



# Sistemas de Armazenamento em Baterias

*Aplicações e Questões Relevantes para o Planejamento*

**Novembro de 2019**



GOVERNO FEDERAL  
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
MME/SPE

**Ministério de Minas e Energia**

**Ministro**

Bento Albuquerque

**Secretário-Executivo do MME**

Marisete Fátima Dadald Pereira

**Secretário de Planejamento e Desenvolvimento  
Energético**

Reive Barros

**Secretário de Energia Elétrica**

**Secretário de Petróleo, Gás Natural e  
Biocombustíveis**

Renata Beckert Isfer

**Secretário de Geologia, Mineração e  
Transformação Mineral**

Alexandre Vidigal de Oliveira

## Sistemas de Armazenamento em Baterias

### *Aplicações e Questões Relevantes para o Planejamento*



Empresa de Pesquisa Energética

*Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.*

**Presidente**

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

**Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e  
Ambientais**

Giovani Vitória Machado

**Diretor de Estudos de Energia Elétrica**

Erik Eduardo Rego

**Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustível**

José Mauro Ferreira Coelho

**Diretor de Gestão Corporativa**

Álvaro Henrique Matias Pereira

**Coordenação Geral**

Erik Eduardo Rego  
Giovani Vitória Machado

**Coordenação Executiva**

Bernardo Folly de Aguiar

**Equipe Técnica**

Aline Couto de Amorim  
Cristiano Saboia Ruschel  
Gabriel Konzen  
Glaysson de Mello Muller  
Gustavo B. Haydt de Souza  
Gustavo Pires da Ponte  
Mariana Lucas Barroso  
Michele Almeida de Souza  
Thiago de Faria R. D. Martins  
Thiago Ivanoski Teixeira  
Thais Pacheco Teixeira  
Tiago Veiga Madureira

URL: <http://www.epe.gov.br>

**Sede**

Esplanada dos Ministérios Bloco "U" Sala 744 - Brasília - DF BRASIL  
CEP: 70.065-900

**Escritório Central**

Av. Rio Branco, 01 – 11º Andar  
20090-003 - Rio de Janeiro – RJ

**N. EPE-DEE-NT-098/2019-r0**

Data: 29 de novembro de 2019

## IDENTIFICAÇÃO DO DOCUMENTO E REVISÕES

|   |                        |                          |
|---|------------------------|--------------------------|
|      |                        |                          |
| <i>Área de Estudo</i><br><b>EXPANSÃO DA GERAÇÃO</b>                                   |                        |                          |
| <i>Estudo</i><br><b>SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO EM BATERIAS</b>                         |                        |                          |
| <i>Macro-atividade</i><br><b>Aplicações e Questões relevantes para o Planejamento</b> |                        |                          |
| <i>Ref. Interna (se aplicável)</i>  |                        |                          |
| <i>Revisões</i>   | <i>Data de emissão</i> | <i>Descrição sucinta</i> |
| r0  | 29/11/2019             | Emissão original         |

---

## SUMÁRIO EXECUTIVO

Dentre as diversas formas de armazenamento de energia, as baterias eletroquímicas se apresentam como candidatas potenciais a diversas aplicações no setor elétrico brasileiro, sobretudo pela capacidade de resposta instantânea dessa tecnologia e por sua flexibilidade operativa e locacional. Destaca-se também a versatilidade desses sistemas, que se mostram capazes de prover diferentes serviços, como back-up, arbitragem e compensação da variabilidade de geração eólica e solar, por exemplo, possibilitando maior penetração dessas fontes renováveis e, conseqüentemente, a redução das emissões de gases de efeito estufa. Adicionalmente, dada sua modularidade, as baterias se mostram aptas a diferentes aplicações: desde sistemas residenciais ou isolados de pequeno porte até aplicações centralizadas de alta capacidade.

O recente aumento exponencial de instalações de baterias em sistemas elétricos, sobretudo as de íons de lítio, com projeções de crescimento e de redução de custos nas próximas décadas, revelam seu potencial disruptivo, que é reforçado pela difusão global de veículos elétricos.

Apesar das inúmeras possibilidades de aplicações, centralizadas e distribuídas, verifica-se que algumas ainda dependem de questões regulatórias e comerciais, o que reforça a importância da discussão aqui proposta, de forma a buscar a inserção das baterias no mercado brasileiro de forma sustentável, à medida que contribuam para os requisitos do sistema elétrico e se mostrem competitivas frente às demais soluções.

Nesse sentido, as recentes discussões sobre a modernização do setor elétrico, que buscam um desenho de mercado focado no conceito de neutralidade tecnológica e aberto a novas tecnologias, se mostram como uma janela de oportunidade para as baterias, uma vez que sua viabilização pode depender da remuneração pela prestação de diferentes serviços por um mesmo sistema.

Para cada uma das possíveis aplicações identificadas, discute-se nesse documento seus benefícios e limitações, bem como os desafios, inclusive ambientais, relacionados com a entrada e ampliação da participação das baterias na matriz elétrica brasileira.

---

## Sumário

|  |           |
|--|-----------|
| <b>SUMÁRIO EXECUTIVO.....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>1. APRESENTAÇÃO.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>2. SOLUÇÕES DE ARMAZENAMENTO E TENDÊNCIAS PARA BATERIAS ...</b>                             | <b>8</b>  |
| <b>2.1. Tendências para sistemas de armazenamento em baterias .....</b>                        | <b>9</b>  |
| <b>3. APLICAÇÕES NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO.....</b>                                       | <b>14</b> |
| <b>3.1. Atendimento a Cargas Emergenciais e de Ponta .....</b>                                 | <b>16</b> |
| <b>3.1.1. Aplicações atrás do medidor – Redução da Demanda Máxima e Autossuficiência .....</b> | <b>17</b> |
| <b>3.2. Associação com Unidades de Geração .....</b>   | <b>17</b> |
| <b>3.2.1. Aplicações atrás do medidor – Associado a uma Unidade Geradora.....</b>              | <b>19</b> |
| <b>3.3. Arbitragem de Energia.....</b>   | <b>19</b> |
| <b>3.3.1. Aplicações atrás do medidor - Arbitragem.....</b>                                    | <b>20</b> |
| <b>3.4. Alternativa à Expansão do Sistema de Transmissão.....</b>                              | <b>20</b> |
| <b>3.5. Mitigação de Restrições Elétricas no Curto Prazo.....</b>                              | <b>20</b> |
| <b>3.6. Prestação de Serviços Ancilares.....</b>   | <b>21</b> |
| <b>3.6.1. Aplicações atrás do medidor – Serviços Ancilares.....</b>                            | <b>22</b> |
| <b>3.7. Sistemas Isolados.....</b>   | <b>22</b> |
| <b>4. DESAFIOS PARA A UTILIZAÇÃO DE BATERIAS NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO .....</b>          | <b>25</b> |
| <b>5. ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS DO USO DE BATERIAS .....</b>                                    | <b>29</b> |
| <b>5.1. Produção e Uso.....</b>  | <b>29</b> |
| <b>5.2. Reuso, Reciclagem e Disposição final .....</b>   | <b>30</b> |
| <b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>Bibliografia .....</b>  | <b>34</b> |

---

## 1. APRESENTAÇÃO

As recentes mudanças no sistema elétrico brasileiro, com aumento da participação de fontes de geração variável e não-controlável (em especial eólica e solar fotovoltaica) e a redução percentual da energia armazenada nos reservatórios de usinas hidrelétricas em relação à carga traz novos desafios ao planejamento e à operação do sistema elétrico brasileiro, que passa a apresentar escassez de potência e não só de energia, como no passado. Tal situação abre espaço para tecnologias de armazenamento, que poderão ser um importante recurso para os crescentes requisitos de capacidade e flexibilidade (EPE, 2018).

O Plano Decenal de Energia (PDE) 2029<sup>1</sup> indica a necessidade de suprimento de potência a partir de 2024 e considera o armazenamento em baterias como uma das tecnologias para esta finalidade:

“Sobre as tecnologias específicas para o aumento da capacidade do sistema, visando a complementação de potência, além das já citadas termelétricas a gás natural são representadas explicitamente as tecnologias de armazenamento, como usinas hidrelétricas reversíveis e baterias” (MME & EPE, 2019).

A sinalização dessas necessidades já constava do planejamento em anos anteriores. A publicação do PDE 2024, por exemplo, indicava ser necessário contratar um montante anual igual a 500 MW em 2021, para atender o horário de ponta de alguns dias no ano, a fim de que os riscos de déficit fossem inferiores a 5%. O PDE 2026 também apontou a necessidade de oferta para complementação de potência a partir de 2022, totalizando cerca de 13.200 MW em 2027.

Tecnologias de armazenamento de energia, como hidrelétricas reversíveis, armazenamento de ar comprimido, diversos tipos de baterias, *flywheels* e capacitores eletroquímicos, possuem múltiplas aplicações. Dentre estas, destacam-se: gerenciamento de energia, backup, equilíbrio de carga, controle de frequência, controle de tensão, estabilização da rede, *black-start*, entre outros. É importante atentar ao fato de que nem toda tecnologia para armazenamento de energia é adequada para todos os tipos de aplicação, sendo necessária a adequada identificação de requisitos e atributos a cada situação.

Destaca-se que algumas dessas aplicações podem se dar de forma centralizada e distribuída (atrás do medidor), o que é detalhado ao longo do documento. Sobre as últimas, o PDE 2029 apresenta, no capítulo 9, algumas avaliações de atratividade econômica de uso de baterias de íons de lítio em unidades consumidoras para (i) aumento do autoconsumo da microgeração distribuída; (ii) mudança para a tarifa branca; e (iii) substituição da geração

---

<sup>1</sup> Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029>

---

diesel na ponta na média tensão; concluindo pela inviabilidade das mesmas nas condições simuladas.

De forma a buscar soluções aos novos desafios do setor, a EPE vem estudando as diversas tecnologias de armazenamento, tendo publicado estudos metodológicos e levantamento de potencial de usinas hidrelétricas reversíveis<sup>2</sup>.

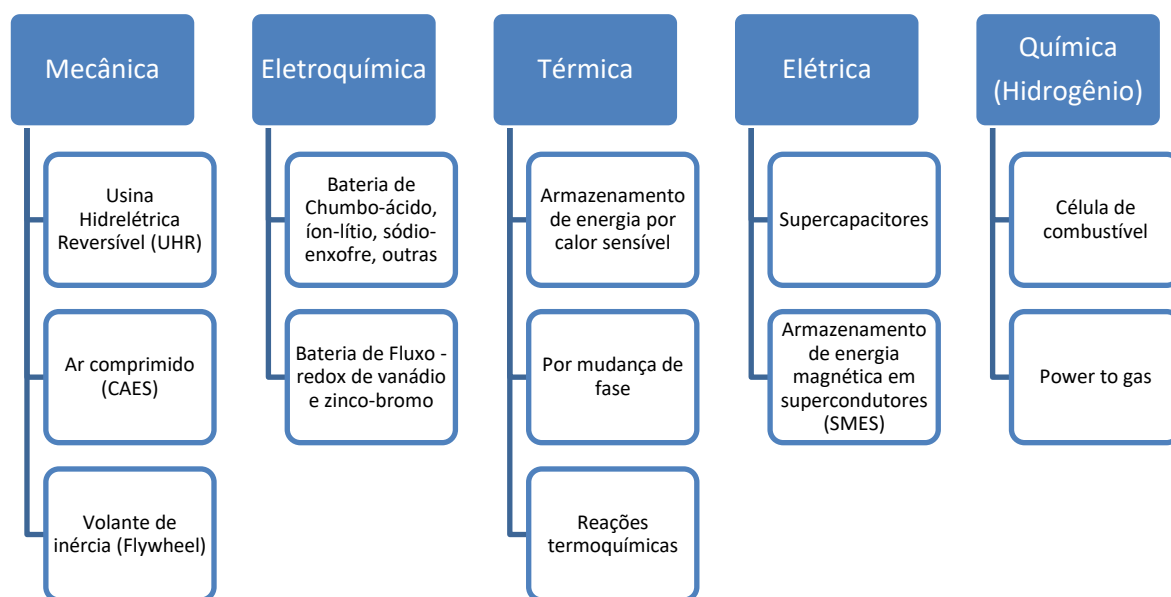
Em continuação, este documento visa discutir a inserção de sistemas de armazenamento em baterias no Setor Elétrico Brasileiro. Primeiramente, será apresentado o contexto geral de uso de baterias eletroquímicas como solução de armazenamento em sistemas elétricos, trazendo as tendências mundiais de adoção destes sistemas e as perspectivas futuras de custo e crescimento dessa tecnologia segundo estudos internacionais. À luz dessas informações, as possíveis aplicações dos sistemas de armazenamento no Sistema Elétrico Brasileiro serão discutidas, contextualizando questões de regulação, mercado, e características específicas do sistema brasileiro. Por fim, discute-se os principais aspectos socioambientais relacionados às baterias considerando o seu ciclo de vida: produção; uso; reuso; reciclagem; e disposição final.

---

<sup>2</sup> Disponíveis em: <http://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/usinas-hidreletricas-reversiveis-uhr-epe-publica-nota-tecnica-voltada-a-estudos-de-inventario-no-brasil>

## 2. SOLUÇÕES DE ARMAZENAMENTO E TENDÊNCIAS PARA BATERIAS

Há diversas alternativas tecnológicas para armazenamento de energia, cada uma delas com uma série de vantagens, desvantagens e aplicações. Como panorama geral, a Figura 1 ilustra as principais tecnologias em estudo para armazenamento de energia em grande escala.



**Figura 1 - Tecnologias para armazenamento de energia**

Fonte: Adaptado de (MassCEC & DOER (2016))

Em que pese as diferentes aplicações e capacidades de armazenamento, o armazenamento por meio de baterias apresenta grande potencial e destaca-se como uma das principais tecnologias a ser utilizada nas matrizes elétricas futuras. Somadas à recente curva de queda de custos, algumas de suas características justificam o grande crescimento no número de projetos desenvolvidos e a enorme expectativa sobre o futuro das tecnologias, sobretudo:

- Alta densidade de energia, alta eficiência e baixíssimo tempo de resposta em operação;
- Flexibilidade tanto em capacidade de instalação (sistemas modulares e altamente customizáveis) quanto em possibilidade de alocação física (requer pequena área para instalação, baixa utilização de água ou ausência de emissão de poluentes na operação, sendo possível instalação em qualquer tipo de ambiente);
- Versatilidade de aplicações atendidas, desde sistemas onde são exigidas respostas instantâneas e de alta potência durante um curto intervalo de tempo, como também aplicações de maior duração; e



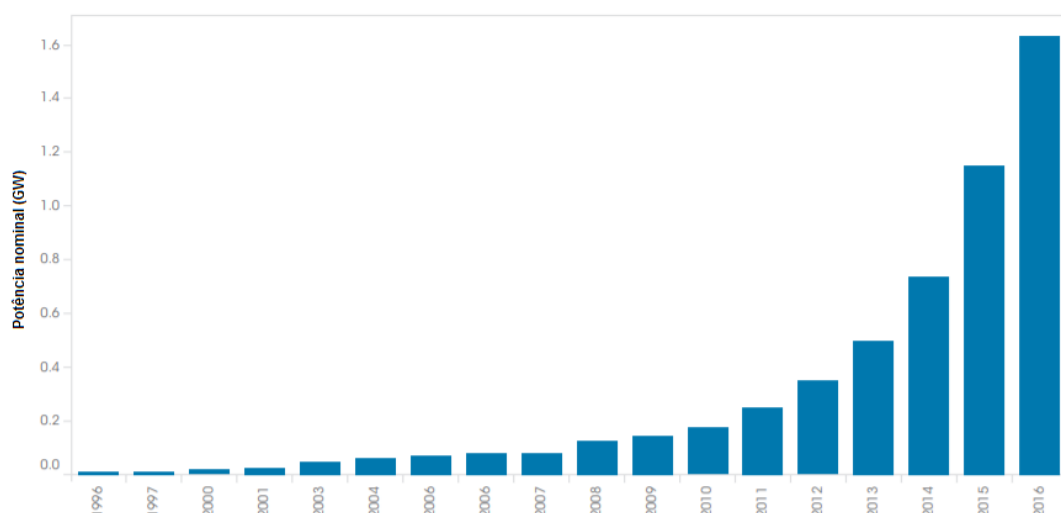
- Rápida instalação, com média de seis meses entre contratação e comissionamento além da portabilidade dos sistemas (geralmente instalados dentro de contêineres).

Com relação às baterias eletroquímicas, as principais tecnologias que se desenvolveram nos últimos anos, com maior participação no mercado, ou ainda que tenham perspectivas de crescimento nos próximos anos são: as baterias de chumbo-ácido, íon-lítio, sódio-enxofre e bateria de fluxo. Cada tecnologia possui diferentes características, com diferentes vocações, o que faz com que comparações técnicas e econômicas devam ser realizadas caso a caso, pois a viabilidade de cada solução é bastante variável com o dimensionamento e com a aplicação desejada. Com a evolução de cada tecnologia, é importante que tais avaliações continuem a ser realizadas, pois é possível que ocorram mudanças rápidas no mercado de armazenamento.

Destaca-se que este relatório não busca detalhar as características técnicas de cada tecnologia, o que já foi feito em diversos outros trabalhos<sup>3</sup>, mas somente ressaltar os principais pontos que definem as aplicações de cada uma.

## 2.1. Tendências para sistemas de armazenamento em baterias

Os sistemas de armazenamento em bateria vêm apresentando crescimento acelerado no mundo nos últimos anos. A Figura 2 apresenta a capacidade mundial instalada de baterias, onde é possível observar um crescimento exponencial ao longo de 10 anos, atingindo 1,6 GW em 2016. Em termos de expectativa, a Figura 3 apresenta a projeção da potência instalada de baterias por país, que chega a 1.100 GW em 2040.

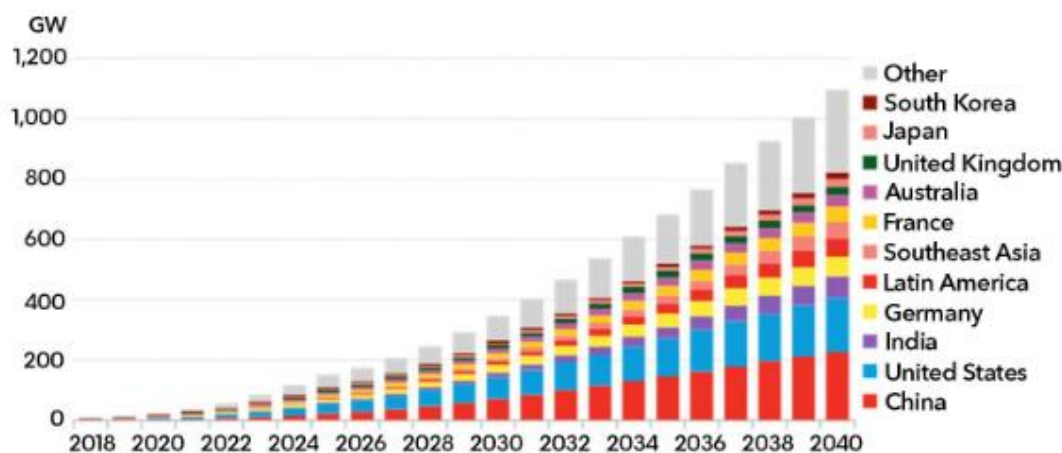


**Figura 2 - Capacidade instalada mundial de armazenamento em bateria (GW)**

Fonte: IRENA (2017)

<sup>3</sup> Recomenda-se a leitura do relatório "Sistemas de Armazenamento de Energia – Tecnologia, Regulação e Políticas Públicas", preparado por MCTIC & INT (2017)

A expectativa é de que o mercado global de armazenamento crescerá até 2040, com investimentos da ordem de U\$660 bilhões (BNEF, 2019). O estudo considera que este crescimento será possível devido a quedas significativas nos preços das baterias de íon de lítio, assim como a redução de 85% ocorrida entre 2010-2018.

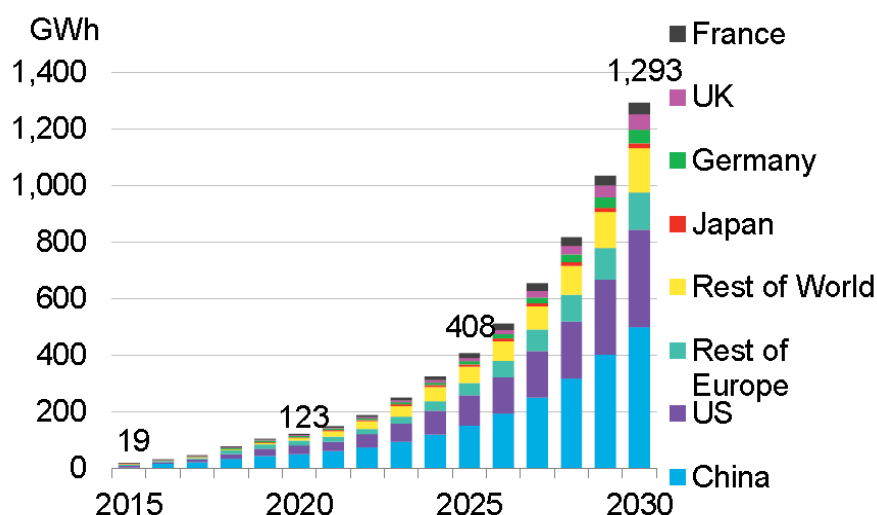


**Figura 3 - Previsão mundial de capacidade de armazenamento (MW) por país (Excluindo hidrelétrica reversível)**

Fonte: BNEF (2019)

Apesar de haver diferentes tecnologias competindo entre si, e diversas delas com perspectiva de queda de preço futuro, as apostas da maioria das instituições de pesquisa do setor recaem sobre a tecnologia de íon-lítio. As expectativas para essa tecnologia decorrem principalmente da inserção projetada de veículos elétricos<sup>4</sup> utilizando estes equipamentos na matriz mundial de transportes e dos usos em equipamentos eletrônicos. Avalia-se que a expansão nesses setores deva resultar em uma redução expressiva em seus custos, e por consequência, torne-a cada vez mais viável para utilização em aplicações do setor elétrico. A Figura 4 apresenta a projeção da BNEF para a demanda de baterias dessa tecnologia para aplicação em veículos elétricos por região.

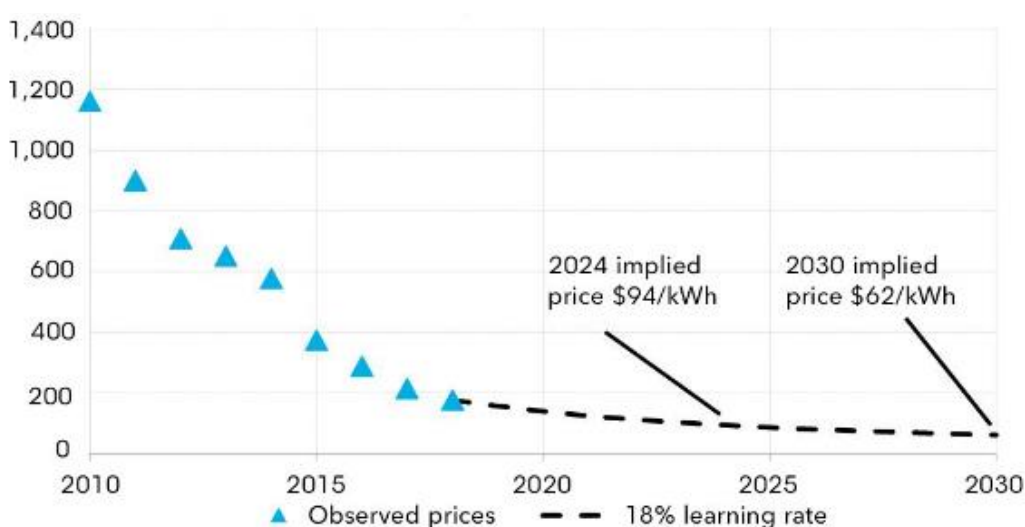
<sup>4</sup> Sobre as oportunidades, desafios e impactos dos veículos elétricos no Brasil recomenda-se a leitura da Nota "Eletromobilidade e Biocombustíveis - Documento de Apoio ao PNE 2050", disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>



**Figura 4 - Projeção de demanda de baterias de íon-lítio para veículos elétricos até 2030**  
Fonte: BNEF (2017)

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 velocidade de descarga são maiores), após uma degradação que impossibilite o uso das mesmas para essa aplicação. Baterias de Íon-Lítio consideradas de segunda vida teriam custo bastante reduzido e vida útil remanescente satisfatória para aplicações estacionárias, onde densidade de carga e confiabilidade não são fatores cruciais como nas aplicações mais exigentes em veículos elétricos.

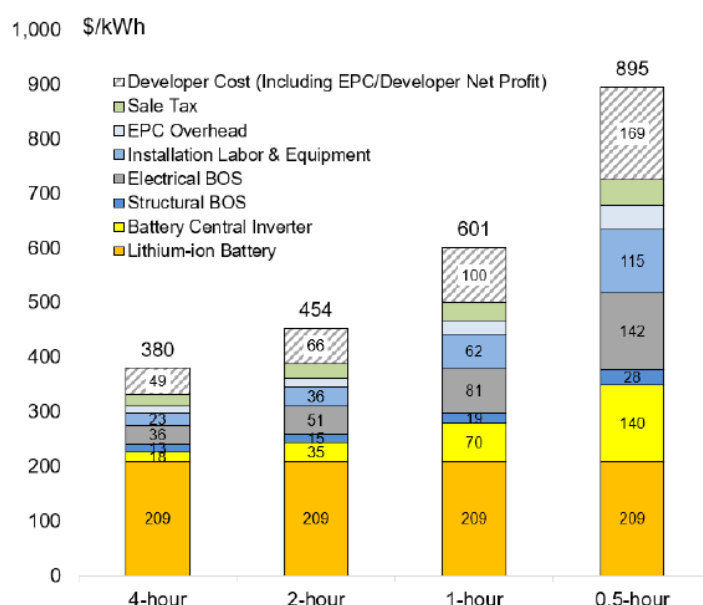
A Figura 5 apresenta a projeção da Bloomberg para o preço das baterias de íon-lítio até 2030, considerando o crescimento da produção. Os dados entre 2010 e 2018 são históricos, dos quais se obteve uma curva de aprendizado de 18%, ou seja, a cada vez que a quantidade produzida dobra, os custos são reduzidos nesta proporção.



**Figura 5 - Redução estimada do preço das baterias de íon-lítio**  
Fonte: BNEF (2019)

Importante notar que o preço das baterias é apenas uma componente (ainda que bastante relevante) no custo total do sistema. É necessário ter atenção ao comparar os custos de sistemas de armazenamento em baterias obtido de diferentes referências, já que estes podem estar se referindo tanto às células de baterias quanto ao sistema completo. Por sua vez, as referências de preço que considerem o sistema completo dependem de premissas sobre o dimensionamento e por consequência da aplicação considerada para o sistema.

A Figura 6 ilustra essa diferença, apresentando o custo, em USD/kWh, de um sistema de armazenamento do tipo *stand-alone* com baterias de íon-lítio, com capacidade instalada de 60MW, com diferentes dimensionamentos. O custo total da solução sofre alteração significativa, já que um sistema de meia hora possui 60MW/30MWh, e o de quatro horas 60MW/240MWh. Como o custo é apresentado em termos de \$/kWh, os valores das células de bateria não são alterados, e o custos relativos do restante do sistema são diluídos quando considera-se maior duração de armazenamento. Assim, é interessante observar que, a depender do dimensionamento, as células de baterias representam um peso de 23% a 55% no custo total do projeto.



**Figura 6 - Custo de um sistema de armazenamento com bateria de íon-lítio de 60MW, para operação em diferentes períodos de tempo**  
Fonte: NREL (2018)

Contudo, independente da consideração apenas das células de baterias ou do sistema completo, a perspectiva de redução de custos é similar, pois o aumento na quantidade de instalações tende a reduzir também os custos dos demais componentes e serviços associados ao sistema.

No Brasil, o uso de baterias no setor elétrico encontra-se em estágio inicial. Em 2016, a ANEEL lançou a Chamada Pública n. 021/2016, na qual foram selecionados 23 projetos de P&D contemplando diversas tecnologias de armazenamento de energia, incluindo baterias,

---

com prazo de execução de 48 meses a partir de março de 2017. Algumas iniciativas pontuais têm sido propostas, ainda com incertezas regulatórias, tendo em vista a ausência de previsão desse tipo de sistema. Para sistemas atrás do medidor, algumas empresas têm oferecido soluções para o consumidor final, em geral comercial ou industrial, com aplicações personalizadas, geralmente envolvendo redução de demanda, qualidade de energia e geração na ponta.

---

### 3. APLICAÇÕES NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

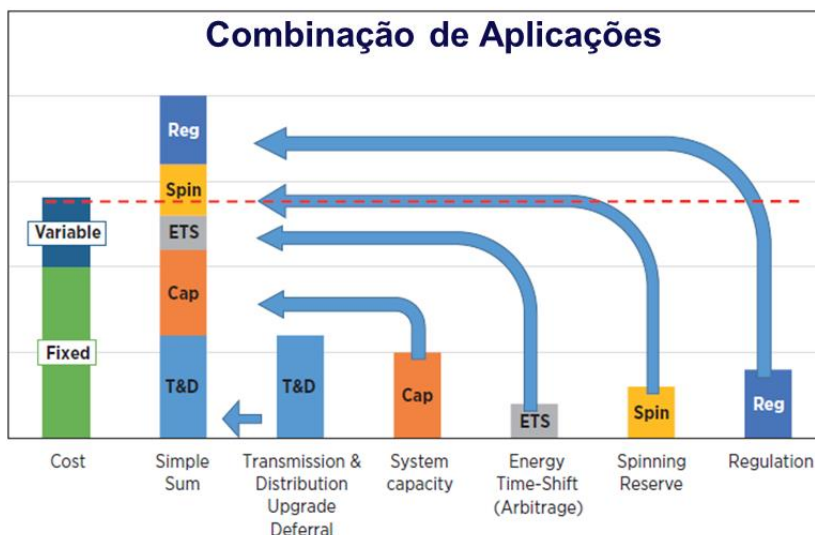
Os sistemas de armazenamento em baterias possuem uma vasta gama de aplicações possíveis no setor elétrico. É importante ressaltar, contudo, que a atratividade de cada solução específica depende fortemente das características e necessidades de cada sistema elétrico considerado. Em sistemas pequenos com significativa expansão de fontes renováveis variáveis, por exemplo, essa tecnologia pode contribuir para atendimento à demanda quando há variações significativas na carga ou na geração. Já em sistemas mais robustos, como o Sistema Interligado Nacional, as necessidades de capacidade e flexibilidade do sistema elétrico poderiam ser supridas de diversas maneiras, sendo o uso de sistemas de armazenamento uma delas. Para mais detalhes sobre esse tema, sugere-se a leitura da Nota Técnica "Flexibilidade e Capacidade: Conceitos para a incorporação de atributos ao planejamento", disponível no site da EPE<sup>5</sup>.

Outra possibilidade é a utilização dos sistemas de armazenamento como alternativa de solução a restrições locais, substituindo investimentos tradicionais de distribuição ou transmissão. O fornecimento de serviços de controle de tensão, frequência, ou reserva operativa, também poderia ser realizado por sistemas de armazenamento, a depender das condições do mercado de energia em questão.

A depender da aplicação pretendida para as baterias, é possível que esta fique ociosa em uma fração importante do tempo. Assim, uma maneira de melhorar a viabilidade dessa solução é fazendo uma combinação de aplicações, ou seja, o mesmo sistema de armazenamento poderia prover diferentes serviços a depender das necessidades do sistema elétrico em cada momento. Deste modo, haveria a possibilidade de combinar aplicações para maximizar a utilização das baterias ao longo do tempo e assim aumentar as receitas do empreendimento, tornando os sistemas de armazenamento mais competitivos. A Figura 7 ilustra esse conceito.

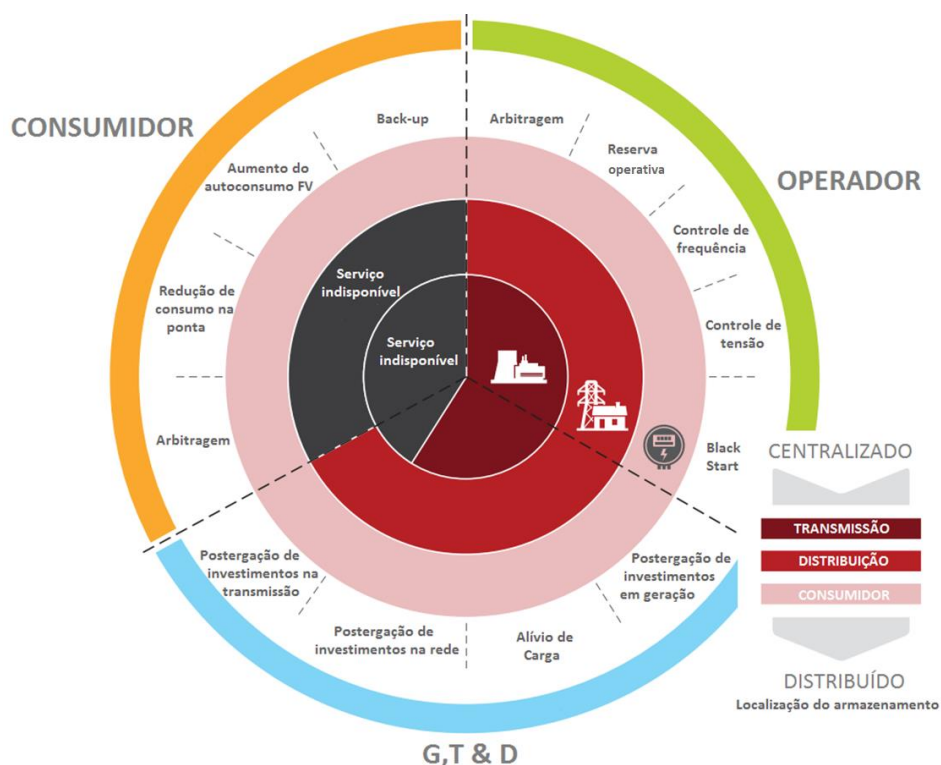
---

<sup>5</sup> Disponível em: [www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-flexibilidade-e-capacidade-conceitos-para-a-incorporacao-de-atributos-ao-planejamento](http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-flexibilidade-e-capacidade-conceitos-para-a-incorporacao-de-atributos-ao-planejamento)



**Figura 7 - Combinação de aplicações de armazenamento**  
Fonte: IRENA (2015)

Um ponto de versatilidade das baterias é com relação a seu local de instalação. Estas tanto podem ser utilizadas como recurso centralizado, controlado pelo operador do sistema elétrico, pela transmissora ou distribuidora; podem ser integradas a um gerador, fazendo com que as características de geração de determinada usina sejam aprimoradas; ou podem ser instaladas por um consumidor atrás do medidor (*behind the meter*). Cada configuração permite acessar diferentes serviços, trazendo distintas possibilidades de uso das baterias. Uma amostra dos possíveis serviços oferecidos por sistemas de armazenamento a depender da localização é apresentada na Figura 8, elaborado pelo Rocky Mountain Institute.



**Figura 8 - Possibilidades de serviços prestados por baterias**  
Fonte: Adaptado de RMI (2015)

---

Sobre a Figura 8, para o mercado brasileiro, entende-se que a redução de consumo na ponta, apontada como aplicável aos consumidores, poderia ser feita também pelo operador, ao “despachar” uma bateria nos momentos de maior demanda. O serviço de arbitragem, apontado na figura como cabível ao operador, seria aplicável aos geradores e consumidores, como abordado na seção 3.3.

Quando o sistema de armazenamento está localizado no nível mais pulverizado, atrás dos medidores das unidades consumidoras residenciais, comerciais e industriais, toda a gama de serviços poderia, em teoria, ser oferecida. Desde os serviços de interesse e benefício direto ao consumidor até os outros mais gerais de apoio ao operador do sistema e à rede elétrica poderiam ser fornecidos. Contudo, para utilização eficiente dos recursos de armazenamento distribuídos é necessário que o consumidor tenha a sinalização econômica do requisito ou serviço que o sistema necessita naquele local e momento. Além disso, é necessário que se permita que tais recursos compitam de maneira equilibrada com as soluções centralizadas tradicionais. Mais detalhes sobre recursos energéticos distribuídos podem ser encontrados na Nota de Discussão “Recursos Energéticos Distribuídos: Impactos no Planejamento Energético”<sup>6</sup>.

Na continuação deste capítulo, serão detalhadas as principais aplicações possíveis para sistemas de armazenamento, bem como as particularidades de seu uso no Sistema Elétrico Brasileiro.

### **3.1. Atendimento a Cargas Emergenciais e de Ponta**

Em certas situações e circunstâncias específicas, é necessário prover geração emergencial de energia, ou seja, uma fonte de geração não previamente planejada que se faz necessário devido a algum acidente ou falha nas estimativas/planejamento. Esta necessidade geralmente se revela para geração de ponta, quando a capacidade instalada total não consegue atender a picos de demanda, seja por restrição na geração ou até mesmo na transmissão/distribuição do local. Esta aplicação pode ser encontrada em estudos realizados<sup>7</sup> para atendimento em algumas localidades nos extremos das ligações do sistema, como no caso do sistema Tramo Oeste (Pará e Amazonas) ou então em regiões com vocação turística e/ou de veraneio, com variação populacional expressiva em determinadas épocas do ano.

Segundo NREL (2018), a redução de custos de baterias e de sistemas fotovoltaicos nos anos recentes representa uma oportunidade para que sistemas de armazenamento desempenhem funções atualmente realizadas por geradores convencionais no atendimento

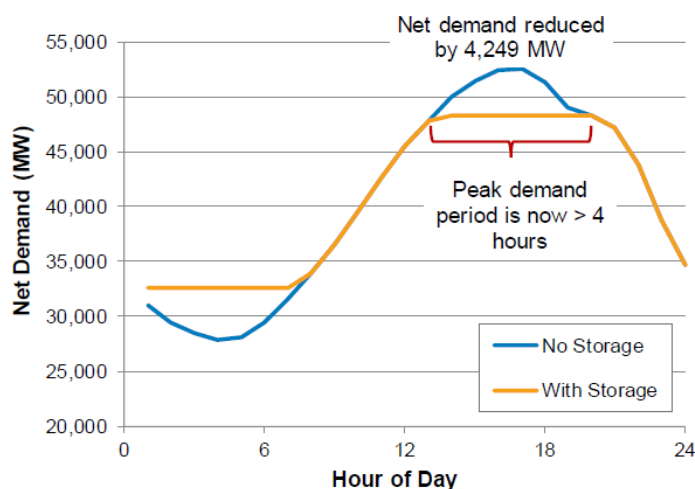
---

<sup>6</sup> Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/ND%20-%20Recursos%20Enerq%C3%A9ticos%20Distribu%C3%ADdos.pdf>

<sup>7</sup> <http://saladeimprensa.aesbrasil.com.br/Paginas/Pauta.aspx?slug=aes-brasil-apresenta-proposta-para-armazenamento-no-para-30062016>



à demanda de ponta como mostra a Figura 9. O estudo, que usa como base o sistema elétrico da Califórnia, aponta que uma significativa participação da fotovoltaica provoca a mudança da curva de demanda líquida, afetando a habilidade da bateria de prover capacidade de ponta, havendo sinergia entre o desenvolvimento dessas tecnologias.



**Figura 9 – Impacto do despacho de uma bateria de 4 horas na demanda de pico**  
Fonte: NREL (2018)

### 3.1.1. Aplicações atrás do medidor – Redução da Demanda Máxima e Autossuficiência

A depender da regulamentação, a instalação de armazenamento com essa aplicação pode ser vantajosa também do lado da carga, de forma a reduzir a demanda máxima do consumidor. No Brasil, consumidores atendidos em média e alta tensão precisam contratar previamente um valor de demanda máxima (kW), e, caso esse seja superado, há o pagamento de altas tarifas de demanda de ultrapassagem. Dessa forma, as baterias podem permitir uma contratação de menor demanda e garantir que não haja ultrapassagem.

Adicionalmente, para alguns consumidores pode ser crucial a confiabilidade e a qualidade do serviço, como por exemplo em linhas de produção nas quais haja prejuízos em caso de queda ou oscilação da energia. Nesses casos, o sistema de armazenamento pode atuar como *backup*, evitando a interrupção e degradação da qualidade do suprimento.

O consumidor pode ainda optar por instalar um sistema autossuficiente de geração e armazenamento, desconectando-se da rede da distribuidora, embora a literatura aponte que essa não seja a melhor opção do ponto de vista econômico (Khalilpour & Vassallo, 2015) (Konzen, 2015) (Amat, 2019).

## 3.2. Associação com Unidades de Geração

A integração direta de baterias a usinas de geração renováveis pode trazer benefícios na estabilização da geração no curto prazo ou o fornecimento de serviços que a fonte geradora

---

sozinha não seria capaz de atender. Contudo, assim como outros usos possíveis para os sistemas de armazenamento, os benefícios da associação a geradores dependem fundamentalmente das características do sistema elétrico em questão e da organização do mercado.

A necessidade por ofertas controláveis, ou mesmo a possibilidade de ter uma produção mais constante pode levar a soluções nas quais as baterias seriam associadas diretamente a usinas de fontes renováveis variáveis. Em alguns mercados, por exemplo, o emprego de tecnologias que permitam a suavização de rampas de geração renovável é mandatório para o atendimento a requisitos de rede locais, caso do sistema de baterias de 11MW/4,3 MWh, instalado junto a uma usina eólica de 21 MW, no Havaí, em operação desde 2012 (IRENA, 2015).

Com o marco regulatório atual, tais arranjos dificilmente encontram viabilidade, mas com a futura implantação de preços horários, por exemplo, estes podem vir a se tornar interessantes para proteção financeira dos geradores a flutuações na produção. Destaca-se que do ponto de vista da segurança de suprimento ao sistema, a adição da bateria junto à geração não necessariamente seria benéfica, podendo inclusive trazer prejuízos caso esta venha a ser carregada nos momentos de demanda elevada, conforme apontado por Teixeira (2018). Para evitar tais distorções, é necessário um desenho de mercado no qual os ganhos com a venda de excedentes de energia em momentos de demanda elevada sejam superiores aos prejuízos decorrentes de multas por indisponibilidade em situações de demanda reduzida.

Outra possibilidade é o aproveitamento de excesso de energia produzida por geradores fotovoltaicos, por exemplo, que não seja passível de ser convertida em corrente alternada em determinado momento quando a capacidade CC for superior à de conversão nos inversores. A instalação de baterias do lado CC permitiria armazenar a energia que seria desperdiçada, para posterior injeção à rede. Contudo, nesses casos outros usos do sistema de armazenamento poderiam ser restritos. Em NREL (2017), discute-se a possibilidade de uso de baterias acopladas do lado CC ou CA de uma usina fotovoltaica, ou desacopladas, comparando-se a viabilidade econômica de cada modelo para um sistema no mercado da Califórnia. A depender da localização do sistema, evita-se perdas técnicas, mas por outro lado, alguns serviços deixam de poder ser prestados.

Similarmente, em uma eventual implantação de usinas híbridas eólico-fotovoltaicas, conforme discutido na Nota Técnica EPE-DEE-NT-029/2019 (EPE, 2019), baterias poderiam ser utilizadas para armazenar o *curtailment* que ocorreria pela falta de capacidade de escoamento em relação à potência total do conjunto, a depender de uma otimização econômico-financeira.

---

Ainda, há propostas de se instalar baterias em usinas térmicas com a finalidade de aumento de flexibilidade para fornecimento de rampas e partida rápida. A bateria permaneceria carregada, e proveria o início da rampa, até que fosse possível a partida da máquina térmica. Em regime de operação, a bateria suportaria as variações instantâneas de produção, mantendo a turbina a gás, por exemplo, em seu ponto ótimo de operação. Novamente, essa utilização e sua viabilidade passam por uma discussão das necessidades do sistema elétrico, e dos mecanismos utilizados para atendê-las.

### **3.2.1. Aplicações atrás do medidor – Associado a uma Unidade Geradora**

De maneira distribuída, um consumidor que possua por exemplo um sistema de geração fotovoltaica poderia incluir uma bateria para guardar a energia gerada durante o dia e consumi-la posteriormente, evitando a injeção na rede. Com a regulação atual da Resolução Normativa n. 482/2012, que institui o *net metering*, não há benefício econômico para a adoção dessa solução, já que as energias injetada e consumida são valoradas igualmente, ou seja, a rede de distribuição funciona como uma bateria gratuita. Contudo, essa regulação encontra-se atualmente em processo de revisão, e é possível que nem todas as parcelas da tarifa sejam compensadas na energia injetada. Assim, haveria um incentivo para a instalação de sistemas de armazenamento atrás do medidor, a fim de aumentar o autoconsumo da energia produzida.

### **3.3.Arbitragem de Energia**

Esse modelo de negócio consiste em utilizar o sistema de armazenamento para comprar energia nos momentos em que há abundância no sistema, e consequentemente os preços estão mais baixos, para revende-la nos momentos de escassez. Tal operação requer sistemas com maior capacidade de armazenamento de energia, para que estes possam aproveitar as oscilações de preço.

A possibilidade de uso dessa solução depende fundamentalmente da granularidade temporal do preço, e de seu comportamento. No Brasil, a adoção do PLD horário<sup>8</sup>, prevista para janeiro de 2020, pode abrir espaço para esse tipo de solução, assim como o atendimento à carga, se o preço da energia for mais elevado no horário de ponta. Caso as oscilações intradiárias sejam significativas, é possível que esse uso se torne uma fonte de receita importante para os sistemas de armazenamento. Ainda assim, devido às incertezas das oscilações de preço no longo prazo, é pouco provável que um sistema de armazenamento seja construído exclusivamente para essa aplicação. Como demonstrado anteriormente, na Figura 7, a composição de aplicações pode ser uma estratégia interessante para viabilização das baterias. Entretanto, a utilização concomitante para

---

<sup>8</sup> Desde abril de 2018 a CCEE realiza a operação sombra, divulgando o PLD calculado em base horária, porém sem efeitos contábeis. A partir de 2020 o ONS deverá adotar o modelo DESSEM na programação da operação e, a partir de 2021, a CCEE o adotará na contabilização e liquidação do mercado de curto prazo.

---

diversas finalidades pode encontrar barreiras regulatórias, sendo necessária uma discussão mais ampla sobre essa possibilidade.

### **3.3.1. Aplicações atrás do medidor - Arbitragem**

Analogamente, os consumidores finais também têm a possibilidade de instalar baterias nas unidades consumidoras, carregando-as nas horas de tarifas mais baixas e evitando consumo da rede em momentos de preços mais altos. Logicamente, essa aplicação pressupõe tarifas variáveis ao longo do dia, o que não ocorre para todas as classes de consumo, e não envolve a venda de energia elétrica pelo consumidor.

### **3.4. Alternativa à Expansão do Sistema de Transmissão**

A aplicação de baterias para alívio de sobrecarga em sistemas de transmissão pode ser atrativa quando há necessidade de suprimento a picos esporádicos de carga, principalmente em locais de difícil acesso, tais como áreas de densa ocupação urbana, onde os custos de expansão da transmissão podem ser muito elevados, ou próximos a Unidades de Conservação Ambiental, o que pode tornar impeditiva a obtenção de licença ambiental para construção de novas linhas de transmissão e subestações.

Nesses casos, a inserção de armazenamento local pode ser uma alternativa economicamente competitiva e capaz de agregar uma margem adicional de suprimento, sem causar sobrecarga do sistema de transmissão existente.

Baterias também podem ser empregadas para agregar confiabilidade a sistemas interligados por redes “fracas”, onde há alta incidência de falhas e consequentes interrupções no suprimento de energia. Nessa aplicação, a bateria pode funcionar como um *backup* da rede de transmissão, sendo projetada para descarregar durante o período de reparo do equipamento em falha, por um período de relativamente curta duração.

Em 2018, entrou em operação, no estado do Arizona, Estados Unidos, um sistema de armazenamento por baterias de 2MW/8MWh, cuja função principal é o atendimento a picos locais de energia, evitando o investimento em mais de 30 quilômetros de linhas de transmissão e distribuição (Fluence, 2019).

### **3.5. Mitigação de Restrições Elétricas no Curto Prazo**

As baterias podem ser utilizadas como recurso para garantir a segurança elétrica do sistema, em caráter emergencial, até a entrada em operação de soluções estruturais de transmissão. Contudo, deve ser feita uma cuidadosa análise de custo e benefício da introdução do ativo e dos riscos desse investimento dado o atraso ou antecipação do ativo de solução estrutural. A aplicação de baterias para esse fim mostra-se promissora, principalmente devido à possibilidade de rápida instalação, com média de seis meses entre

---

contratação e comissionamento, além da portabilidade dos sistemas (geralmente instalados dentro de contêineres).

Esse tipo de aplicação vem sendo estudado pela EPE e pode configurar uma alternativa mitigadora das restrições elétricas do sistema, num período de curto prazo, em caso de atrasos por ordens diversas para a implantação de empreendimentos de transmissão já licitados. Destaca-se, no entanto, que a limitação de quantidade de energia armazenada pode fazer com que esta solução não apresente a mesma confiabilidade proporcionada por um sistema convencional de transmissão.

### **3.6. Prestação de Serviços Ancilares**

Além de todas as aplicações já discutidas, as baterias podem ser utilizadas, também, para fornecimento de serviços ancilares, que são serviços auxiliares oferecidos ao operador do sistema a fim de garantir o funcionamento do sistema elétrico como um todo, com determinado grau de qualidade, segurança e confiabilidade.

A resposta rápida das baterias é uma característica que favorece sua aplicação em serviços associados a controle de frequência. Embora não sejam equipamentos rotativos, elas podem prover a chamada inércia sintética ao sistema, fornecendo tempo hábil para a atuação adequada do controle primário de frequência, principalmente em sistemas com inércia reduzida.

De forma análoga, o uso dessa tecnologia como reserva operativa, auxiliando na recuperação do equilíbrio entre carga e geração, após a ocorrência de perturbações na rede elétrica, pode garantir maior confiabilidade para o atendimento a carga.

Outros serviços tais como controle de tensão, autorrestabelecimento de unidades geradoras (*black start*) e participação em Sistemas Especiais de Proteção (SEP), evitando, por exemplo, o corte de carga ou geração por restrições elétricas, também podem ser providos pelas baterias, proporcionando mais recursos para a operação do sistema.

Em mercados nos quais esses serviços são contratados por oferta, tais como PJM e CAISO<sup>9</sup> nos Estados Unidos e também no sistema do Reino Unido, sistemas de armazenamento em baterias já foram inclusive contratados para fornecer serviços de Controle de Frequência de resposta rápida. Para possibilitar essa contratação, os processos estabelecem o serviço a ser prestado, e não a tecnologia, permitindo a concorrência entre as diferentes soluções.

No Reino Unido, por exemplo, foi organizado pelo operador do sistema um leilão para a contratação de regulador de frequência com 100% da resposta em até 1 segundo e prestação do serviço por no mínimo 15 minutos e remuneração por disponibilidade e

---

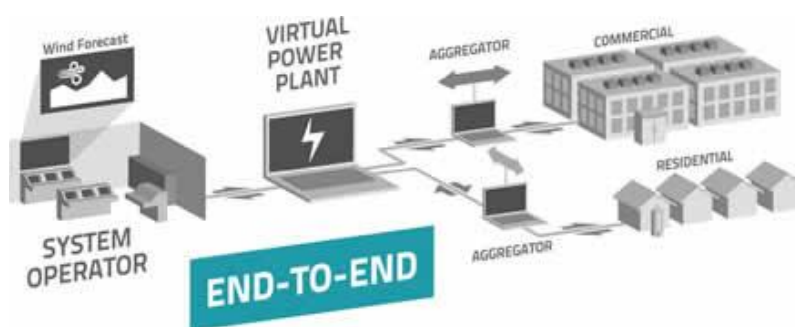
<sup>9</sup> Mid-Atlantic (PJM) e Califórnia (CAISO).

performance. Neste certame, o operador não colocou restrições quanto a qual equipamento deveria ser utilizado para a entrega do serviço. Dos 64 projetos contratados, 61 eram sistemas de armazenamento em baterias.

No Brasil, os serviços ancilares são realizados de forma mandatória, não havendo atualmente um mercado no qual os sistemas de armazenamento em bateria possam participar para fornecimento desses serviços. Está em curso, na discussão de modernização do setor elétrico, um possível estabelecimento desse tipo de mercado, que abriria espaço para a inserção das baterias com essa finalidade no Sistema Interligado Nacional.

### 3.6.1. Aplicações atrás do medidor – Serviços Ancilares

Com o avanço da inserção de *smart grids*, sistemas de armazenamento e outros Recursos Energéticos Distribuídos (RED) podem fornecer serviços ancilares até mesmo de forma descentralizada. No caso de recursos distribuídos de menor escala, estes podem ser reunidos por um agente agregador e utilizados em conjunto, configurando o que é conhecido como *Virtual Power Plant* (VPP), onde os RED instalados em residências e comércios podem ser acionados de maneira unificada pela distribuidora ou operador do sistema como se fossem uma única planta, conforme esquematizado na Figura 10. Cabe destacar que o modelo de agregadores de RED já funciona comercialmente em diversos países do mundo (IRENA, 2019), aumentando a competitividade no setor elétrico e oferecendo receita adicional aos RED.



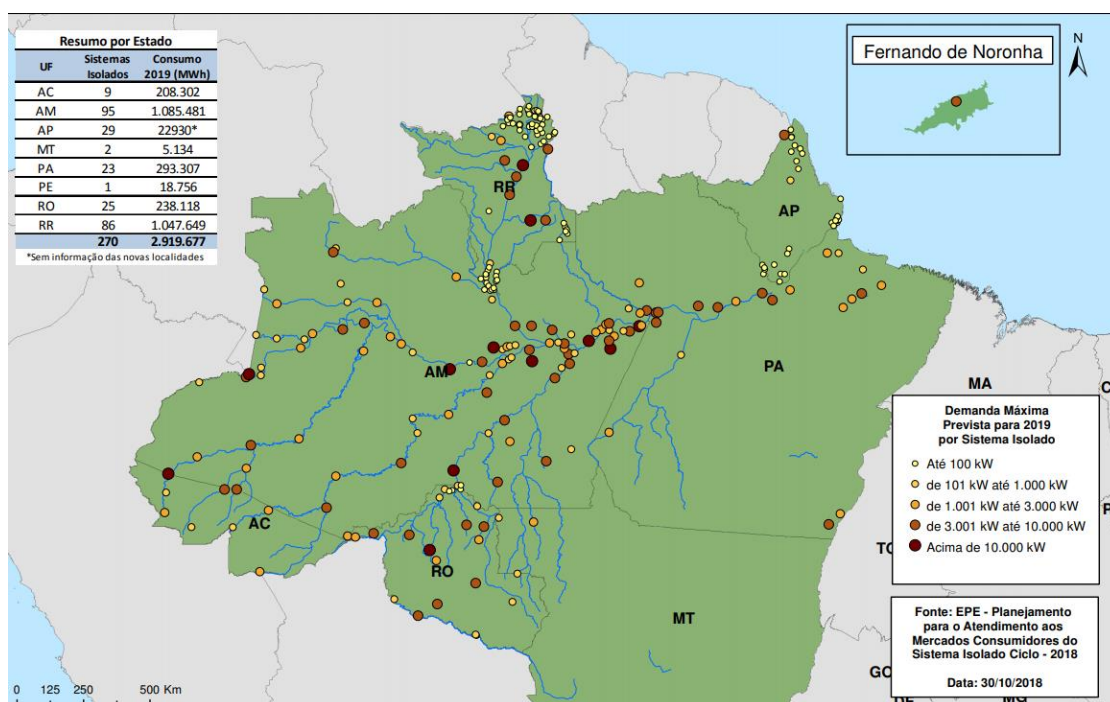
**Figura 10 - Esquemática de Virtual Power Plant (VPP)**

Fonte: Solar Industry (2019)

### 3.7. Sistemas Isolados

As aplicações apresentadas anteriormente tiveram como foco as características do Sistema Interligado Nacional, com um mercado estabelecido, extensas redes de transmissão e distribuição, e um elevado número de geradores e consumidores dos mais diversos tamanhos. Contudo, há oportunidades de utilização de baterias também nos Sistemas Isolados e regiões remotas. É possível inclusive que os benefícios obtidos com o uso desses equipamentos sejam mais significativos para esses casos, que possuem sistemas elétricos menos robustos que o SIN.

Em 2018, o país contava com 270 localidades isoladas atendidas por 9 distribuidoras, atendendo uma população de mais de 3 milhões de pessoas, com capacidade total instalada de 1.160 MW em 265 usinas (EPE, 2019). Um resumo da quantidade de sistemas por Unidade Federativa, bem como a carga atendida, é apresentado na Figura 11.



**Figura 11 - Localização e carga dos Sistemas Isolados**

Fonte: EPE (2019)

Tradicionalmente, os sistemas isolados, tanto no Brasil quanto em outros países, são supridos com geradores térmicos a combustíveis fósseis, tipicamente óleo diesel. Com o avanço tecnológico, tem se tornado atrativa a hibridização desses sistemas adicionando-se geração a partir de fontes renováveis. Inclusive, dois sistemas no Brasil já utilizam geração fotovoltaica em conjunto com os geradores diesel: Oiapoque e Fernando de Noronha, sendo que neste foram instaladas recentemente baterias, no âmbito do programa de P&D da distribuidora. Como exemplo internacional, cita-se o suprimento às ilhas Faroe, na Dinamarca, que conta com geradores a diesel, aerogeradores e baterias de íons de lítio, que reduzem *curtailment* eólico e o consumo de combustível (Enercon, 2018).

Destaca-se que nas chamadas regiões remotas, atendidas por meio do Programa Luz para Todos, há diversas instalações individuais (SIGFIs) e mini-usinas (MIGDIs) fotovoltaicas em operação, ainda que com limitada disponibilidade energética.

Devido ao caráter variável desses geradores, há uma penetração máxima para sua utilização, sendo necessário manter parte da produção de energia com as máquinas térmicas, a fim de manter a confiabilidade e estabilidade do sistema.

O uso das baterias pode aumentar a possibilidade de penetração das fontes renováveis variáveis, permitindo maior redução no consumo de diesel, consequentemente reduzindo



---

as emissões. A viabilidade econômica dessa solução depende de diversos fatores, dentre estes a dificuldade logística, que incrementa os custos de combustível e por consequência os custos da geração. Em trabalhos anteriores, (EPE, 2014) e (EPE, 2016), realizaram-se estudos de caso para alguns sistemas isolados do Acre e do Amazonas, respectivamente. Concluiu-se que para alguns casos, o uso de baterias poderia ser economicamente vantajoso, em conjunto com a geração solar fotovoltaica. Considerando a contínua queda de custos das baterias desde a realização destes estudos, estima-se que a atratividade desse tipo de solução tenha aumentado.

Cabe ressaltar que a Portaria MME n. 67/2018 estabelece que, para participação nos leilões dos sistemas isolados, deve ser apresentada uma solução de suprimento para a localidade a ser atendida, não havendo restrição quanto à fonte energética a ser utilizada, e sendo possível, inclusive, o uso de sistemas de armazenamento.

Durante os estudos para atendimento ao estado de Roraima, considerou-se a possibilidade de contratação de uma bateria centralizada para atuação em um sistema de proteção, que auxiliaria o sistema a se manter estável até o início do despacho das térmicas locais em caso de perda da interligação com a Venezuela. O desenho do leilão para suprimento de Boa Vista e localidades conectadas, com dois produtos, potência e energia, possibilitou que sistemas de armazenamento fossem adicionados a soluções híbridas, para otimização técnico-econômica dos projetos. Houve cadastramento na EPE de soluções desse tipo, e um dos projetos vendedores considera o uso de baterias de íon-lítio.

Mesmo sem a geração renovável variável, o uso de sistemas de armazenamento pode trazer benefícios nos sistemas isolados. Seu uso como reserva operativa, por exemplo, pode permitir o desligamento de parte dos geradores a diesel, além do uso mais eficiente dos mesmos, em um ponto de operação mais favorável, o que, a depender da escala dos equipamentos, pode ser economicamente vantajoso.



---

#### **4. DESAFIOS PARA A UTILIZAÇÃO DE BATERIAS NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO**

Como visto no Capítulo 3, as baterias poderão contribuir de forma significativa para a operação do sistema. A aplicação de baterias no sistema elétrico pode desempenhar diferentes funções ajudando a realizar controle de tensão, o controle de frequência e a substituir a reserva girante, por exemplo.

Em relação à remuneração da prestação dos serviços ancilares, temos as Resoluções Normativas n. 697/2015 e n. 822/2018 da ANEEL, de onde destaca-se que o controle primário de frequência não é remunerado explicitamente, sendo compulsório a todas unidades geradoras integrantes do SIN, uma vez que o parque gerador foi pensado originalmente para ser síncrono. Logo, esse controle seria realizado por meio de regulador automático de velocidade das unidades geradoras, não implicando assim em investimento adicional. Para os demais serviços a remuneração ocorre via Contrato de Prestação de Serviços Ancilares – CPSA ou pela receita de autorrestabelecimento, quando for o caso.

Como pode ser observado, a prestação dos serviços ancilares é realizada por agentes de geração e transmissão contratados nos leilões, ou seja, não existe um mecanismo que permita a contratação de prestadores de serviços específicos, pois o mecanismo atual de contratação e expansão se baseia nos requisitos de energia firme (garantia física), demonstrando a necessidade de ser desenhado um novo modelo de mercado que permita tanto a contratação, quanto a adequada remuneração para a prestação exclusiva de serviços ancilares necessários ao sistema. Nesse contexto, as baterias se mostram como potencial solução para prestação de tais serviços, o que pode vir a viabilizar a contratação das mesmas, sobretudo quando associadas a outras aplicações.

Cabe ressaltar, no entanto, que apesar da redução relativa no passado recente, o SIN conta com uma capacidade relevante de hidrelétricas com reservatórios capazes de prover boa parte dos serviços que os sistemas de armazenamento se propõem a atender. Assim, com a abertura de mercados para prestação desses serviços, é possível que haja uma mudança na forma de operação das usinas hidrelétricas, e estas dominem o atendimento a estes requisitos, impondo forte competição aos sistemas com baterias.

Para permitir que as baterias possam ser utilizadas de diferentes formas no setor elétrico é necessário que algumas barreiras sejam transpostas por meio do aperfeiçoamento da regulação e dos mecanismos de contratação. As propostas de modernização do setor elétrico que estão em discussão, incluindo preço horário, separação de lastro e energia e mercados de serviços ancilares, podem contribuir na retirada dessas barreiras, permitindo que as tecnologias de armazenamento compitam com as soluções tradicionais no

---

fornecimento de serviços, possibilitando sua inserção onde viáveis técnica e economicamente.

O uso múltiplo dos sistemas de armazenamento também pode necessitar de uma discussão regulatória específica. Considerando que podem ser oferecidos pelo mesmo sistema serviços que hoje são de responsabilidade de geradores, transmissores ou distribuidores, enquadrar os sistemas de armazenamento em uma dessas categorias pode limitar essa versatilidade.

Dessa forma, a contratação de baterias para a prestação de determinados serviços poderia eventualmente ser viabilizada através da definição de uma figura regulatória para o “agente armazenador”, a exemplo do agente gerador e transmissor, e também da criação do mercado de serviços ancilares, o que permitiria a contratação e valoração de atributos específicos. Essa estratégia começa a ganhar forma em outros países, onde leilões estão sendo desenhados de forma a contratar soluções para problemas específicos.

Na Califórnia, por exemplo, as baterias podem ser classificadas como “recurso não-gerador” (*Non-Generator Resource - NGR*) - quando a capacidade de armazenamento é limitada; ou como projeto híbrido - quando associadas a unidades de geração. Nesse último caso, a solução completa recebe uma identificação única (*single resource ID*), podendo inclusive prover serviços ancilares (CAISO, 2016).

Adicionalmente, como detalhado no Capítulo 3, a implantação da precificação horária, ou sub-horária, permitiria a arbitragem de energia, trazendo maior atratividade e, conseqüentemente, incentivando a inserção desse tipo de tecnologia no sistema elétrico.

Nesse sentido, destaca-se a publicação da Portaria MME n. 301, de 31 de julho de 2019, que estabelece que a partir de 1º de janeiro de 2020 o ONS deverá utilizar o Modelo de Despacho Hidrotérmico de Curtíssimo Prazo (DESSEM) para fins de programação da operação, e que a partir de 1º de janeiro de 2021 a CCEE deverá utilizar o mesmo modelo para a formação do PLD, para a contabilização e para a liquidação, representando assim, um primeiro passo para viabilizar a conexão de sistemas de armazenamento na rede elétrica.

Na América Latina, países como Peru, Colômbia e Chile estão estudando a melhor maneira de inserir sistemas de armazenamento em sua matriz. O Peru discute a inserção de baterias para auxiliar na regulação de frequência primária. Já a Colômbia prepara regulamentação de forma a permitir a instalação de sistemas de armazenamento para a mitigação de problemas na transmissão e distribuição. Dos países citados, o Chile é o que está em estágio mais avançado, com o mercado de serviços ancilares previsto para janeiro de 2020.

---

O tema consta na Agenda Regulatória 2019/2020 da ANEEL, sob o título de “Adequações regulatórias para inserção de sistemas de armazenamento, incluindo usinas reversíveis, no Sistema Interligado Nacional”. Uma Consulta Pública está prevista para o 2º trimestre de 2020, onde esses tópicos poderão ser endereçados.

Em paralelo, nas discussões de modernização do setor elétrico, com a proposta de separação de lastro e energia, seriam criados os produtos energia, lastro de produção e lastro de capacidade (EPE, 2019). Pelas características da tecnologia, de ser um consumidor líquido de energia, não se espera que essa tecnologia possa oferecer lastro de produção ao sistema. Por outro lado, a depender do critério estabelecido, as tecnologias de armazenamento de energia em baterias poderiam atender ao sistema com relação ao lastro de capacidade.

Com relação ao armazenamento atrás do medidor, algumas aplicações já são possíveis, e sua viabilidade vem sendo estudada pelos agentes. O uso como backup, por exemplo, para redução da demanda máxima e consumo no horário de ponta, em substituição aos grupos geradores diesel, podem ser implantados com a regulação atual. A opção da Tarifa Branca também abre uma possibilidade, mas pelo fato de ser opcional, não cria grande margem para ganho com as baterias<sup>10</sup>. O uso conjunto com sistemas de geração distribuída, para incremento do autoconsumo, não traz vantagens econômicas no modelo atual, mas pode passar a se tornar uma alternativa interessante a depender da revisão da Resolução Normativa n. 482/2012, em discussão pela ANEEL.

Ainda há mais uma forma de uso das baterias com as regras em vigor, que é a sua utilização como ativo de transmissão ou distribuição. Esse uso pode ser interessante para a postergação de investimentos em infraestrutura, como aumento de capacidade de linhas ou construção de subestações para atender regiões com demandas específicas, como regiões turísticas ou com pouca capacidade de atender somente a ponta, mas com pouco crescimento da carga total, uma vez que a bateria tem menor custo de implantação e prazo de conclusão curto. Nesses casos, além da postergação de investimentos, a bateria também ajuda a atingir metas dos indicadores coletivos de continuidade, DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora).

Outras possibilidades, como participação no atendimento ao lastro de capacidade ou a serviços ancilares estão mais distantes, já que estes mercados sequer existem para agentes centralizados. No longo prazo, após o estabelecimento desses mercados, os recursos

---

<sup>10</sup> Sendo opcional, o potencial de ganho se dá pela diferença entre a Tarifa Convencional e a tarifa fora de ponta da Tarifa Branca. Caso a adoção fosse mandatória, a comparação seria feita com base na diferença entre tarifa de ponta e tarifa fora de ponta.

---

energéticos distribuídos, incluindo o armazenamento, poderiam ser permitidos a participar. Para isso, será essencial regulamentar a atividade dos agregadores.

No que diz respeito ao uso de baterias nos sistemas isolados, entende-se não haver barreiras regulatórias e comerciais, dado que as soluções de suprimento contratadas por meio de leilão podem contemplar projetos híbridos, inclusive com armazenamento. Além disso, o elevado custo de geração nessas localidades representa uma oportunidade para tecnologias ainda pouco competitivas no sistema interligado. Por outro lado, podem haver dificuldades relacionadas à complexa logística na região amazônica, dificultando a implantação e manutenção de equipamentos e, conseqüentemente, elevando os riscos do projeto. Adicionalmente, é preciso vencer uma barreira técnica e cultural relacionada à mão-de-obra, uma vez que toda a cadeia está habituada e qualificada para o desenvolvimento de projetos de geração a diesel.

---

## 5. ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS DO USO DE BATERIAS

De acordo com o Fórum Econômico Mundial (WEF, 2019), as baterias são essenciais para alcançar as metas do Acordo de Paris, podem criar novas oportunidades de geração de empregos e fomentar o desenvolvimento econômico alinhado com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU). No Brasil, o uso de baterias no setor elétrico encontra-se em estágio inicial, embora tenha o potencial de auxiliar na superação de vários desafios do setor, como os decorrentes do aumento da participação de fontes de geração variáveis e não controláveis. Sendo assim, é importante identificar e endereçar os diferentes impactos e riscos socioambientais positivos e negativos do uso desta tecnologia para que a sua utilização seja realizada de maneira responsável, segura e sustentável.

### 5.1. Produção e Uso

A produção de baterias demanda como insumos energia e diferentes tipos de materiais, tais como minerais, plástico, papel e eletrólitos. Destaca-se que devido ao elevado consumo energético durante a sua fabricação, as emissões de gases de efeito estufa (GEE) são mais significantes quando comparadas a outros processos de armazenamento de energia (Dominish, Florin, & Teske, 2019). Dentre os materiais utilizados, a cadeia de extração e processamento da matéria prima mineral representa grande parte das preocupações socioambientais na produção de baterias.

De modo geral, as operações de mineração demandam consumo de água, uso de substâncias químicas e materiais com elevado potencial de poluição de recursos hídricos, edáficos e atmosféricos, além de haver casos de condições de trabalho insalubres e inseguras, trabalho infantil e conflitos com comunidades locais pelo mundo (European Commission, 2018). A demanda crescente por baterias pode intensificar a pressão por esses recursos minerais, especialmente aqueles que apresentam disponibilidade reduzida ou que a produção esteja concentrada em países com exigências ambientais pouco rígidas.

Dentre os minerais utilizados para produção de baterias, o Brasil possui grandes reservas de magnésio, níquel e terras raras, embora sua participação na produção mundial seja baixa (Dominish, Florin, & Teske, 2019). Ressalta-se que no país essas atividades são submetidas ao rito de licenciamento ambiental que estabelece medidas de mitigação, prevenção e compensação para minimizar os efeitos dos impactos negativos em níveis aceitáveis.

Para contornar os problemas relacionados à mineração existem iniciativas de desenvolvimento de pesquisas para uso de materiais alternativos e mais eficientes, e também para o reaproveitamento de materiais por meio de reciclagem. A substituição por elementos mais abundantes na natureza e de menor toxicidade alinhado com o aumento da eficiência, da densidade energética e da vida útil minimizam a pressão sobre os recursos

---

minerais (European Commission, 2018). O mesmo vale para a reciclagem que reduz a necessidade de extração de recursos e será detalhada no item a seguir.

Sobre o uso das baterias em sistemas de armazenamento na matriz elétrica, a principal vantagem do ponto de vista ambiental é a redução das emissões de gases de efeito estufa à medida que possibilita o aumento da participação de fontes renováveis. As baterias contribuem para flexibilidade e estabilidade da matriz, balanceando as fontes de geração variável e não-controlável, além disso podem ser instaladas de forma centralizada ou descentralizada sem limitações locais específicas (WEF, 2019). Deste modo, é possível selecionar locais com menor sensibilidade socioambiental para sua instalação.

As diferentes possibilidades de serviços realizados também trazem outros benefícios socioambientais. Como, por exemplo, reduz a necessidade e impactos da instalação de linhas de transmissão e distribuição, e permite que comunidades dispersas não conectadas à rede elétrica tenham acesso à energia (WEF, 2019).

Ainda sobre o uso das baterias, é importante manter condições de armazenamento, transporte e operação que assegurem a sua integridade. O uso inadequado ou acidentes podem ocasionar danos aos mecanismos de proteção, e a exposição do material interno pode ocasionar contaminações ou até explosões e incêndios. Por exemplo, existem relatos frequentes de acidentes com baterias íon-lítio devido a inflamabilidade elevada de seus componentes (Liu, Liu, Lin, Pei, & Cui, 2018). Sendo assim, devem ser observados aspectos de segurança por todo o seu ciclo de vida, inclusive com capacitação da mão de obra.

## **5.2.Reuso, Reciclagem e Disposição final**

Outro aspecto sensível sob o ponto de vista socioambiental é a destinação das baterias após o término da sua vida útil, principalmente devido aos metais tóxicos em sua composição que apresentam riscos ao meio ambiente e à saúde caso não seja disposto adequadamente. A disposição segura de materiais perigosos é custosa, e as formas mais comuns consistem no envio para aterros ou incineradores (Dehghani-Sanij, Tharumalingam, Dusseault, & Fraser, 2019).

Ressalta-se que a aplicação dos princípios da economia circular (recuperar, reutilizar e reciclar) para as baterias permite minimizar os impactos e riscos socioambientais, e também fomentar novas oportunidades. No Brasil, a destinação de resíduos está alinhada a esses princípios com a Política Nacional de Resíduos Sólidos<sup>11</sup> (PNRS) que, no caso das baterias, obriga os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes a realizar logística reversa para coleta e destinação adequada.

---

<sup>11</sup> Criada pela [Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010](#), regulamentada pelo [Decreto n. 7.404 de 23 de dezembro de 2010](#) e [Decreto n. 9.177 de 23 de outubro de 2017](#).

---

Seguindo a lógica circular, a bateria inservível deve ser coletada e encaminhada para reparo ou recuperação, possibilitando o seu retorno à condição original, ou ainda a sua utilização em aplicações secundárias (WEF, 2019). No caso de baterias íon-lítio de veículos elétricos, por exemplo, estas podem ser aproveitadas como armazenamento estacionário no setor elétrico após serem inutilizadas, visto que a capacidade nominal restante, cerca de 80%, é admissível para serviços menos intensivos (Pagliaro & Meneguzzo, 2019). Essa prática possibilita a extensão da vida útil do equipamento contribuindo não somente para sua sustentabilidade, mas também para sua economicidade.

Ao se esgotarem as opções de reuso, os materiais devem ser recuperados por meio de reciclagem. Atualmente os processos de reciclagem de baterias são dispendiosos, sua viabilidade depende dos custos de coleta, manuseio, desagregação, além de escala e valor do material recuperado. Destaca-se o nível elevado, acima de 99%, de reciclagem de baterias chumbo-ácido na Europa e Estados Unidos (WEF, 2019). Isso se deve principalmente pela simplicidade, padronização e rede de coleta bem estabelecida para esse tipo de bateria (European Commission, 2018). Já as baterias íon-lítio apresentam desafios tecnológicos pela sua complexidade, mas a relevância da reciclagem cresce com a sua expansão (Dehghani-Sanij, Tharumalingam, Dusseault, & Fraser, 2019).

O fator chave para a implementação da economia circular de baterias é a sua coleta após o uso (WEF, 2019). Também é importante que as baterias sejam projetadas para favorecer o seu reuso e reciclagem, como separação fácil das peças, padronização de formatos e materiais, simplicidade de remoção, etiquetagem, entre outros. Classificação e separação correta das baterias recolhidas também são essenciais para evitar os riscos de contaminações cruzadas nas unidades de reciclagem (Gaines, 2014).

---

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há grande expectativa com relação ao uso de sistemas de armazenamento e à diversidade de serviços que estes podem prestar ao setor elétrico. Quer seja atrás do medidor, com o uso direto do consumidor final, quer seja de maneira centralizada, sendo utilizada pelo operador do sistema ou por um agente de geração, distribuição ou transmissão, esses sistemas têm potencial para transformar o setor elétrico, dada sua versatilidade. Para tanto, além das questões técnicas e econômicas, é necessária a discussão sobre aspectos regulatórios, o que já consta da agenda regulatória da ANEEL.

Alguns dos serviços que poderiam ser prestados pelas soluções de armazenamento em bateria não estão acessíveis para esta tecnologia. Os sistemas ancilares, por exemplo, são prestados de forma mandatária por agentes geradores no SIN, não havendo previsão para utilização de sistemas de armazenamento com esta finalidade. De maneira semelhante, antes da implantação do preço horário para fins de contabilização, a ser implementado em 2021, há dificuldade no uso desses sistemas para arbitragem. Outro ponto relevante no Sistema Interligado Nacional é que, apesar da redução em termos relativos nos últimos anos, a grande disponibilidade de hidrelétricas tende a ser uma forte concorrência para os sistemas de armazenamento em algumas das aplicações.

Contudo, outras aplicações, como o uso em sistemas isolados, já são possíveis no arcabouço regulatório atual. Dado o elevado custo de geração nessas localidades, estudos indicam já haver viabilidade econômica para o uso dessas soluções com os preços atuais. Inclusive, no leilão realizado para Boa Vista e localidades conectadas de 2019, houve cadastramento de soluções considerando armazenamento em baterias, sendo uma destas vencedora no certame.

De maneira semelhante, algumas aplicações de armazenamento de maneira distribuída, principalmente atrás do medidor, estão sendo estudadas pelos agentes. Outros usos podem surgir com a modernização do marco regulatório do setor, bem como com o avanço da tecnologia. O planejamento deve monitorar a evolução dessas soluções, pelo potencial de alterações disruptivas na forma de funcionamento do setor elétrico como um todo.

Do ponto de vista socioambiental, destaca-se o potencial das baterias de contribuir com a redução da intensidade de carbono da matriz elétrica brasileira por possibilitarem o aumento da participação de renováveis. Adicionalmente, devido a flexibilidade locacional e de diferentes opções de serviços disponíveis, as baterias podem ser instaladas em locais com menor sensibilidade socioambiental e reduzem a necessidade e impactos de implantação de linhas de transmissão e distribuição. Por último, trazem outras



---

oportunidades com a geração de novos empregos ao longo de toda cadeia, fomentando o desenvolvimento econômico.

Destacam-se, no entanto, os desafios relacionados à segurança em toda cadeia produtiva e a destinação ambientalmente adequada das baterias inservíveis. Para tal, é importante assegurar condições de armazenamento, transporte, operação e disposição final adequadas que minimizem os impactos e riscos de acidentes e contaminações. Neste sentido, a implementação dos princípios da economia circular é essencial, e perpassa pelo desenvolvimento da estrutura de coleta para efetivar a logística reversa, além do incentivo ao reuso e reciclagem. Ressalta-se que sistemas de armazenamento estacionário têm o potencial de receber baterias de reuso (segunda vida de baterias automotivas), sendo recomendável mapear as diferentes possibilidades de aplicações e exigências de serviços para potencializar esse tipo de sinergia.

Em resumo, espera-se que os sistemas de armazenamento sejam disseminados no setor elétrico em um futuro próximo. Os esforços de modernização do setor devem ser direcionados para permitir o uso das novas tecnologias, incluindo nestas o armazenamento em baterias, criando um ambiente de competição isonômica entre as fontes disponíveis para atendimento às necessidades do sistema elétrico brasileiro.

---

## Bibliografia

- \_\_\_\_\_. (2010). *Decreto n. 7.404 de 23 de dezembro de 2010*. Acesso em setembro de 2019, disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm)
- \_\_\_\_\_. (2017). *Decreto n. 9.177 de 23 de outubro de 2017*. Acesso em setembro de 2019, disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2017/Decreto/D9177.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Decreto/D9177.htm)
- Amat, S. (2019). *Going "off grid": A bad strategy for business & consumers*. Acesso em outubro de 2019, disponível em <https://medium.com/altcoin-magazine/going-off-the-grid-a-bad-strategy-for-business-consumers-e785c0db449e>
- BNEF. (2017). *Lithium ion battery costs and market*. Fonte: <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEF-Lithium-ion-battery-costs-and-market.pdf>
- BNEF. (2019). Acesso em 15 de 08 de 2019, disponível em Bloomberg NEF: <https://about.bnef.com/blog/energy-storage-investments-boom-battery-costs-halve-next-decade/>
- Brasil. (2010). *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Acesso em setembro de 2019, disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)
- CAISO. (19 de outubro de 2016). *Implementation of Hybrid Energy Storage Generating Facilities*. Acesso em 2019, disponível em <https://www.caiso.com/Documents/TechnicalBulletin-ImplementationofHybridEnergyStorageGeneratingFacilities.pdf>
- Casals, L. C., Amante García, B., & Canal, C. (outubro de 2019). Second life batteries lifespan: Rest of useful life and environmental analysis. *Journal of Environmental Management*, 232, pp. 354–363. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.046>
- Castro, G., & Cavados, G. (2017). Análise da Viabilidade de Sistema de Armazenamento de Energia para Atendimento à Ponta de Carga. *XVII Congresso Brasileiro de Energia*.
- Dehghani-Sanij, A., Tharumalingam, E., Dusseault, M., & Fraser, R. (2019). Study of energy storage systems and environmental challenges of batteries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, pp. 192-208. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.023>
- DOE. (2019). *DOE Global Energy Storage Database*. Acesso em 08 de agosto de 2019, disponível em <https://www.energystorageexchange.org>
- Dominish, E., Florin, N., & Teske, S. (2019). *Responsible Minerals Sourcing for Renewable*. Sydney: University of Technology.
- EIA. (2018). *US. Battery Storage Market Trends*. U.S. Department of Energy. Fonte: <https://www.eia.gov/analysis/studies/electricity/batterystorage/>
- EIA. (2019). *U.S. Energy Information Administration*. Acesso em 24 de Julho de 2019, disponível em U.S. utility-scale battery storage power capacity to grow substantially by 2023: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=40072>
- Enercon. (20 de junho de 2018). Enercon Energy Storage. *Apresentação*. Rio de Janeiro.
- EPE. (2019). *Planejamento do atendimento aos sistemas isolados horizonte 2023 - ciclo 2018*. Fonte: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados->

- EPE. (agosto de 2019). *Relatório de apoio ao Workshop de Lastro e Energia*. Fonte: <http://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/a-epe-realizara-o-workshop-lastro-e-energia-relatorio-de-apoio-ja-disponivel->
- EPE. (2019). *Usinas híbridas no contexto do planejamento energético*. Rio de Janeiro.
- European Commission. (2018). *Science for Environment Policy. Towards the battery of the future* (Vol. 20). doi:<https://doi.org/10.2779/503230>
- Fluence. (2019). *Project Spotlight: Energy Storage Used in Place of Traditional Infrastructure on the Distribution Grid*.
- Gaines, L. (2014). The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course. *Sustainable Materials and Technologies*, 1–2, pp. 2–7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.susmat.2014.10.001>
- Griffith, K. J., Wiaderek, K. M., Giannantonio, C., Marbella, L. E., & Grey, C. P. (1 de julho de 2018). Niobium tungsten oxides for high-rate lithium-ion energy storage. *Nature*, pp. 556–63.
- IEA. (2019). Acesso em 24 de Julho de 2019, disponível em <https://www.iea.org/tcep/energyintegration/energystorage/>
- IRENA. (2015). *Battery Storage for Renewables: Market Status and Technology Outlook*.
- IRENA. (2015). *Case studies: battery storage*.
- IRENA. (2015). Renewables and Electricity Storage. Em *A technology roadmap for REmap 2030*.
- IRENA. (2017). *Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030*.
- IRENA. (2019). *Innovation Landscape Brief: Aggregators*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- Khalilpour, R., & Vassallo, A. (2015). Leaving the grid: An ambition or a real choice? *Energy Policy*, 82, pp. 207–221. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.03.005>
- Konzen, G. (2015). *Desconectar-se da rede elétrica é uma gafe econômica e ambiental*. Fonte: <https://www.linkedin.com/pulse/desconectar-se-da-rede-el%C3%A9trica-%C3%A9-uma-gafe-econ%C3%B4mica-e-gabriel-konzen/>
- Liu, K., Liu, Y., Lin, D., Pei, A., & Cui, Y. (22 de junho de 2018). Materials for lithium-ion battery safety. *Science Advances*, 4(6). doi:<https://doi.org/10.1126/sciadv.aas9820>
- MassCEC, M. C., & DOER, M. D. (2016). *STATE OF CHARGE. Massachusetts Energy Storage Initiative Study*. Acesso em 20 de 09 de 2019, disponível em <https://www.mass.gov/service-details/energy-storage-study>
- MCTIC & INT. (2017). *Sistemas de Armazenamento de Energia – Tecnologia, Regulação e Políticas Públicas*.
- MME, & EPE. (2019). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2029*. Fonte: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2027>
- NREL. (2017). *Evaluating the Technical and Economic Performance of PV Plus Storage Power Plants*.
- NREL. (2018). *The Potential for Energy Storage to Provide Peaking Capacity in California under Increased Penetration of Solar Photovoltaics*. Golden, CO.

- 
- NREL. (2018). *Utility-Scale Photovoltaics-Plus-Energy Storage System Costs Benchmark*.
- ONS. (2019). *Plano da Operação Energética 2019 - 2023*. Rio de Janeiro.
- Pagliaro, M., & Meneguzzo, F. (2019). Lithium battery reusing and recycling: A circular economy insight. *Heliyon*, 5(6). doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01866>
- Research, N. (2019). *Comparing the Costs of Long Duration Energy Storage Technologies*.
- RMI, R. M. (2015). The Economics of Battery Energy Storage. Em *How Multi-use, customer-sited batteries deliver the most services and value to customers and the grid*.
- Scott, I., & Lee, S. (2011). Battery Energy Storage. Em F. Barnes, & J. Levine, *Large Energy Storage Systems Handbook* (pp. 153-180). CRC Press.
- Solar Industry. (2019). *Con Edison plans virtual power plant with residential solar storage*. Acesso em setembro de 2019, disponível em <http://solarindustrymag.com/con-edison-plans-virtual-power-plant-with-residential-solar-storage>
- Teixeira, T. P. (2018). *Modelagem da Utilização de Baterias em Sistemas Elétricos com Alta Inserção de Geração Eólica*. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ.
- UltraBattery. (2019). *UltraBattery Technology*. Fonte: [Ultrabattery.com](http://ultrabattery.com/technology/ultrabattery-technology/): <http://ultrabattery.com/technology/ultrabattery-technology/>
- WEF. (2019). *A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030. Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation*. World Economic Forum.