

Discussão sobre os desafios para aplicação de sistemas de armazenamento de energia em baterias com fontes alternativas complementares no Brasil

Sarah C. de Oliveira*. Maria Helena M. Vale**

*Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Minas Gerais
– Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil.
Sarah Carine de Oliveira (e-mail: sarahcarine97@gmail.com)
Maria Helena Murta Vale (e-mail: mariahelenamvale@gmail.com)*

Abstract: Alternative energy sources, such as solar and wind, play an important role in the energy transition of the Brazilian electrical system, which is strongly based on reducing carbon emissions resulting from the intensive use of fossil fuels. At the same time, the intermittent characteristic of these sources brings the need for accessory technologies to enhance their generation capacity and promote harmonious operation when connected to the grid. In this sense, the possibility of associating these power generation plants with complementary characteristics appears, as well as joint operation with battery banks. This paper aims to structure a discussion about the current situation and challenges for the application of Battery Energy Storage Systems in Brazil, working together with the recent concept of complementarity of alternative energy sources. The study addresses technical, regulatory and economic issues, with a focus on regulatory analysis, and also references the international experience.

Resumo: As fontes alternativas de energia, como solar e eólica, têm papel importante na transição energética do sistema elétrico brasileiro, a qual é fortemente pautada na redução das emissões de carbono resultantes do uso intensivo dos combustíveis fósseis. Ao mesmo tempo, a característica intermitente dessas fontes traz a necessidade de tecnologias acessórias para potencializar sua capacidade de geração e promover o funcionamento harmônico quando em conexão com a rede. Nesse sentido, aparece a possibilidade de associação dessas usinas de geração de energia com características complementares, assim como a operação conjunta com bancos de baterias. Este trabalho tem como objetivo estruturar uma discussão sobre a atual conjuntura e desafios para a aplicação de Sistemas de Armazenamento de Energia em Baterias no Brasil, atuando em conjunto com o recente conceito de complementaridade de fontes alternativas de energia. O estudo aborda questões técnicas, regulatórias e econômicas, com enfoque em análises regulatórias, e referencia também a experiência internacional.

Keywords: Storage; Battery Bank; Alternative Sources; Complementarity.

Palavras-chaves: Armazenamento; Banco de Baterias; Fontes Alternativas; Complementaridade.

1. INTRODUÇÃO

A transição energética entrou em pauta no sistema elétrico brasileiro conciliada ao interesse de redução das emissões de carbono no contexto das mudanças climáticas provocadas pelo uso intensivo de combustíveis fósseis. Nessa abordagem, comparativamente, a utilização de fontes renováveis, como solar e eólica, aparecem como alternativa para diversificação da matriz energética nacional de forma mais limpa. Devido à intermitência dessas fontes de geração, o armazenamento de energia e sua flexibilidade aparecem como proposta de recurso complementar à operação das usinas.

A presença das fontes renováveis na matriz de geração brasileira tem crescido consideravelmente na última década. Em 2016 houve um aumento recorde de 9,5 GW de geração proveniente dessas fontes e, no último ano, 2022, houve um

incremento de 8,2 GW, sendo 5,6 GW de fontes intermitentes (ANEEL, 2023a). Na geração centralizada, essas usinas alavancaram a expansão da capacidade da matriz elétrica brasileira, uma vez que ocupam atualmente, respectivamente solar e eólica, as posições de segundo e terceiro lugares de predominância na matriz. No horizonte do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), a expectativa é que a participação das fontes renováveis atinja 83% em 2031, com redução da participação hidrelétrica e crescimento da capacidade solar e eólica (MME/EPE, 2022a).

Nesse contexto, as tecnologias de armazenamento, atuando em conjunto com as fontes intermitentes, fornecem a possibilidade de aumento da flexibilidade da operação para diferentes sistemas. Contudo, apesar de ser uma tecnologia já bem desenvolvida e modularizada, por ser novidade no mercado, muitos desafios são encontrados para sua incorporação no Setor Elétrico Brasileiro (SEB). Entre eles,

podem ser citados a adaptação do escopo regulatório e o amadurecimento de estratégias financeiras e operativas de aplicação e financiamento.

Assim, entender o cenário atual de possibilidades de utilização de baterias no sistema elétrico do Brasil e os desafios associados, torna-se interessante para identificar e implementar os próximos passos para consolidação da tecnologia. Por ser um tema atual, em conjunto com novas configurações de plantas com fontes alternativas que estão emergindo no país, a contribuição deste trabalho é traçar uma ampla perspectiva dos desafios para consolidação dos bancos de baterias nesse cenário. São discutidos aspectos Regulatórios, Tecnológicos e Econômicos, e a sinergia necessária entre eles.

Este artigo tem como objetivo mapear a situação atual para adesão de Sistemas de Armazenamento de Energia em Baterias (em inglês *Battery Energy Storage System - BESS*), no contexto de projetos associados de geração de energia alternativa, solar e eólica compartilhando o Montante de Uso do Sistema de Transmissão (MUST) contratado integral ou parcialmente, conectados na rede básica brasileira (projetos acima de 230 kV) e em Sistemas Isolados. Entre os interesses desse tipo de aplicação estão redução de impactos ambientais e custos, postergação de investimentos na expansão do sistema de transmissão, além da promoção de desenvolvimento tecnológico e o aproveitamento dos seus benefícios.

2. ASPECTOS TECNOLÓGICOS

2.1 Complementaridade e Benefícios

O conceito de projetos complementares de geração de energia é recente no Brasil. Ele foi marcado com a publicação da Resolução Normativa nº 954 pela ANEEL (2021) em novembro de 2021. Tal resolução regulamenta aspectos de implantação de Centrais Geradoras Híbridas e Associadas. Observa-se que as usinas híbridas são combinadas no processo de geração e remuneração da energia, como também no compartilhamento do terreno e do ponto de conexão com a rede. Por sua vez, as usinas associadas apresentam medidores individualizados e processos de remuneração de energia separados, podem ser implementadas conjuntamente ou em terrenos próximos e, por fim, compartilham o ponto de conexão com a rede. Nos dois casos, o Contrato de Uso do Sistema de Transmissão (CUST), e o consequente MUST contratado, são únicos para o complexo.

Além de contornar a característica intermitente das fontes alternativas e a consequente subutilização do ponto de conexão, a complementaridade mitiga limitações específicas de cada tecnologia, como o efeito dos dias nublados na baixa da produção de energia fotovoltaica, assim como o fato das turbinas eólicas apresentarem velocidade de vento limítrofe para operação segura (Carvalho et al, 2019). Adicionalmente, podem ser proporcionadas simplificações nas etapas de construção, operação e manutenção, como aproveitamento de áreas, equipamentos e manutenção conjunta.

Do ponto de vista da complementaridade das gerações solar e eólica, é possível aproveitar da complementaridade temporal, modular e sazonal da geração das fontes para otimizar o uso da rede de transmissão. Enquanto a geração fotovoltaica apresenta o pico de produção durante o dia e não gera à noite, em algumas localidades a geração eólica é mais acentuada durante a noite e a madrugada. (Luz, 2022). Uma vez que compartilham o ponto de conexão na rede básica, é possível contratar um único MUST prevendo o perfil de geração da planta associada completa, o que evita custos extras.

2.2 Características das Baterias

O armazenamento de energia pode ser realizado de diferentes formas, como mecânica, eletroquímica, térmica, elétrica e química. Em aplicações no Sistema Interligado Nacional (SIN) são frequentemente considerados o armazenamento mecânico, em usinas hidrelétricas reversíveis (UHR), e eletroquímico, em baterias. As baterias apresentam grande potencial nos sistemas elétricos devido à alta densidade de energia, versatilidade, estrutura compacta e modular, alta eficiência e baixo tempo de resposta (EPE, 2019).

As baterias são caracterizadas operacionalmente pela sua eficiência percentual, visto que existem perdas comparando a energia armazenada com a recuperada no momento de descarga. Além desse parâmetro também são considerados vida útil, tempo de descarga, densidade energética e segurança, conforme apresentado na Tabela 1 para diferentes tecnologias: lítio, chumbo e baterias de fluxo.

Parâmetros	Tecnologia		
	Lítio	Chumbo	Baterias de fluxo
Tempo de descarga	Até 4 horas	Flexível, pode ser otimizado para até 20 horas	4-10 horas
Vida útil em ciclos	2.000-8.000	200-800	10.000-15.000
Densidade energética	Alta	Baixa	Média
Toxicidade	Média	Elevada	Depende dos componentes: pode chegar a muito elevada
Segurança	Baixa-média	Média	Não inflamável, mais sujeita a vazamentos

Tabela 1. Comparativo de parâmetros de desempenho entre tecnologias de armazenamento eletroquímico (Silva 2022; Greener 2021).

Comparando as três tecnologias, as baterias de chumbo ácido apresentam maior tempo de descarga, porém as baterias de lítio apresentam densidade energética superior. Já as baterias de fluxo se destacam em termos de número de ciclos durante a vida útil (Greener, 2021). Devido a esse benefício proeminente, as baterias de lítio têm ganhado destaque em aplicações do setor elétrico. Uma preocupação muito importante associada à integração de baterias de lítio no setor elétrico é a reciclagem, indústria ainda em fase inicial de desenvolvimento (IEA, 2021).

3. CENÁRIO INTERNACIONAL

Neste trabalho citam-se dados significativos que retratam a evolução tecnológica no contexto mundial. Há várias instituições internacionais que abordam o tema, tais como: a *International Energy Agency (IEA)*, sediada na França; a *International Renewable Energy Agency (IRENA)*, sediada nos Emirados Árabes; a *China Energy Storage Alliance*

(CNESA), sediada na China. Apesar de apresentarem várias contribuições interessantes para traçar o cenário de planejamento brasileiro, algumas inclusive citadas no presente artigo, é importante considerar as particularidades do escopo nacional. Isso porque o SIN apresenta dinâmicas próprias nas esferas fiscal, reguladora, operativa e comercial e, por consequência, limitações que precisam ser repensadas e reestruturadas num momento de inovação tecnológica.

Os sistemas de armazenamento em baterias vêm crescendo exponencialmente a nível global nas últimas duas décadas. Como pode ser observado na Figura 1, a capacidade instalada de sistemas eletroquímicos no mundo atingiu 14 GW em 2020. Conforme apresentado na Figura 2, a expectativa para 2040 é que o armazenamento global atinja 1.100 GW.

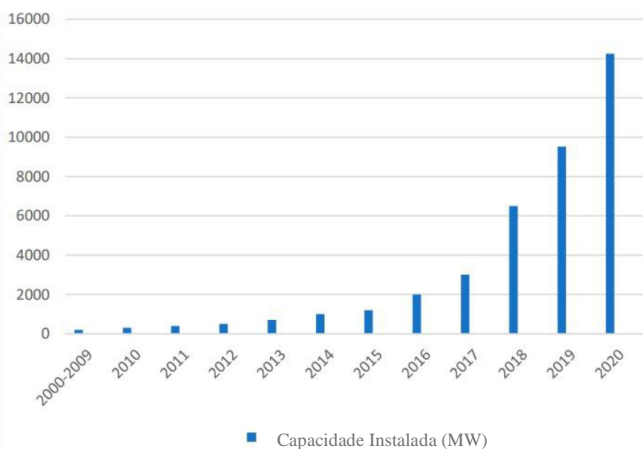


Figura 1. Evolução histórica da capacidade instalada (MW) de sistemas eletroquímicos no mundo 2000-2020 (adaptada de CNESA, 2021).

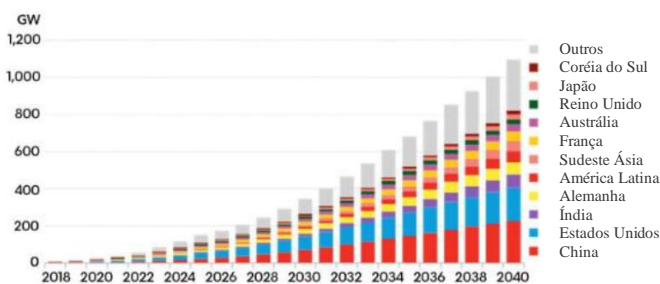


Figura 2. Previsão até 2040 da potência instalada de armazenamento por país no mundo (GW), desconsiderando UHRs (adaptada de BNEF, 2019).

Ao mesmo tempo que existe uma perspectiva global de aumento da utilização das baterias, historicamente os preços das baterias de lítio estão consideravelmente em queda. Conforme os dados do BNEF (2021) apresentados na Figura 3, os preços caíram de US\$ 303/kWh em 2016 para US\$ 132/kWh em 2021, queda de cerca de 56 % em 5 anos. O estudo considerou o preço médio referente a aplicações diversas, como veículos elétricos e armazenamento estacionário.

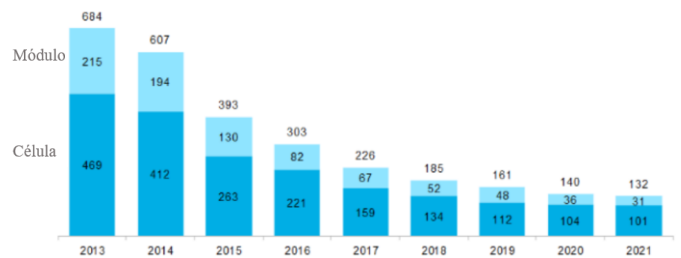


Figura 3. Preço médio da célula e do módulo de baterias de lítio (R\$/kWh) (adaptada de BNEF, 2021).

É importante comentar que o custo de investimento em um sistema completo com baterias depende de diversos fatores, desde a etapa de dimensionamento até a fase de Operação e Manutenção (O&M) da planta. Porém, é fato que as células de baterias são os componentes fundamentais na configuração da aplicação.

3.1 Projetos no Mundo

A fim de compreender como diferentes países vêm abordando a integração de sistemas eletroquímicos de armazenamento de energia elétrica são apresentados, brevemente, três instalações que se destacam em três diferentes países:

- *Dalian Flow Battery Energy Storage Peak Shaving Power Station*, na China, lançada em 2022 com capacidade de 200 MW/800 MWh em baterias de fluxo. Esse sistema tem como objetivo reduzir o estresse na rede durante momentos de pico e quedas no fornecimento, e facilitar a integração de fontes renováveis solar e eólica na rede. Existe uma expectativa de suprimento de mais de 200.000 residências (CNESA, 2022).
- *Pacific Gas & Electric (PG&E) Battery Energy Storage*, nos EUA, instalada na Califórnia e lançada em 2021 com capacidade de 182,5 MW/730 MWh em baterias de íons de lítio. A PG&E pretende economizar US\$ 100 milhões nos próximos 20 anos oferecendo suporte à demanda local e reduzindo o preço de compra de energia (News, 1970).
- *Hornsedale Power Reserve*, na Austrália, lançada em 2017 no parque eólico de Hornsdale, apresenta capacidade de 150 MW/193,5 MWh em baterias de íons de lítio. Esse sistema fornece suporte para o sistema estabilizando a rede do sul australiano, promove regulação de frequência, *capacity firming* e arbitragem. Ele também reduz o uso de termoelétricas a gás para o fornecimento de energia em momentos de pico e facilita a integração de fontes renováveis na rede. Em dois anos de operação, economizou mais de US\$ 150 milhões para os consumidores locais (Hornsedale, 2020).

4. CENÁRIO NACIONAL

No Brasil existe uma escassez de potência para aumento da capacidade do sistema. O PDE de 2029 indica que a partir de 2024 será necessário acionar tecnologias para esse fim, e cita o armazenamento em usinas hidrelétricas reversíveis e em baterias como forte candidato (MME/EPE, 2020).

Já os estudos do PDE de 2032 apresentam uma estimativa do efeito tributário incidente na importação de um sistema de baterias de lítio, que corresponde a cerca de 74% de aumento sobre o preço final (MME/EPE, 2022b). Em conformidade com a tendência mundial de queda nos preços das baterias de lítio apresentada na Figura 3, o estudo indica uma redução de preços no Brasil, variando de cerca de R\$ 4.000/kWh para R\$ 1.700/kWh para sistemas de grande porte, entre 2022 e 2032, considerando uma redução percentual de 8,3% ao ano. O efeito tributário detalhado é apresentado na Figura 4.

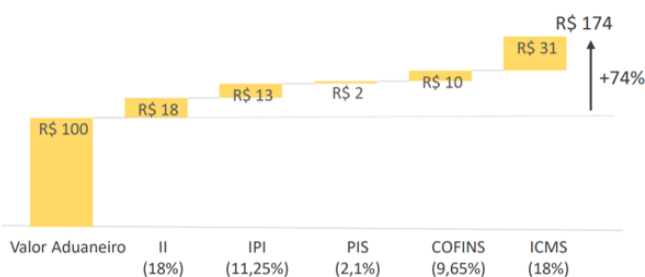


Figura 4. Detalhamento do efeito tributário incidente no preço de importação de um sistema de baterias de lítio, tendo como base um montante de R\$ 100 (MME/EPE, 2022b).

Ao mesmo tempo que a tecnologia de armazenamento está bem consolidada, com soluções modulares, compactas e de fácil deslocamento, ainda não possui respaldo regulatório específico, principalmente no caso de conexão com a rede elétrica. No momento o assunto encontra-se em discussão no setor e foi marcado pela divulgação da Nota Técnica nº 137/2022 da Agência Nacional de Energia Elétrica, resultante de uma tomada de subsídios sobre Armazenamento no SIN. A partir da análise de 651 contribuições de empresas, pessoas físicas e associações, foi traçado um *roadmap* regulatório a ser discutido no período de 2023 a 2027 (ANEEL, 2022).

Do ponto de vista da rede elétrica, o armazenamento possibilita: a postergação de investimentos na expansão do sistema elétrico; a expansão da geração de energia com fontes renováveis como os sistemas híbridos; a gestão de congestionamentos, desligamentos e despacho ótimo; além da articulação de cortes de picos na curva de demanda (*peak-shaving*) e serviços de qualidade da energia. Já do ponto de vista do consumidor, também existem possibilidades de aplicação: em cortes de picos na curva de demanda; na gestão de custos com deslocamento de carga; no aumento da confiabilidade da energia. A Figura 5 resume o panorama geral de possibilidades de aplicação de baterias no sistema elétrico.



Figura 5. Possibilidades de aplicação de baterias no sistema elétrico (RMI, 2015).

Ainda, no contexto específico de Sistemas Isolados do sistema nacional, existem brechas para as baterias atuarem em conjunto com sistemas renováveis e para a mitigação da utilização de combustíveis fósseis. Isto torna o sistema mais ambientalmente amigável.

4.1 Projetos no Brasil

O Brasil apresenta uma variedade de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) de pequeno porte, com destaque para o fabricante Moura, com dois sistemas de armazenamento em chumbo carbono em Pernambuco. As plantas apresentam vida útil de dez anos e potências de 242 kW e 150 kW. As aplicações exploradas são redução do consumo da ponta, *peak-shaving* e aumento da confiabilidade (Moura, 2023; DOE, 2023).

A ANEEL divulgou em 2016 uma chamada de projetos de P&D de pequeno, médio e grande porte, com um investimento de cerca de R\$ 371 milhões favorecendo 21 projetos estratégicos com sistemas de armazenamento espalhados pelo país. Alguns dos projetos já se encontram em operação. A Companhia Paranaense de Energia (Copel) se destaca ao ser contemplada com cerca de R\$ 70 milhões destinados para sete projetos. O objetivo da iniciativa é experimentar estruturas técnicas e comerciais para fomentar o armazenamento de energia no SEB. As aplicações contempladas abrangem configurações diversas, com multifontes (hidrelétrica, fotovoltaica), e em sistemas centralizados, distribuídos e isolados (ANEEL, 2019).

4.2 Discussão sobre Aplicações no Brasil

Com base em todas as abordagens apresentadas anteriormente, nota-se que a incorporação de baterias no setor elétrico brasileiro é um assunto complexo. Entretanto, nesse trabalho será tomado como ponto central análises regulatórias e suas implicações para traçar um caminho para entendimento do cenário ampliado.

Entre uma diversidade de possibilidades de aplicações para baterias no Brasil, a Nota Técnica nº 137/2022 da ANEEL discute assuntos como participação no contexto de Sistemas Isolados, Gerenciamento dos Sistemas de Geração, Serviços Ancilares e Leilões de Reserva de Capacidade. Para todos os casos, a Chamada Estratégica de projetos P&D da ANEEL é uma boa oportunidade de laboratório para o desenvolvimento e experimentação das diferentes possibilidades.

A IRENA (2019) indica que a implementação do armazenamento no setor elétrico, a nível da rede centralizada, deve ser fomentada por projetos pilotos e incluí-lo no planejamento a longo prazo da expansão da capacidade do sistema. Já aplicações atrás do medidor e pelo lado da demanda apresentam menos obstáculos para viabilidade, visto que são contratadas e implementadas pela unidade consumidora (Silva, 2022).

Por outro lado, a aplicação em Sistemas Isolados, atualmente é contratada via leilão, e entende-se não haver entraves regulatórios e comerciais para a contemplação de projetos renováveis híbridos com armazenamento (EPE, 2019). Porém, é necessária maturidade estratégica e logística para atender à demanda local e, também, manter a qualidade da energia da rede, como estabilidades de tensão e frequência. Existem oportunidades a serem exploradas na relação com as distribuidoras, em que requisitos de conexão na rede devem ser atendidos; e, ao mesmo tempo, serão usufruídos benefícios do abastecimento por sistemas de geração renovável mais sustentáveis. Observa-se que estão se tornando cada vez mais competitivos frente aos altos custos investidos em sistemas com geração a óleo diesel, comumente aplicados em Sistemas Isolados no Brasil em estados como Roraima e Amazonas.

No contexto do Gerenciamento do Sistema de Geração, existe uma oportunidade interessante na associação entre bancos de baterias com uma geração complementar de fontes alternativas, como por exemplo solar e eólica, regulamentada por meio da Resolução Normativa nº 954/2021 da ANEEL. Isso, porque, de modo geral o excedente da geração pode ser armazenado nas baterias e descarregado em horários em que seja necessário para o atendimento da carga. Assim, além da complementaridade temporal das fontes intermitentes promover redução de custos com uma contratação ajustada do Montante de Uso do Sistema de Transmissão, também seria necessário um BESS reduzido para suavização da curva de geração, comparado a um sistema operando com somente uma fonte alternativa. Isso favorece uma maior previsibilidade do montante de energia gerado, e consequentemente, menores exposições na valoração da energia no Mercado de Curto Prazo. Além disso, podem ser reduzidas perdas energéticas devido a eventos de *curtailment*, por exemplo.

Já a prestação de Serviços Ancilares atualmente é contratada via leilões, nos quais os agentes de geração e de transmissão são remunerados por Contrato de Prestação de Serviços Ancilares - CPSA, ou por Receita de Autorrestabelecimento (EPE, 2019). Nesse contexto, as baterias são interessantes

para contornar a intermitência das fontes alternativas, porém atualmente a precificação ainda não é competitiva, especialmente quando contabilizado o custo de investimento em sistemas de baterias. Porém, consoante ao conceito de neutralidade tecnológica, observa-se um avanço na regulação de prestação de serviços ancilares por fontes intermitentes de geração de energia, como solar e eólica. Em abril de 2023 a ANEEL aprovou a prestação do serviço de suporte de reativos para a rede também por essa modalidade de geração, o que culminou na publicação da Resolução Normativa nº 1.062/2023 (ANEEL, 2023b). A partir de testes em ambiente regulatório experimental, o Operador Nacional do Sistema (ONS) poderá propor novos formatos de remuneração para esses serviços.

Na mesma linha de raciocínio, uma vez que os sistemas de baterias permitem uma maior resiliência e flexibilidade no controle da rede, tanto a nível dos sistemas de distribuição e transmissão, são fortes candidatos para contornar a característica de variabilidade das fontes renováveis. Consequentemente, os sistemas complementares de energia com baterias apresentam potencial para competir com as térmicas em Leilões de Reserva de Capacidade, para o atendimento em momentos de alta demanda ou baixa geração das demais fontes.

Por fim, a nova configuração de geração de energia com baterias corrobora para a postergação de investimentos na rede, a exemplo do projeto de armazenamento ISA CTEEP lançado em 2023 (ISACTEEP, 2023). O sistema conta com baterias de lítio no litoral sul de São Paulo e capacidade de 30 MW/60 MWh. Trata-se do primeiro projeto de armazenamento de energia em baterias em larga escala no sistema de transmissão brasileiro, e atua nos momentos de pico de consumo como um reforço à rede elétrica, nos formatos de reserva de capacidade e prestação de serviços ancilares. A iniciativa, que partiu de estudos juntamente às instituições de planejamento do setor, reduz custos com a expansão e operação do sistema de transmissão, promove descarbonização por evitar o acionamento de geradores a diesel, e o equilíbrio entre carga e geração, frente ao crescimento da penetração das fontes intermitentes e da geração distribuída. O empreendimento é remunerado via RAP (Receita Anual Permitida), e ilustra possibilidades diversas de serviços e benefícios que podem ser explorados de forma dinâmica.

Diante das várias possibilidades de aplicações das baterias com geração alternativa complementar no cenário do setor elétrico brasileiro, percebe-se que o tema é amplo. Porém, cada um dos aspectos apresentados ainda é um campo aberto para discussões e desenvolvimento. Nesse sentido, a Figura 6 propõe a visualização dessas informações, sob uma perspectiva macro, organizadas do ponto de vista de haver ou não uma prestação de serviços para o SIN. Para aqueles que se iniciam no tema, pode ser um facilitador para correlacionar os diversos assuntos, os quais inclusive podem ocorrer simultaneamente numa mesma planta de geração de energia.



Figura 6. Oportunidades de aplicações de sistemas com baterias e geração alternativa complementar no setor elétrico brasileiro (Autora, 2023).

Do exposto, existem vários trabalhos técnicos que tratam das oportunidades de aplicações de BESS no Brasil, porém percebe-se a necessidade de uma organização sistêmica do assunto e suas particularidades Técnicas, Econômicas e Regulatórias, como por exemplo a exposta na Figura 7. Apesar de serem abordagens distintas, estão todas correlacionadas no momento de viabilização de um projeto que integra baterias e fontes alternativas complementares. Dessa forma, sob um panorama geral, a busca por solução dos desafios pode ser melhor identificada e gerenciada.



Figura 7. Aspectos a serem considerados em aplicações de BESS com fontes alternativas complementares no Brasil (Autora, 2023).

5. CONCLUSÕES

Em paralelo ao desenvolvimento das tecnologias de armazenamento, a conjuntura regulatória brasileira necessita de constante revisão e desenvolvimento para acompanhar as mudanças de forma eficiente e promover o funcionamento harmônico do SEB. Ao mesmo tempo, o Mercado de Energia apresenta dinâmicas e interesses específicos a serem abrangidos pela legislação vigente.

A modernização do setor elétrico apresenta atualmente oportunidades interessantes para explorar nas aplicações dos sistemas de armazenamento. Ao encontro da crescente necessidade de diversificação da matriz energética de forma a reduzir as emissões de carbono, a complementaridade de fontes alternativas surge para reduzir custos na expansão da margem de conexão do sistema de transmissão, e pode apresentar uma geração ainda mais inteligente e previsível ao se aplicar um BESS na planta.

Os Sistemas de Armazenamento de Energia em Baterias já apresentam tecnologia modular, de fácil transporte e gerenciamento inteligente. A expectativa futura prevê um aumento exponencial da sua capacidade instalada no mundo, e ao mesmo tempo uma redução de custos. Portanto, os próximos passos para sua consolidação no Sistema Elétrico Brasileiro, perpassa investimentos públicos e privados em projetos pilotos, conciliando as discussões entre os diversos agentes de interesse (operador, agência reguladora, consumidores, empresários, entre outros), priorizando a segurança e qualidade da energia.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) por meio do Programa de Excelência Acadêmica (PROEX) e do Ministério da Educação (MEC). Agradecemos à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), à Escola de Engenharia UFMG e ao PPGEE; por fomentarem o desenvolvimento acadêmico de seus alunos a partir de recursos educacionais diversos, como aulas, eventos, projetos e laboratórios.

REFERÊNCIAS

- ANEEL (2019). Agência Nacional de Energia Elétrica. *Workshop Projetos de Armazenamento de Energia 2019: da chamada de P&D estratégico*. Brasília.
- ANEEL (2021). Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução Normativa ANEEL Nº 954, de 30 de Novembro de 2021*. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-954-de-30-de-novembro-de-2021-364715864> [Acesso em 28 Junho 2023].
- ANEEL (2022). Agência Nacional de Energia Elétrica. *Nota Técnica 137/2022 – SRG/ANEEL*. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/> [Acesso em 5 Junho 2023].

- ANEEL (2023a). Agência Nacional de Energia Elétrica. *Brasil supera em 2022 os 8 GW de expansão na capacidade instalada*. Disponível em: <http://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023> [Acesso em 5 Junho 2023].
- ANEEL (2023b). Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução Normativa ANEEL Nº 1.062, de 25 de Abril de 2023*. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231062.pdf> [Acesso em 20 Agosto 2023].
- BNEF (2021). Bloomberg New Energy Finance. *Battery Pack Prices Fall to an Average of \$132/kWh, But Rising Commodity Prices Start to Bite*. Disponível em: <https://about.bnef.com/blog/> [Acesso em 5 Junho 2023].
- Carvalho, D. B., Guardia, E. C., Lima, J. W. M. (2019). *Technical-economic analysis of the insertion of PV power into a wind-solar hybrid system*. Solar Energy, 191, 530-539.
- CNESA (2021). China Energy Storage Alliance. *Energy Storage Industry White Paper 2021 (Summary Version)*. Disponível em: www.en.cnesa.org [Acesso em 5 Junho 2023].
- CNESA (2022). China Energy Storage Alliance. *After 6 Years, the 100MW/400MWh Redox Flow Battery Storage Project in Dalian is Connected to the Grid*. Disponível em: <http://en.cnesa.org/new-blog/2022/> [Acesso em 5 Junho 2023].
- DOE (2023). U.S. Department of Energy. *DOE Global Energy Storage Database*. Disponível em: <https://www.sandia.gov/ess-ssl/global-energy-storage-database/> [Acesso em 5 Junho 2023].
- EPE (2019). Empresa de Pesquisa Energética. *Sistemas de Armazenamento em Baterias Aplicações e Questões Relevantes para o Planejamento*. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/> [Acesso em 5 Junho 2023].
- Greener (2021). *Mercado de armazenamento: Aplicações, Tecnologias e Análises Financeiras*. Disponível em: <https://www.greener.com.br/> [Acesso em 5 Junho 2023].
- Hornsedale (2020). *Hornsedale Power Reserve*. Disponível em: <https://hornsdalepowerreserve.com.au/> [Acesso em 5 Junho 2023].
- IEA (2021). International Energy Agency's. *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*. Disponível em: <https://www.iea.org> [Acesso em 5 Junho 2023].
- IRENA (2019). International Renewable Energy Agency. *Innovation landscape brief: utility-scale batteries*. Abu Dhabi. Disponível em: <https://bit.ly/34KHTsY> [Acesso em 5 Junho 2023].
- ISACTEEP (2023). *ISA CTEEP desenvolve primeiro projeto de armazenamento de energia em baterias em larga escala no sistema de transmissão brasileiro*. Disponível em: <https://www.isactEEP.com.br> [Acesso em 20 Agosto 2023].
- Luz, Andrei Ferreira da (2022). *Centrais geradoras híbridas e associadas: desafios, oportunidades e o novo cenário para projetos renováveis na matriz energética brasileira com a REN 954/2021*. Trabalho de conclusão de graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Campus Litoral Norte. Tramandaí.
- MME/EPE (2020). Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2029*. Brasília. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029> [Acesso em 5 Junho 2023].
- MME/EPE (2022a). Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2031*. Brasília. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031> [Acesso em 28 Maio 2023].
- MME/EPE (2022b). Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2032. Caderno de MMDG e Baterias*. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2032> [Acesso em 8 Junho 2023].
- Moura (2023). *O Moura BESS*. Disponível em: <https://www.moura.com.br/bess/> [Acesso em 5 Junho 2023].
- News, Energy Storage (1970). *California utility PG&E breaks ground on 730MWh Moss Landing battery project*. Disponível em: <https://www.energy-storage.news/california-utility-pge-breaks-ground-on-730mwh-moss-landing-battery-project/> [Acesso em 5 Junho 2023].
- RMI, R. M. (2015). Rocky Mountain Institute. *The Economics of Battery Energy Storage. How Multi-use, customer-sited batteries deliver the most services and value to customers and the grid*.
- Silva, Rogério Diogne de Souza e (2022). *Novas tecnologias e infraestrutura do setor elétrico brasileiro: Armazenamento de energia em baterias*. Repositório do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. No. 2746. Texto para Discussão.