



SISTEMAS ARMAZENADORES DE ENERGIA: UMA REVISÃO CONTEXTUAL

Camila de Oliveira Dias*¹ e Ivan Nunes Santos¹

¹FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

Resumo – A energia elétrica é fundamental para o desenvolvimento mundial em diversos aspectos. Dessa forma, o aumento na sua demanda é uma consequência natural. Ao mesmo tempo, é crescente a preocupação com os efeitos danosos resultantes ao meio ambiente. Nesse contexto, as fontes renováveis de energia têm se destacado como uma possível solução, principalmente em casos de sistemas isolados. No entanto, a intermitência de recursos é um obstáculo em sua consolidação na matriz energética de diversos países. Dessa forma, os sistemas armazenadores de energia são considerados importantes aliados pro avanço dessas tecnologias. Entretanto, sua utilização não está restrita somente a esse cenário. Nesse âmbito, por meio da revisão literária, fez-se um estudo relacionado à aplicabilidade atual dos sistemas armazenadores de energia, com destaque às baterias.

Palavras-Chave – Armazenamento de Energia, baterias, capacidade de armazenamento.

STORAGE ENERGY SYSTEMS: A CONTEXTUAL REVIEW

Abstract – Electricity is fundamental to world development in many features. Hence, the increase in your demand is a natural consequence. At the same time, the concern about the resulting harmful effects on the environment is growing. In this context, renewable energy sources have stood out as a possible solution, especially in the case of off-grid systems. However, intermittent resources are an obstacle to their consolidation in the world energy matrix. Thus, energy storage systems are considered important allies for the advancement of these technologies. However, its use is not restricted to this purpose. In this context, through the literary revision, a study related to the current applicability of energy storage systems was made, with emphasis on batteries.

Keywords – Batteries, energy storage, storage capacity.

I. INTRODUÇÃO

A energia é, seguramente, essencial no desenvolvimento de uma nação. Devido a tal relevância, ao longo de toda a história, foram desenvolvidos métodos de conversão capazes de aproveitar as diversas fontes de energia primária como: petróleo, sol, vento, gás natural, carvão, biomassa, marés etc.

Os métodos de conversão resultam em formas de energia secundárias: eletricidade, gasolina, diesel, entre outras que são utilizadas efetivamente pela população [1].

No entanto, apesar da diversificação de fontes primárias de energia, devido ao crescente aumento de demanda, os efeitos negativos ao meio ambiente, como a emissão de CO₂ proveniente do uso de combustíveis fósseis é preocupação recorrente em todo o mundo. O que justifica a busca por melhorias e ampliação do aproveitamento de fontes renováveis. Nesse contexto, é indubitável o crescimento da utilização de fontes como a solar e a eólica. Contudo, ainda existem algumas características que corroboram com a limitação de sua utilização.

Os armazenadores de energia, capazes de armazenar energia produzida em determinado momento para uso posterior conforme necessidade [1], são apontados como uma possível solução para os problemas decorrentes da intermitência desses recursos [2], especialmente no caso de sistemas isolados, tendo em vista que apesar da sua vasta disponibilidade são imprevisíveis e aleatórias [3]. De forma que são considerados um importante pilar para evolução do uso de energia limpa.

Entretanto, a utilização dos armazenadores não está restrita ao complemento da geração proveniente de fontes renováveis. Os mesmos podem ser aplicados com a finalidade de aumentar a estabilidade do sistema, atuando na regulação de frequência quando há desequilíbrio entre a demanda exigida pela carga e a geração [4]. Outra aplicabilidade está relacionada à necessidade de equilibrar a energia que é fornecida à rede e a que é consumida, possibilitando armazenar o excesso de energia [1], de forma a reduzir custos e prováveis impactos ambientais.

II. BENEFÍCIOS DE SUA UTILIZAÇÃO

A utilização de armazenadores de energia resulta em benefícios nos diferentes níveis da rede elétrica: geração, transmissão e distribuição, incluindo também os consumidores.

Quando se trata de geração, é viabilizada a redução do preço da eletricidade visto que a compra e a venda de energia podem ser planejadas de modo que seja reduzida a necessidade de geração em períodos com custo maior.

Os operadores da rede utilizam serviços de regulação de frequência e controle de tensão para manter a estabilidade do sistema mesmo na ocorrência de variações de demanda. Os elementos armazenadores de energia apresentam vantagens

*camila.dias@ufu.br

em relação a esses métodos convencionais, visto que têm como característica tempo de inicialização mais rápido que os convencionais [1].

Ainda com relação à confiabilidade do sistema, a mesma é beneficiada, principalmente no que se refere aos picos de potência demandada pela carga conectada, tendo em vista que é possível carregar e descarregar os elementos armazenadores conforme a necessidade, sem que a demanda gerada necessite estar casada com a oferta, beneficiando tanto a transmissão quanto o consumidor final. Esse fator também é salutar quanto às flutuações diárias de demanda sofridas pela rede, de modo que é possível manter os geradores trabalhando em um nível pré-determinado na maior parte do tempo.

É possível ainda minimizar as interrupções na distribuição e diretamente na instalação do consumidor. Além disso, com o sistema de armazenamento na própria unidade consumidora, é possível que seja planejado o deslocamento do consumo da energia da rede para um horário menos oneroso, nos casos em que exista a tarifação horária.

A tecnologia de armazenamento de energia é indispensável no caso das microrredes que operam isoladamente. Nesse caso, qualquer falha em alguma das fontes de energia pode causar queda nas potências ativa e reativa. Ainda que seja possível solucionar esse tipo de problema através da rejeição de carga, o uso do armazenador é mais eficiente [2]. Ao mesmo tempo, pode ser utilizado caso existam elevações de carga, suprimindo o sistema temporariamente.

Do ponto de vista ambiental, há diminuição da poluição resultante da produção de energia elétrica, visto que a utilização dos armazenadores possibilita o aproveitamento da energia produzida pelas fontes não convencionais de forma mais abrangente. De modo que fontes causadoras de maiores danos ao meio ambiente, como termelétricas e nucleares, podem ser menos utilizadas. Ademais, ao armazenar a energia em sua forma secundária, os recursos primários são economizados, o que resulta em menores danos ambientais, principalmente quando a geração depende de combustíveis fósseis [3].

III. TIPOS DE TECNOLOGIA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

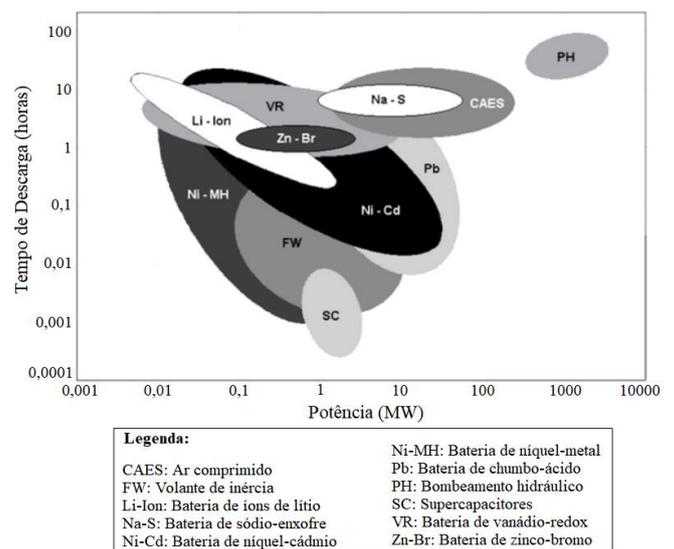
Diversos tipos de tecnologia podem ser aplicados no armazenamento de energia, a classificação dos mesmos é baseada no modo com que é feita a conversão de energia [4]. A determinação de qual deve ser utilizada deve considerar as características próprias que tornam cada tipo mais ou menos adequado para determinada situação.

São tipos de sistemas mecânicos: armazenamento hidrelétrico bombeado, armazenamento de energia por ar comprimido e armazenamento de energia do rotor/volante. Todos são utilizados em sistemas de transmissão. Já os armazenadores eletroquímicos como as baterias de chumbo-ácido, de íons de sódio ou lítio têm uma gama maior de aplicação. De forma que grande parte delas podem ser utilizadas na transmissão, em subestações e alimentadores na distribuição, em ilhas, indústrias, comércios e residências [1]. Também podem ser utilizados sistemas elétricos como supercapacitores e o armazenamento magnético de energia através de supercondutores. A conversão de eletricidade em hidrogênio é o princípio que possibilita também o

armazenamento por hidrogênio, uma alternativa importante ao uso de combustíveis fósseis [4].

Entre os sistemas supracitados, nos estudos atuais, se destacam as baterias, principalmente devido ao crescimento das gerações eólica e fotovoltaica. Utilizadas em larga escala, são sistemas de longo prazo [5], que contribuem com a configuração atual do sistema elétrico, aumentando sua confiabilidade. Já o armazenamento por bombeamento hidráulico é a tecnologia mais utilizada, representando cerca de 99% da capacidade de armazenamento de energia elétrica instalada mundialmente. Dessa forma, é necessário conhecer e entender as tecnologias de armazenamento disponíveis, para que seja possível avaliar qual custo-benefício é mais condizente com a aplicação desejada. Um dos fatores preponderantes na escolha é a relação entre os valores típicos de potência e o tempo de descarga, conforme apresentado na Figura 1 [6].

Figura 1: Comparativo das tecnologias de armazenamento



As baterias de chumbo-ácido (Pb), níquel-cádmio (NiCd), sódio-enxofre (NaS), níquel-hidreto metálico (NiMH) e íons de lítio são classificadas como eletroquímicas. Utilizam eletrodos, positivos e negativos, como parte do processo de transferência de elétrons por meio de uma solução condutora, denominada eletrólito. Já as baterias de zinco-bromo (ZnBr) e redox de vanádio (VR) são categorizadas como fluxo redox. Nesse caso, a energia é armazenada por meio de reações entre duas soluções condutoras separadas por uma membrana semipermeável, que permite o fluxo de íons, porém impede que as soluções se misturem. Enquanto os íons fluem pela membrana, uma corrente elétrica é induzida nos condutores [6]. Por sua vasta aplicabilidade, tanto em concessionárias como em aplicações industriais, comerciais ou residenciais, devida a diversos fatores como eficiência, tempo de descarga, peso e mobilidade, as baterias ocupam o lugar de maior notoriedade entre os armazenadores de energia [7].

Os supercapacitores, assim como os capacitores, armazenam energia por meio do acúmulo de cargas positivas e negativas. No entanto, tem suas placas separadas por uma solução eletrolítica, como nas baterias, e não por um material

dielétrico. Esses equipamentos apresentam duas vantagens principais em relação às baterias: maior densidade de potência e ciclo de vida bastante alto. O que os tornam ideais em aplicações que requerem armazenamento de alta potência durante intervalos de tempo curtos. Contudo, sua utilização é limitada devido aos altos custos de implementação [6].

Os sistemas de armazenamento de energia por ar comprimido, do inglês *Compressed Air Energy Storage* (CAES), são utilizados desde a década de 70 e permitem armazenar energia no processo de compressão do ar, para utilização posterior durante a expansão. Inicialmente, foram instalados com a finalidade de armazenar energia durante intervalos de demanda baixa para disponibilizá-la em momentos de pico. Atualmente, os estudos estão focados na sua aplicação na redução de oscilação de potência causada pela intermitência na geração de fontes renováveis conectadas ao sistema [8],[9],[10].

O volante de inércia, também conhecido por *Flywheel*, é um equipamento mecânico que adiciona inércia a um sistema a fim de armazenar energia cinética durante movimentos rotacionais. Inicialmente, esse tipo de sistema foi bastante usado em máquinas a vapor. Com o avanço da Eletrônica de Potência, sua aplicação foi diversificada. É utilizado como uma fonte ininterrupta ou UPS, para garantir a continuidade e qualidade da energia elétrica; em sistemas de propulsão de veículos como ônibus, trens, carros elétricos e híbridos; nas áreas aeroespacial e militar [11].

O bombeamento hidráulico, do inglês *Pumped Hydro Storage*, é baseado na implementação de reservatórios, pelo menos dois, localizados em diferentes níveis. Enquanto a demanda de eletricidade é baixa, a água é bombeada para o reservatório superior. Já nos períodos de maior demanda, é descarregada para o reservatório inferior. Dessa forma, a energia é armazenada na forma potencial gravitacional. Apesar de ser bastante competitiva em situações que requerem grande quantidade de energia, esse tipo de tecnologia apresenta diversas restrições, bem como a geração hidrelétrica. Entre eles a localização de implantação dos reservatórios, os impactos ambientais, o custo inicial e o longo prazo de construção [7].

IV. CONTEXTO MUNDIAL

Os Estados Unidos se destacam quanto aos planos de modernização do armazenamento de energia. O país deve atingir, sem considerar o setor dos carros elétricos, 240 GW no mercado de armazenamento de energia até o ano de 2030 [6]. Em especial, se sobressai o estado do Arizona, que tem como objetivo atingir 3 GW em armazenadores de energia até o ano de 2030, o que representa o dobro da meta de Nova York. A Califórnia também se sobressai nesse quesito, ambicionando, também até 2030, 1,3 GW de armazenamento [12].

Em 2017, foi instalada a maior bateria de íons de lítio do mundo, até o momento, na Austrália do Sul [13]. O estado sofreu uma série de apagões em decorrência da instabilidade da geração de energia eólica, que representou, nesse mesmo ano 35% da energia produzida no estado [14]. Esse equipamento, apesar de não cessar a dependência dos combustíveis fósseis, contribui com a estabilidade da rede e é capaz de fornecer energia, no caso de interrupção da geração

eólica, durante uma hora para quase 30.000 residências até que o fornecimento através das fontes de energia convencionais seja reestabelecido [5].

Ainda na Austrália, mesmo sem suporte financeiro, cerca de 7000 sistemas de bateria de pequena escala foram instalados em 2016. Já na Alemanha, com incentivo financeiro, aproximadamente 40% dos sistemas fotovoltaicos de pequena escala instalados nos últimos anos possuem sistemas de armazenamento

Grandes empresas também estão se desenvolvendo na área de projetos de armazenadores de energia. Entre elas, os fabricantes de automóveis principalmente devido à necessidade de prover destinação adequada para as baterias usadas de veículos elétricos. Nesse contexto, a Hyundai já desenvolve uma bateria de 1MWh, a ser implantada em sua fábrica, utilizando baterias usadas em dois modelos de carros de sua fabricação [15]. Além disso, está prevista ainda para 2019 o lançamento de uma nova bateria de íon-lítio de 150 MW, superando em 50 MW a capacidade da maior bateria em uso atualmente [16].

Além da Hyundai, também estão desenvolvendo armazenadores a partir de baterias utilizadas em seus carros, Mercedes-Benz, BMW, Renault e Nissan. Os projetos incluem vastas aplicações como utilização em parques eólicos, residências, iluminação pública e infraestrutura de recarga de veículos elétricos [15], [17], [18], [19], [20].

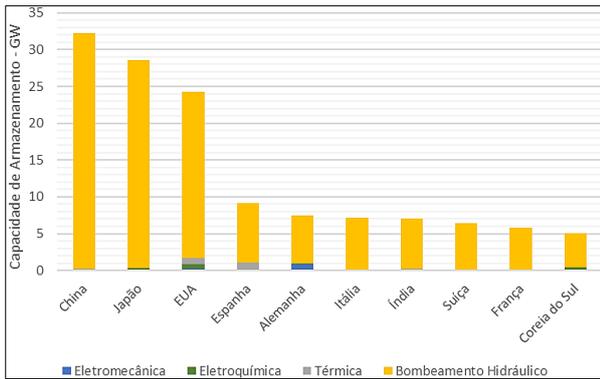
Na Figura 2, é apresentado o mapa disponibilizado pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE – Department of Energy), baseado no banco de dados desse departamento, que conta com o registro de 1580 dispositivos armazenadores de energia conectados à rede [21]. Entre esses dispositivos, há os que estão efetivamente em operação, os que foram anunciados, os contratados e os que estão fora de operação apesar de conectados à rede. É importante salientar que, embora tenha grande potencial, a capacidade de armazenamento de energia elétrica instalada mundialmente, ainda representa um percentual pequeno da capacidade elétrica total, em torno de 2% [6].

Figura 2: Distribuição mundial dos armazenadores de energia



É apresentado na Figura 3 [22], um gráfico que ilustra a capacidade de armazenamento instalada, no ano de 2017, em diversos países para quatro tipos diferentes de tecnologia.

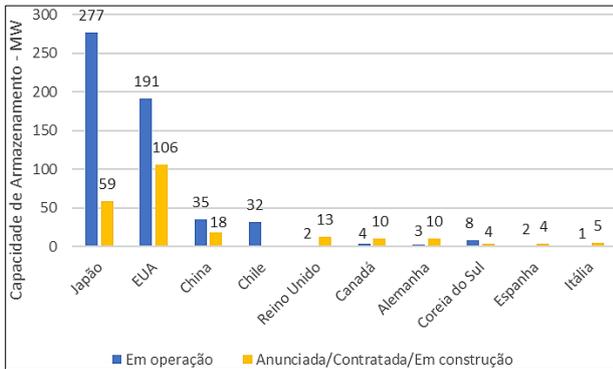
Figura 3: Capacidade de armazenamento por tipo de tecnologia e país



É evidente a predominância da capacidade instalada por bombeamento hidráulico. Tal hegemonia é devida a um conjunto de fatores como a alta capacidade de armazenamento, a eficiência, a maturidade da tecnologia e o tempo de descarga. Além disso, as máquinas reversivas têm a capacidade de alternar do modo de operação de bombeamento para a geração máxima em um tempo de aproximadamente 2 minutos, considerado curto, em comparação com as turbinas a gás, que despendem, para atingir a potência nominal, de 7 a 15 minutos [7].

Na Figura 4, é apresentada a capacidade de armazenamento instalada por meio de baterias em vários países, incluindo a parcela que ainda não está em operação, porém já foi, ao menos, anunciada. Os valores são estimados, pois excluem as instalações descentralizadas, presentes em residências ou instalações industriais [23].

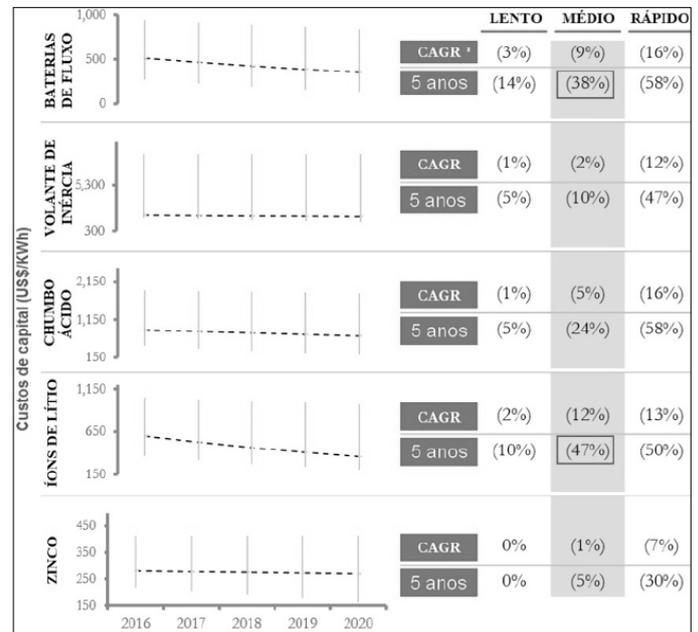
Figura 4: Estimativa de armazenamento por baterias por país



Desde 2006, a *American Electric Power (AEP)* e a *S&C Electric Company* trabalham na implantação de diversos projetos que demonstram a importância da implementação do armazenamento de energia na rede. Naquele ano foi implantada uma bateria de 1 MW e 7,2 MWh de sódio e enxofre para reduzir, durante o verão, o carregamento de um transformador de 20 MVA e atrasar uma expansão daquela subestação até que houvesse crescimento de carga constante que justificasse o investimento. O projeto foi bem sucedido e apontou que as baterias de grande escala podem ser consideradas uma solução viável para o gerenciamento de carga [24].

Em uma estimativa realizada pela AES Corporation, a demanda mundial por armazenamento de energia em 2022 deverá ser aproximadamente dez vezes a demanda requerida em 2017 [25]. Obviamente, o aumento da capacidade instalada não acompanhará tal ritmo de crescimento devido, principalmente, aos altos custos de implementação. Todavia, a perspectiva é que aconteça uma redução dos custos nos próximos anos, motivada, precipuamente, pelo aumento na escala de produção e pelas melhorias na engenharia, proporcionadas pelas pesquisas atuais [6]. Na Figura 5 [26], são apresentadas perspectivas de reduções nos custos de capital, anualmente e em um horizonte de cinco anos, em US\$/kWh, para diferentes tecnologias.

Figura 5: Previsão de redução de custos de capital



* CAGR, do inglês *Compound Annual Growth Rate*, é a taxa composta de crescimento anual [6].

São apontados três cenários para o decréscimo dos valores, sendo destacado o médio, por ser mais provável e realista. É evidente que para as baterias de fluxo e as de íons de lítio tem-se expectativas otimistas em relação ao custo em um futuro próximo. Estudos mais recentes, apontam perspectivas de grandes reduções até 2022 para as baterias de fluxo de vanádio (38%) e de brometo de zinco (45%). Enquanto, para as baterias de íons de lítio, a redução poderá se aproximar de 28% em relação ao custo em 2018 [27].

V. ARMAZENADORES DE ENERGIA NO BRASIL

Em consonância com a tendência global, diversos projetos de pesquisa e desenvolvimento com foco em armazenadores de energia têm sido colocados em pauta no Brasil. Dentre os mais de 2500 projetos de P&D propostos por empresas brasileiras de energia elétrica e regulamentados pela ANEEL até maio de 2018, 59 estão relacionados diretamente com armazenamento de energia e o investimento estimado nos mesmos equivale a aproximadamente 770 milhões de reais [28].

Entre os 59 projetos, grande parte deles faz parte das chamadas de P&D ocorridas no ano de 2016. Em especial, a Chamada Pública intitulada “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro”, que despertou o interesse de 96 agentes de geração, transmissão e distribuição do país [29]. A aplicação de vários desses projetos está relacionada ao suporte de gerações eólica e fotovoltaica que passaram por uma expansão considerável em 2015 [30].

Especificamente, no Brasil, além da possibilidade de utilização conjunta aos parques eólicos do Nordeste, outra aplicação está relacionada à substituição dos geradores a óleo diesel dos sistemas isolados na região Norte. O que viabilizaria a redução dos encargos relacionados ao consumo de combustíveis, que totalizam cerca de 6 bilhões de reais por ano. O armazenamento de energia também pode ser visto como um aliado na otimização de redes de distribuição. Tal tecnologia pode propiciar, ainda, que as distribuidoras atendam necessidades singulares com relação à qualidade da energia fornecida a consumidores específicos. Ademais, a energia disponibilizada pode reduzir os custos previstos com expansão de transformadores e linha de distribuição [29].

A AES Tietê, empresa do grupo AES Corporation, implementou, com o custo aproximado de 5,4 milhões de reais, o primeiro projeto nacional de armazenamento de energia por baterias de lítio conectado a uma usina hidrelétrica de grande porte, Usina Hidrelétrica de Bariri, pertencente ao Sistema Interligado Nacional (SIN). O sistema, cuja inauguração ocorreu em 23 de agosto de 2018, foi projetado em parceria com a Siemens e contempla um sistema de armazenamento de energia de 161 kW, porém expansível a 1 MW, além de incluir o monitoramento e o controle das baterias através de software e equipamentos de comunicação. A principal função do sistema instalado consiste em armazenar energia do gerador auxiliar da usina e despachar a mesma em horários em que há aumento de demanda. Ademais, é possível oferecer suporte à regulação de tensão e frequência, garantindo maior confiabilidade para a rede [31],[32],[33],[34].

Em 2016, a Abaque (Associação Brasileira de Armazenamento e Qualidade de Energia) divulgou que o mercado brasileiro para sistemas de armazenamento de energia estaria estimado em 95 GW. Um número bastante expressivo se comparado à capacidade instalada em armazenamento no mundo em 2015, cerca de 185,3 GW. No entanto, apesar de o estudo mencionar que os custos de baterias no mercado internacional são competitivos com os custos de geração convencional, não especificou os custos necessários para alcançar tal estimativa. O estudo pode ser considerado conservador, visto que não foi considerado o uso da tecnologia em serviços ancilares, em que se objetiva manter a qualidade da rede, controlando frequência e tensão [35].

É inquestionável que o Brasil apresenta grande potencial hídrico, capaz de alavancar o mercado. Entretanto, não apresenta grande capacidade instalada de armazenamento por bombeamento hidráulico. As usinas reversíveis, cujas unidades podem trabalhar como turbinas e como bombas, responsáveis pelo armazenamento por bombeamento hidráulico, existentes no país foram construídas entre 1939 e 1955, com capacidade inferior a 200 MW. No entanto,

entraram em desuso na década de 1970 porque, naquele momento, as usinas hidrelétricas eram suficientes para atender o pico de consumo. Nos anos 80, foram feitos estudos que estimaram um potencial de 200 GW para usinas reversíveis no país. Contudo, é necessário reavaliar essa estimativa, visto que a integração entre as regiões através do Sistema Interligado Nacional (SIN) hoje é bem maior, além da característica de consumo e de carga ter se modificado bastante [7].

VI. CONCLUSÕES

As tecnologias disponíveis para armazenar energia são diversas. É necessário conhecê-las para avaliar, considerando vantagens e desvantagens, qual apresenta melhor custo-benefício para a aplicabilidade desejada.

Embora o assunto seja recorrente na atualidade, ainda existem diversas dificuldades a serem enfrentadas nos próximos anos. A principal delas está relacionada aos elevados custos de implantação. Entretanto, é crucial que sejam discutidas questões regulatórias, econômicas e tecnológicas. A fim de que a inserção desses sistemas seja considerável em diversos mercados.

O presente trabalho contribui com o tema ao sintetizar, de forma objetiva, os tipos de armazenadores de energia mais comumente citados na literatura. Bem como, apresenta o cenário atual em que os mesmos se encontram, incluindo diversas aplicações e enfatizando a situação brasileira.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Amirante, E. Cassone, E. Distaso, and P. Tamburrano, “Overview on recent developments in energy storage: Mechanical, electrochemical and hydrogen technologies,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 132, pp. 372–387, 2017.
- [2] X. Tan, Q. Li, and H. Wang, “Advances and trends of energy storage technology in Microgrid,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 44, no. 1, pp. 179–191, 2013.
- [3] M. Aneke and M. Wang, “Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review,” *Appl. Energy*, vol. 179, pp. 350–377, 2016.
- [4] M. Condon, R. L. Revesz, and B. Unel, “Managing the future of energy storage,” 2018.
- [5] Q. Alqarqaz, “Battery Energy Storage Systems Are on the Rise,” *IEEE - The Institute*, pp. 1–4, Oct-2018.
- [6] Y. F. F. Costa e Silva and E. C. Bortoni, “Sistemas de armazenamento de energia elétrica em redes inteligentes: Características, oportunidades e barreiras,” *Rev. Bras. Energ.*, vol. 22, no. 1, pp. 48–73, 2016.
- [7] N. M. Eduardo T. Serra, Alcir de Faro Orlando, Acher Mossé, “Armazenamento de energia: situação atual, perspectivas e recomendações,” *Com. Energ. da Acad. Nac. Eng.*, pp. 1–46, 2016.
- [8] M. A. Salvador, T. B. Lazzarin, and R. F. Coelho, “Panorama das estratégias de armazenamento de energia sob forma de ar comprimido,” *Eletrônica de Potência*,

- vol. 21, pp. 169–178, 2016.
- [9] B. Cleary, A. Duffy, A. O’Connor, M. Conlon, and V. Fthenakis, “Assessing the economic benefits of compressed air energy storage for mitigating wind curtailment,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 1021–1028, 2015.
- [10] A. Khamis, Z. M. Badarudin, A. Ahmad, A. A. Rahman, and M. H. Hairi, “Overview of mini scale compressed air energy storage system,” *PEOCO 2010 - 4th Int. Power Eng. Optim. Conf. Progr. Abstr.*, no. June, pp. 458–462, 2010.
- [11] M. El-Mann, “Sistema Armazenador De Energia Cinética – SAEC Implementação Experimental,” Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
- [12] J. Spector, “Arizona Regulator Proposes Biggest Storage and Clean Energy Target Yet,” *Greentech Media*, 2018. Disponível em: <<https://www.greentechmedia.com/articles/read/arizona-regulator-proposes-sweeping-clean-energy-plan#gs.1XtLEe0>>. Acesso em 07 fev. 2019.
- [13] D. B. Gray, “Tesla liga bateria gigante para apoiar rede elétrica da Austrália,” *Exame*, 2017. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/tecnologia/tesla-liga-bateria-gigante-para-apoiar-rede-eletrica-da-australia/>>. Acesso em 11 fev. 2019.
- [14] A. Ball *et al.*, “Australian Energy Update 2018,” 2018.
- [15] F. Lambert, “Hyundai announces deal to build energy storage projects with used EV battery packs”. Disponível em: <<https://electrek.co/2018/06/26/hyundai-used-ev-battery-packs-energy-storage-projects/>>. Acesso em 12 fev. 2019.
- [16] “Move Over Tesla! Hyundai To Unveil World’s NEW Largest Battery.” Disponível em: <<https://www.group1hyundai.co.za/blog/hyundai-worlds-new-largest-battery/>>. Acesso em 12 fev. 2019.
- [17] F. Lambert, “Mercedes-Benz turns coal power plant into energy storage system with electric car batteries,” 2018. Disponível em: <<https://electrek.co/2018/06/21/mercedes-benz-turns-coal-power-plant-into-energy-storage-electric-car-batteries/>>. Acesso em 12 fev. 2019.
- [18] F. Lambert, “Over 500 BMW i3 battery packs connect to the UK National Grid in latest large energy storage project,” 2018. Disponível em: <<https://electrek.co/2018/05/21/bmw-i3-battery-pack-uk-national-grid-energy-storage-project/>>. Acesso em 12 fev. 2019.
- [19] F. Lambert, “Renault installs electric car charging stations powered by used EV battery packs,” 2017. Disponível em: <<https://electrek.co/2017/08/29/renault-electric-car-charging-stations-used-ev-battery-packs/>>. Acesso em 12 fev. 2019.
- [20] F. Lambert, “Nissan unveils stunning new streetlights powered by used Leaf battery packs and solar,” 2018. Disponível em: <<https://electrek.co/2018/03/22/nissan-streetlights-powered-used-leaf-battery-packs/>>. Acesso em 12 fev. 2019.
- [21] DOE, “DOE Global Energy Storage Database,” *Energy Storage Exchange*. Disponível em: <https://energystorageexchange.org/projects/data_visualization>. Acesso em 28 fev. 2019.
- [22] IRENA, *Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030*, no. October. 2017.
- [23] I. Renewable and E. Agency, “Battery Storage for Renewables: Market Status and Technology Outlook. The International Renewable Energy Agency,” *Int. Renew. Energy Agency*, no. January, 2015.
- [24] B. P. Roberts, “Deploying battery energy storage in the utility distribution grid,” *IEEE PES Gen. Meet. PES 2010*, pp. 1–2, 2010.
- [25] AES Corporation, “Annual Report,” Arlington, 2017.
- [26] LAZARD, “Lazard’s Levelized Cost of Storage Analysis Version 1.0,” no. November, p. 30, 2015.
- [27] LAZARD, “Lazard’s Levelizes Cost Of Storage Analysis - Version 4.0,” *Ann. For. Sci.*, p. 60, 2018.
- [28] ANEEL, “Projetos de P&D Propostos pelas Empresas de Energia Elétrica.” 2018.
- [29] F. Leite, N., Delgado, M., Hage, “Os Desafios do Armazenamento de Energia no Setor Elétrico,” *FGV Energ.*, pp. 135–147, 2017.
- [30] REN21, “Energias Renováveis 2016: Relatório da situação mundial,” *Ren21*, pp. 1–31, 2016.
- [31] D. Y. Nakabayashi, R., Asami, “Armazenamento de energia – uma revolução silenciosa | AES Tietê,” 2018. Disponível em: <<https://www.aestiete.com.br/noticia/armazenamento-de-energia-uma-revolucao-silenciosa/>>. Acesso em 01 ago. 2019.
- [32] R. Nakabayashi, “Armazenamento de energia por baterias transforma o setor elétrico | AES Tietê,” 2017. Disponível em: <<https://www.aestiete.com.br/noticia/armazenamento-de-energia-por-baterias-transforma-o-setor-eletrico/>>. Acesso em 01 ago. 2019.
- [33] AES Tietê, “Autoridades visitam projeto de armazenamento de energia em Bariri | AES Tietê,” 2018. Disponível em: <<https://www.aestiete.com.br/noticia/autoridades-visitam-projeto-de-armazenamento-de-energia-em-bariri/>>. Acesso em 01 ago. 2019.
- [34] Reuters, “AES Tietê mira leilão do governo para levar soluções com baterias a Roraima - Reuters,” 2018. Disponível em: <<https://br.reuters.com/article/businessNews/idBRKBN1JF2F5-OBRBS>>. Acesso em 01 ago. 2019.
- [35] W. Freire, “Mercado brasileiro para armazenamento de energia é de 95 GW, estima Abaque,” 2016. Disponível em: <<http://abaque.com.br/index.php/2016/05/31/31052016-mercado-brasileiro-para-armazenamento-de-energia-e-de-95-gw-estima-abaque/>>. Acesso em 01 ago. 2019.