

## Experiências Internacionais dos Sistemas de Armazenamento de Energia Hidráulico<sup>1</sup>

Angela Livino<sup>2</sup>

Roberto Brandão<sup>3</sup>

Katarina Ferreira<sup>4</sup>

Ana Carolina Chaves<sup>5</sup>

A transição energética em curso revoluciona os sistemas elétricos ao redor do mundo, ao mesmo tempo em que expõe suas fragilidades estruturais. A rápida expansão das fontes solar e eólica, embora decisiva para a descarbonização, introduz uma maior variabilidade na operação diária das redes, pressionando operadores a buscarem novas formas de flexibilidade. Nesse cenário, o armazenamento de energia assume um papel estratégico e se torna um elemento estruturante das políticas energéticas contemporâneas. A experiência internacional demonstra que nenhum país conseguiu avançar de modo consistente na integração das fontes renováveis sem expandir, simultaneamente, a sua capacidade de armazenamento, seja por meio de Sistemas de Armazenamento Hidráulico (SAH), seja por baterias em escala de rede.

Analisar a trajetória recente de Austrália, Reino Unido, Itália, Estados Unidos, Espanha, Portugal e China ajuda a iluminar como diferentes arranjos institucionais, instrumentos de política pública e modelos de mercado moldam esse processo. Nota-se que a diversidade de abordagens convergentes revela, ao mesmo tempo, uma necessidade comum e um aprendizado conjunto: o armazenamento deixou de ser um recurso complementar e passou a constituir

---

<sup>1</sup> Artigo publicado pela Agência CanalEnergia. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/artigos/53339664/experiencias-internacionais-dos-sistemas-de-armazenamento-de-energia-hidraulico> Acesso em: 03.03.2026

<sup>2</sup> Pesquisadora Associado do GESEL-UFRJ.

<sup>3</sup> Diretor Científico do GESEL.

<sup>4</sup> Pesquisadora do GESEL-UFRJ.

<sup>5</sup> Pesquisadora Plena do GESEL-UFRJ.

uma infraestrutura crítica, cuja viabilização exige sinais de longo prazo, redução de riscos e integração plena aos mercados elétricos.

A Austrália talvez represente a síntese mais clara dessa mudança. No país, o armazenamento ganhou escala ao combinar duas ferramentas decisivas: (i) grandes projetos de armazenamento hidráulico apoiados por mecanismos cap and floor que estabilizam receitas de longo prazo e (ii) a formação de um mercado vibrante de baterias, ancorado inicialmente em subsídios de investimento, serviços ancilares e contratos de reserva.

A experiência australiana evidencia que, diante de projetos com alto CAPEX e maturação longa, como o armazenamento hidráulico, a mitigação de risco é uma condição necessária para destravar investimentos. Já no caso das baterias, um ambiente de mercado líquido, com preços voláteis e múltiplos fluxos de receita, permite dinamismo sem grandes subsídios contínuos, ao menos para durações curtas. O país também se destaca por guias ambientais específicos e integração entre licenciamento e outorga hídrica, reforçando a segurança jurídica para novos empreendimentos.

O Reino Unido enfrenta um desafio distinto, uma vez que possui um histórico de grandes sistemas hidráulicos, mas passou décadas sem novos investimentos devido à ausência de previsibilidade de receita. A resposta recente do governo foi criar um regime dedicado de cap and floor para armazenamento de longa duração, inspirado nos arranjos utilizados para interconectores. Assim, ao garantir pisos e tetos de receita por até 25 anos, o país busca finalmente destravar projetos de armazenamento hidráulico e de outras tecnologias de longa duração.

No segmento de baterias, porém, o Reino Unido seguiu um caminho mais mercantil, apoiando-se em serviços avançados de frequência e no mercado de capacidade, que se tornou fonte relevante de contratos longos. O resultado é um pipeline expressivo de projetos e uma trajetória acelerada de implantação.

A Itália, por sua vez, combina tradição centenária em armazenamento hidráulico com uma rápida expansão de baterias distribuídas, impulsionada por incentivos fiscais. Diante da queda drástica da utilização dos SAH por insuficiência de receita em mercados puramente mercantis, o país criou o MACSE, o mais abrangente mecanismo de contratação de capacidade de armazenamento de longa duração da Europa.

Trata-se de um mercado dedicado, com leilões competitivos e contratos de até 30 anos que remuneram diretamente a capacidade, reduzindo o risco de mercado e permitindo que baterias e SAH concorram de forma neutra. Portanto, o MACSE inaugura uma nova fase, na qual o armazenamento deixa de depender da arbitragem e passa a integrar o núcleo do planejamento energético nacional.

Nos Estados Unidos, o contraste entre o legado histórico de armazenamento hidráulico e a explosão recente das baterias revela dois mundos distintos coexistindo em um mesmo sistema. Os SAH foram desenvolvidos majoritariamente em um regime de utilities integradas protegido por tarifas reguladas e, hoje, depende da participação em mercados organizados de energia, capacidade e serviços ancilares.

A evolução regulatória, especialmente as ordens da Federal Energy Regulatory Commission (FERC) que padronizaram a participação do armazenamento nos mercados, permitiu que as baterias se tornassem protagonistas. A virada decisiva veio, contudo, com os créditos fiscais do Inflation Reduction Act, que ampliaram drasticamente a bancabilidade dos projetos. Mesmo com as mudanças promovidas pelo segundo governo Trump, que reduziram incentivos às fontes solar e eólica, o armazenamento manteve um horizonte de elegibilidade mais amplo, preservando o seu dinamismo enquanto o país redireciona a sua matriz para fontes firmes.

A Espanha, apesar de ter um dos sistemas elétricos que mais rapidamente incorporam as fontes renováveis na Europa, ainda apresenta uma capacidade limitada de baterias em larga escala, enquanto o armazenamento hidráulico desempenha um papel central na modulação diária. O país adotou metas ambiciosas de longo prazo, desenvolveu programas de subvenção de capital e iniciou linhas específicas para SAH, mas enfrenta atrasos na criação de um mecanismo de capacidade robusto, o que restringe a materialização de projetos. Contudo, o pipeline crescente e as reformas regulatórias em curso sugerem que a Espanha está prestes a entrar em fase de expansão acelerada, desde que se consolidem instrumentos de receita de longo prazo.

Portugal segue uma trajetória semelhante, com grande peso histórico do armazenamento hidráulico e avanços recentes na regulamentação do armazenamento stand-alone e hibridizado. O país lançou subvenções específicas para 500 MW de baterias e prepara leilões de capacidade, configurando o primeiro pacote consistente de políticas explícitas para armazenamento eletroquímico. Todavia, a capacidade instalada ainda é incipiente, o que evidencia um descompasso temporal entre o desenho institucional e a maturação do mercado.

A China, por fim, se destaca por escopo e velocidade sem precedentes. O armazenamento hidráulico avança sob planejamento centralizado, metas quantitativas rígidas e tarifa de capacidade regulada, enquanto o “novo armazenamento de energia” (dominação para baterias) cresce de maneira explosiva, impulsionado por metas nacionais, coordenação provincial, mandatos de associação às fontes renováveis e reformas de mercado que remuneram melhor flexibilidade. O país demonstra que a combinação entre escala industrial, política coordenada e mecanismos regulatórios híbridos pode

multiplicar rapidamente a capacidade instalada, mesmo em segmentos de baixa maturidade inicial.

A leitura transversal dessas experiências revela alguns pontos de convergência importantes. Primeiro, o armazenamento hidráulico, embora essencial, não avança sem mecanismos de receita estáveis, como tarifas de capacidade, esquemas de cap and floor ou mercados dedicados de capacidade. Segundo, as baterias são o segmento de expansão mais veloz, porém dependem, especialmente em sua fase inicial, de serviços ancilares, CAPEX grants e integração plena aos mercados. Terceiro, políticas eficazes combinam sinais de longo prazo, flexibilidade comercial e redução de risco. Nota-se que não há um modelo único, mas há uma lógica comum. Assim, sempre que o armazenamento se torna parte explícita da estratégia energética, sua expansão deixa de ser eventual e passa a ser planejada. Por fim, a coordenação entre níveis de governo e a estabilidade regulatória são determinantes para transformar metas em ativos reais.

O conjunto dessas experiências demonstra que a transição energética bem-sucedida exige, mais do que tecnologia, instituições maduras, previsibilidade regulatória e instrumentos de política que reconheçam o valor sistêmico do armazenamento. A lição central é inequívoca. Sem mecanismos claros de remuneração da flexibilidade, a expansão das fontes renováveis encontra limites. Por outro lado, com eles, se abre um caminho para sistemas mais seguros, eficientes e plenamente descarbonizados.