de energia e eficiência; • Longo ciclo de vida; • Redução crescente dos custos; • Versatilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo; • Necessidade de sistema de gerenciamento; • Impacto ambiental adverso. 	Mariano et al.; 2021 Zhang et al., 2017
Íons de Alumínio	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo; • Alta densidade de energia; • Abundância de material. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de sistema de gerenciamento; • Impacto ambiental adverso. 	R. Alumínio, 2021 Zhang et al., 2017
Fluxo de Vanádio	<ul style="list-style-type: none"> • Alta potência; • Longo ciclo de vida; • Curto tempo de carga/descarga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo; • Requer manutenção; • Baixa densidade de energia; • Impacto ambiental adverso. 	Mariano et al.; 2021 Zhang et al., 2017 GREENER, 2021
Enxofre – sódio	<ul style="list-style-type: none"> • Alta potência e eficiência; • Alta densidade de energia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo; • Sistemas de segurança; • Impacto ambiental adverso. 	Zhang et al., 2017

As baterias de íons de lítio e as de enxofre-sódio possuem densidade energética maior do que as baterias de chumbo-ácido, íons de alumínio e fluxo vanádio, o que implica em uma concentração maior de energia em uma menor área ocupada. Ao se comparar o tempo para descarga das baterias, percebe-se que as baterias de lítio possuem o menor tempo entre as tecnologias analisadas, bem como possuem maior eficiência e vida útil. Apesar disso, necessitam de sistema de gerenciamento para monitoramento dos seus parâmetros, podem impactar negativamente o meio ambiente e possuem alto custo inicial.

Em relação aos custos, foi constatada uma queda de 87% do valor das baterias de lítio entre 2010 e 2019, o que tem motivado a utilização dessa tecnologia nas mais diversas aplicações. A capacidade instalada mundial de baterias de íons de lítio teve um aumento em torno de 60% entre 2012 e 2018 (IEA, 2020a). Isso pode ser explicado pela maior utilização de Veículos Elétricos (VEs) e BESS nos sistemas elétricos.

Deve-se salientar que apesar de todas as vantagens das baterias de lítio, a seleção da tecnologia a ser utilizada em uma determinada aplicação deve estar alinhada aos custos e benefícios associados a essa tecnologia. Consequentemente, outras baterias podem ser mais viáveis economicamente e tecnicamente do que as baterias de íons de lítio. As baterias de chumbo-ácido, por exemplo, são utilizadas principalmente nos casos em que a relação custo-benefício e a confiabilidade são críticas, mas a densidade de energia e a vida útil não são tão importantes.

4. APLICAÇÕES DE BESS

De forma geral, o BESS é composto por um banco de baterias, um Sistema de Monitoramento de Baterias (BMS, *Battery Management System*), um Sistema de Conversão de Potência (PCS, *Power Conversion System*), um Sistema de Gerenciamento de Energia (EMS, *Energy Management System*), e por componentes auxiliares, tais como: sensores e extintores de incêndio. A bateria é o elemento fundamental do BESS, sendo responsável por armazenar energia química e disponibilizá-la na forma de energia elétrica, quando necessário.

O BMS é responsável por monitorar e controlar os parâmetros das baterias durante a operação do BESS. O PCS tem como função converter energia de Corrente Alternada (CA) em Corrente Contínua (CC) e vice-versa. O EMS é

responsável por monitorar e gerenciar a atuação do BESS e dos seus dispositivos. Já os sistemas auxiliares têm como objetivo manter a operação segura e confiável do sistema de armazenamento.

Em relação às aplicações, a depender do local de instalação do BESS, se antes (BTM, *behind-the-meter*) ou depois (FTM, *front-of-meter*) do medidor de energia elétrica (Fig. 2), as possibilidades de utilização são diversas nos segmentos do SEP (IRENA, 2019). As aplicações BTM são focadas em aspectos de gestão, confiabilidade e qualidade de energia elétrica no consumidor final. Enquanto as aplicações FTM são direcionadas para geração, transmissão e distribuição de energia, de modo a postergar investimentos e evitar sobrecarga nas linhas, bem como realizar serviços auxiliares (regulação de frequência e *black start*, por exemplo), entre outros (IRENA, 2020).

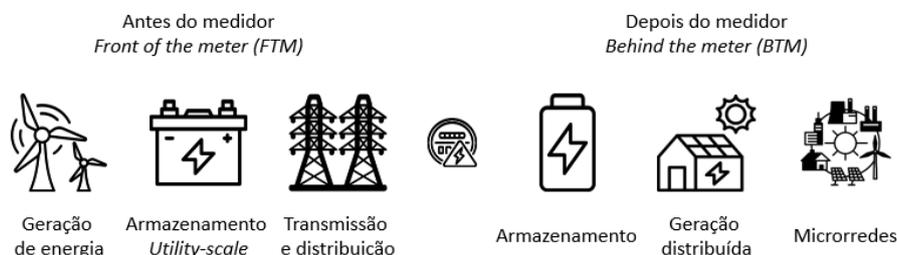


Figura 2 - Classificação quanto à localização (Adaptado de ENERGYSAGE, 2019).

Na Tab.3 são apresentados os conceitos de algumas das aplicações em que o BESS pode ser utilizado no SEP. Já na Tabela 4 são apresentadas as baterias indicadas para essas respectivas aplicações.

Tabela 3 - Conceitos de aplicações de BESS.

APLICAÇÃO	CONCEITO	REFERÊNCIAS
Energia de reserva	Suprimento de demanda imediata sempre que necessário. Cobertura de perdas e garantia de operação do sistema.	Pereira, 2020
Qualidade de energia	Com o controle de parâmetros a qualidade da energia é melhorada e por isso garante a redução de perdas nas linhas e estabelece o pleno funcionamento de dispositivos conectados à rede.	Bortoni; Silva, 2016
Deslocamento de carga	Gestão de energia entre a geração e a carga do consumidor final dentro de uma região específica num determinado intervalo de tempo.	Souza, 2020
Confiabilidade de suprimento	Descarga das baterias acontece durante uma interrupção de fornecimento de energia suprimindo faltas.	Akhil et al., 2013
Gestão da demanda contratada	Redução do pico da demanda para que não haja a ultrapassagem do valor contratado junto à concessionária e impostos incidam sobre este acontecido, reduzindo possíveis custos na conta de energia. As baterias podem ser carregadas anteriormente e, quando houver um aumento da carga do consumidor, serem descarregadas.	Mariano et al., 2021
Controle de frequência	Controle da transferência de potência ativa através do ponto comum de conexão.	Cantane; Hideo; Junior, 2020
Gestão de tarifas	Redução dos custos com tarifação, carregando as baterias no momento em que a tarifa é mais barata (Fora Ponta) e utilizando a energia armazenada no momento em que a tarifa é mais elevada (Ponta). Assim, economiza-se o valor correspondente a essa diferença.	GREENER, 2021.

Tabela 4 - Aplicações de BESS.

MODELO	APLICAÇÕES PROVÁVEIS	REFERÊNCIAS
Chumbo ácido	Controle de frequência e ajuste de carga	Zhang et al., 2017. Souza, 2020.
Íons de Lítio	Controle de frequência, deslocamento de carga e qualidade de potência.	Zhang et al., 2017. LAZARD, 2020. Souza, 2020.
Fluxo de Vanádio	Energia de reserva, deslocamento de carga e qualidade de potência	Zhang et al., 2017. LAZARD, 2020.
Enxofre – sódio	Ajuste de carga e energia de reserva	Zhang et al., 2017. Souza, 2020.
Íon de Alumínio	Energia de reserva	R.Alumínio, 2021. Zhang et al., 2017.

Considerando a localização do BESS, bem como suas aplicações no SEP, na Tab. 5 são apresentadas as sinergias das tecnologias das baterias, evidenciando as suas aplicações principais e secundárias. A partir disso, conclui-se que as baterias de lítio são aplicadas tanto FTM quanto BTM, enquanto as outras tecnologias possuem restrições de aplicação.

Tabela 5 - Aplicações dos sistemas de armazenamento e tecnologias BESS associadas (Adaptado de Amin; Bolorchi, 2020, DELOITTE, 2015, LAZARD, 2020).

SISTEMAS	TECNOLOGIAS DE BATERIAS	APLICAÇÕES PRINCIPAIS	APLICAÇÕES SECUNDÁRIAS	LOCAL
“Bulk energy” Armazenamento de grande porte.	Fluxo de Vanádio, Lítio e Enxofre-sódio	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de Suprimento da Carga • Suporte e regulação de tensão; • Postergação de investimentos; • Gestão da Sobrecarga na transmissão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Energia de reserva; • Balanceamento de cargas por área; • Integração de fontes renováveis. 	FTM
Serviços ancilares	Lítio	<ul style="list-style-type: none"> • Confiabilidade de suprimento; • Suporte e regulação de tensão; • Postergação de investimentos; • Controle de frequência. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestão de atendimento à carga em função da tarifa horária e da disponibilidade; • Integração de fontes renováveis; 	FTM
Transmissão e Distribuição	Fluxo de Vanádio, Lítio, e chumbo-ácido	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de perdas; • Suporte e regulação de tensão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Postergação de investimentos; • Gestão de demanda de carga das baterias. 	FTM
Consumidores	Lítio, Fluxo de Vanádio, Chumbo-ácido, Enxofre-Sódio	<ul style="list-style-type: none"> • Gestão do consumo em função da tarifa horária; • Qualidade de energia; • Confiabilidade de suprimento; • Gestão de demanda de carga das baterias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Integração de fontes renováveis. 	BTM
Integração de fontes renováveis	Lítio, Fluxo de Vanádio, chumbo-ácido, Enxofre-sódio	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de suprimento de energia firme; • Conferir flexibilidade e segurança no atendimento da carga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte à conexão da geração eólica à rede. 	BTM OU FTM

5. BESS NO BRASIL: *BENCHMARKING*

No Brasil, sistemas de armazenamento utilizando baterias são usualmente aplicados em sistemas isolados (EPE, 2020). No entanto, visando tornar o sistema elétrico brasileiro um ambiente propício para integração de BESS com as redes elétricas, uma série de medidas estão sendo tomadas por órgãos do setor elétrico. Em 2020, por exemplo, foi realizada a abertura da Tomada de Subsídios 011/2020 na Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com a finalidade de obter contribuições para as adequações regulatórias necessárias para permitir inserção segura de sistemas de armazenamento na rede elétrica (IEA, 2020b).

Além disso, pode-se citar outras medidas, tais como (ANEEL, 2020):

- Preço da Liquidação das Diferenças (PLD) horário: a partir de janeiro de 2021, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) iniciou o PLD horário nos processos de contabilização e liquidação para valorar a energia liquidada no mercado de forma diária e em base horária. O objetivo é detalhar a matriz elétrica e as suas restrições para operação, visando a alta inserção de fontes renováveis. A ampliação da granularidade temporal implica em sinais de preços mais precisos, motivando a inserção de recursos de armazenamento.

- Micro e minigeração distribuída: a ANEEL realizou a abertura da consulta pública da Resolução Normativa nº 482/2012 em 2019, de modo que seja realizado aperfeiçoamentos no modelo do sistema de compensação de créditos na GD. As alterações tem como objetivo equilibrar os custos referentes ao uso da rede de distribuição e os

encargos pelos consumidores que possuem GD. Segundo a ANEEL, o aprimoramento tornará mais eficiente os sinais de preços e contribuirá para a inserção de recursos de armazenamento, dado que, pelo modelo vigente, o consumidor não é incentivado a fazer tal investimento.

- Consultas públicas: por meio da Nota Técnica nº 094/2020, a ANEEL abriu uma Tomada de Subsídios a fim de obter contribuições públicas para adequar questões regulatórias necessárias à inserção de sistemas de armazenamento e desta forma fomentar o debate e receber contribuições da sociedade para regulamentar o armazenamento de energia interligado ao SIN (Sistema Interligado Nacional) (ANEEL, 2020). Além desta, em 2021, a ANEEL lançou a Nota Técnica nº 076/2021 para o recebimento de contribuições sobre propostas de modelos regulatórios para a inserção de recursos energéticos distribuídos (armazenamento incluído), incluindo resposta da demanda, usinas virtuais e microrredes (ANEEL, 2021).

- Pesquisa e inovação: a ANEEL lançou em 2016 a Chamada de Projeto Estratégico de P&D nº 21/2016 intitulada "Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro". A Chamada tem como objetivo o desenvolvimento de projetos para avaliação e inserção de sistemas de armazenamento de energia no setor elétrico, de forma integrada e sustentável, bem como para criar condições para o desenvolvimento de base tecnológica, propriedade intelectual (patentes) e infraestrutura de produção nacional (ANEEL, 2019a).

Diante dessas e outras iniciativas realizadas, é crescente a utilização de BESS conectados às redes elétricas brasileiras. Na Tab. 6 são apresentados empreendimentos que contemplam BESS integrados a fontes renováveis, indicando a tecnologia da bateria utilizada, a capacidade do BESS, as fontes renováveis associadas e a localização do BESS (BTM ou FTM), entre outros aspectos.

Ao analisar a Tab.6, percebe-se que 90% da capacidade de armazenamento instalada por estes projetos é representada pela tecnologia de lítio, seguido pelos aproximados 6% da chumbo-ácido e 4% da tecnologia de enxofre-sódio. Além disso, nota-se que 65% dos projetos apresentados são integrados pela geração FV e nestes, 35% apresentam as baterias de íons de lítio para compor os seus respectivos BESS. Vale salientar que os sistemas de armazenamento que apresentam mais de uma tecnologia de bateria, como os casos das iniciativas da CEMIG, representam dois BESS, um composto por baterias de íons de lítio e o outro por baterias de chumbo-ácido. Ressalta-se ainda a elevada presença do incentivo da ANEEL à inserção de sistemas de armazenamento no Brasil, em que 60% dos estudos de caso apresentados correspondem a projetos de P&D.

Tabela 6 - Levantamento de principais empreendimentos de BESS no Brasil.

PROJETO	LOCALIZAÇÃO	BESS	INTEGRAÇÃO COM FONTES RENOVÁVEIS*	GD	CLASSE	FASE	REFERÊNCIAS
Vale	Ilha Guaíba/RJ	10 MWh - Lítio	Hidrelétrica	Não há	BTM	Implantação	GREENER, 2021. VALE, 2020.
Certi	Eusébio/CE	1 x 111 kWh - Lítio 5 x 5 kWh - Lítio	FV e eólica	FV - 24 kWp Eólica – 7 kWp	BTM	Operacional	Martins, 2020.
ITEMM e Moura	Belo Jardim/PE	560 kWh - Lítio	FV	FV - 310 kWp	BTM	Operacional	ITEMM, 2020.
Luz para Todos	Ilha de Lençóis/MA	288 kWh - Chumbo-ácido	FV e eólica	FV – 21,06 kWp e 32,34 kWp Eólica – 22,5 kW	Off-grid	Operacional	GREENER, 2021. Cosme, 2020.
Aldo	Maringá/SP	414 kWh - Lítio	FV	FV - 300 kWp	BTM	Operacional	GREENER, 2021.
P&D CEMIG	Uberlândia/MG	1360 kWh - Lítio 225 kWh - Chumbo-ácido	FV	FV - 549 kWp	BTM	Operacional	GREENER, 2021. ANEEL, 2019b.
P&D CESP	Rosana/SP	510 kWh - Lítio	Hidrelétrica, FV, eólica	FV – 2,97 kWp Eólica – 2,4 kW	FTM	Operacional	GREENER, 2021. CESP, 2017.
P&D UTFPR	Curitiba/PR	56,7 kWh - Chumbo-ácido	FV	FV – 10,88 kWp	BTM	Operacional	Mariano et al.; 2021.
P&D CELPE	Ilha de Fernando de Noronha/PE	510 kWh - Lítio	FV	FV - 1 MWp	Off-grid	Operacional	GREENER, 2021.
P&D ISA - CTEEP	São Paulo/SP	100 kWh - Lítio	FV	FV – 150 kWp	BTM	Operacional	USP, 2019.
P&D FURNAS	Itumbiara/GO	600 kWh - Lítio	Hidrelétrica e FV	FV – 1 MWp	FTM	Implantação	FURNAS, 2020. SINDISTAL, 2021.
P&D ENERGISA MS	Região do Pantanal - MS	45 kWh e 80 kWh - Lítio ou Chumbo-ácido	FV	Não especificado	Off-grid	Operacional	LACTEC, 2019.
P&D CEMIG	Belo Horizonte/MG	1 MWh - Lítio 750 kWh - Chumbo-ácido	FV	FV - 1,42 MWp	FTM	Em projeto	Leite et al., 2019.
P&D ENGIE	Tubarão/SC	1 MWh- Lítio	FV	FV – 3MWp	FTM	Implantação	UFSC, [s.d]. CANALENERGIA, 2021.
P&D CPFL	Campinas/SP	2 MWh - Lítio	FV	FV – 1 MWp	FTM	Operacional	CPFL, 2021. Riboldi et al., 2020.
P&D CPFL	João Câmara/RN	1,29 MWh - Lítio	Eólica	Eólico – 25,2 MW	FTM	Operacional	CPFL, 2021. GEPEA, 2021.
P&D NEOENERGIA	Remanso/BA	928 kWh - Lítio	FV	Não especificado	Off-grid	Operacional	NEOENERGIA, 2020.
ITAIPU BINACIONAL	Brasília/DF	282 kWh - Enxofre-sódio	FV	FV – 90 kWp	BTM	Operacional	ITAIPU, 2016.
ITAIPU BINACIONAL	São Gabriel da Cachoeira/AM	Capacidade de Enxofre-sódio não especificada	FV	FV - 180 kWp	BTM	Operacional	ITAIPU, 2020.
CHESF	Casa Nova/BA	1 MW - Lítio	FV e eólica	FV – 1 MW Eólico – 1,5 MW	FTM	Em projeto	CHESF, 2020.

* Este trabalho não levou em consideração geração distribuída de fontes não renováveis.

6. CONCLUSÕES

A utilização de sistemas BESS em conjunto a sistemas de geração distribuída, em especial FV, é uma necessidade cada vez maior visto que a inserção de fonte de energia renovável na rede tem forte viés de alta e este tipo de suporte proporciona mais robustez ao sistema fornecendo a possibilidade de mitigar sua intermitência além da atuação na qualidade de energia. A utilização de sistema BESS por suas características de aplicação multifuncionais permite maior flexibilidade, robustez e também modularidade aos sistemas elétricos de potência, em especial os possuíntes de grande inserção FV.

Perceptivelmente, o BESS em funcionamento e/ou desenvolvimento no Brasil está atrelado às fontes de energia renováveis, majoritariamente a FV. Nos projetos brasileiros, é possível notar ainda a presença das baterias de chumbo-ácido. Porém, verifica-se a crescente utilização de projetos com baterias de íons de lítio, o que está de acordo com a tendência mundial para este tipo de aplicação. Nos sistemas levantados no *benchmarking*, este crescimento na utilização na tecnologia de Lítio é notável, já que 90% dos projetos possuem um BESS composto por esta tecnologia.

Além disso, pode-se notar a falta de sistemas com outros modelos de bateria como fluxo de vanádio, explicado pela baixa disponibilidade no mercado brasileiro e altos custos. Adicionalmente, avalia-se que o programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL tem grande contribuição para a inserção destas tecnologias no Brasil, representado por cerca de 60% dos projetos levantados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao SENAI CIMATEC pelo suporte técnico-científico e financeiro no Centro de Competências de Sistemas Elétricos.

REFERÊNCIAS

- Akhil, A. A. et al. DOE/EPRI 2013 *Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA*. Disponível em: <<https://www.energy.gov/sites/default/files/2013/08/f2/ElecStorageHndbk2013.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2021.
- Amin, s.; Boloorchí, M. *Behind the Meter: Battery Energy Storage Concepts, Requirements, and Applications*, 2020. Disponível em: <<https://smartgrid.ieee.org/newsletters/september-2020/behind-the-meter-battery-energy-storage-concepts-requirements-and-applications>>. Acesso em: 26 out. 2021.
- ANEEL, “Chamada de P&D da ANEEL atinge meio bilhão de reais de investimentos em mobilidade elétrica,” 2019. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em 06. Dez. 2021.
- ANEEL, “Nota Técnica no 076/2021- SRD/ANEEL,” 2021. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 6 dez. 2021.
- ANEEL, “Nota Técnica no 094/2020-SRG/ANEEL” 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 6 dez. 2021.
- ANEEL. Projeto de P&D da ANEEL recebe menção honrosa em premiação na Inglaterra, 2019b. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 22 out. 2021.
- Bortoni, E. C.; Silva, Y. F. F. C. DA. Sistemas De Armazenamento De Energia Elétrica Em Redes Inteligentes: Características, Oportunidades E Barreiras. Revista Brasileira de Energia, v. 22, 2016.
- CANALENERGIA. P&D da Engie em armazenamento deve terminar em 2022, 2021. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53175193/pd-da-engie-em-armazenamento-deve-terminar-em-2022>>. Acesso em: 25 out. 2021.
- Cantane, D. A.; Hideo, O.; Junior, A. Tecnologias de Armazenamento de Energia Aplicadas ao Setor Elétrico Brasileiro. SCIENZA ed. São Carlos/SP. 2020.
- CESP. Armazenamento CESP, 2017. Disponível em: <<https://www.cesp.com.br/pesquisa/projetos/>>. Acesso em: 20 out. 2021.
- CHESF. Chesf investe R\$ 90 milhões em planta híbrida, 2020. Disponível em: <https://www.chesf.gov.br/_layouts/15/chesf_noticias_farm/noticia.aspx?idnoticia=645>. Acesso em: 16 nov. 2021.
- Cosme, D. L. S. Análise de Desempenho da Operação da Microrrede Isolada da Ilha de Lençóis. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/340979149_UNIVERSIDADE_FEDERAL_DO_MARANHAO_CENTRO_DE_Ciencias_EXATAS_E_Tecnologia_PROGRAMA_DE_POS-GRADUACAO_EM_ENGENHARIA_ELETRICA_Analise_de_Desempenho_da_Operacao_da_Microrrede_Isolada_da_Ilha_de_Lencois>. Acesso em: 29 out. 2021.
- CPFL. Projetos de Armazenamento de Energia da CPFL Energia entram em operação, 2021. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/releases/Paginas/projetos-de-armazenamento-de-energia-da-cpfl-energia-entram-em-operacao.aspx>>. Acesso em: 25 out. 2021.
- Datta, A. Kalam, And J. Shi, “A review of key functionalities of battery energy storage system in renewable energy integrated power systems,” *Energy Storage*, no. November, pp. 1–21, 2021.

- DELOITTE. *Energy storage: Tracking the technologies that will transform the power sector*. 2015. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/no/Documents/energy-resources/energy-storage-tracking-technologies-transform-power-sector.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2021.
- ENERGYSAGE. *Behind-the-meter: what you need to know*, 2019. Disponível em: <<https://news.energysage.com/behind-the-meter-overview/>>. Acesso em: 25 out. 2021.
- EPE, “Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030: Micro e Minigeração Distribuída & Baterias,” 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-522/Caderno_MMGD_Baterias_-_PDE_2030_Rev.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2021.
- FURNAS. Usina de Itumbiara terá sistema de geração solar fotovoltaica, 2020. Disponível em: <<https://www.furnas.com.br/noticia/103/noticias/1401/usina-de-itumbiara-tera-sistema-de-geracao-solar-fotovoltaic>>. Acesso em: 21 out. 2021.
- GEPEA. Programa de Armazenamento de Energia da CPFL. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://seeds.usp.br/site/wp-content/uploads/2021/06/Seminário-17062021-Programa-de-Armazenamento-de-Energia-da-CPFL.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2021.
- GREENER. Estudo Estratégico Mercado de Armazenamento, 2021. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/produto/estudo-estrategico-do-mercado-de-armazenamento-de-energia-no-brasil-2021/>>. Acesso em: 15 out. 2021.
- IEA, “*Renewables 2020*,” 2020b. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/renewables-2020>>. Acesso em: 20 out. 2021.
- IEA. *Innovation in batteries and electricity storage*, 2020a. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/innovation-in-batteries-and-electricity-storage>>. Acesso em: 20 out. 2021.
- IRENA, “*Behind-The-Meter Batteries*,” 2019. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_BTM_Batteries_2019.pdf>. Acesso em: 25 out. 2021.
- IRENA, *Electricity Storage Valuation Framework: Assessing system value and ensuring project viability*. 2020. Disponível em: <<https://irena.org/publications/2020/Mar/Electricity-Storage-Valuation-Framework-2020>>. Acesso em: 25 out. 2021.
- ITAIPU. Itaipu e exército inauguram sistema de energia para comunidades isoladas, 2016. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/itaipu-e-exercito-inauguram-sistema-de-energia-para-comunidades-isoladas>>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- ITAIPU. Itaipu recupera na Amazônia sistema de energia solar que reduz uso de gerador a diesel, 2020. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/itaipu-recupera-na-amazonia-sistema-de-energia-solar-que-reduz-uso-de-gerad>>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- ITEMM. ITEM M inicia operação de unidade de microrrede, 2020. Disponível em: <<https://www.itemm.org.br/novidades/itemm-inicia-operacao-de-unidade-de-microrrede/>>. Acesso em: 20 out. 2021.
- Koohi-Fayegh, S.; Rosen, M. A. *A review of energy storage types, applications and recent developments*. *Journal of Energy Storage*, 2020.
- Krishan and S. Suhag, “An updated review of energy storage systems: Classification and applications in distributed generation power systems incorporating renewable energy resources,” *Int. J. Energy Res.*, vol. 43, no. 12, pp. 6171–6210, 2019.
- LACTEC. Avaliação de tecnologias de armazenamento de energia e de soluções de gerenciamento da operação e manutenção para aplicação em sistemas isolados no Pantanal Sul-mato-grossense, 2019. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Normas_Tcnicas/Anexo_IV_Complementar_a_NDU_028_-_Especificacao_de_Equipamentos_para_Universalizacao.pdf>. Acesso em: 10 out. 2021.
- LAZARD. *LAZARD’S LEVELIZED COST OF STORAGE ANALYSIS — VERSION 6.0*. *Journal of Language Relationship*. Disponível em: <<https://www.lazard.com/media/451418/lazards-levelized-cost-of-storage-version-60.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2021.
- Leite, L. H. D. M. et al. Impactos de um Sistema de Armazenamento de Energia de 1 MW na Rede de Distribuição de 13,8 kV - Desafios Técnicos, Econômicos e Regulatórios. SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Belo Horizonte, MG: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.bvr.com.br/snptee/xxvsnptee/public/GES/3817.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- Mallapragada, N. A. Sepulveda, and J. D. Jenkins, “Long-run system value of battery energy storage in future grids with increasing wind and solar generation,” *Appl. Energy*, vol. 275, no. June, p. 115390, 2020.
- Mararakayne And B. Bekker, “Renewable energy integration impacts within the context of generator type, penetration level and grid characteristics,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 108, no. October 2018, pp. 441–451, 2019.
- Mariano, J. D. A. et al. *PV - Battery Energy Storage Progress in Brazil: A Review*. 2021.
- Martins, M. A. I. *IMPLANTAÇÃO DE MICRORREDES INTELIGENTES: CONTRIBUIÇÃO AOS ASPECTOS REGULATÓRIOS*. Tese de Pós- graduação - PPGEE - UFSC, 2020.
- NEOENERGIA. Aposta da Neoenergia em microrrede de geração solar leva energia para o interior baiano, 2020. Disponível em: <<https://www.neoenergia.com/pt-br/sala-de-imprensa/noticias/Paginas/aposta-neoenergia-microrrede-geracao-solar-leva-energia-para-interior-baiano.aspx>>. Acesso em: 25 out. 2021.

- Pereira, T. L. S. Participação da Produção Renovável no Mercado de Energia de Reserva de Regulação. 2020. Disponível em: <https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/17666/1/DM_TiagoPereira_2020_MEESE.pdf>. Acesso em: 25 out. 2021.
- Pinho, J. T.; Galdino, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPTEL – CRESESEB, 2014. v. 1
- R. McMahon and L. Infante, “Harnessing the potential of energy storage,” *Power Eng.*, vol. 121, no. 5, 2017.
- R.Alumínio. Baterias de íons de alumínio: mais eficiência e sustentabilidade. Disponível em: <<https://revistaaluminio.com.br/baterias-de-ions-de-aluminio-mais-eficiencia-e-sustentabilidade/>>. Acesso em: 10 dez. 2021.
- Riboldi, V. B. et al. Especificação Técnica de Sistemas de Armazenamento de Energia Conectados em Redes de Distribuição de Energia Elétrica: Contribuições e Experiências da CPFL Energia. 2020.
- SINDISTAL. Furnas implanta projeto híbrido de solar, armazenamento e H₂ verde. Disponível em: <<https://sindistal.org.br/noticias/furnas-implanta-projeto-hibrido-de-solar-armazenamento-e-h2-verde/>>. Acesso em: 22 out. 2021.
- Souza, H. M. C. DE. Armazenamento De Energia Num Cenário De Evolução Das Energias Renováveis Variáveis. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica.
- Sperstad et al., “Cost-benefit analysis of battery energy storage in electric power grids: Research and practices,” *IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. Eur.*, vol. 2020-Octob, pp. 314–318, 2020, doi: 10.1109/ISGT-Europe47291.2020.9248895.
- UFSC, F.-. USINA SOLAR CIDADE AZUL (USCA). Disponível em: <<https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/fotov/blog/2018/02/28/usina-solar-cidade-azul-usca/>>. Acesso em: 25 out. 2021.
- USP. PROJETO PD-00068-0038/2016: FORNECIMENTO DE SERVIÇOS ANCILARES COM SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS COM ELEVADA PENETRAÇÃO DE GERAÇÃO INTERMITENTE, 2019. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/sites/default/files/anexoseventos/Marcelo_ApresentacaoEvento_parceria_embaixada_EUA_2019_07_24.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.
- VALE. A Vale está instalando, no Rio de Janeiro, um dos maiores sistemas de armazenamento de energia em bateria para suprimento de demanda elétrica do país, 2020. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/news/paginas/a-vale-esta-instalando-no-rio-de-janeiro-um-dos-maiores-sistemas-de-armazenamento-de-energia-em-bateria-para-suprimento-.aspx>>. Acesso em: 20 out. 2021.
- Zhang, C. et al. *Energy storage system: Current studies on batteries and power condition system. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017.

ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS TO SUPPORT RENEWABLE GENERATION INTEGRATION IN BRAZIL

Abstract: Nowadays, energy power systems faced a new challenge with the adoption of new concepts like power quality control, automation, and efficiency. Systems demand more flexibility and reliability and require the insertion of new devices and topologies. The increase of renewable generation sources on the grid leads to the need development of new solutions to power systems. The insertion of electric vehicles and photovoltaic generation are changes that contribute to being more complex the balance between demand and generation. Battery Energy Storage Systems (BESS) becomes one of the solutions for allowing modularity and flexibility to systems. This work presents a review of BESS technologies and applications. Based on collected data, a benchmarking of BESS use in Brazil was performed. The results show that ion Lithium batteries represent 90% of installed capacity and 65% of these systems have the purpose support photovoltaic generation.

Key words: Battery Bank, Distributed Generation, Photovoltaics