

DIAGNÓSTICO DOS CENÁRIOS DE MANEJO AMBIENTAL DO USO E DISPOSIÇÃO FINAL DE BATERIAS DE LÍTIO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

CAROLINA PINEDA CASTRO¹
FLÁVIA L. CONSONI²

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo conhecer as principais estratégias ambientais de disposição final e técnicas de reciclagem para a reincorporação das baterias de íon-lítio utilizadas nos veículos elétricos (VEs), além da identificação das principais empresas envolvidas nos processos associados a produção e reciclagem destas baterias. O mercado de VE's apresenta um crescimento acentuado após 2010, com perspectivas que apontam para o adensamento crescente deste. A proliferação de negócios de mineração de lítio é uma atividade que acompanha esta tendência, considerando que este material tem sido o principal elemento empregado na produção de baterias. As principais estratégias ambientais por enquanto estão focadas na geração de baterias com maior densidade energética, e no uso de energias alternativas nos processos de desenvolvimento das baterias desde a extração de matérias primas até a distribuição. Por outro lado, ressalta-se o esforço dos produtores de bateria em gerar processos para a simplificação das técnicas de reciclagem e disposição final, primeiramente com foco na segunda vida de bateria e na sequência nos processos de reciclagem, estes ainda pouco explorados em função de segredos industriais. Considerando as perspectivas positivas de crescimento dos VE's, como resposta à redução das emissões de poluentes e mitigação das mudanças climáticas, é necessário conhecer as potencialidades e possibilidades de manejo ambiental das baterias a fim de promover estratégias ambientais sustentáveis e que possam ser suportadas por governo, por empresas e pelos usuários.

Palavras chaves: Veículo elétrico, estratégias ambientais, baterias íon-lítio, reciclagem, segunda vida da bateria.

¹ Mestranda, Universidade Estadual de Campinas, Brasil. E-mail: c207957@dac.unicamp.br

² Doutora, Universidade Estadual de Campinas, Brasil. E-mail: flavia@ige.unicamp.br

DIAGNOSIS OF THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SCENARIOS OF THE USE AND FINAL DISPOSAL OF LITHIUM BATTERIES FOR ELECTRIC VEHICLES

Abstract

This work aims to understand the main environmental strategies for final disposal and recycling techniques for the reincorporation of lithium-ion batteries used in electric vehicles (EVs), in addition to identifying the main companies involved in the processes associated with the production and recycling of these batteries. The EV market has grown sharply after 2010, with prospects with high growing. The proliferation of lithium mining businesses is an activity that follows this trend, considering that this material has been the main element used in the production of batteries. Actually environmental strategies are focused on the generation of batteries with higher energy density, and on the use of alternative energies in the battery development processes, from the extraction of raw materials to distribution. On the other hand, the efforts of battery producers to generate processes for the simplification of recycling techniques and final disposal are emphasized, first on the second battery life and on recycling processes, which are still little explored due to industrial secrets. Considering the growth prospects of EVs, as a response to reducing pollutant emissions and mitigating climate change, it is necessary to know the potential and possibilities of environmental management of batteries in order to promote sustainable environmental strategies that can be supported by government, companies and users.

Keywords: *Electric vehicle, environmental strategies, lithium-ion batteries, recycling, second battery life.*

1. INTRODUÇÃO

O consumo intensivo de bens e produtos tanto atende às necessidades diárias da sociedade como permite inovar e acelerar o surgimento dos mesmos. A face negativa deste processo se faz sentir na dimensão ambiental, agravado por um consumo excessivo que se apoia em ferramentas diversas de publicidade e *marketing* (Castro, Barros, & Veiga, 2013). Os impactos se refletem no uso demasiado de recursos naturais e na inadequada disposição final de resíduos perigosos.

No contexto desta discussão, o caso dos veículos de transporte que se utilizam do Motor a Combustão Interna (MCI) movidos por combustíveis fósseis se torna ilustrativo. Este artefato foi uma resposta à necessidade criada pelo homem para se deslocar com maior comodidade em termos de tempo, eficiência e conforto. Na atualidade, entretanto, há um movimento de se repensar as consequências ambientais decorrentes do uso dos veículos automotivos. A indústria automobilística mundial tem sido desafiada a desenvolver novas tecnologias que ampliem a eficiência energética dos veículos e no uso de materiais amigáveis com o meio ambiente. A redução na emissão de poluentes e o combate às mudanças climáticas são alguns dos desafios colocados pela sociedade e pelo poder público, e que impõem uma nova agenda de pesquisa.

É em meio a tais demandas que o Veículo Elétrico (VE)³ está ganhando espaço como alternativa para a mobilidade de baixa emissão, em oposição aos veículos com MCI dependentes de combustíveis fósseis (Bermudez & Consoni, 2016). Os veículos elétricos têm papel relevante e, apesar de historicamente não serem algo novo, podem ser classificados como uma evolução dos atuais modelos MCI, pois são energeticamente mais eficientes, tecnologicamente mais avançados, menos nocivos ao meio ambiente por serem zero ou baixa emissão, mais econômicos em termos de utilização e manutenção, e mais integráveis aos sistemas urbanos sob diversos aspectos (IEA, 2018; Consoni *et al* 2018, Velloso, 2010).

Ademais, os VEs tendem a exercer um importante papel no contexto da Agenda 2030, a qual coloca a necessidade dos países avançarem no alcance dos 17 Objetivos

³ Define-se veículo elétrico como aquele cuja propulsão de pelo menos uma de suas rodas ocorre por meio de um motor elétrico. Há três principais versões dos veículos elétricos: 100% movido a bateria; veículos híbridos plug-in, VE híbridos convencionais.

do Desenvolvimento Sustentável (ODS), e das 169 metas correlatas que tendem a orientar estas ações nos próximos 15 anos⁴. Para tanto, a promoção dos VEs deve contemplar uma abordagem mais ampla, de forma a abarcar incentivos ao seu desenvolvimento na dimensão da Pesquisa & Desenvolvimento (P&D), da consolidação de novas atividades produtivas atreladas a esta indústria, do uso de tecnologias de baixa e zero emissão; e no manejo adequado dos resíduos gerados por este veículo.

Tais ações de estímulo aos VE, se bem conduzidas, têm o potencial de atender a várias das metas associadas aos ODS. Destaques para o **Objetivo 8**, com a promoção do desenvolvimento econômico inclusivo e que prioriza a eficiência dos recursos globais no consumo e na produção, com proteção ambiental; do **Objetivo 9**, a partir da maior eficiência no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente corretos, além da possibilidade de fortalecer a pesquisa científica e as capacidades tecnológicas de setores industriais viabilizando as chances de adentrar nesta cadeia produtiva da mobilidade elétrica ainda em consolidação; do **Objetivo 11**, ao reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar e à gestão de resíduos; do **Objetivo 12**, com a geração consciente de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso, além do incentivo às empresas para que adotem práticas sustentáveis em seu ciclo produtivo; e do **Objetivo 13**, com ações de mitigação para as mudanças climáticas uma vez que os VE são zero emissão de poluentes. Também o **Objetivo 3**, que busca assegurar uma vida saudável, é um objetivo a ser alcançado com os VE pois, sendo zero emissão, conseguem reduzir a poluição do ar e as mortes e doenças associadas a este problema.

São diversas as possibilidades e potencialidades que os VEs revelam, em linha com as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental. Entretanto, para que o desenvolvimento dos VE seja considerado um processo limpo e menos nocivo ao meio ambiente, na comparação com os veículos dependentes de combustíveis fósseis, é necessário uma maior compreensão acerca do comportamento das baterias que equipam estes automóveis. Há ainda um desconhecimento acerca de qual seria a destinação da bateria no final da sua vida útil

⁴ Para maior detalhamento sobre os ODS, consultar: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>

após uso nos veículos. Falta ainda clareza sobre qual seria a melhor aplicação para a segunda vida, já que a bateria preserva no mínimo metade da sua carga de energia, o que poderia ser empregada em usos estacionários, por exemplo, gerando energia para iluminação. Também são pouco conclusivos os estudos sobre reciclagem das baterias, seja por que em condições normais de rodagem, ainda há um volume baixo de baterias para reciclagem; seja por que o processo de reciclagem nos remete à segredos industriais pois implica conhecer toda a química utilizada na produção da bateria.

É no contexto desta discussão que este artigo busca se inserir. O objetivo é conhecer as principais estratégias ambientais de disposição final e técnicas de reciclagem para a reincorporação das baterias de íon-lítio utilizadas nos veículos elétricos (VEs), buscando responder a duas questões de pesquisa: Quais são as empresas líderes no mercado de baterias de íon de lítio? Quais as alternativas para destinação correta das baterias de lítio usada em VEs?

Para responder a estas questões, o artigo se apoia no método descritivo, sendo estruturado a partir de fontes primárias e secundárias, e encontra-se organizado em torno de cinco seções, incluindo esta Introdução.

Na seção seguinte, o trabalho contextualiza o debate sobre VE, sua participação de mercado e a importância das baterias de lítio. Na sequência, a seção aborda o ciclo de vida da bateria, pontuando a relação com o meio ambiente. A seção quatro responde às questões de pesquisa sobre quem são as principais empresas que atuam na produção e reciclagem das baterias, e quais são as principais estratégias ambientais que buscam tornar o processo de produção, uso e descarte da bateria mais limpos e sustentáveis. Por fim, a seção cinco finaliza o artigo com considerações sobre a importância deste debate para impulsionar o crescimento dos VE's como uma tecnologia limpa e de baixa emissão.

2. OS VEÍCULOS ELÉTRICOS E AS BATERIAS DE ÍON-LÍTIO

Os VE não são uma novidade para a indústria automobilística tendo, na sua origem há mais de 100 anos, dominado o mercado e dividido a preferência do consumo com os MCI e os veículos a vapor. Ainda no início de 1900, entretanto, os

veículos com MCI passaram a ser hegemônicos no mercado. (Bermudez & Consoni, 2016)

O mercado para VE apenas voltou a ser expressivo a partir dos anos 2000, quando as vendas começaram a acumular volumes crescentes. No ano de 2017, por exemplo, foram comercializadas mais de 1 milhão de unidades de VE, considerando apenas as versões a bateria e híbrido *plug-in*, contribuindo com um estoque total que supera 3 milhões de unidades (IEA, 2018)

Com uma quota de mercado de 29%, a Noruega alcançou incontestavelmente a implantação mais bem-sucedida de carros elétricos em termos de participação de mercado, globalmente. Segue-se a Holanda, com uma quota de mercado de 6,4% do mercado de carros elétricos, e a Suécia, com 3,4%. China, França e Reino Unido apresentam percentuais de mercado de VE próximos de 1,5%. Em termos de volume de veículo, a China é de longe o maior mercado, respondendo por mais de 40% dos VE vendidos no mundo e mais do que o dobro da quantidade vendida nos Estados Unidos (IEA, 2017).

Essa tendência de crescimento dos VEs tem se mostrado rápida e contínua ao longo do tempo, reflexo direto dos avanços tecnológicos incorporados, em especial no caso das baterias. As baterias têm um papel chave no contexto da mobilidade elétrica por serem o elemento mais importante e de maior custo da cadeia de valor dos VE. Diferentemente do veículo com MCI, que depende dos combustíveis fósseis ou dos biocombustíveis para obter sua energia, nos VE a bateria ocupa este papel central. (Bermudez & Consoni, 2016)

As baterias de íon-lítio (LIBs) devem o seu desenvolvimento à telefonia móvel e o seu desenvolvimento é bastante recente, situado nos últimos 30 anos. Sua densidade de energia é de cerca de 115 Wh / kg, e não sofre o efeito de memória. As baterias de íons de lítio são usadas em telefones celulares, laptops, tocadores de MP3 e câmeras, e nos últimos anos, pasou a equipar os VE. As baterias apresentam duas funções principais: funciona como fontes portáteis de potência elétrica; armazena a energia suprida por uma fonte externa. Tais baterias são utilizadas tanto em VE como em fontes de emergência, como parte de um sistema de fornecimento de curta duração para demandas em pico e em conjunção com fontes renováveis de energia, como solar ou eólica. (Varela , Huguenin, Malta, & Torresi, 2002)

A bateria de um VE médio é de cerca de 30 kWh e são necessários 275 gramas para armazenar 1 kWh. Um VE médio, portanto, precisa de 8,25 quilos de lítio. Os parâmetros mais importantes de uma bateria para uso como fonte de propulsão de um VE são: seu preço unitário (€ / kWh), sua densidade de energia (kWh / kg), a velocidade de carga e descarga (que é limitada pela velocidade da reação eletroquímica) e o número de recargas que admitem. (Moreno, 2016)

As baterias são formadas por um catodo (+) e um anodo (-). O catodo é o maior determinante da energia, da segurança, da vida útil e do custo de uma bateria. É feito de um tipo de camadas, como óxido de lítio e cobalto (LiCoO₂). Assim, as principais diferenças entre as famílias de baterias residem nos catodos. Cada uma das combinações possíveis está associada a distintas vantagens e desvantagens em termos de segurança, rendimento, desempenho, custo e outros parâmetros. Os principais tipos de baterias lítio-íon para os cátodos abrangem⁵: Óxido de lítio-cobalto (LCO); Lítio-manganês spinel (LMO); Fosfato de ferro-lítio (LFP), Lítio-níquel-manganês-cobalto (NMC); Lítio-níquel-cobalto-alumínio (NCA). (IEA, 2018). Os anodos são feitos, usualmente, de grafite, uma forma de carbono puro, embora haja experiências utilizando outros materiais (LACHE, 2008). O eletrólito é uma solução não aquosa de sal de lítio. Uma membrana permeável, chamada de separador, desempenha um papel crítico entre os eletrodos positivos e negativos. Essa separação de carga é o que permite que a bateria possa gerar eletricidade utilizável. (Tinneland M. , 2013)

Nos Estados Unidos, a *Office of Energy Efficiency and Renewable Energy* (EERE) tem apoiado a pesquisa em estágio inicial visando reduzir o custo das baterias de VE e seu tempo de autonomia. A *Energy Information Administration* (EIA) projeta que as vendas de VE de baterias leves dos Estados Unidos atingirão 1,4 milhão até 2030 e outras projetam um crescimento de vendas ainda maior. Espera-se que as vendas globais de VE cheguem a 30 milhões até 2030, ante 1,1 milhão em 2017 (DOE, 2019). Vale destacar que países estão se comprometendo com prazos para o fim da comercialização dos veículos com MCI, gasolina e diesel, o que pode abrir espaço para este veículo de baixa emissão; Noruega anunciou para 2025 o fim da

⁵ Segundo a (IEA, 2017), é possível classificar as baterias de lítio-íon em três principais famílias: baterias de lítio-íon convencionais; baterias de lítio-íon avançadas, que utilizam anodos intermetálicos; e tecnologias que vão além do lítio-íon, por exemplo metal de lítio, sulfuro de lítio e lítio-ar.

comercialização destes veículos; França e Reino, até 2040; China, Índia e Alemanha também já manifestaram interesse semelhante, ainda sem fixarem datas.

3. O LÍTIO: DA EXTRAÇÃO À DISPOSIÇÃO FINAL

O lítio é um dos principais componentes empregados em baterias, que equipam tanto os celulares como os VEs. A viabilidade de seu uso depende de processos que ocorrem à jusante e à montante. Uma melhor compreensão sobre este processo é necessária para orientar esforços de desenvolvimento a fim de identificar a aplicação de técnicas de produção mais limpa e amigável em termos ambientais. Trata-se aqui de considerar a análise do ciclo de vida (ACV) da bateria de lítio, que se inicia na exploração, passando pela produção, uso, descarte e reciclagem final.

Considere que o lítio é um elemento moderadamente abundante e está presente na casca terrestre em 65 partes por milhão (ppm). Está espalhado em certas rochas, mas nunca livre dada a sua grande reatividade, e presente em rochas vulcânicas e sais naturais, como no lago salgado de Chabyer no Tibete, no Salar de Atacama no Chile e no Salar de Uyuni, na Bolívia.

No chamado triângulo de lítio que inclui Chile, Argentina e Bolívia, o material é encontrado em salmoura sob as salinas do deserto. A salmoura é bombeada e deixada evaporar em grandes lagoas durante vários meses e depois refinada em carbonato de lítio bruto que é misturado com outros materiais para construir um cátodo de bateria. (The financials times , 2007)

A demanda anual por lítio no mercado global chegou a cerca de 40 mil toneladas em 2017, com um crescimento anual por lítio de 10% desde 2015, entre 2015 e 2018; neste período, o preço do metal quase triplicou.

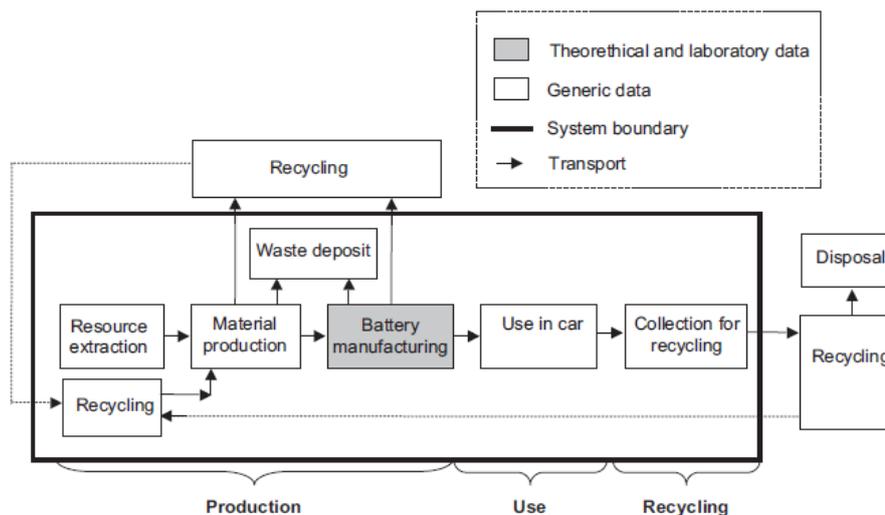
Segundo (Eftekhari, 2019) o aumento do preço do lítio levantou a preocupação de que as reservas não seriam suficientes para o crescente mercado de LIBs do qual a indústria de VE depende; afinal, cerca de 39% do lítio é consumido no setor de baterias. Por outro lado, Eftekhari (2019) argumenta que a Bolívia, país com a maior reserva de lítio no mundo, ainda pouco explorada em função de questões políticas, insiste em manter a exploração nacionalizada. Os planos deste país é que ele possa vir a explorar o lítio de forma independente, avançando na cadeia produtiva a ponto de produzir LIB internamente. Somente em 2018, a Bolívia encontrou um parceiro

internacional, a alemã ACI Systems Germania, que se comprometeu a investir 1,3 bilhão de dólares em tecnologia adequada, em troca de uma participação de 49% no negócio. (Draper, 2019). A Argentina, por sua vez, tem adotado direção oposta; até 2015, a indústria de lítio avançou para maior nacionalização, mas sinalizações recentes têm apontado para maior colaboração internacional. Com isso, a Argentina tem expandido sua exploração e está utilizando a motivação de aumentar o preço do lítio.

Na sequencia, é necessário considerar as etapas de uso e reciclagem, em que importa observar diferentes características como o peso da bateria e sua eficiência energética, conforme estudo conduzido por Zackrisson, Avellán, & Orlenius (2010), conforme figura 1. Nesse estudo, resultados apontaram que a bateria de íon-lítio para um veículo elétrico híbrido tem a capacidade de suportar 3.000 ciclos de cargas, com uma descarga máxima de 80%, que dá aproximadamente uma vida útil de 200.000 Km. Além disso, os autores avaliaram fatores de produção como o uso de água como solvente ao invés do uso de NMP (dissolvente aquoso de polímeros) na produção de anodos e catodos, evidenciando um impacto maior por parte do NMP em termos ambientais na etapa de manufatura.

Figura 1. Sistema e componentes da avaliação do ciclo de vida de uma bateria de íon-lítio para um veículo elétrico híbrido.

M. Zackrisson et al. / Journal of Cleaner Production 18 (2010) 1519–1529



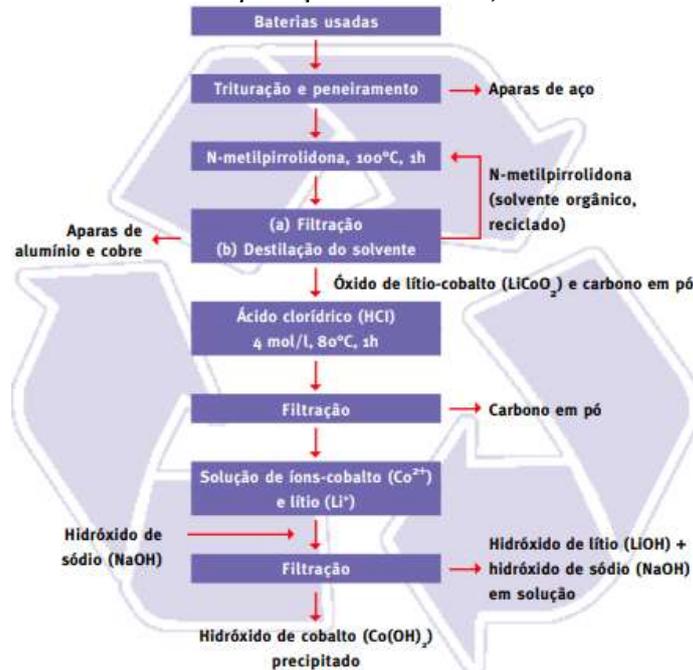
Fonte: Zackrisson, Avellán, & Orlenius (2010)

O processo de reciclagem é um fator importante para uma avaliação da ACV completa. Segundo (Manzetti & Mariasiu, 2015) as atuais tecnologias usadas para construir VEs (e também baterias) são complexas, levando em consideração o comprimento e a estrutura da cadeia de produção. A abordagem de ACV permite fazer esta avaliação, do impacto ambiental, devido à relação entre fatores de insumos (recursos primários, energia e materiais) e fatores de saída (emissões, resíduos).

Ademais, vale considerar que a reciclagem de uma bateria primária de lítio apresenta riscos em função da possibilidade de fogo e explosão devido ao lítio e ao solvente não aquoso. Tentativas de abri-las podem expor as baterias à umidade do ar, provocando reações violentas. Na etapa crítica de abertura mecânica da pilha (trituração, moagem), os processos empregam o elemento químico argônio na forma líquida ou fornos com alta taxa de ventilação. Do ponto de vista ecológico, as baterias têm sido desenhadas a cada dia para ser recicladas de forma mais fácil, observando como principal procedimento e recuperação de elementos de baterias como, lítio, cobalto e carbono, através de diferentes processos de recuperação dos componentes como é mostrado na figura 2.

Atualmente, os elementos de lítio e terras raras são destinados à escória (como resultado do processo de neutralização por fusão térmica do resíduo), e utilizado como agregado em canteiros e pavimentos. A recuperação de elementos de terras raras da bateria pode ser feita por diferentes tecnologias (processo de lixiviação), mas ainda não há incentivo econômico para esses processos. (Manzetti & Mariasiu, 2015)

Figura 2. Fluxograma básico de recuperação do cobalto, carbono e lítio de baterias usadas.



Fonte: Afonso et al., 2004

4 ESTRATÉGIAS AMBIENTAIS E EMPRESAS LÍDERES NO SEGMENTO DAS BATERIAS LÍTIO

Com respeito às estratégias ambientais, há diversas tendências que apontam para possíveis reduções de emissões e da poluição ambiental na produção de baterias em cenários futuros, ou do prolongamento da vida útil da bateria, com opções que incluem: (a) a descarbonização da grade, com melhorias na utilização de fontes energéticas sustentáveis no processo de produção das mesmas; (b) a segunda vida da bateria; e (c) a reciclagem da bateria.

No caso de **descarbonização da grade**, a eletricidade usada no processo de fabricação de baterias é responsável por aproximadamente metade das emissões relacionadas à produção de baterias. Portanto, o aumento do uso de energia renovável e usinas de energia mais eficientes, tende a resultar em eletricidade mais limpa nas fábricas, elemento que reduz as emissões atribuíveis à fabricação de baterias. O tipo de química da bateria analisada também faz diferença, pois algumas químicas têm maiores concentrações de metais intensivos em energia. Segundo (Manzetti & Mariasiu, 2015), a química verde e a geração de eletricidade verde representam uma avenida de energia portátil, bem como sistemas de

alimentação de veículos elétricos, sendo que um sistema de bateria depende da magnitude dos potenciais redutivos dos compostos iônicos inerentes aos fluidos da bateria. Por esta razão, existe uma série de desafios na substituição dos métodos atuais e convencionais, que são fortemente focados no uso de metais de transição, com sistemas ecologicamente corretos. Metais de transição e compostos metálicos têm um potencial redutor muito maior do que compostos orgânicos (e átomos), e o principal elemento dos compostos orgânicos, como o carbono, oferece um baixo potencial em seu estado iônico, e prontamente forma covalente e ligações inseparáveis após a oxidação levando a produtos insolúveis a partir das reações de transferência de elétrons. O desenvolvimento da química verde para novas tecnologias de baterias, para reduzir a carga ambiental de procedimentos de reciclagem inconsistentes depende, portanto, da identificação de novos sistemas orgânicos que prontamente doam elétrons e não são reduzidos a formas insolúveis. Em um caso bem-sucedido de um composto orgânico aplicado em uma bateria, o intercâmbio de elétrons procede dos estados oxidado e reduzido do composto orgânico, gerando o potencial elétrico (e^-) na bateria orgânica, dependendo do conjunto de compostos.

A maioria das tecnologias emergentes de propriedades mais “verdes” depende ainda do uso de lítio, que no final das contas não são completamente sustentáveis. As baterias de lítio requerem o uso de um metal de transição, que é frequentemente Cobalto, como mencionado anteriormente (alternativamente Manganês ou Níquel). No entanto, o pivô das futuras tecnologias de baterias está na síntese de sistemas com propriedades recicláveis, ambientais e bioamigáveis e também com excelentes potenciais de geração de eletricidade. Tais sistemas só podem descansar na combinação de compostos orgânicos no anodo e compostos naturais que retiram elétrons nas posições do catodo, que criam um potencial reversível sem a perda da reatividade da reação química subjacente.

Em resumo, a fabricação de veículos elétricos requer mais energia e produz mais emissões do que a fabricação de um carro convencional por causa das baterias dos veículos elétricos. A produção de baterias de íons de lítio requer a extração e refinação de metais de terras raras, e consome muita energia devido ao alto calor e às condições estéreis envolvidas. Ademais, a maior parte das baterias de íons de lítio empregada em VE são produzidas no Japão e na Coréia do Sul, onde

aproximadamente 25% a 40% da geração de eletricidade depende do carvão. (Hall & Lutsey, 2018). Em função de uma diversidade de compromissos internacionais entre os países para controle das mudanças climáticas e redução da emissão de CO₂, espera-se que a intensidade de carbono da eletricidade caia mais de 30% até 2030 na maioria dos mercados que ainda têm combustão fóssil relativamente alta.

A estratégia que aborda a **segunda vida das baterias** oferece a oportunidade de reutilização em aplicações de armazenamento estacionário após a fase de uso no veículo. Isso, por sua vez, permite que o vestígio inicial de produção de bateria seja distribuído em outras aplicações. Trata-se de uma estratégia necessária se considerarmos que as baterias removidas dos veículos elétricos após sua primeira vida útil, ainda retém uma capacidade significativa, geralmente entre 75% a 80% de sua capacidade original, viabilizando sua posterior aplicação como uso estacionária. Estudo conduzido por (Neubauer, Wood, & Pesaran, 2015), com apoio do *Office of Vehicle Technologies* do Departamento de Energia dos EUA e do Laboratório Nacional de Energias Renováveis, indicou que a bateria, retirada de um VE, pode ainda ter uma vida útil de dez ou mais anos quando gerenciadas adequadamente. Neste papel, a perda da capacidade de uso automotivo tem um impacto muito maior sobre o valor do segundo uso do que o crescimento da resistência.

Ademais, as baterias de segunda vida possuem grande potencial para suportar a rede elétrica por anos após sua vida útil no VE, o que reduziria ainda mais as emissões atribuíveis a tais veículos. Mesmo quando os VEs utilizam baterias maiores para permitir viagens de longo alcance e maior autonomia, essa melhoria permitirá emissões mais baixas do ciclo de vida e aumentará ainda mais a vantagem do ciclo de vida dos carros elétricos em relação aos veículos com motor de combustão interna. (Neubauer, Wood, & Pesaran, 2015)

Quanto à questão da **reciclagem das baterias**, à medida que a indústria de VEs cresce, este processo tende a se tornar mais viável. A produção de materiais é responsável por aproximadamente metade das emissões de gases de efeito estufa provenientes da produção de baterias, e os materiais reciclados geralmente têm uma pegada de carbono menor que os mesmos materiais provenientes de fontes virgens. Uma redução líquida de 7% a 17% nas emissões do ciclo de vida da bateria, ou uma redução de 4% a 10% nas emissões de baterias por quilômetro, após contabilizar os aplicativos de segunda vida. No entanto, como alguns processos de reciclagem usam

substancialmente mais energia, o processo e a localização da reciclagem afetarão a economia total de emissões; e, por último, as melhoras na tecnologia das baterias e as técnicas de fabricação continuam melhorando à medida que as indústrias de veículos elétricos e de armazenamento estacionário forem ganhando mais volumes de produção (Hall & Lutsey, 2018). O uso de materiais reciclados e químicas de baterias com menor intensidade de carbono também podem reduzir as emissões na fase de fabricação.

4.1 Empresas líderes no Mercado

Não são muitas as empresas envolvidas com as estratégias ambientais para produção, tratamento e reciclagem das baterias; o fato de se tratar de um mercado recente e em fase de consolidação ajuda a explicar este cenário. Genericamente, as empresas com tal atuação podem ser classificadas em três grupos: empresas líderes no mercado em exploração de lítio (ACI Systems, Advantagem Lithium, Sociedad Química y Minera), produtoras de LIBs e VE (Tesla Panasonic, Sistemas A123, BYD, Jhonsons Controls) e empresas do ramo da reciclagem (Umicore). Destaque para a presença de empresas de origem europeia e asiática.

Dentre as empresas líderes no mercado em exploração de lítio, a ACI Systems Alemanha, empresa que em 2018 se comprometeu com exploração do lítio na Bolívia, desenvolve soluções para as indústrias fotovoltaica, automotiva e de baterias. Isso inclui aplicações para a fabricação de sistemas de baterias, sistemas de armazenamento de energia e geradores para eletro mobilidade (ACI Systems Germania, 2018). Os principais clientes desta empresa dentro do contexto da electromobilidade são BMW e Tesla. Já a Advantage Lithium mantém parceria com a Orocobre, um dos principais produtores de lítio da Argentina. (Advantage lithium, 2019). A Sociedad Química y Minera, por sua vez, é uma empresa chilena que atua na industria do Lítio. (Sociedad química y minera de Chile , 2018)

Já dentre as maiores empresas na fabricação de baterias de lítio no mundo, encontram-se: Tesla, Sistemas A123, tecnologia contemporânea AmpereX (BYD), e a Johnson Controls. A Tesla, por exemplo, tem se destacado na produção de baterias que possibilitam grande autonomia de rodagem. Nos últimos anos, a Tesla fez parceria com a Panasonic para construção da fábrica "Gigafactory", programada para

ser a maior fábrica de baterias do mundo, tendo sido projetada para promover o impulso de tornar acessível o mercado de carros elétricos. A Tesla Gigafactory 1, que passou a operar em 2013, já se tornou a maior fábrica de baterias do mundo, com uma capacidade de produção anual de mais de 20 GWh. (Lambert, 2018). A Tesla justifica seu investimento a fim de se preparar para o que ela imagina ser o início de uma "duplicação da produção global de baterias de íon-lítio a partir dos níveis atuais. (Narins, 2017)

Por outro lado, A123 Systems possui uma tecnologia especial de baterias de íons de lítio de fosfato chamada LiFePO₄ que oferece alta densidade de energia para melhorar o ciclo de vida da bateria. Já a chinesa BYD se destaca por ser uma das poucas montadoras com um departamento interno voltado à fabricação das baterias. Considere que a China é o maior mercado para os veículos elétricos, sendo a maioria deles alimentados por baterias de íons de lítio fabricadas pela Contemporary Amperex. Por último, mas não menos importante, a Johnson Controls é uma das maiores fabricantes de baterias de íons de lítio do mundo, respondendo pela produção de quase 35% das baterias de íon de lítio. A empresa oferece baterias de íons de lítio para automóveis de todas as classes, incluindo veículos de passageiros, veículos comerciais e veículos recreativos. (American chemical society, 2013)

Atualmente são poucas as empresas dedicadas a reciclagem de baterias de íon-lítio,; o foco maior tende a ser na produção e na melhoria de eficiência energética de LIBs. Deste os destaques nesta área, está a UMICORE, empresa europeia que se posiciona entre as principais fornecedoras de materiais essenciais para baterias recarregáveis utilizadas em eletrônica portátil e veículos elétricos.

4.2 Discussão

Veículos elétricos ainda têm um longo caminho a percorrer antes de atingir escalas de implantação capazes de afetar significativamente o desenvolvimento da demanda global de petróleo e as emissões de gases de efeito estufa (GEE); entretanto, relevam uma inserção crescente no mercado. Nos últimos anos a pesquisa, desenvolvimento e implantação e perspectivas de produção em massa estão levando a quedas rápidas de custo da bateria e aumentos na densidade de energia. Sinais de melhorias contínuas das tecnologias confirmam que esta tendência

continuará estreitando a lacuna de competitividade de custo entre os VEs e os veículos com MCI movidos a combustíveis fósseis. Projeções indicam que o estoque de veículos elétricos varie entre 9 milhões e 20 milhões até 2020 e entre 40 milhões e 70 milhões em 2025. (IEA, 2017)

As baterias de íon-lítio apresentam oportunidades para alimentar as aplicações de mobilidade na transição necessária para uma energia mais limpa. O estado da saúde da bateria é um determinante no desempenho do ciclo de vida de uma bateria de íons de lítio. O progresso impressionante feito nos últimos anos para melhorar o desempenho da bateria e reduzir os custos permitiu o uso de baterias de íons de lítio no setor automotivo, abrindo também oportunidades para novas melhorias, tais como: química da bateria, capacidade de armazenamento de energia, escala de fabricação e velocidades de carregamento. Essas soluções sugerem que as baterias de íons de lítio provavelmente continuarão sendo a tecnologia de escolha dos VEs na próxima década. (AhmadiSteven, et.al 2017)

Este artigo, ao identificar as principais estratégias ambientais no trato com a bateria (descarbonização da grade e melhoras na utilização de fontes energéticas sustentáveis, segunda vida da bateria e reciclagem), deixa em evidência espaços de atuação para a ação de governos e de empresas do segmento, para que possam avançar nas propostas para uma melhor disposição final das baterias.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As demandas pelo lítio, em especial em função de sua grande aplicação em baterias para veículos elétricos, mercado este em crescimento acentuado, tende a configurar um cenário para a adoção de estratégias ambientais e modelos de gestão que permitam a exploração e a conservação do mesmo. Ademais, é importante ressaltar a implementação de processos cada vez mais eficientes em termos de energia e uso de recursos, por meio da utilização de fontes de energia mais limpas ao longo do processo de extração, portanto melhorando indiretamente a eficiência energética na produção de baterias.

Por sua parte, os estudos a respeito das baterias íon-lítio para utilização no veículo elétrico revelam muitas possibilidades no mercado; entretanto, há problemas na implementação deste tipo de tecnologia, principalmente pelas barreiras

econômicas pois caracterizam-se por serem de alto custo. Destaque também para a quase completa ausência de políticas que permitam e facilitem a implementação de estratégias de manejo para o melhoramento da qualidade da vida das pessoas e da conservação ambiental.

As baterias de íon-lítio apresentam-se então fortemente em cenários futuros, sendo necessária a criação de estratégias de P&D para melhorar as capacidades energéticas e qualidade do produto, além do desenvolvimento de técnicas de produção mais limpa, criando produtos que possam ser aproveitados por meio de processos de reciclagem simples e eficientes. O aumento da adoção de VEs com iniciativas governamentais favoráveis, incluindo subsídios e reduções de impostos, na linha do que discutem Consoni et al (2018), estimulará a demanda por baterias de íons de lítio e, portanto, a necessidade de avaliação e aplicação de estratégias de manejo ambiental no ciclo de vida das baterias de íon-lítio

REFERÊNCIAS

- ACI Systems Germania. (2018). *ACI Systems Germania*. Fonte: <http://www.aci-systems.de/es/index.html>
- Advantage lithium. (2019). Fonte: <https://www.advantagelithium.com/>
- AEA. (2007). Hybrid Electric and Battery Electric Vehicles. Technology, Costs and Benefits. *AEA Energy & Environment*.
- AhmadiSteven, L., Young, S., Fowler, M., Fraser, R., & Achachlouei, M. A. (2017). A cascaded life cycle: reuse of electric vehicle lithium-ion battery packs in energy storage systems. *Int J Life Cycle Assess.*
- American chemical society. (2013). ¡Conductores, Enciendan sus motores electricos! *ChemMatters*. Fonte: <https://www.eletimes.com/top-10-lithium-ion-battery-manufacturers-in-the-world>
- Bermudez, T., & Consoni, F. (2016). Scientific and technological trends of lithium-ion batteries for electric vehicle: insights from the application of bibliometric and patent analysis. *Gerpisa*.
- Castro, R. H., Barros, C. D., & Veiga, G. S. (2013). Baterias automotivas: panorama da industria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos electricos podem transformar o mercado global. *BNDES*, 443-496.
- Cherico Wanger, T. (2011). The Lithium future—resources, recycling, and the environment. *POLICY PERSPECTIVE*.
- CIÊNCIA HOJE. (2004). Baterias de lítio: novo desafio para a reciclagem. *Ciência Hoje*, 75.
- Conner, M. (2009). PHEV on sale now at your local BYD auto dealer (in China, anyway).
- Consoni, F. e. (2018). *Estudo de Governança e Políticas Públicas para Veículos Elétricos. Elaborado pelo LEVE (Laboratório de Estudos do Veículo Elétrico)*. Brasília: PROMOB-e.
- Dinger, A. e. (2010). Batteries for electric cars: challenges, opportunities, and the outlook to 2020. *The Boston consulting group*, 18.
- DOE. (2019). Lithium-Ion Battery Recycling Prize Official Rules. *Department of Energy*. Estados Unidos.
- Draper, R. (2019). Acorrida do ouro branco. *National geographic Brasil*.
- Eftekhari, A. (2019). Lithium Batteries for Electric Vehicles: From Economy to Research Strategy. *ACS sustainable chemistry and engineering*.
- Hall, D., & Lutsey, N. (2018). Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions. *The international council on clean transportation*.
- IEA. (2017). Global EV outlook 2017.
- IEA. (2018). *Global EV Outlook 2018*. Fonte: http://www.oecd-ilibrary.org/energy/global-ev-outlook-2017_9789264278882-en
- JOSÉ, S. (2009). El futuro del automovil es electrico. *Técnica Industrial* 281, 10.
- LACHE, R. e. (2008). Electric cars: plugged in. Global Markets Research. *Deutsche Bank*.
- Lambert, F. (31 de julio de 2018). "Produção na Tesla está ganhando força", diz Panasonic, à medida que aumenta a produção de células de bateria na Gigafactory 1. Fonte: <https://electrek.co/2018/07/31/tesla-gigafactory-panasonic-battery-cell-production-model-3/>.

- Manzetti, S., & Mariasiu, F. (2015). Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems. *Elsevier*, 1004-1012.
- Moreno, F. M. (2016). Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual Y Retos. *European Scientific Journal*.
- Narins, T. (2017). The battery business: Lithium availability and the growth of the global electric car industry. *Elsevier*.
- Neubauer, J., Wood, E., & Pesaran, A. (2015). A Second Life for Electric Vehicle Batteries: Answering Questions on Battery Degradation and Value. *SAE International*.
- Ribeiro de Castro, B. H., & Toledo Ferreira, T. (2010). Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. *BNDES*, 267-310.
- Rotolo, D., Hicks, D., & Martin, B. (2015). What is an emerging technology? *Elsevier*.
- Sociedad química y minera de Chile. (2018). Fonte: <https://www.sqm.com/productos/litio-y-derivados/>
- The financial times. (2007). *Bolivia Makes First Shipment of Lithium to China*. Fonte: <https://www.ft.com/content/78be1902-645c-11e6-a08a-c7ac04ef00aa>.
- Tinnesand, M. (2013). *¡Conductores enciendan sus motores (eléctricos)!* Fonte: <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/resources/highschool/chemmatters/spanishtranslations/chemmatters-feb2013-cars-spanish.pdf>
- Umicore. (2018). *Umicore*. Fonte: <http://www.umicore.com.br/pt/>
- Varela, H., Huguenin, F., Malta, M., & Torresi, R. (2002). MATERIAIS PARA CÁTODOS DE BATERIAS SECUNDÁRIAS DE LÍTIO. *Quim. Nova*, 287-299.
- Velloso, J. (2010). Estratégia de Implantação do Carro Elétrico no Brasil. *Na Crise, Brasil, Desenvolvimento de uma Sociedade Ativa e Moderna*. Rio de Janeiro.
- Zackrisson, M., Avellán, L., & Orlenius, J. (2010). Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles - Critical issues. *Journal of Cleaner Production*, 1519-1529.