

## O que é e como funciona a tecnologia?

O armazenamento de energia por ar comprimido é uma tecnologia conhecida e utilizada desde o século XIX em diferentes aplicações industriais, em razão da grande disponibilidade do ar. Representa um modo mecânico de armazenamento de energia.

A eletricidade é utilizada por compressores para comprimir o ar e armazená-lo em uma estrutura subterrânea ou em um repositório de pressão acima do solo. Durante o carregamento, a energia elétrica é convertida em energia potencial do ar comprimido por turbinas, pistões ou compressores radiais. A compressão do ar gera calor que pode ser armazenado e reaproveitado no processo de expansão (adiabático) ou não (diabático).

O ar armazenado perde calor e, por isso, necessita de calor para se expandir. Muitas vezes este ar é misturado com gás natural e, ao ser aquecido, se expande em uma turbina e aciona um gerador que gera eletricidade.

As opções típicas de armazenamento subterrâneo incluem cavernas rochosas ou de sal, minas abandonadas, rochas fraturadas/porosas, aquíferos e repositórios rochosos em oceanos. Os reservatórios acima do solo geralmente são de aço.

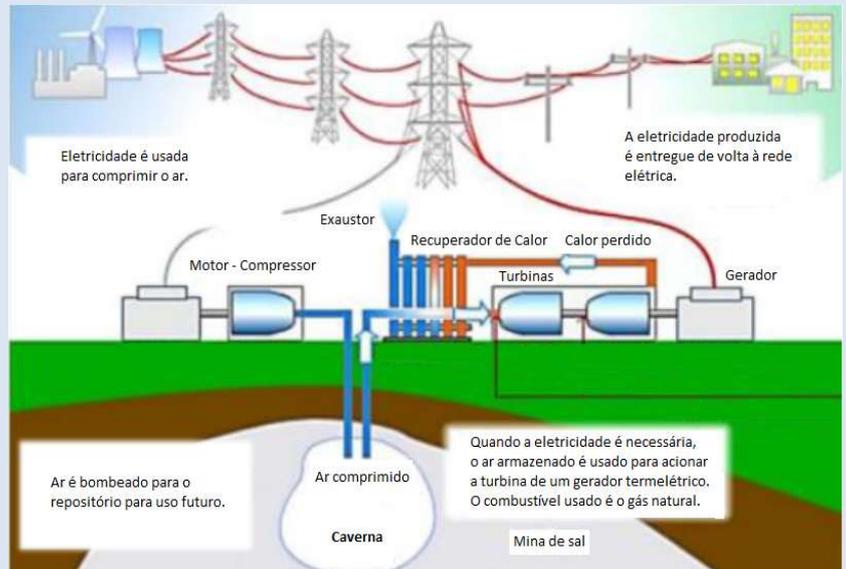


Figura 1 – Funcionamento de uma Usina de Armazenamento de Ar Comprimido (IEC, 2011).

A tecnologia diabática é comprovada, possui alta confiabilidade e menor eficiência (em torno de 50%). Atualmente, existem duas plantas com essa tecnologia no mundo, a de Huntorf no noroeste da Alemanha (construída em 1978, possui potência gerada de 321 MW, eficiência de 41% e é operada pela E.ON Kraftwerk) e a de McIntosh no Alabama/EUA (construída em 1991, possui potência gerada de 110 MW, eficiência de 55% e é operada pela PowerSouth Energy Cooperative).

A tecnologia adiabática ainda encontra-se na fase de estudos e não existem plantas deste tipo em operação no mundo. Possui maior eficiência (em torno de 70%) e como meios de armazenamento do calor, podem ser empregados materiais sólidos (concreto, cascalhos, ligas metálicas, leitos de rochas) ou líquidos (sais fundidos, fluidos orgânicos, entre outros).

## Características da Tecnologia de Armazenamento de Energia por Ar Comprimido (AEAC)

- AEAC ainda é considerada como estando em fase final de desenvolvimento e implantação comercial no mundo. Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR), por exemplo, representam uma tecnologia com diversas aplicações comerciais há muito tempo.
- É uma forma de armazenamento de energia em grandes quantidades e de longo prazo de carga/descarga (horas/dias). Envolve altos custos de investimento em função dos seus grandes tamanhos típicos que necessitam de estudos geológicos.
- A tecnologia compete com outras formas de armazenamento de energia, tais como UHR (grande escala) e bancos de baterias (média e pequena escala). UHR dominam o nicho atual das plantas de armazenamento de grande escala no mundo e representam quase 99% da capacidade instalada das tecnologias de armazenamento de energia no planeta.

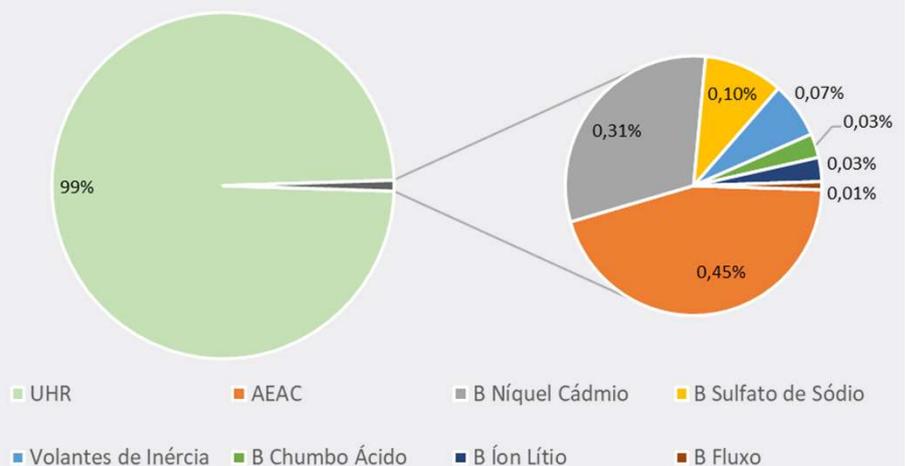


Figura 2 – Capacidade Instalada de tecnologias de armazenamento no mundo (COSTA, 2019).

- Em geral, atua de modo centralizado, dando suporte às redes elétricas e às fontes de geração intermitentes. Projetos de pequena escala (distribuídos) ainda não atingiram a mesma maturidade técnica.
- AEAC pode ser utilizada em aplicações de arbitragem de energia, suporte para geração convencional e controle de frequência da rede elétrica.
- Não é modularizada, ou seja, cada projeto é específico e possui as suas próprias características e restrições técnicas, termodinâmicas e geográficas. Os componentes não são "de prateleira", o que encarece o custo para aplicações pequenas.
- Eficiência média baixa (em torno de 50%), pois os projetos possuem a tecnologia diabática em atual desenvolvimento no mundo. Aumentos de eficiência para cerca de 70% podem ser obtidos em projetos com armazenamento do calor (adiabáticos), melhorias no processo de compressão e com o menor uso de gás natural. Entretanto, são melhorias ainda não feitas em escala.
- Baixa densidade energética (grandes volumes necessários para o total de energia armazenada).

- Atuais plantas de grande escala requerem a queima de combustíveis fósseis, o que leva às emissões ambientais. Plantas adiabáticas avançadas estão em pesquisa e não envolvem queima de combustíveis fósseis (emissões).
- A expertise europeia para projetos AEAC é referência no mundo, tanto nas áreas de compressores e turbinas, quanto nas soluções de mineração. Mercados são esperados no norte da Europa, próximos de parques eólicos *off-shore*. Em muitos países como o Japão, o potencial futuro é muito limitado pela falta de locais adequados para a sua implantação em razão das características geográficas e subterrâneas.
- O custo nivelado de eletricidade (LCOE) é relativamente baixo, do mesmo patamar das UHR. Plantas AEAC podem ser construídas em locais independentes das condições de armazenamento, sem limitações geográficas ou geológicas. Entretanto, ainda não foram desenvolvidos grandes repositórios acima do solo que armazenem grandes volumes - a solução poderia ser utilizar vários depósitos de forma a aumentar a capacidade do sistema (encarecendo o custo do projeto).



Figura 3 – Maturidade das tecnologias de armazenamento de energia (EPE, 2020).

### Oportunidades de P&D para AEAC

- 1) Tecnologia **adiabática** incluindo captura e armazenamento intermediário do calor de compressão para uso futuro na expansão;
- 2) Pesquisa geológica para **diferentes meios de armazenamento** (aquifero/calcário);
- 3) Novos **materiais** para cavidades de pressão em sistemas descentralizados;
- 4) **AEAS adiabáticos de baixa temperatura**;
- 5) **AEAS isotérmicos e isobáricos**.

## REFERÊNCIAS

- COSTA, F. V. R. G.. Processos de armazenamento de energia com recurso a ar comprimido: revisão. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e Ambiente. Universidade de Lisboa. Lisboa, 2019. Acesso em: 28 de janeiro de 2021.
- EASE/EERA. European Association for Storage of Energy. European Energy Research Alliance. European Energy Storage Technology Development Roadmap Towards 2030. Disponível em: <<http://ease-storage.eu/easeeera-energy-storage-technology-development-roadmap-towards-2030/>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2021.
- EPE. Potencial de Recursos Energéticos no Horizonte 2050. Nota Técnica PR 04/18 – Série Recursos Energéticos. Rio de Janeiro: Brasil, 2018. Disponível em: <[NT04-PR-RecursosEnergeticos-2050.pdf \(epe.gov.br\)](http://www.epe.gov.br/NT04-PR-RecursosEnergeticos-2050.pdf)>. Acesso em: 12 de janeiro de 2021.
- IEA. Technology Roadmap - Energy Storage. International Energy Agency. Paris: OECD/IEA, 2014. Disponível em: <<https://webstore.iea.org/technology-roadmap-energy-storage>>. Acesso em: 07 de janeiro de 2021.
- IEC. Electrical Energy Storage. International Electrotechnical Commission White Paper. Switzerland, 2011. Disponível em: <<http://www.iec.ch/whitepaper/energystorage/>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2021.
- LANDRY, M.; GAGNON, Y. Energy Storage: Technology Applications and Policy Options. Energy Procedia, n. 79, p. 315-320. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215022262>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2021.