

**EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NO ARMAZENAMENTO DE ENERGIA:  
UMA PERSPECTIVA A PARTIR DAS PATENTES DE BATERIAS****Távora G.\*, Silva J.A.\*\*, Mendonça S.\*\*\***

\* Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Rua da Alfândega 35, 1100-521 Lisboa, Portugal,

[guilherme.p.tavora@inpi.pt](mailto:guilherme.p.tavora@inpi.pt)\*\* Instituto Dom Luiz- Faculdade de Ciências Universidade de Lisboa,  
Edifício C1, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal, [jose.silva@fc.ul.pt](mailto:jose.silva@fc.ul.pt)\*\*\* ISCTE Business School, Instituto Universitário de Lisboa, UECE, REM-UECE/ISEG-ULisboa, SPRU –  
University of Sussex, [sfm@iscte-iul.pt](mailto:sfm@iscte-iul.pt)<https://doi.org/10.34637/cies2020.3.1156>

## RESUMO

O atual crescimento da capacidade instalada de energia renováveis não-despacháveis, torna cada vez mais importante a aposta no armazenamento de energia. As baterias são uma das formas mais promissoras de armazenamento de eletricidade. Com apoio numa base de dados original, constituída por mais de 180.000 pedidos de patentes ligadas às baterias, para o período 2005-2014, foi feita uma análise do ritmo e direção da mudança técnica na área das baterias. Durante este período verificou-se um forte crescimento dos avanços tecnológicos nas baterias. As baterias de lítio foram as que exibiram uma maior dinâmica de inovação. Entre as tecnologias emergentes destacam-se as baterias de fluxo e as de lítio enxofre. A interação entre inovação nas baterias e tecnologias de energias renováveis verifica-se sobretudo ao nível do carregamento, sendo particularmente relevante para a energia fotovoltaica. O desenvolvimento dos veículos elétricos é atualmente uma das principais forças motrizes da inovação em baterias.

PALAVRAS-CHAVE: Energias renováveis, Acumulação de energia, Baterias, Inovação

## ABSTRACT

The present growth in installed capacity of non-dispatchable renewable energies makes the investment in energy storage increasingly important. Batteries are one of the most promising ways of storing electricity. The study here presented makes a comprehensive characterization of the ongoing innovation in the field of batteries. This study is based on an original database consisting of more than 180000 patent applications related to batteries, for the period 2005-2014. During this period, there was a strong growth trend in the technological evolution of batteries. Lithium batteries are the ones that have shown the greatest innovation dynamics. Among emerging technologies, flux batteries and lithium-sulfur stand out. The interaction between innovation in batteries and renewable energies technologies occurs mainly in terms of charging, being particularly relevant the interaction with photovoltaic energy. Presently, the development of electric vehicles is one of the major driving forces of battery innovation.

KEYWORDS: Renewable Energies, Energy Storage, Batteries, Innovation

## INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com as alterações climáticas e a necessidade de cumprir as metas do acordo de Paris torna cada vez mais urgente a transição para uma sociedade com baixas emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A utilização de energias renováveis para a produção de eletricidade é uma peça chave nesta transição, com baixas emissões de CO<sub>2</sub> associadas, a capacidade instalada destas formas de energia tem tido um crescimento muito significativo nos últimos anos. Este crescimento irá continuar nas próximas décadas, prevendo-se que em 2050 mais de 80% da eletricidade mundial seja produzida a partir de fontes de energia renováveis (IRENA, 2020). No seu conjunto as energias eólica e fotovoltaica (FV) irão representar mais de 50% da produção mundial de eletricidade (IRENA, 2020). O crescimento destas duas fontes de energia por natureza não despacháveis (i.e., a sua produção não pode ser ajustada a medida das necessidades de consumo), coloca novos desafios à gestão da rede elétrica e requer uma utilização cada vez mais importante de sistemas de acumulação de energia.

A utilização de sistemas de acumulação de energia é essencial para regular o sinal elétrico e ajustar o abastecimento de energia às necessidades dos utilizadores, permitindo acumular os excedentes de produção e injetá-los na rede elétrica quando necessário, permitindo assim evitar o desperdício de energia e reduzir a pressão sobre a rede de distribuição. Os benefícios da acumulação de energia vão para além de assegurar regulações de potência e melhorar a qualidade do sinal, permitindo também aos pequenos produtores acumular eletricidade nas horas de vazio e vendê-las nas horas de ponta quando o preço é mais elevado, contribuindo assim para a suavizar o digrama de carga da rede elétrica. A crescente utilização de sistemas de acumulação de energia permite assim aumentar a competitividade das energias renováveis e reforçar a sua implementação.

Atualmente a tecnologia de armazenamento de eletricidade mais importante é a bombagem hidroelétrica, que representa mais de 99% do armazenamento de eletricidade ligada à rede (Lott & Kim, 2014). Apesar de ser uma tecnologia com grande maturidade, baixos tempos de resposta e dispor de potências entre 20 MW e 3 GW (Alotto et al., 2014), a utilização das centrais de bombagem hidroelétrica está limitada a determinadas regiões e períodos temporais, pois estas centrais requerem condições geográficas e climáticas particulares.

Entre as diversas formas de alternativas de acumulação de energia elétrica, como o armazenamento em ar comprimido (*Compressed Air Energy Storage* - CAES), volantes de inércia ou células de combustível, as baterias secundárias ou simplesmente baterias<sup>1</sup>, destacam-se pela sua elevada densidade energética e baixo tempo de resposta. Além disso, devido à sua modularidade permitem o fornecimento de uma grande variedade de potências elétricas diferentes, o que possibilita a sua utilização numa grande variedade de aplicações (van Noorden, 2014). Neste momento há dois mercados de armazenamento elétrico com um forte crescimento para os quais as baterias são uma solução particularmente adequada: mobilidade elétrica e suporte à rede elétrica. Apesar de ainda ser preciso remover alguns obstáculos, espera-se que nos próximos anos as tecnologias emergentes de baterias não só substituam algumas das tecnologias convencionais como viabilizem novas aplicações para as baterias (IEC, 2011).

Nos últimos anos alguns artigos abordaram o tema da inovação em baterias sob diversos aspetos (Wagner et al., 2013; Golembiewski et al., 2015; Stephan et al., 2017). Este trabalho pretende contribuir para esta discussão, usando as patentes como indicador de progresso tecnológico, tendo sido analisados 182357 pedidos de patentes durante o período de dez anos (2005-2014). Esta análise foca-se em particular nas interações entre as baterias e o mercado das energias eólica e fotovoltaica, bem como com o mercado do carro elétrico.

## MÉTODOS

A recolha dos dados recorreu ao Patentscope, um recurso de acesso disponibilizado pela *World Intellectual Property Organization* (WIPO), que permite a obter 10000 entradas por pesquisa, enquanto fornece um formato que possibilita uma representação estatística imediata. O sistema de classificação utilizado é o *International Classification System* (IPC), um esquema de codificação com uma estrutura em árvore que apresenta uma especificidade crescente à medida que se desce na hierarquia. A ordem dessa hierarquia é secção, classe, subclasse, grupo e subgrupo. Uma patente pode abranger vários códigos de classificação, envolvendo categorias e sectores tecnológicos diferentes. Para avaliar as trajetórias tecnológicas foram extraídas as patentes submetidas entre 2005 e 2014. É importante referir que o tempo decorrido entre o momento da entrega do pedido de patente e a sua publicação pode chegar a 18 meses, o que somando ao tempo necessário para atualizar a base de dados do Patentscope faz com que os dados de um determinado ano só estejam consolidados cerca de dois anos após o final desse ano. Podemos por isso considerar que no momento da extração dos dados, a base de dados de patentes relativa ao intervalo de tempo analisado já estava estabilizada.

Após a extração da base de dados de pedidos de patente foi feita uma triagem de forma a eliminar as patentes que

<sup>1</sup> Por razões históricas as baterias ou pilhas recarregáveis são denominadas baterias secundárias ou células secundárias por oposição às baterias não-recarregáveis que são as baterias primárias.

não se relacionavam com o sector em estudo, após esta avaliação preliminar obteve-se uma base de dados de 182357 pedidos de patente. Em seguida foi feita uma análise das patentes submetidas para perceber quais os segmentos tecnológicos em que é proposta a inovação: célula secundárias ou baterias; eléctrodos; ou partes não ativas.

Posteriormente foram feitas pesquisas específicas para analisar o crescimento do patenteamento em carregamento/descarregamento de baterias, bem como as interações com as energias renováveis e com veículos eléctricos. Finalmente foi analisado o patenteamento para as diferentes tecnologias de baterias.

## RESULTADOS

Durante o intervalo de tempo analisado o número de pedidos de patentes por ano quase quadruplicou, observando-se um crescimento anual de 11%/ano entre 2004 e 2009 e de 20%/ano após este período.

### Segmentos tecnológicos

Na Fig. 1. podemos observar o crescimento do patenteamento nos diferentes segmentos da tecnologia de baterias. As patentes submetidas com uma referência explícita a células secundárias superam as submissões de patentes focadas em partes não ativas ou eléctrodos. Mas o facto de as duas séries que representam o patenteamento em componentes de baterias terem no seu conjunto um número muito superior de patentes submetidas ao das células secundárias, parece indicar que as melhorias tecnológicas parciais são predominantes relativamente às inovações globais. De realçar que entre as componentes de baterias, as partes não-ativas são aquelas que mostraram uma maior atividade de inovação no período considerado. Uma vez que as partes não-ativas incluem materiais encapsulantes, separadores ou revestimentos, a crescente inovação neste segmento poderá estar relacionada com a necessidade de adaptar as baterias a diferentes tipos de aplicações. É ainda de referir que as patentes que reportam simultaneamente inovações em células secundárias e numa das partes componentes são em muito menor número do que as reportam inovação num só segmento tecnológico.

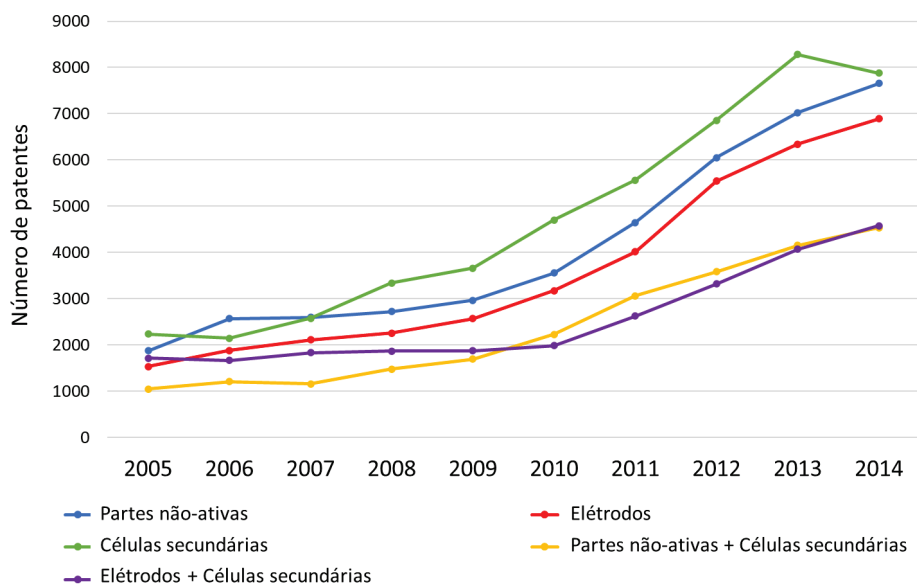


Fig. 1. Evolução do número de patentes por segmento tecnológico.

Na Fig. 2 apresenta-se a evolução do número de pedidos de patentes associados ao carregamento e descarregamento de baterias. O número de pedidos anuais de patentes para este segmento é consideravelmente superior a qualquer dos segmentos anteriores, sendo a sua taxa de crescimento também a mais elevada. Podemos concluir que se a inovação na área das baterias eléctricas está em crescimento, este crescimento é particularmente importante no segmento do carregamento/descarregamento. Este resultado sublinha a importância crescente dada ao desenvolvimento de padrões de carregamento diferentes adaptados às necessidades de cada utilização.

Refira-se por exemplo a forte atividade existente atualmente, associada ao desenvolvimento de sistemas de carregamento rápido destinados ao sector da mobilidade eléctrica.

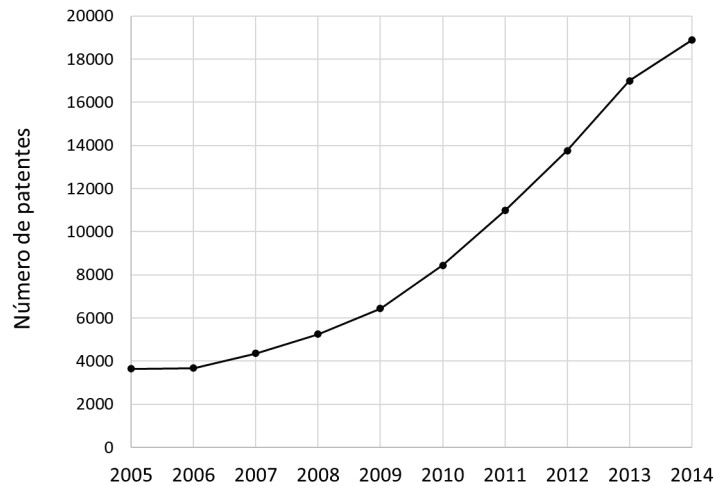


Fig. 2. Evolução do número de patentes associadas à carga e descarga de baterias.

### Tecnologias de baterias

Da observação da Fig. 3 podemos concluir que o maior esforço de inovação se concentra nas baterias de ião-lítio (ião-Li), sendo que o número de submissões de patentes desta tecnologia é tão elevado que dificulta a observação da evolução das restantes tecnologias. Tendo em conta a grande dinâmica inovadora desta tecnologia, é esperado que nos próximos anos as baterias de ião-Li continuem a aumentar a sua cota de mercado nos diversos mercados de acumulação de energia. O elevado número de patentes de baterias de ião-Li deve-se sobretudo do mercado dos consumíveis eletrónicos, mas também ao mercado crescente dos veículos elétricos (Xiao et al., 2015; Yoshio et al., 2009), sendo também muito relevante no mercado estacionário de grande escala. A segunda tecnologia com maior número de patentes no período analisado é a de chumbo-ácido. Esta tecnologia que tem como principal utilização servir de apoio ao arranque de automóveis com motor de explosão, apesar de ser uma tecnologia já madura, continua a manter um grande dinamismo de inovação.

Entre as tecnologias de baterias emergentes aquelas em que mais cresceu o número de patentes registadas no intervalo analisado foram as baterias de fluxo e as de lítio-enxofre (Li-S). A principal vantagem das baterias de Li-S sobre as de ião-Li é a sua elevada densidade energética, que poderá alcançar duas a cinco vezes a densidade energética das de ião-Li, estas apresentam também vantagens de peso e custo (Van Noorden, 2014).

A rápida evolução das baterias de fluxo beneficia bastante da necessidade crescente de acumular eletricidade proveniente de fontes renováveis, uma vez que estas baterias são vistas como uma excelente solução para este tipo de aplicações (Alotto et al., 2014).

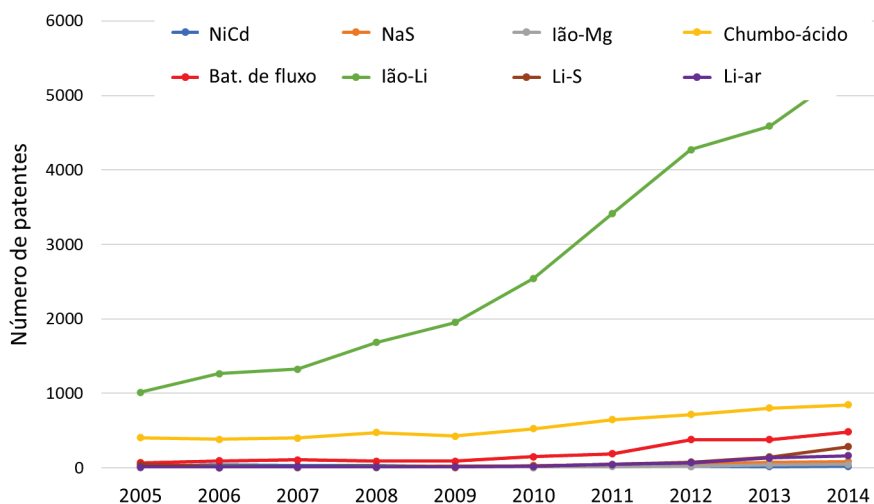


Fig. 3. Evolução do número de patentes para as diferentes tecnologias de baterias.

Interações da tecnologia de baterias com as energias eólica e fotovoltaica

O patenteamento conjunto das tecnologias de baterias e FV não é muito significativo entre 2005 e 2014. Neste período a energia fotovoltaica não aparenta ter tido um papel importante no estímulo de avanços tecnológicos na área das baterias elétricas, parece mais provável que esta beneficie das evoluções verificadas no campo das baterias. Porém a situação é diferente no que diz respeito ao carregamento de baterias por FV como se pode verificar na Fig. 4. O patenteamento conjunto destas duas tecnologias cresceu a uma taxa média superior a 20%, e a evolução dos últimos anos sugere que a importância destas interações irá continuar a aumentar.

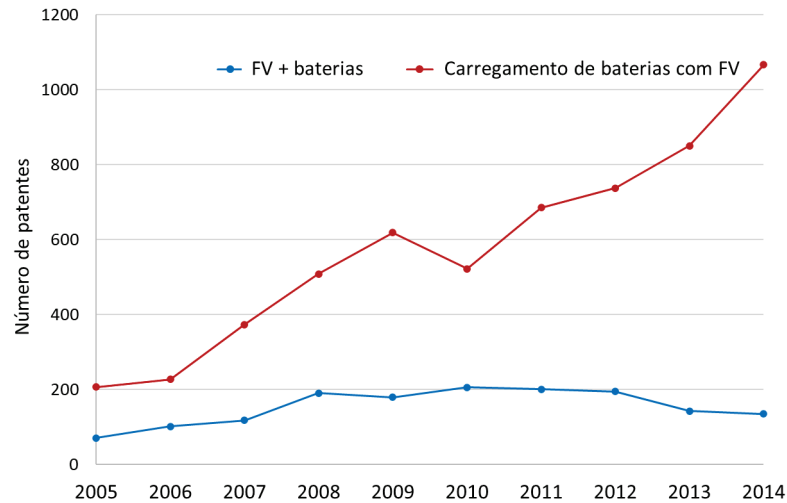


Fig. 4. Evolução dos pedidos de patente de baterias associadas à energia fotovoltaica.

Em contrapartida o número de patentes conjuntas energia eólica e baterias é pouco significativo nos 10 anos em estudo. De modo semelhante à energia FV, a correlação entre a energia eólica e as baterias é mais relevante para as tecnologias de carregamento de baterias, no entanto esta é menos significativa da que para a energia FV, atingindo um pico de 234 patentes em 2010 e diminuindo deste então. É provável que esta tendência se mantenha nos próximos anos, uma vez que o perfil de produção de uma central eólica faz com que os sistemas de bombagem hidroelétrica ou CAES sejam escolhas mais adequadas para acumular excedentes da produção eólica (Ding et al., 2012; Barnhart et al., 2013).

Interações da tecnologia de baterias com o veículo elétrico

No início do período em análise, o patenteamento de baterias para veículos de propulsão elétrica não era muito significativo, mas entre 2010 e 2013 o patenteamento cresceu a uma média de 44%, e em 2014 foram submetidos mais de 1000 pedidos de patentes (Fig. 5).

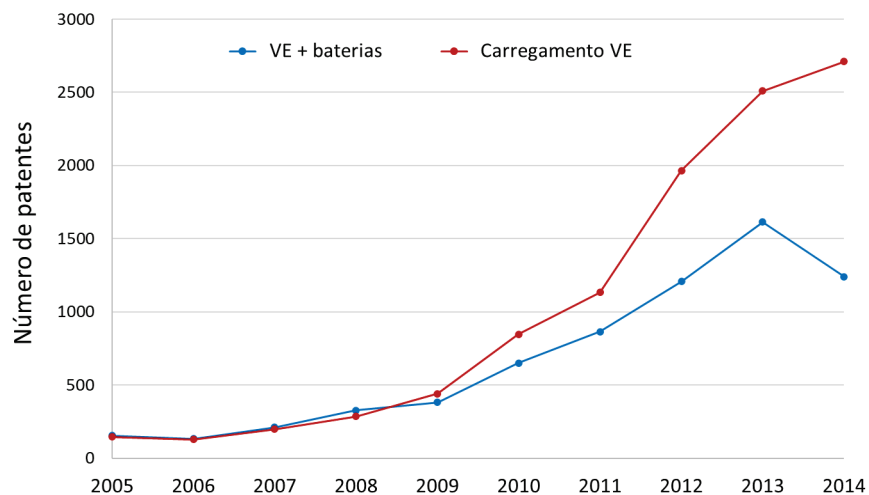


Fig. 5. Evolução dos pedidos de patente de baterias associadas ao carro elétrico (VE).

Apesar de inicialmente o número de pedidos de patentes associados a tecnologias de carregamento de veículos elétricos terem crescido de forma semelhante às tecnologias de baterias para veículos elétricos, este segmento descolou em 2009, e no período de 2009-2014 as tecnologias de carregamento de veículos elétricos tiveram uma taxa média de crescimento anual de pedidos de patente de 48.2%. De modo semelhante ao das energias energia fotovoltaica e eólica, verifica-se que o número de patentes associadas ao carregamento de baterias é muito mais significativo do que para os restantes segmentos da tecnologia de baterias, podendo-se concluir que tem sido colocado um grande foco na inovação da infraestrutura de carregamento dos veículos elétricos.

Somando o número de patentes de consultas de pesquisa contendo a subclasse de células secundárias para os anos de 2013 e 2014, verificamos que nesses dois anos 7.3% das patentes de bateria estão diretamente relacionadas com o veículo de propulsão elétrica. Neste período, a mobilidade elétrica representa mais de 14% das patentes associadas ao carregamento da bateria, o que é uma consequência do crescente interesse pela expansão da infraestrutura de carregamento de VE, bem como da necessidade de carregamentos mais rápidos (Lott & Kim, 2014).

## COMENTÁRIOS FINAIS

Este trabalho analisou a evolução tecnológica na área das baterias elétricas, bem como as suas interações com integração de energias renováveis na rede e a difusão da mobilidade elétrica. As patentes associadas às baterias elétricas cresceram de forma muito significativa ao longo do período analisado, bem como as patentes associadas aos diferentes componentes que constituem as baterias, e sua carga e descarga.

Os pedidos de patentes de carregamento de baterias usando energia FV está a crescer rapidamente, o que sugere a existência de sinergias entre o crescimento da implantação fotovoltaica e o desenvolvimento da tecnologia de baterias elétricas. Confirmando a ideia de que o desenvolvimento tecnológico das baterias elétricas contribui para o aumento da competitividade da energia fotovoltaica. Os veículos elétricos desempenham um papel importante na inovação da tecnologia de baterias, e em particular das tecnologias de carga / alimentação de carga.

As tecnologias baseadas em lítio lideram a evolução da tecnologia de baterias, sendo a tecnologia de íão-Li a que tem a maior fracção dos pedidos de patentes. Entre as tecnologias emergentes as que registam maior crescimento são as baterias de fluxo e as Li-S. Devido à sua rápida taxa de crescimento e à natureza desta tecnologia, as baterias de fluxo podem tornar-se brevemente no principal motor de inovação na área das aplicações estacionárias, podendo a energia solar fotovoltaica beneficiar do desenvolvimento deste tipo de baterias.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento à Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do projeto estratégico FCT\_UIDB/50019/2020.

## REFERÊNCIAS

- Alotto, P., Guarnieri, M., & Moro, F. (2014). Redox flow batteries for the storage of renewable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 325–335. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.001>
- Barnhart, C. J., Dale, M., Brandt, A. R., & Benson, S. M. (2013). The energetic implications of curtailing versus storing solar- and wind-generated electricity. *Energy & Environmental Science*, 6(10), 2804. <https://doi.org/10.1039/c3ee41973h>
- Ding, H., Hu, Z., & Song, Y. (2012). Stochastic optimization of the daily operation of wind farm and pumped-hydro-storage plant. *Renewable Energy*, 48, 571–578. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.008>
- Golembiewski, B., Vom Stein, N., Sick, N., & Wiemhöfer, H. D. (2015). Identifying trends in battery technologies with regard to electric mobility: Evidence from patenting activities along and across the battery value chain. *Journal of Cleaner Production*, 87(C), 800–810. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.034>
- International Electrotechnical Commission. (2011). IEC White Paper: Electrical Energy Storage Electrical Energy Storage. Em IEC White Paper: Electrical Energy Storage Electrical Energy Storage. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2009.12.007>

- IRENA. (2020). Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050. Em International Renewable Energy Agency.
- Lott, M. C., & Kim, S.-I. (2014). Technology Roadmap: Energy storage. Em Energy Technology Perspectives. [https://doi.org/10.1007/SpringerReference\\_7300](https://doi.org/10.1007/SpringerReference_7300)
- Stephan, A., Schmidt, T. S., Bening, C. R., & Hoffmann, V. H. (2017). The sectoral configuration of technological innovation systems: Patterns of knowledge development and diffusion in the lithium-ion battery technology in Japan. *Research Policy*, 46(4), 709–723. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.01.009>
- Van Noorden, R. (2014). The rechargeable revolution: A better battery. *Nature*, 507(7490), 26–28. <https://doi.org/10.1038/507026a>
- Wagner, R., Preschitschek, N., Passerini, S., Leker, J., & Winter, M. (2013). Current research trends and prospects among the various materials and designs used in lithium-based batteries. *Journal of Applied Electrochemistry*, Vol. 43, pp. 481–496. <https://doi.org/10.1007/s10800-013-0533-6>
- Xiao, Q., Li, B., Dai, F., Yang, L., & Cai, M. (2015). Application of Lithium-Ion Batteries in Vehicle Electrification. (December), 159–168. <https://doi.org/10.1201/b19061-9>
- Yoshio, M., Brodd, R. J., & Kozawa, A. (2009). Lithium-ion batteries: Science and technologies. Em *Lithium-Ion Batteries: Science and Technologies*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-34445-4>