

Modelos de Negócios e Aspectos Regulatórios para Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia por Baterias no Setor Elétrico Brasileiro

Júlio César Cândido Vieira* Andrea Sarmiento Maia Vasconcelos* Nicolau Kellyano Leite Dantas* Washington Araújo Júnior* Wallace do Couto Boaventura** Danilo Derick Silva Alves***

**Instituto de Tecnologia Edson Mororó Moura, Recife, PE.*

***Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.*

****Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, Belo Horizonte, MG.*

E-mails: (julio.vieira@itemm.org.br, andrea.sarmiento@itemm.org.br, washington.araujo@itemm.org.br, wventura@ufmg.br, daniilo.silva@cemig.com.br)

Abstract: Battery energy storage systems (BESS) represent a promising technology to support the energy transition in the electricity grid. BESS can offer different types of services to the electricity grid among which the following stand out: power smoothing of renewable sources generation, energy arbitrage and provisions of ancillary services, such as voltage and frequency regulation. In this context, many countries, such as the United States, have already defined regulatory frameworks to ensure the BESS dissemination in the electricity grid. However, the Brazilian normative regulation regarding the BESS installation and operation is still in an initial state, which does not guarantee legal assurance for investments in the sector. This paper presents the business models and the regulatory and tax challenges that must be overcome to incentive the use of BESS in Brazil.

Resumo: Os sistemas de armazenamento de energia por baterias (SAEB) representam uma promissora tecnologia de suporte à transição energética na rede elétrica. Os SAEBs podem oferecer diversos tipos de serviços à rede elétrica, dentre os quais destacam-se: suavização de potência da geração de fontes renováveis, arbitragem de energia e prestação de serviços ancilares, tais como a regulação de tensão e frequência. Nesse contexto, muitos países, como os Estados Unidos, já vêm definindo marcos regulatórios para garantir a disseminação dos SAEBs na rede elétrica. Entretanto, a regulação normativa brasileira acerca da instalação e operação dos SAEBs ainda se encontra em estado inicial, o que não garante uma segurança jurídica para os investimentos no setor. Esse artigo apresenta principais modelos de negócios e desafios regulatórios e tributários que devem ser superados para incentivar a utilização dos SAEBs no Brasil.

Keywords: Battery energy storage systems, business models, regulatory standards, energy market.

Palavras-chaves: Sistemas de armazenamento de energia por baterias, modelos de negócio, normas regulatórias, mercado de energia.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento constante da demanda de energia elétrica mundial e a necessidade de reduzir a emissão de gases poluentes no processo de geração de energia elétrica surge o fenômeno de transição energética. Neste cenário, os recursos energéticos distribuídos desempenham um papel fundamental para realizar as mudanças estruturais nas matrizes energéticas a fim de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis (ANEEL, 2021).

Dentre os recursos energéticos distribuídos, evidenciam-se os sistemas de armazenamento de energia. No mais, o armazenamento de energia por baterias se apresenta como um potencial candidato a diversas aplicações no setor elétrico nacional, sobretudo pela capacidade de resposta instantânea dessa tecnologia e por sua flexibilidade operativa e locacional (EPE, 2019). Destaca-se também a versatilidade dos Sistemas

de Armazenamento de Energia por Baterias (SAEBs), que se mostram capazes de prover diferentes serviços, como *back-up*, arbitragem e compensação da variabilidade de geração eólica e solar, possibilitando assim uma maior penetração dessas fontes renováveis (Yang et al., 2018).

Devido ao alto potencial de aplicação dos SAEBs no setor elétrico, verifica-se um aumento exponencial de instalações de baterias em Sistemas Elétricos de Potência (SEP), com projeções de elevado crescimento no futuro. Segundo BloombergNEF (2020), a capacidade de potência acumulada no mundo em SAEBs irá aumentar em mais de 4.500 GWh até o ano de 2050. Tal evolução irá ocorrer, principalmente, devido aos incentivos governamentais ao uso dos SAEBs e à redução do preço das baterias.

Em muitos países, os SAEBs já são vistos como soluções efetivas para suprir a alta demanda de energia e incentivar a inserção de fontes renováveis na matriz elétrica. Nos EUA,

por exemplo, o Programa de Incentivos de Autoconsumo oferece incentivos financeiros para os usuários com sistemas de armazenamento de energia em suas instalações (CPCU, 2019). Na Alemanha, os sistemas de armazenamento são partes integrantes da política energética alemã, desde que atendam a alguns requisitos técnicos para medição e injeção de potência na rede (GTAI, 2019). No Reino Unido, as instalações de armazenamento podem ser utilizadas para serviços de balanceamento e serviços ancilares (OFGEM, 2017).

Nesse cenário de evolução dos sistemas de armazenamento de energia por baterias no mundo, a ausência de marcos regulatórios no mercado brasileiro referente à inserção de SAEBs é uma barreira para a disseminação da tecnologia no país. Com isso, esse trabalho propõe uma avaliação do cenário nacional com relação ao desenvolvimento dos projetos de SAEB, destacando os aspectos regulatórios, tributários e modelos de negócio.

2. SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA POR BATERIAS

2.1 Definição

Entende-se como SAEB, o sistema composto pelas unidades de conversão de energia e conexão com a rede elétrica (PCS, do inglês *Power Conversion System*), os acumuladores de energia, nesse caso, as baterias, o sistema de gerenciamento de energia (EMS, do inglês *Energy Management System*), o sistema de gerenciamento de bateria (BMS, do inglês *Battery Management System*), os sistemas auxiliares, o invólucro, além de toda a cadeia de segurança para permitir uma operação confiável. A bateria é um dos componentes mais relevantes no projeto do SAEB e se encontra em constante desenvolvimento tecnológico (Diyva e Oestgaard, 2009).

A bateria é um dispositivo que converte a energia química contida em materiais ativos em energia elétrica por meio de reações eletroquímicas (Parfomak, 2012). As baterias são constituídas por células eletroquímicas eletricamente conectadas de forma apropriada em série ou paralelo conforme a necessidade do nível de tensão e/ou corrente. No mais, as principais características das baterias são: capacidade de energia e de potência, eficiência, temperatura de operação, profundidade de descarga e densidade energética

Destaca-se que a capacidade da bateria é frequentemente referida em termos da sua potência, energia e tempo de descarga. Em Dehghani-Sanji et al. (2019), foi realizada uma comparação entre os diferentes tipos de sistemas de armazenamento. Com base nessa comparação e considerando apenas os sistemas de armazenamento por baterias, na Fig.1 está apresentada uma comparação dos diferentes tipos de tecnologia empregadas nos SAEBs em termos de potência de saída e tempo de descarga.

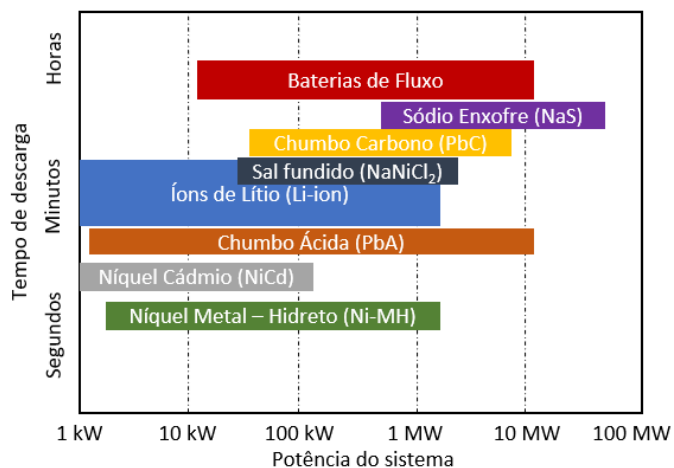


Fig.1: Análise comparativa entre os diferentes tipos de baterias. Fonte: Adaptado de Dehghani-Sanji et al. (2019).

Com base na Fig.1, pode-se verificar que as baterias com baixo tempo de descarga (na escala de segundos) podem ser aplicadas em fontes de alimentação ininterrupta (UPS, do inglês *Uninterruptible Power Supply*). Já os sistemas com potência superior a 100 kW e com baixo tempo de descarga podem ser aplicados em serviços de suporte às redes de distribuição e transmissão de energia elétrica. No mais, destaca-se que a escolha da tecnologia da bateria a ser utilizada no SAEB é definida a partir dos critérios e parâmetros de cada aplicação.

2.1 Serviços oferecido pelos SAEBs

De acordo com ANEEL (2020), os sistemas de armazenamento por baterias são fundamentais para a inserção em larga escala de geração renovável não controlável, o que, por sua vez, é fundamental para assegurar a expansão da matriz elétrica com menos emissões de carbono. No mais, as tecnologias de armazenamento apresentam perspectivas de aplicações em todos os segmentos do setor elétrico, desde as unidades consumidoras até os grandes sistemas de transmissão e distribuição. Dentre os principais serviços que podem ser oferecidos pelos SAEBs, destacam-se os apresentados na Fig.2.



Fig.2: Serviços oferecidos pelos sistemas de armazenamento.

Com relação aos serviços oferecidos ao sistema de geração, o deslocamento de energia é caracterizado pela aplicação do armazenamento para o despacho em períodos de alto consumo energético e a arbitragem se caracteriza por estocar energia de baixo custo em períodos de muita oferta para vendê-la em períodos de baixa disponibilidade e custo elevado. No mais, o SAEB pode ser utilizado para compensar as variações de potência de curto prazo, absorvendo os picos de produção e compensando as quedas de energia (Leite et al. 2019).

Já com referência aos benefícios oferecidos pelo SAEB aos sistemas de transmissão e distribuição, destacam-se que a postergação de investimentos e o nivelamento de carga são alcançados por meio do gerenciamento dos fluxos energéticos locais que excedem a capacidade das linhas de transmissão e distribuição. No mais, a regulação de tensão e frequência do sistema pode ser realizada por meio da inserção ou absorção de potência ativa e/ou reativa da rede elétrica (Resh et al. 2017).

Além disso, a redução do consumo de energia elétrica no horário de ponta é uma das principais aplicações utilizadas pelo consumidor que adquirem um sistema de armazenamento. Tal redução é alcançada por meio da recarga do SAEB nos horários fora de ponta e descarga do SAEB nos horários de ponta. No mais, o sistema de armazenamento carregado pode exercer a função de *back-up* em casos de falha no fornecimento de energia (Greener, 2021).

Por fim, há também serviços que podem ser oferecidos pelos SAEBs ao operador nacional do sistema elétrico, tais como o auxílio no processo de *black-start*, reserva operativa de potência e regulação de tensão e frequência.

3. MODELOS DE NEGÓCIO

Os serviços de armazenamento de energia podem ser guiados por diversos modelos de negócio. A correta escolha do modelo de negócios depende de diversas variáveis, entre elas destacam-se as necessidades do cliente e as características operacionais do sistema elétrico. Nesse sentido, na Fig. 3 estão apresentadas as possíveis aplicações do SAEB em função da potência e do tempo de descarga do sistema.

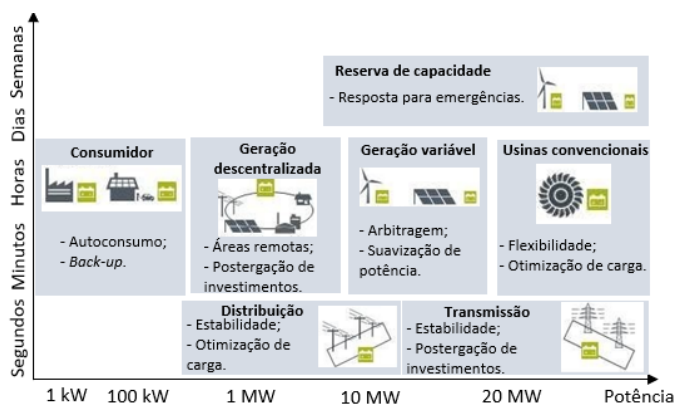


Fig. 3: Diferentes aplicações do SAEB no setor elétrico. Fonte: Adaptado de Siemens (2018).

Com base na Fig.3, verifica-se que há diferentes aplicações do SAEB no setor elétrico. Logo, diversos modelos de negócios podem ser empregados na comercialização e operação do sistema. Neste contexto, nas próximas subseções serão detalhados os principais modelos de negócio voltados a comercialização de SAEB aplicados no mundo: operação terceirizada, compra definitiva e propriedade total, aluguel e abordagem cooperativa.

3.1 Operação terceirizada

A operação terceirizada consiste no modelo de negócio em que o sistema é operado e mantido por uma entidade terceirizada que provê os serviços de armazenamento de energia de acordo com contratos pré-estabelecidos. Esse modelo de negócio, a empresa que fornece o serviço recebe uma quantia fixa pela capacidade disponível por kW no mês e uma quantia variável de operação e manutenção por MWh entregue.

A principal vantagem da operação terceirizada é que ela protege os proprietários, que podem ser empresas de serviços públicos ou usuários finais, dos riscos financeiros e tecnológicos do projeto. Tal modelo de negócio foi implementado com sucesso em projetos de tecnologias renováveis e de geração de usinas fósseis. No entanto, a operação terceirizada não foi amplamente adotada por fornecedores ou investidores de tecnologia de armazenamento, devido ao mercado comercial que preferem retorno curto e fluxos de caixa mais altos gerados por vendas diretas (Sandia National Laboratories, 2013).

3.2 Compra definitiva e propriedade total

O modelo de compra definitiva e propriedade total é a alternativa mais direta à operação terceirizada. Para esse modelo, há uma grande distinção entre as proporções de tecnologias como hidrelétricas reversíveis e armazenamento de energia em ar comprimido (CAES, do inglês *Compressed Air Energy Storage*) em comparação com tecnologias de menor porte e acessíveis aos usuários finais, como baterias.

No mais, difere-se também o processo de aquisição e instalação de sistemas com essas distintas tecnologias. As tecnologias hidrelétricas e CAES fornecem, predominantemente, serviços do lado da geração, devido aos seus grandes tamanhos e capacidade de descarga de longa duração. Com isso, sistemas com essas tecnologias são normalmente adquiridos por órgãos governamentais, grandes *utilities* e indústrias e operados com a supervisão de operadores de grandes áreas. Já tecnologias como as baterias e volantes de inércia fornecem predominantemente serviços de rede que precisam de tamanho de armazenamento relativamente menor e descargas de menor duração.

Para sistemas de armazenamento por baterias, o projeto de engenharia baseia-se nas necessidades operacionais da rede, na escolha da tecnologia de armazenamento, no tamanho, no local e cronograma de implantação, nas ferramentas analíticas e em considerações regulatórias. É possível ainda

optar por adquirir o SAEB em partes, com cada subsistema adquirido separadamente ou adquirir todo o sistema de armazenamento em regime *turn key*. A tendência atual nas aquisições de SAEBs foi em direção à última opção, facilitada pela disponibilidade comercial de vários sistemas modulares com diversos tipos de bateria.

3.3 Aluguel

O modelo de negócios de aluguel baseia-se na locação do sistema de armazenamento por um determinado cliente a fim de utilizar os serviços que podem ser oferecidos pelo SAEB. Neste modelo de negócios é realizado um contrato entre o locador e o locatário do sistema de armazenamento para definir as condições de operação, manutenção e, principalmente, as tarifas do aluguel. No mais, neste contrato pode haver a possibilidade de divisão dos lucros e/ou economias financeiras advindas do uso do sistema de armazenamento para, por exemplo, reduzir o consumo de energia elétrica no período de ponta por meio da utilização da potência armazenada no sistema de armazenamento durante o período de fora ponta.

Apesar de o modelo de negócios baseado na locação de sistemas de armazenamento ser incipiente no cenário nacional, ela se mostra como uma alternativa interessante para as empresas que buscam usufruir dos benefícios oferecidos pelo armazenamento, entretanto, devido à ausência de marcos regulatórios que definam os serviços oferecidos pelo SAEB, ainda não acreditam plenamente no potencial disruptivo do armazenamento de energia.

Como principais vantagens do aluguel, destacam-se a possibilidade de pagar o aluguel do SAEB por meio da economia gerada pelos serviços oferecidos pelo próprio SAEB e a ausência da responsabilidade do locatário com os serviços de operação e manutenção do sistema. Já com relação ao locador do sistema, destaca-se a possibilidade de um novo modelo de negócios para sua empresa.

3.4 Abordagem cooperativa

A abordagem cooperativa para aquisições de SAEBs é baseada no uso conjunto de diferentes agentes do setor elétrico sobre um único sistema de armazenamento. Neste modelo, diferentes clientes podem usufruir simultaneamente dos serviços oferecidos pelo SAEB. Por exemplo, o operador do sistema de transmissão pode utilizar a capacidade de injeção e absorção de potência ativa para regulação de frequência e o operador do sistema de distribuição pode utilizar o SAEB para atenuar as variações bruscas de consumo de energia elétrica e realizar controle de tensão na subestação.

Com principal vantagem do modelo de negócio baseado na abordagem cooperativa, pode-se citar a redução dos custos financeiros do projeto para cada agente, pois o custo total de implementação e operação pode ser dividido entre todos os agentes que utilizam o sistema.

4. ASPECTOS TRIBUTÁRIOS E REGULATÓRIOS DO MERCADO BRASILEIRO DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

No Brasil, a definição de marcos regulatórios que definam e precisem os serviços oferecidos pelos sistemas de armazenamento ainda é incipiente, visto que apenas em 2020 a ANEEL lançou a Tomada de Subsídio 11/2020 para tratar da elaboração de propostas de adequações regulatórias necessárias à inserção dos SAEs no setor elétrico brasileiro. Além do cenário de incertezas acerca da regulação da operação dos sistemas de armazenamento no cenário nacional, quando se trata de sistemas de armazenamento a baterias, a alta taxa tributária nos componentes importados representa uma barreira financeira para o projeto do SAEB.

4.1 Aspectos tributários

A incidência de alíquotas tributárias no processo de importação dos componentes do SAEB é um dos principais fatores que, por muitas vezes, tornam inviável a implantação desses sistemas em termos de custos financeiros. De forma geral, os principais componentes que compõem o SAEB são: o banco de baterias, o sistema de gerenciamento que realiza o despacho de energia armazenada, o sistema de conversão da energia armazenada na bateria de corrente contínua para alternada, o quadro de transferência que controla a conexão do SAEB com a rede elétrica e a gestão de temperatura do sistema.

Com base nos principais componentes do SAEB e no estudo realizado em Greener (2021), na Fig.4 está apresentada a porcentagem de custos financeiros de cada equipamento com relação ao custo total do projeto.

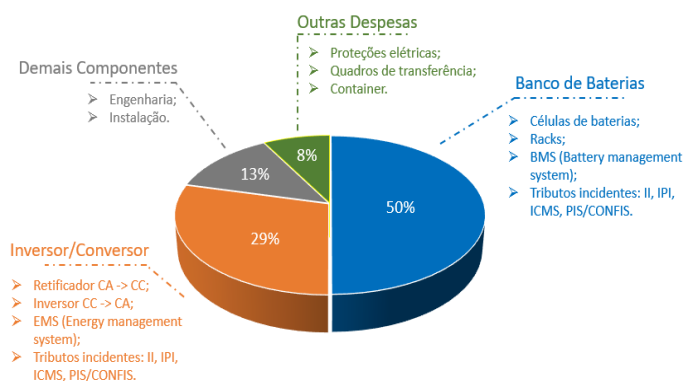


Fig.4: Custos financeiros do projeto de um SAEB. Fonte: Adaptado de Greener (2021).

Com base na análise da Fig.4, verifica-se que o banco de baterias representa aproximadamente 50% dos custos financeiros totais do projeto. Além disso, conclui-se também que o sistema de conversão de corrente elétrica representa uma parcela significativa dentro dos custos do SAEB.

Como o Brasil ainda carece de indústrias nacionais que fabriquem a maioria dos equipamentos que compõem os conversores e baterias dos SAEBs, a maioria desses equipamentos são importados. Logo, os custos elevados do

banco de baterias e do sistema de conversão são oriundos da alta tarifação tributária nos equipamentos importados no Brasil. Segundo a Tabela de Incidência do Imposto sobre Produto Industrializado (TIPI), “acumuladores elétricos e seus separadores, mesmo de forma quadrada ou retangular” de íons de lítio com a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) 8507.60.00 e, de chumbo com peso superior a 1000kg, com a NCM 8507.20.90, possui uma alíquota de 15%. Na Tabela 1 estão apresentadas as alíquotas incidentes sobre equipamentos de armazenamento de energia de íons de lítio e de chumbo.

Tabela 1. Incidência de impostos sobre o SAEB de íons de lítio e de chumbo

| Alíquotas tributárias | Bateria | |
|-----------------------|-----------------|-----------------|
| | Íons de lítio | Chumbo |
| II | 18% | 18% |
| IPI | 11,75% | 15% |
| PIS/CONFIS | 11,75% | 11,75% |
| ICMS | Conforme estado | Conforme estado |

Em Greener (2021), foi realizado um estudo considerando o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) do estado de São Paulo e foi concluído que a carga tributária sobre os SAEBs de íons de lítio pode chegar a 80% do valor final que é repassado ao cliente.

Diante do exposto acima e do cenário atual de alta tributação sobre os produtos que compõem as baterias e os conversores, conclui-se que o mercado tributário brasileiro representa um ponto de entrave para a ampliação do uso de SAEB no Brasil.

4.2 Aspectos regulatórios

Como é sabido, ainda não há no Brasil uma definição regulatória clara a respeito da utilização e precificação dos serviços oferecidos pelos SAEBs. Entretanto, a ANEEL já iniciou o processo de avaliação das definições regulatórias por meio da publicação de resoluções normativas, chamadas de projetos estratégicos e tomadas de subsídios referentes ao armazenamento de energia. Neste sentido, aqui serão apresentados os principais marcos que podem potencializar a disseminação de SAEB no mercado brasileiro.

4.2.1 Resolução Normativa nº 482/12 - ANEEL

Em abril de 2012 foi publicada pela ANEEL a Resolução Normativa nº 482, a qual estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e para o sistema de compensação de energia elétrica. Desde então, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente de energia para a rede de distribuição de sua localidade.

Apesar de a Resolução Normativa em análise não citar os sistemas de armazenamento de energia por baterias em seu texto, verifica-se que as definições das diretrizes de micro e minigeração distribuída e do sistema de compensação de energia elétrica corroboram com a ideia de armazenar energia por um período e injetá-la na rede elétrica em determinados momentos, tais como nos instantes de elevada demanda.

Destaca-se aqui que um novo processo de revisão da Resolução Normativa nº 482 está em curso, o qual poderá modificar o sistema de compensação de energia elétrica atual. Em resumo, a ANEEL sugere que a energia injetada na rede de distribuição da concessionária seja parcialmente compensada, como forma de remunerar os custos de transmissão e distribuição da energia.

4.2.2 Chamada de Projeto Estratégico P&D nº 21/2016 - ANEEL

A ANEEL lançou em 2016 a Chamada de Projeto Estratégico de Pesquisa e Desenvolvimento nº 021/2016 intitulada “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico”. De acordo com a regulamentação vigente do programa de P&D, um projeto estratégico compreende pesquisas e desenvolvimentos que coordenem e integrem a geração de novo conhecimento tecnológico em subtema de grande relevância para o setor elétrico brasileiro (ANEEL, 2016).

O principal objetivo da chamada nº 021/2016 é a proposição de arranjos técnicos e comerciais para avaliação e inserção de sistemas de armazenamento de energia no setor elétrico brasileiro, de forma integrada e sustentável. No mais, objetiva-se criar condições para o desenvolvimento de base tecnológica e infraestrutura de produção nacional.

4.2.3 Comissão de Estudos de Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica pela ABNT/COBEI

A Comissão de Estudos de Sistemas de Armazenamento de Energia (CE – 003.120.001) foi criada em março de 2020 e está vinculada ao Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações (COBEI), que é o ramo de apoio da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) responsável pela normatização técnica do setor eletroeletrônico nacional.

O foco da Comissão está relacionado à normatização no campo dos sistemas de armazenamento de energia elétrica integrados à rede, focando nos aspectos do sistema, nas necessidades de novos padrões, na interação entre os sistemas de armazenamento de energia elétrica e os sistemas de eletrônica de potência, na integração do comportamento e ação da rede com o usuário final e outras partes interessadas, no fornecimento da eletricidade com eficiência, sustentabilidade e segurança.

A Comissão é espelho do comitê técnico IEC/TC – 120, o qual está vinculado a Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC – *International Electrotechnical Commission*). O foco da IEC/TC – 120 é realizar a padronização e normatização na

área de sistemas de armazenamento de energia integrados à rede. Nesse contexto, um dos objetivos da CE – 003.120.001 é realizar a tradução para o Brasil, dentro da realidade do setor elétrico nacional, das normas elaboradas pela IEC/TC – 120 sobre sistemas de armazenamento de energia.

4.2.4 Tomada de Subsídios nº 011/2020 - ANEEL

No Brasil, não há uma regulação específica para a aplicação de SAEBS no Sistema Elétrico de Potência (SEP). Dada esta lacuna, a ANEEL identificou a necessidade de ampliar a discussão sobre a inserção dos recursos de armazenamento e, de forma a obter subsídios para a regulação, divulgou a Nota Técnica nº 094/2020-SRG/ANEEL referente à abertura da Tomada de Subsídios nº 011/2020. Tal Tomada de Subsídios foi lançada em setembro de 2020 e objetiva a obtenção de subsídios para a elaboração de propostas de adequações regulatórias necessárias à inserção de sistemas de armazenamento no setor elétrico.

A Nota Técnica publicada pela ANEEL aborda o papel das tecnologias para armazenamento de energia na transição energética, definida como o caminho a ser seguido para transformar o setor de energia, do modelo atual com grande participação de combustíveis fósseis, em um setor com baixas emissões gases de efeito estufa e carbono.

A Tomada de Subsídios 011/2020 recebeu 36 contribuições advindas de diferentes empresas, associações e agências do setor elétrico nacional. Estas contribuições tratam da caracterização dos recursos de armazenamento, especificação dos serviços a serem prestados pelos sistemas de armazenamento, serviços ancilares, mercado de capacidade, resposta da demanda, uso dos sistemas de transmissão e distribuição e atendimento a sistemas isolados.

4.2.5 Tomada de Subsídios nº 011/2021- ANEEL

Em junho de 2021, a ANEEL lançou a Nota Técnica nº 0076/2201-SDR/ANEEL referente a Tomada de Subsídios nº 011/2021. Tal Tomada objetiva investigar modelos regulatórios aplicáveis ao contexto brasileiro para a inserção de recursos energéticos distribuídos (geração distribuída, armazenamento de energia, resposta da demanda e veículos elétricos), microrredes e usinas virtuais com base nas melhores práticas internacionais e considerando seus potenciais impactos no setor elétrico.

De acordo com a Nota Técnica em análise, o setor elétrico passa por transformações em diversos países, cada um seguindo o próprio ritmo, com a perspectiva de aceleração desde processo em função da adoção de tecnologias disruptivas que tornam o consumidor cada vez mais engajado. Dentre tais tecnologias, destacam-se os recursos energéticos distribuídos, que são compostos por diferentes segmentos, como o armazenamento de energia, a geração distribuída e os veículos elétricos.

Com relação ao SAEB, sabe-se que ele é uma peça fundamental para a integração de fontes renováveis intermitentes, pois é capaz de mitigar as variações abruptas

na geração de potência por meio da injeção ou absorção de energia na rede elétrica em tempo real. Entretanto, no Brasil, o armazenamento de energia é realizado majoritariamente por usinas hidrelétricas com reservatórios reversíveis, o que representa uma preocupação diante da severa crise hídrica que o país está enfrentando. Nesse sentido, surge a aplicação das baterias para fins de armazenamento de energia.

5. TENDÊNCIAS DO MERCADO DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA POR BATERIAS

As recentes mudanças advindas da transição energética no setor elétrico, em especial o aumento da participação de fontes de geração não controláveis (principalmente a eólica e solar), geram novos desafios ao planejamento e operação do SEP. Tais desafios poderão ser superados por meio das tecnologias de armazenamento que podem ser um importante recurso para aperfeiçoar a capacidade e flexibilidade do sistema.

Neste cenário de mudanças e desafios para a operação do SEP, os SAEBS apresentam uma perspectiva de crescimento acelerado, assim como pode ser observado no gráfico da Fig.5. Neste gráfico é apresentada a projeção de crescimento dos SAEBS em aplicações residenciais, comerciais e de larga escala no mundo.

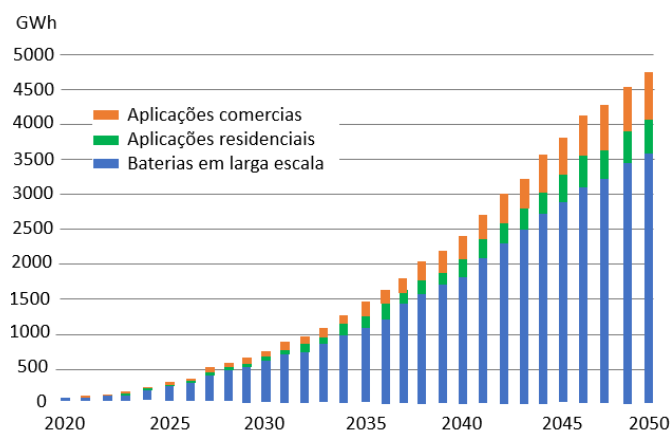


Fig.5: Expansão do mercado de armazenamento de energia por baterias. Fonte: Adaptado de BloombergNEF (2020).

De acordo com a análise da Fig.5, verifica-se que a expectativa é que sejam adicionados mais de 4.500 GWh de energia até o ano de 2050. A maior parte desse crescimento está associado às baterias de larga escala, que são baterias estacionárias que podem ser conectadas às redes de distribuição e transmissão. No mais, tais baterias apresentam uma alta capacidade de armazenamento, na ordem de MWh. Além disso, verifica-se também o aumento do número de instalações de pequeno porte em aplicações residenciais e comerciais a fim de armazenar a energia produzida, principalmente, por fontes solares e eólicas.

Outro fator que poderá impulsionar o mercado de armazenamento em baterias estacionárias é a reutilização das baterias provenientes dos veículos elétricos (cujas exigências de profundidade e descarga são maiores), após uma degradação que impossibilite o uso das baterias para essa aplicação. Nesse cenário, as baterias de íons de lítio

consideradas de segunda vida teriam custo reduzido e vida útil remanescente satisfatória para aplicações estacionárias (EPE, 2019). No mais, outro aspecto de suma importância para a disseminação de SAEBs é a redução dos preços das baterias, assim como está apresentado na Fig.6. Tal figura apresenta a projeção da Bloomberg para o preço das baterias de íons de lítio até 2030.

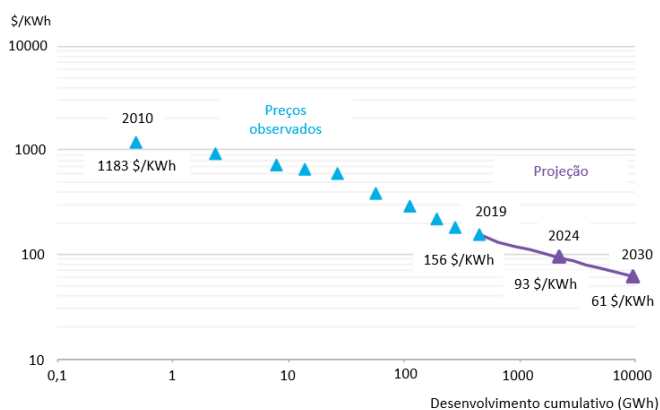


Fig. 6: Projeção do preço das baterias de íons de lítio. Fonte: Adaptado de BloombergNEF (2020).

Com base na análise da Fig.6, nota-se que ocorreu uma redução no preço das baterias de 1183 \$/KWh em 2010 para 156 \$/KWh, ou seja, uma atenuação de 86%. No mais, a previsão é que o preço das baterias de íons de lítio continue em queda, atingindo o valor de 61 \$/KWh em 2030.

6. RISCOS E OPORTUNIDADES PARA O MERCADO BRASILEIRO

Os principais aspectos relacionados ao mercado e disseminação dos sistemas de armazenamento de energia por baterias são as questões econômicas, técnicas e regulatórias, assim como está apresentada na Fig.7.

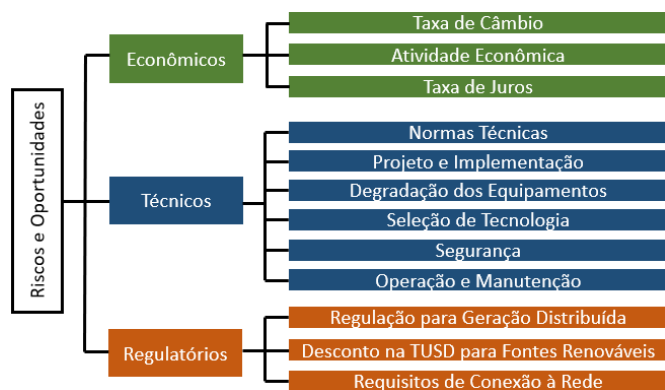


Fig.7: Matriz de riscos e oportunidades relacionados ao SAEB. Fonte: Adaptado de Greener (2021).

6.1 Aspectos econômicos

A busca por retorno financeiro, seja pela redução dos custos ou pela venda de energia elétrica, é o principal fator que estimula os consumidores e agentes privados do setor elétrico a investirem em SAEBs. Entretanto, para que o projeto de armazenamento se torne economicamente viável é necessário

superar algumas barreiras econômicas no processo de fabricação e manutenção do sistema de armazenamento.

Dentre os principais entraves que podem afetar a disseminação dos SAEBs no setor elétrico nacional destacam-se a taxa de câmbio, a atividade econômica e as taxas de juros, assim como está descrito a seguir.

- Taxa de câmbio: uma desvalorização cambial pode impactar severamente a viabilidade econômica do projeto. No mais, a alta volatilidade cambial vista no cenário nacional agrava esse fator de risco;
- Atividade econômica: em um cenário de baixo crescimento ou recessão econômica, as empresas não sentem segurança para realizar investimentos e, conseqüentemente, financiamentos tendem a ficar mais caros;
- Taxas de juros: as altas taxas de juros praticadas no mercado nacional podem inviabilizar o investimento no SAEB.

6.2 Aspectos técnicos

A definição de normas técnicas específicas para os SAEBs é de suma importância para garantir a sua disseminação. No Brasil, por exemplo, os projetos de armazenamento de energia baseiam-se em normas brasileiras referentes aos inversores de sistemas fotovoltaicos.

No cenário de regulação técnica do armazenamento de energia por baterias, a matriz de riscos e oportunidades apresentada na Fig.7 destaca os seguintes aspectos: normas técnicas, projeto e implementação e depreciação dos equipamentos.

- Normas técnicas: atualmente, não há normas técnicas para baterias de alta tensão. Esta situação pode permitir que os fornecedores ofereçam equipamentos ou sistemas de baixa qualidade, pois não existe uma norma específica para qualificá-los;
- Projeto e implementação: o dimensionamento e a implementação de um SAEB requerem atenção em relação às características operativas que podem afetar o desempenho e vida útil do sistema;
- Degradação dos equipamentos: todas as baterias estão sujeitas à depreciação, que depende de diversos fatores, tais como o número de ciclos e profundidade de descarga;

6.3 Aspectos regulatórios

A ausência de normas regulatórias que definam e precifiquem os serviços oferecidos pelos SAEBs é um dos principais entraves para a disseminação do armazenamento de energia no Brasil. Isto ocorre, pois, a falta de regulação específica para o projeto e operação dos sistemas de armazenamento gera uma insegurança jurídica e econômica.

Apesar de ainda não haver regulação específica para a inserção de sistemas de armazenamento, há determinadas normas e modificações no mercado elétrico que podem incentivar o processo de disseminação dos SAEBs. Dentre tais modificações, destacam-se: regulação para geração distribuída e Preço de Liquidação das Diferenças (PLD).

- Regulação para a geração distribuída: dentre as principais mudanças propostas pelo processo de revisão da Resolução Normativa nº 482 destaca-se a criação de novas alternativas para o modelo de compensação de energia. Com isso, o mercado de armazenamento de energia pode crescer ainda mais incentivado pelo retorno financeiro do processo de arbitragem;
- PLD: Desde janeiro de 2021, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) vem adotando o PLD horário no processo de contabilização da energia elétrica. Nesse cenário, os consumidores livres que apresentam alto consumo de energia durante os horários de alta demanda sofrem com um aumento do preço de energia com o PLD horário. Com isso, o mercado de armazenamento de energia pode ser uma saída economicamente viável para a não exposição ao PLD horário

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados os principais serviços que podem ser oferecidos por SAEBs ao sistema elétrico de potência. Neste cenário, ressalta-se que o armazenamento de energia por baterias pode ser visto com uma solução técnica viável para preencher os requisitos de flexibilidade e capacidade do sistema elétrico de potência.

Os principais modelos de negócio empregados no mundo para regulamentar a operação e manutenção dos SAEBs foram apresentados, com destaque para a operação terceirizada, compra definitiva, aluguel e abordagem cooperativa. Além disso, foram apresentadas também as principais barreiras tributárias e regulatórias que afetam a disseminação dos sistemas de armazenamento por baterias no Brasil.

No aspecto regulatório, conclui-se que o desenvolvimento de normas que definam e precifiquem os serviços oferecidos pelos SAEBs ainda se encontra em estado inicial no mercado brasileiro. Já com relação aos aspectos tributários, destaca-se que a alta taxa tributária na importação de baterias e conversores é um fator que reduz a atratividade econômica de um SAEB no mercado brasileiro.

Apesar da incipiência do mercado brasileiro com relação à definição de normas de operação dos sistemas de armazenamento, verifica-se que, no mundo, a tendência é de crescimento do número de projetos de armazenamento de energia por baterias. Logo, torna-se necessário que o governo brasileiro e agência reguladora de energia elétrica tomem medidas para viabilizar a precificação dos serviços oferecidos pelos SAEBs a fim de torná-los economicamente competitivos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), ao Instituto de Tecnologia Edson Mororó Moura (ITEMM) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por proverem as informações e os recursos necessários para realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2016). Chamada nº 021/16: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro”.
- (2020). Nota Técnica nº 094/2020 – SRG/ANEEL.
- (2020). Nota Técnica nº 076/2021 – SRD/ANEEL.
- BloombergNEF (2020). New Energy Outlook 2020.
- Dehghani-Sanji, A. R., Tharumalingam, E., Dusseault, M. B., Fraser, R. (2019). Study of energy storage systems and environmental challenges of batteries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 192-208.
- Denis, C. M., Popa G. N., Iagar, A. (2015). Study on sources of charging lead acid batteries. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 85. No. 1
- Divya, K. C., Oestergaard J. (2009). Battery energy storage technology for power systems – an overview. *Electric power systems research*. Vol.79. No. 4.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2019). *Sistemas de Armazenamento em Baterias: Aplicações e Questões Relevantes para o Planejamento*.
- Greener (2021). *Mercado de Armazenamento – Aplicações, Tecnologias e Análises Financeiras*.
- IRENA (2015). *Battery Storage for Renewables: Market Status and Technology Outlook*.
- Leite, L. H. M., Teixeira, L. G., Boaventura, W. C., Cardoso, E. N., Maia, A. S., Ramos, F. O., & Passos, A. V. A. G. (2019). Impactos de um Sistema de Armazenamento de Energia de 1 MW na Rede de Distribuição de 13,8 kV: Desafios Técnicos, Econômicos e Regulatórios. *XXV SNTPEE*.
- Parfomak, Paul W. (2012). *Energy Storage for Power Grids and Electric Transportation: A Technology Assessment*. Congressional Research Service.
- Resh, M., Buehler, J., Klausen, M., Sumper, A. (2017). Impact of operation strategies of large-scale battery systems on distribution grid planning in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Sandia National Laboratories (2013). *DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA*.
- Siemens (2018). *Storage Wars: Everybody Wins*. <https://new.siemens.com/global/en/company/stories/infra-structure/2018/storage-wars-everybody-wins.html>
- Yang, Y., Bremmer, S., Menictas, C., Kay., M. (2018). Battery Energy Storage System Size Determination in Renewable Energy Systems: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 109-125.