

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR/MG**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**GLÁUCIA KATIÚSCIA FERREIRA GUIMARÃES**

**INSERÇÃO DE CARROS ELÉTRICOS NO BRASIL:**  
**avaliação da demanda e reservas de lítio**

**FORMIGA-MG**  
**2017**

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR/MG  
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
GLÁUCIA KATIÚSCIA FERREIRA GUIMARÃES

INSERÇÃO DE CARROS ELÉTRICOS NO BRASIL:  
avaliação da demanda e reservas de lítio

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Química do Centro Universitário de Formiga UNIFOR/MG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Ms. Emerson Paulino dos Reis.

FORMIGA-MG

2017

G963      Guimarães. Gláucia Katiúscia Ferreira.  
            Inserção de carros elétricos no brasil: avaliação da demanda e  
reservas de lítio / Gláucia Katiúscia Ferreira Guimarães. – 2017.  
            61 f.

            Orientador: Emerson Paulino dos Reis.  
            Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química)-Centro  
Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2017.

1. Carro elétrico. 2. Bateria elétrica. 3. Lítio. I. Título.

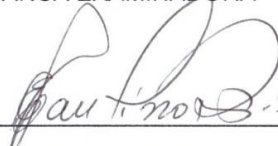
CDD 660

Glauca Kátiuscia Ferreira Guimarães

INSERÇÃO DE CARROS ELÉTRICOS NO BRASIL:  
avaliação da demanda e reservas de lítio

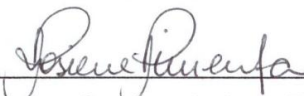
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Química do Centro Universitário de Formiga UNIFOR/MG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Ms. Emerson Paulino dos Reis  
Orientador



---

Profª. Rosiene Gonzaga de Jesus Pimenta  
UNIFOR-MG



---

Prof. Dr. Alex Magalhães de Almeida  
UNIFOR-MG

Formiga, 25 de Outubro de 2017.

## **AGRADECIMENTOS**

Chegou o momento de agradecer a todos que participaram comigo desta jornada. São inúmeras as pessoas que foram fundamentais e contribuíram para que tudo isso fosse possível.

Em primeiro lugar agradeço a Deus por me dar força e sabedoria para chegar até aqui. Agradeço a minha mãe Magda, minha irmã Lorena e meus avós Vanda e José Ferreira por nunca me deixarem desistir. Agradeço a meu namorado por todo apoio. Agradeço as minhas amigas Ana Carolina Rangel, Ana Carolina Pires, Tayane e Laura pelo apoio e momentos felizes.

Agradeço a meu orientador Emerson por todo suporte e contribuição na elaboração deste trabalho e a pesquisadora do CPqD Maria de Fátima Negreli Campos Rosolem pela disponibilidade em fornecer o material e informações necessárias.

## RESUMO

As preocupações com o aquecimento global estão cada vez mais na pauta de discussões de países do mundo inteiro, uma vez que isso coloca o destino do nosso planeta em risco. A principal concorrente do aquecimento global é a poluição causada pela fumaça dos motores à combustão e, por isso, a indústria de automóvel está buscando se adequar às novas exigências do “politicamente correto”, ou seja, está buscando utilizar e aprimorar tecnologias alternativas, que aumentem a eficiência dos carros e reduzam a emissão de gases poluentes. Nesse cenário, os carros elétricos são considerados uma boa alternativa, porque a bateria elétrica traz vantagens bastante significativas em relação à convencional. Como a maioria das baterias elétricas utiliza o lítio como principal componente, é necessário conhecer mais profundamente detalhes pertinentes a esse elemento, como suas características e quantidade de reservas. Sendo assim, este estudo aborda o histórico do automóvel convencional desde sua criação até chegar ao carro elétrico, com sua trajetória tecnológica e sua inserção no mercado, dando atenção especial à bateria elétrica. Dessa forma, houve por bem tratar de temas paralelos ao tema principal, como a criação da bateria convencional e seu aprimoramento até chegar à bateria elétrica; as perspectivas de mercado para o carro elétrico; as reservas e a produção de lítio em alguns países e no Brasil, analisando a possibilidade da inserção do carro elétrico no mercado brasileiro através da do cálculo da estimativa de duração de consumo de lítio. Através das estimativas verificou-se uma duração de consumo de 13 anos. A respeito da tecnologia dos carros elétricos, sabe-se que ainda necessita da atenção de seus fabricantes para se adequar ao mercado.

**Palavras-chave:** Carro elétrico. Bateria elétrica. Lítio.

## ABSTRACT

Concerns about global warming are increasingly on the table of discussions in countries around the world, as this puts our planet's fate at risk. The main competitor of global warming is smoke pollution from combustion engines, and therefore the automotive industry is seeking to adapt to the new requirements of the "politically correct", it is seeking to use and improve alternative technologies, which increase the efficiency of cars and reduce the emission of polluting gases. In this scenario, electric cars are considered a good alternative, because the electric battery has significant advantages over conventional. As most batteries use lithium as the main component, it is necessary to know more deeply the details pertinent to this element, such as its characteristics, mode of extraction, quantity of reserves, etc. Thus, this study approaches the history of the conventional car from its creation until reaching the electric car, with its technological trajectory and its insertion in the market, giving special attention to the electric battery. In this way, it was good to deal with themes parallel to the main theme, such as the creation of the conventional battery and its improvement until reaching the electric battery; The market prospects for the electric car; The reserves and the production of lithium in some countries and in Brazil, analyzing the possibility of insertion of the electric car in the Brazilian market. Through the estimates it was verified a consumption in a period of 13 years. Regarding the technology of electric cars, it is known that it still needs the attention of its manufacturers to suit the market.

**Keywords:** Electric car. Electric battery. Lithium.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 – Histórico da venda de híbridos no mercado norte-americano.....	20
Figura 1 – Principais componentes de uma bateria .....	25
Figura 2 – Energia específica de diversos de tipos de armazenamento .....	28
Figura 3 – Demonstração do ciclo de uma bateria .....	29
Quadro 1 – Vantagens e desvantagens da bateria de chumbo-ácido.....	31
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens da bateria de níquel-hidreto-metálico.....	32
Quadro 3 – Vantagens e desvantagens da bateria de Zebra .....	33
Quadro 4 – Vantagens e desvantagens da bateria zinco-ar.....	34
Quadro 5 – Vantagens e desvantagens da bateria de lítio.....	37
Figura 4 – Consumo setorial de lítio .....	42
Figura 5 – Crescimento da frota de automóveis nos anos de 2011 e 2012.....	46



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Reserva e produção mundial de lítio .....	43
Tabela 2 – Crescimento da frota de carros nas metrópoles .....	46
Tabela 3 – Produção de veículos no Brasil .....	47
Tabela 4 – Produção de veículos no mundo .....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C - antes de Cristo

Al - alumínio

CO<sub>2</sub> - dióxido de carbono

CBL - Companhia Brasileira de Lítio

EUA - Estados Unidos da América

Fe - ferro

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IPI - Imposto sobre produtos industrializados

ISO - International Standard Organization

Km/litro – kilometro por litro

KW/h - kilowatt por hora

LCO - lítio-íon-cobalto

LFP- fosfato ferroso de lítio

LMO - lítio-íon-manganês

LTO - lítio óxido de titânio

MIT - Instituto de Tecnologia de Massachusetts

MCI - motor de combustão interna

Mtep - mega tonelada equivalente de petróleo

NaCl - cloreto de sódio

NaAlCl<sub>4</sub> - cromato de sódio alumínio

Ni - níquel

NiCd - níquel-cádmio

NiMH- níquel-hidreto-metálico

PIB - Produto Interno Bruto

PL – Projeto de Lei

Tep - tonelada equivalente de petróleo

TWh - tera Watt-hora

V - Volt

W/Kg - Watt por kilograma

Wh/Kg - Watt hora por kilograma

% - Porcento

DCL - Duração do consumo de lítio  
PVB - Produção de veículos no Brasil  
CL - Consumo de lítio  
RL - Reservas de lítio  
PTB - Peso total de uma bateria  
QLC - Quantidade de lítio por carro  
NC - Número de células  
CLA - Consumo de lítio por ano

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
<b>3 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>16</b>
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1 Breve histórico do automóvel convencional .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2 Breve histórico do veículo elétrico .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2.1 Tipos de carros elétricos .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.1.1 À bateria .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.1.2 Híbridos.....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.1.3 Híbridos recarregáveis.....</b>	<b>23</b>
<b>4.3 Descrição de uma bateria .....</b>	<b>23</b>
<b>4.3.1 Principais componentes de uma bateria .....</b>	<b>24</b>
<b>4.3.2 Tipos de bateria .....</b>	<b>25</b>
<b>4.3.3 Principais requisitos de uma bateria .....</b>	<b>26</b>
<b>4.3.4 Análise do ciclo de vida de uma bateria.....</b>	<b>29</b>
<b>4.4 Baterias para carros elétricos .....</b>	<b>30</b>
<b>4.4.1 Bateria de chumbo-ácido.....</b>	<b>30</b>
<b>4.4.2 Bateria de níquel-hidreto-metálico (NiMH) .....</b>	<b>31</b>
<b>4.4.3 Bateria Zebra (<i>Zero Emission Batteries Research Activity</i>) .....</b>	<b>32</b>
<b>4.4.4 Bateria Zinco-ar .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4.5 Bateria de Lítio.....</b>	<b>34</b>
<b>4.4.5.1 Bateria de lítio-íon-cobalto (LCO) .....</b>	<b>37</b>
<b>4.4.5.2 Bateria de lítio-íon-manganês (LMO) .....</b>	<b>38</b>
<b>4.4.5.3 Bateria de fosfato ferroso de lítio (LFP) .....</b>	<b>39</b>
<b>4.4.5.4 Bateria de nanofosfato.....</b>	<b>39</b>
<b>4.4.5.5 Bateria de lítio-íon óxido de titânio (LTO) .....</b>	<b>40</b>
<b>4.4.5.6 Bateria de lítio-polímero .....</b>	<b>40</b>
<b>4.5 Breve relato sobre o lítio .....</b>	<b>41</b>
<b>4.6 Breve relato sobre a matriz energética brasileira.....</b>	<b>44</b>
<b>4.7 As políticas públicas de incentivo à inserção do carro elétrico no Brasil ...</b>	<b>44</b>

<b>4.8 A frota de automóveis no Brasil e sua evolução .....</b>	<b>45</b>
<b>5 METODOLOGIA .....</b>	<b>49</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>52</b>
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>8 PROPOSTA DE SUGESTÃO PARA NOVOS TRABALHOS.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Inicialmente, o carro elétrico conquistou o mercado mundial por dois motivos bastante óbvios: porque é mais silencioso em relação ao convencional e tem movimentação suave. Entretanto, o motor à combustão interna apresentava alguns fatores determinantes, como a acessibilidade e a queda no preço do petróleo, dentre outros, que ocasionaram a queda na produção dos carros elétricos. Por esse e outros motivos, a trajetória dos carros elétricos é marcada por períodos de ascensão e de estagnação/queda. Durante os séculos XIX e XX, época em que ocorreu a segunda fase da Revolução Industrial, os combustíveis fósseis derivados do petróleo tornaram-se a principal fonte de energia utilizada em veículos automotores. Com base nisso, foram alinhados os principais fatores de produção dos carros convencionais, quais sejam, o setor da exploração e refino de petróleo, de produtos químicos e de automóveis. Após anos de domínio dos veículos à combustão interna, a produção de carros elétricos foi retomada graças ao desenvolvimento tecnológico dos motores elétricos, à crise do petróleo – entre 1970 e 1980 – e às preocupações com os danos ambientais (DIMITRI,<sup>1</sup> 2007 *apud* NYBROE, 2015). Hoyer<sup>2</sup> (2007 *apud* Baran; Legey, 2010) relata que, embora a inserção dos carros elétricos tenha sido bastante intensificada entre 1880 e 1900 e as redes de estação de carregamento tenham sido estabelecidas, essa estrutura não foi suficiente para competir com o desenvolvimento dos postos de gasolina.

De acordo com Castro e Ferreira (2011), os carros elétricos são divididos em três categorias: os híbridos, os híbridos recarregáveis e à bateria, sendo que as baterias à base de lítio são as mais utilizadas, por causa de suas características que favorecem um bom desempenho. Mendes (2009) descreve que o lítio é o principal mineral de produção das baterias elétricas e que as principais reservas desse minério no mundo estão localizadas na Bolívia e no Chile, e que a produção de lítio no Brasil representa apenas 1% da produção mundial. Atualmente, o Brasil está entre os 10 maiores consumidores de energia do mundo: o consumo energético do país cresceu na média de 3,1%, enquanto o crescimento anual médio do Produto

---

<sup>1</sup> DIMITRI, E. A. Fueling the automobile: an economic exploration of early adoption of gasoline over ethanol. *Journal of Agricultural and food chemistry*. v. 5, n. 2, p. 1-21, 2007.

<sup>2</sup> HOYER, K. G. *The History of Alternative Fuels in Transportation: The Case of electric and Hybrid Cars*. Utilities Policy. S/l: Elsevier, 2008.

Interno Bruto (PIB) cresceu 3,8%, no biênio 2014-2015. Em 2015, a participação de energias renováveis na matriz energética brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo, com pequeno crescimento principalmente por causa da queda da oferta interna de petróleo e derivados, que ficou estabelecida em 7,2%, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (BRASIL, 2016), lembrando que a participação de 41,2% da energia renovável na matriz energética brasileira é muito maior que a média mundial, que é de 13,5% (IEA, 2016).

Diante disso, este estudo apresenta as principais características das baterias elétricas, porque são as mais utilizadas nos carros elétricos, além de fazer uma abordagem ao ciclo de vida e a outros aspectos relacionados às baterias de íon-lítio, dentre outros temas importantes ao entendimento do texto, com o objetivo de avaliar a possibilidade da substituição dos carros de combustão interna por carros elétricos no Brasil.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Levando em consideração o panorama traçado no tocante ao carro elétrico, esta pesquisa tem como objetivo geral fazer uma análise da inserção do carro elétrico no mercado brasileiro através da substituição dos automóveis convencionais por automóveis elétricos..

### **2.2 Objetivos específicos**

A partir do direcionamento traçado, foram definidos estes objetivos específicos:

- Descrever sobre os tipos de bateria elétrica disponibilizadas no mercado;
- Mostrar vantagens e desvantagens de cada tipo de bateria apresentada;
- Analisar a viabilidade da inserção do carro elétrico no Brasil através da demanda de automóveis e as reservas de lítio;



### 3 JUSTIFICATIVA

O motor à combustão interna vem sendo utilizado para o funcionamento dos veículos desde tempos remotos. Contudo, o mercado de carros elétricos vem crescendo de forma mais acelerada nas últimas décadas, impulsionado pela preocupação com os danos provocados pela poluição ambiental provocada pelo carro convencional. No entanto, pelo fato de utilizar o lítio na constituição de sua bateria, a inserção do carro elétrico no mercado brasileiro precisa ser alvo de mais pesquisas, pois o lítio não é um mineral abundante na natureza. Assim, a justificativa para o desenvolvimento de uma pesquisa como a que se propõe aqui está no fato de como o carro elétrico é uma tecnologia alternativa promissora é interessante avaliar a possibilidade de inserção do carro elétrico e avaliar os impactos que seriam causados.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Breve histórico do automóvel convencional

Castro, D. (2012) descreve que os primeiros veículos datam de 1200 a.C, Período Neolítico, quando o homem teve a ideia de usar os animais domesticados para fazer o transporte das cargas. Com o tempo, veio a necessidade de locomoção para locais mais distantes e em um menor espaço de tempo, o que levou o homem a se empenhar na invenção e aprimoramento dos veículos.

### 4.2 Breve histórico do veículo elétrico

Segundo Baran (2012) há uma ligação entre a história das baterias e a dos carros. Em 1859, o belga Gastón Planté apresentou a primeira bateria utilizando chumbo e ácido que passou a ser utilizada em diversos veículos elétricos desenvolvidos a partir do início da década de 80, na França, nos Estados Unidos da América (EUA) e no Reino Unido. Em 1839, na Inglaterra, o escocês Robert Anderson construiu o primeiro veículo com motor elétrico. Três anos depois, ou seja, em 1842, Anderson e o inglês Thomas Davenport passaram a pesquisar juntos e o resultado foi um veículo elétrico cuja bateria não podia ser recarregável. Isso se tornou um fator limitante, pois a curta duração da bateria impedia a locomoção para destinos mais distantes.

Passados 40 anos da criação de Anderson e Davenport, o alemão Karl Benz, fundador da empresa alemã Mercedes-Benz, criou o primeiro carro a combustão interna. Em 1897, no auge da produção e comercialização dos carros elétricos, uma frota de taxis elétricos passou a circular em Londres e logo caiu no gosto dos usuários. É que esse tipo de veículo foi considerado uma boa opção para os deslocamentos urbanos curtos e também para eventos sociais, uma vez que não emitia fumaça e tampouco fazia barulho (NOCE, 2009).

Em 1903, havia cerca de quatro mil automóveis registrados na cidade de Nova York, sendo 53% a vapor, 27% a gasolina e 20% elétricos. Em 1912, quando a frota de carros elétricos naquela cidade atingiu o ápice de 30 mil unidades, a quantidade de automóveis a gasolina já era trinta vezes maior (BARAN; LEGEY, 2010).

Baran e Legey (2010) relatam que, em 1901, Thomas Edison – interessado em aumentar o potencial dos veículos – desenvolveu a bateria níquel-ferro, com capacidade de armazenamento 40% maior que a bateria de chumbo. Entretanto, a invenção de Edison apresentou custo de produção muito mais elevado que as demais. As baterias níquel-zinco e zinco-ar também foram desenvolvidas no final do século XIX, época em que a falta de capacidade de armazenamento das baterias automotivas era considerado o ponto fraco do carro elétrico. Assim, na virada do século XIX, as tecnologias de propulsão concorriam no mercado de automóveis, que passou a disponibilizar carro elétrico, a vapor e a gasolina.

Lá pelo final do século XIX e início do século XX, o desenvolvimento de duas tecnologias foi relevante para aprimorar o desempenho dos carros elétricos: a frenagem regenerativa – que transformava a energia cinética do carro em energia elétrica – e o sistema híbrido – que funcionava a gasolina e a eletricidade. Os primeiros automóveis híbridos tinham dois objetivos principais: compensar a baixa eficiência das baterias dos veículos puramente elétricos e colaborar para a otimização da precária estrutura de distribuição de energia elétrica das cidades, naquele início de século. As estradas do interior eram mais precárias que as cidades, pois não possuíam infraestrutura elétrica, nem gasolina acessível Baran (2012).

Ainda de acordo com Baran (2012), a rede de distribuição de gasolina se expandiu graças à eficiência do motor à combustão interna, que apresentou mais eficiência em termos de Km/litro de combustível e pela facilidade de distribuição de combustíveis líquidos. A partir dos anos 1930, a produção dos veículos elétricos foi reduzida a escala cada vez menor, de forma que tais meios de transporte eram utilizados apenas em algumas cidades dos EUA e do Reino Unido, sendo que seu uso era restrito à coleta de lixo, a serviços de entregas e distribuição de leite nos domicílios. Entretanto, a produção de veículos elétricos teve picos de produção nesses dois países durante a Primeira e a Segunda Guerra Mundial, quando o racionamento de gasolina e de óleo diesel forçou a busca por fontes de energia alternativas ao petróleo. Fato observado também no Japão do pós-guerra, quando o carro elétrico tornou-se também bastante popular, por causa do racionamento de combustível. Todavia, na década de 1950, a produção perdeu força mediante o fim do racionamento (BARAN; LEGEY, 2010)

A partir de então, a trajetória dos carros elétricos despencou, segundo DOE (2009<sup>3</sup> *apud* BARAN; LEGEY, 2010), principalmente porque:

- O sistema de produção de automóveis em série, desenvolvido por Henry Ford, fez com que o preço final dos carros a gasolina fosse a metade do preço dos elétricos;
- A invenção da partida elétrica, em 1902, eliminou a manivela utilizada para acionar o motor dos veículos a gasolina;
- A expansão das rodovias nos EUA, nos 1920, interligando cidades distantes consideravelmente umas das outras, apontou a demanda de veículos capazes de percorrer longas distâncias;
- A descoberta de petróleo no Texas reduziu o preço da gasolina e a tornou atrativa para o setor de transportes.

Segundo Baran (2012), passada a década de 1960, a opinião pública e as montadoras, engajadas em questões ambientais, voltaram as atenções para os carros elétricos, de forma que, nos anos 1970, a geração e o consumo energia passaram a levar em conta a questão ambiental. Nesse contexto, destacam-se três fatos relevantes que apontaram a necessidade de desenvolver alternativas tecnológicas renováveis para geração de energia, quais sejam:

- A publicação do livro “Limites para o Crescimento”, pelo Clube de Roma, em 1972, propondo um limite à exploração dos recursos naturais não renováveis;
- A Crise do Petróleo, em 1973, causada pelo embargo dos países produtores, que resultou no racionamento de combustível em muitos países mundo a fora;
- A preocupação com o uso da energia nuclear, no que se refere à segurança operacional e à destinação dos dejetos radioativos.

Ainda de acordo com Baran (2012), no ano de 1976, o Senado dos EUA autorizou o lançamento de um programa voltado ao desenvolvimento de veículos elétricos e híbridos, mas esse programa nunca atingiu os objetivos esperados e foi

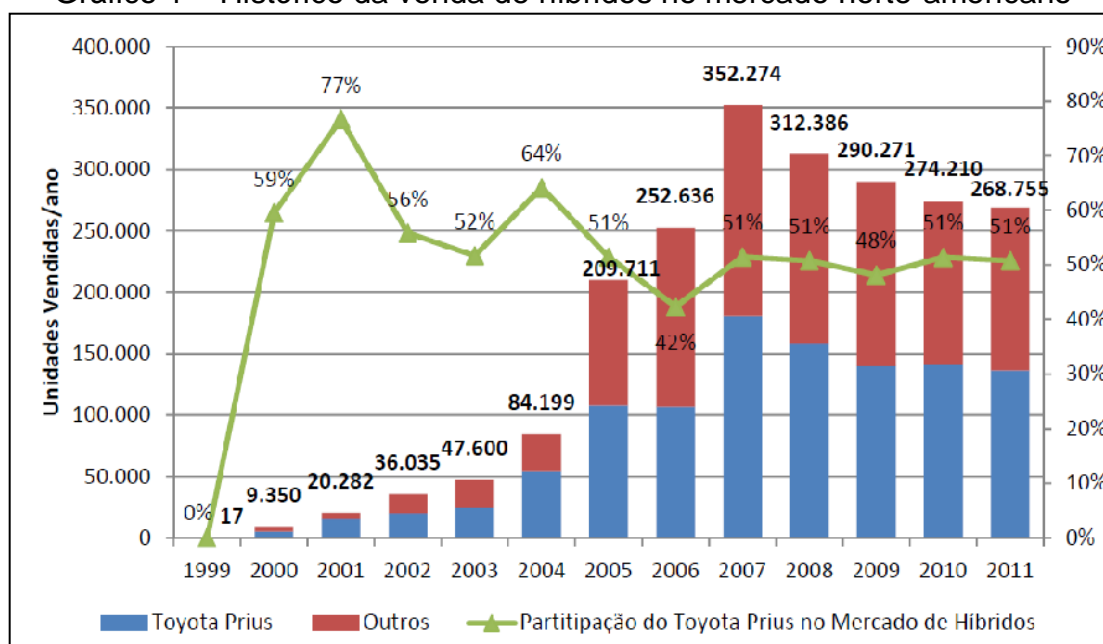
---

<sup>3</sup> EIA DOE. *Annual Energy Review*, 2009. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/contents.html>>.

encerrado por razões econômicas. No final dos anos de 1980, foi realizada uma nova tentativa de impulsionar o uso de veículos elétricos, com o objetivo de diminuir a poluição nas grandes cidades, uma vez que o conceito de desenvolvimento sustentável estava em alta. Com isso, os modelos de carros elétricos produzidos pelas montadoras Honda, Toyota e Ford foram conquistando mais espaço no mercado de automóveis, devido às políticas de incentivo criadas pelos países que aderiram à nova tecnologia. Como resultado, os híbridos tiveram a produção aumentada no mercado americano, dentre outros mercados automotivos.

A propósito, o GRAF. 1 retrata a evolução das vendas de híbridos nos EUA, desde seu lançamento no mercado, em 1999, até o ano de 2011.

Gráfico 1 – Histórico da venda de híbridos no mercado norte-americano



Fonte: U. S. Department of Energy Administration, 2012, apud BARAN, 2012, p. 17.

A respeito dos carros elétricos, Castro e Ferreira (2010) destacam três fatores que podem ser apontados como os principais responsáveis pelo crescente interesse por tais veículos: o desenvolvimento tecnológico, as questões relacionadas ao meio ambiente e a questão da segurança energética mundial.

- *Desenvolvimento Tecnológico*: o desenvolvimento das baterias que ocorreu com o rápido avanço dos setores de informática e telecomunicações na década de 1990. A mobilidade apontou a necessidade de redução de peso e o aumento da energia armazenada. Com a ampliação da densidade

energética, as novas baterias propiciaram mais autonomia ao veículo, estabelecendo a garantia de um dos principais atributos necessários aos meios de transporte;

- *Meio Ambiente*: o setor de transportes é responsável por grande parte das emissões de *CO2* que atualmente se mostram em níveis máximos. Sendo assim, o desenvolvimento tecnológico possibilita o desenvolvimento da eletrificação veicular em escala comercial como uma solução promissora;
- *Energia*: Intimamente ligada à questão ambiental, a temática energética é outra relevante indutora dos carros elétricos. O segmento automotivo absorve cerca de 77,3% da energia direcionada ao setor de transporte e é o principal alvo de ações visando ao rebalanceamento da matriz energética de uma economia. Todavia, a eletrificação do *powertrain*<sup>4</sup> apresenta uma vantagem adicional. A multiplicidade de fontes geradoras de energia elétrica possibilita a formatação de uma estratégia mais adequada à dotação de fatores naturais e aos anseios políticos, permitindo, dentre outras, a constituição de uma matriz energética menos prejudicial ao meio ambiente.

Uma das principais vantagens dos automóveis elétricos está na redução da emissão de gás carbônico, um dos responsáveis pelo aquecimento global. Outra grande vantagem dos carros elétricos se refere ao menor desperdício de energia, uma vez que seu motor aproveita entre 90% a 95% da energia, enquanto no motor de combustão, apenas 30% do combustível é realmente aproveitado, enquanto o resto é descartado na forma de calor. Os veículos elétricos, também conhecidos como carros "verdes", foram criados em 1997, no Japão. Atualmente, esses carros fazem muito sucesso no mercado e representam as maiores novidades das feiras do automóvel apresentadas em países do mundo todo (SATO, 2009).

---

<sup>4</sup> [...] *powertrain* ou *powerplant* de um motor consiste de tudo que entra em contato com o óleo. Isso inclui o bloco do motor e as cabeças, o conjunto de rotação (virabrequim, hastes e pistões), a árvore de cames, levantadores, molas balanceiros e válvulas, a corrente de distribuição e engrenagens de sincronismo e de todos os rolamentos. [...]. Disponível em: <<http://www.carro-carros.com/carros/cars-trucks-autos/other-autos/116790.html>>.

## 4.2.1 Tipos de carros elétricos

Sato (2009) destaca que existem basicamente os carros elétricos movidos exclusivamente por eletricidade, os híbridos convencionais, que misturam combustíveis tradicionais e eletricidade e os híbridos recarregáveis, lembrando que cada modelo apresenta características distintas, como se constata nas subseções a seguir:

### 4.2.1.1 À bateria

Conforme relata Castro (2015), no veículo elétrico, é utilizado um sistema puramente elétrico que substitui tanto o motor à combustão interna como também os vários sistemas de transmissão. As baterias recarregáveis são a principal fonte de energia necessária a esse tipo de veículo. Costa (2013, p. 3) cita que “o motor elétrico usa energia química armazenada em baterias recarregáveis, que depois é convertida em energia elétrica para alimentar um motor que fará a sua conversão em energia mecânica, possibilitando que o veículo se mova”.

### 4.2.1.2 Híbridos

O carro elétrico híbrido é definido por Costa (2013) da seguinte forma:

Veículo convencional equipado com motor de combustão interna (MCI) capaz de recuperar energia de baixa potência (recorrendo, por exemplo, a frenagem regenerativa) a fim de fazer funcionar alguns dispositivos do veículo (*start-stop*, por exemplo). Pode-se considerar o primeiro estágio do desenvolvimento do *powertrain* eletrificado (COSTA, 2013, p. 2).

Castro (2015) descreve que o híbrido convencional mescla dois tipos de motores para se locomover, quais sejam, um motor elétrico e um motor de combustão interna, que pode ser movido a gasolina ou álcool. Uma vantagem deste modelo de carro está no fato de que sua bateria possui maior capacidade de armazenamento, podendo ser recarregada quando conectada à rede de distribuição de energia elétrica.

Sato (2009, p. 3) relata que a maior parte dos automóveis elétricos disponibilizados “no mercado são híbridos, já que esse tipo de sistema tem preço e

tecnologias acessíveis, ao mesmo tempo em que permite uma economia de combustível de até 50%”. A respeito dos carros híbridos, essa autora esclarece que:

Os veículos híbridos funcionam com um motor de combustão convencional, alimentado por gasolina, mas que não serve para movimentar o veículo, apenas para carregar a bateria elétrica. Essa bateria também pode ser carregada de duas formas, sendo ligada diretamente na tomada ou se aproveitando da chamada frenagem regenerativa. Esse sistema entra em ação quando o veículo é freado, transformando a energia cinética em eletricidade, que vai direto para a bateria (SATO, 2009, p. 4).

Dentre as vantagens dos carros elétricos híbridos, Sousa (2014) destaca o fato de seus dispositivos elétricos continuarem funcionando mesmo que o motor a gasolina seja desligado devido a uma parada, encostamento ou um travamento e que, mesmo que o motor seja arrancado rapidamente, ele gera pouca poluição. Além disso, esse autor cita a vantagem de que a energia necessária à travagem e à desaceleração pode ser recuperada pelo motor elétrico.

#### **4.2.1.3 Híbridos recarregáveis**

Este tipo de carro elétrico utiliza uma bateria, um motor a combustão interna e um motor elétrico. Tal qual a bateria do híbrido convencional, neste, a bateria também apresenta maior capacidade de armazenamento de energia e pode ser recarregada quando conectada à rede de distribuição de energia elétrica (CASTRO, 2015).

#### **4.3 Descrição de uma bateria**

Uma bateria é um acumulador que transforma energia química em energia elétrica e vice-versa, o processo que ocorre normalmente por meio de uma reação de oxirredução. A bateria tem um polo positivo e um negativo. O polo negativo é denominado ânodo e nele ocorre a oxidação. O polo positivo, por sua vez, é denominado cátodo, sendo que nele ocorre a redução. A energia elétrica é gerada com o trânsito dos elétrons do ânodo para o cátodo (CASTRO; BARROS; VEIGA, 2010). Segundo Batista (2011), este dispositivo é constituído por três componentes: dois eletrodos e um eletrólito. Eletrólito é uma substância ou material que contém



íons livres, o que, além de proporcionar uma elevada condutividade iônica, aumenta a resistividade elétrica da bateria.

No tocante à bateria usada em veículos elétricos, Sousa (2014) enfatiza que:

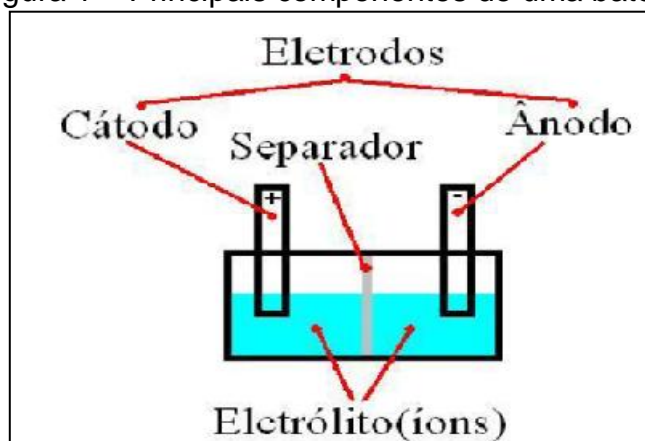
- Uma bateria é um dispositivo eletrônico;
- Uma bateria armazena energia;
- A bateria de um veículo elétrico é geralmente recarregável;
- No caso de veículos somente a gasolina ou gasóleo, a bateria do carro é usada para alimentar o motor de arranque, as luzes e o equipamento eletrônico (SOUSA, 2014, p. 18).

Cabe citar que Alessandro Volta foi quem construiu o primeiro protótipo de uma bateria, isto é, um equipamento capaz de produzir corrente elétrica continuamente. Isso ocorreu em 1799. O arranjo recebeu o nome de pilha voltaica e consistia em camadas alternadas de zinco, tecido molhado e prata. Esse invento de Volta foi considerado tão significativo ao desenvolvimento científico, que a Unidade de Tensão do Sistema Internacional é chamada “*Volt*”, em sua homenagem. Após a descoberta de Volta, vários processos de inovação e tentativas de novos projetos de baterias foram desenvolvidos pelos pesquisadores (ORRICO, 2013).

#### **4.3.1 Principais componentes de uma bateria**

Orrico (2013) descreve que o princípio básico de funcionamento de uma bateria é o processo da eletrólise, que consiste na transformação de energia elétrica em energia química e vice-versa, por meio de um processo não-espontâneo, em que ocorre a descarga de íons. As baterias são formadas por dois eletrodos, um positivo (cátodo) e o outro negativo (ânodo) que ficam parcialmente mergulhados em um eletrólito (solução aquosa de íons), sendo que entre eles há uma barreira impedindo que os eletrodos se toquem, mas que permite o fluxo de carga entre ambos, como mostra a FIG. 1.

Figura 1 – Principais componentes de uma bateria



Fonte: ORRICO, 2013, p. 3.

### 6.3.2 Tipos de bateria

De acordo com Orrico (2013), existem basicamente duas categorias de baterias: as *primárias* e as *secundárias*. As *baterias primárias* não podem ser recarregadas e são utilizadas de uma só vez. Assim, após o uso, devem ser devidamente descartadas (reciclagem). Dentre as vantagens, destaca-se o fato da autodescarga ser pequena, o baixo custo e a alta densidade energética. Já como desvantagem, destacam-se a baixa eficiência e o fato de produzirem mais resíduos que as demais baterias. Quanto às *baterias secundárias*, estas desenvolvem processo químico reversível, logo, são recarregáveis, ou seja, podem recuperar parte da sua capacidade energética. Sendo assim, a energia da bateria diminui de acordo com a quantidade de uso, até o momento em que se torna inutilizável. Dentre as vantagens das *baterias secundárias*, destaca-se que é a melhor categoria para aplicações que exigem alta potência e a disponibilidade de modelos ecologicamente corretos (não contêm metais pesados em sua composição). Além disso, é bom citar que, ainda que o seu custo inicial seja maior, o preço é compensado pelo baixo número de recargas necessárias.

Cabe mencionar que, de acordo com a forma de descarga, as baterias secundárias se classificam em *estacionárias* e *tracionárias*. As *baterias estacionárias* são projetadas para alimentar sistemas que necessitam de alta potência durante um curto intervalo de tempo. Estas baterias perdem a utilidade quando submetidas a ciclos profundos de descarga. As *baterias tracionárias* têm capacidade para fornecer uma corrente de energia estável durante um longo espaço de tempo e, embora

proporcionem aumento da potência, seu valor é inferior ao das baterias estacionárias. Além disso, *baterias tracionárias* podem suportar vários ciclos seguidos de descarga (NOCE, 2009).

Noce (2009) descreve que as baterias tracionárias se subdividem em *baterias de eletrólito livre* e *baterias de eletrólito retido*. As *baterias de eletrólito livre* também fazem parte do grupo das baterias secundárias, criando uma nova divisão, avaliada quanto ao tipo de eletrólito utilizado. A propósito, as baterias de chumbo-ácido são um exemplo de bateria de eletrólito livre, onde se tem o mesmo eletrólito inundando as placas de chumbo e os separadores de antimônio, lembrando que o eletrólito consiste em uma solução aquosa de ácido sulfúrico, o que limita a posição de trabalho. Com relação às *baterias de eletrólito retido*, sabe-se que o eletrólito fica retido no mesmo líquido, sendo um tecido ou em um gel. As baterias de níquel-hidreto-metálico e as baterias de lítio-íon e lítio-polímero são exemplos de baterias de eletrólito retido, elementos que propiciam seu uso em qualquer posição de trabalho.

#### 4.3.3 Principais requisitos de uma bateria

Existem alguns indicadores que demonstram a vantagem do carro elétrico sobre o carro convencional como, por exemplo, a eficiência, o volume das baterias, a quantidade de energia, o preço no mercado e a segurança para as pessoas que entram em contato com o veículo. Corrigan e Masias<sup>5</sup> (2011 *apud* MACHADO, 2015) enfatizam que é relevante observar determinadas características necessárias à bateria dos carros elétricos como, por exemplo, a *segurança*, o *ciclo de vida*, o *desempenho*, a *energia específica*, a *potência específica* e o *custo*. Esses autores consideram a *segurança* um dos principais aspectos a ser observado ao se escolher uma bateria, principalmente no que diz respeito à fuga térmica. Orrico (2013) explica que a fuga térmica ocorre porque nem toda energia fornecida pela bateria chega ao destino final, parte dela se perde em calor, em resistências e em circuitos de controle, dentre outras formas. Nesse caso, Corrigan e Masias (2011 *apud* MACHADO, 2015) recomendam a aquisição de baterias com circuitos de segurança

---

<sup>5</sup> Corrigan, Dennis A.; Masias, Alvaro. Batteries for electric and hybrid vehicles. *In*: REDDY, Thomas B. **Lynden's handbook of batteries**. 4 ed. Estados Unidos da América: Mc Graw Hill, 2011.

e invólucros robustos que trazem alguma segurança, mas não descartam a possibilidade de um acidente grave.

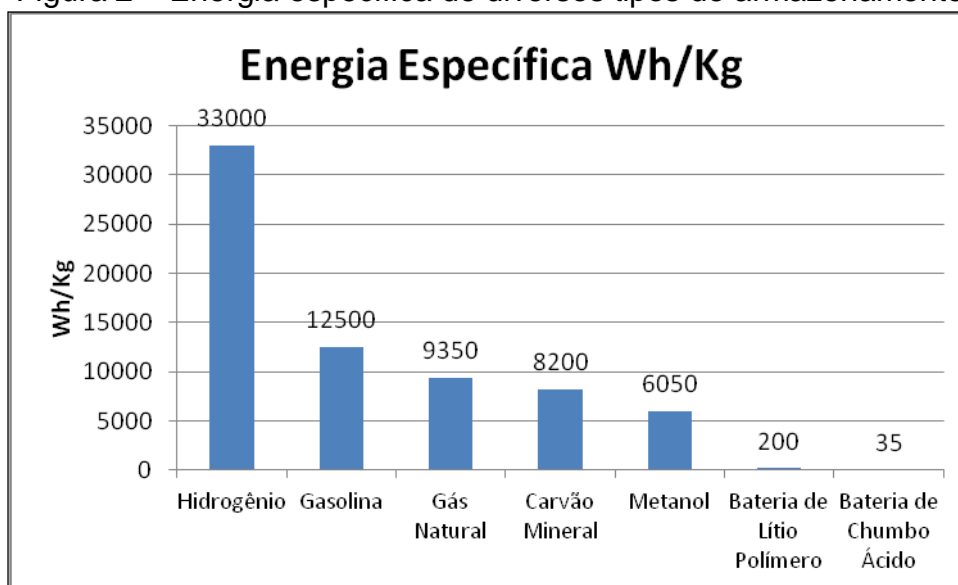
A observação do *ciclo de vida* da bateria é importante porque esse fator envolve a durabilidade ou envelhecimento da bateria. Atualmente, a medida para otimizar o ciclo de vida da bateria consiste em aumentar seu tamanho, o que estende sua duração para cerca de 10 anos. Relacionado às condições climáticas, o *desempenho* deve ser observado com critério, pois as baterias são bastante sensíveis tanto a temperaturas frias quanto quentes e isso significa que os veículos elétricos devem possuir algum controle de clima. Nesse sentido, a energia gerada mediante esse controle é responsável por alimentar o motor elétrico e está estreitamente relacionada ao desempenho do veículo. Portanto, quanto maior a eficiência, melhor será o desempenho do sistema e maior será a autonomia do carro (CORRIGAN; MASIAS, 2011 *apud* MACHADO, 2015).

Continuando com os autores supracitados, no que se refere à *energia específica*, esta é definida como a quantidade de energia que uma bateria pode ter em relação ao seu peso e, sendo assim, é preciso cautela ao escolher a bateria do carro elétrico, uma vez que o peso reflete diretamente na autonomia do veículo. No tocante ao peso da bateria, Husain<sup>6</sup> (2003 *apud* ALMEIDA JÚNIOR, 2014) destaca que, embora as baterias destinadas aos carros elétricos venham passando por aprimoramentos significativos, a energia específica ainda é baixa se comparada a outras formas de armazenamento de energia conhecidas, como se pode observar na FIG. 2.

---

<sup>6</sup>HUSAIN, I. ***Electric and hybrid vehicles: design fundamentals***. Boca Raton: CRC Press LCC. 270 p. 2003.

Figura 2 – Energia específica de diversos tipos de armazenamento

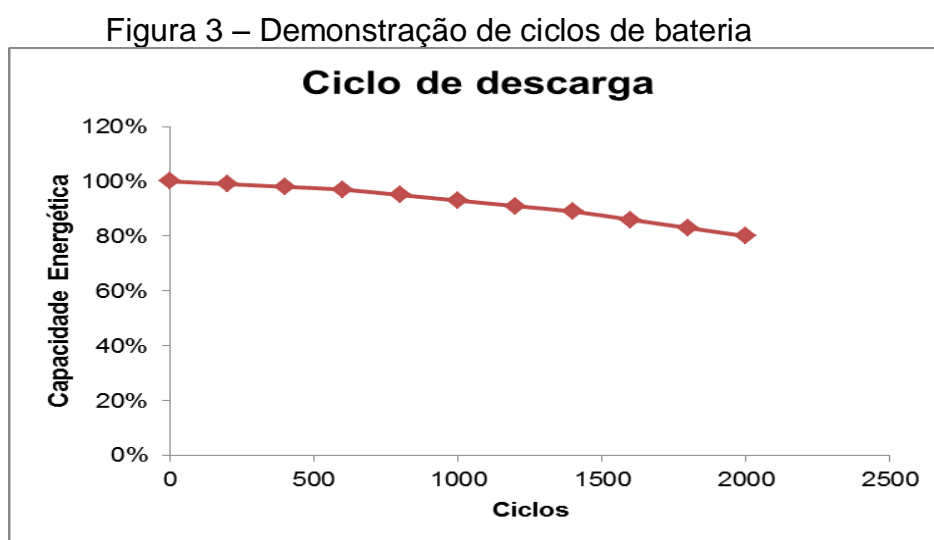


Fonte: NOCE, 2009, p. 41.

Ainda segundo as recomendações de Corrigan e Masias (2011 *apud* MACHADO, 2015), a *potência específica* da bateria deve ser observada porque mostra a capacidade que a bateria tem para transferir energia ao motor elétrico, durante as acelerações. Já a observação quanto ao quesito *custo*, esses autores recomendam atenção especial aos circuitos de proteção obrigatórios, que garantem segurança, o controle de temperatura, a longevidade dada à bateria (até 10 anos), o uso de materiais escassos ou uma lógica de controle avançado, pois tais itens são responsáveis pelo alto preço dos carros elétricos, quando comparado ao preço dos carros de combustão interna.

Com relação às observações no momento da aquisição de um veículo elétrico, Orrico (2013) enfatiza que é importante verificar a *profundidade de descarga*, a *densidade energética*, o *número de ciclos* e a *manutenção* da bateria. Verificar a *profundidade de descarga* é bom porque permite saber o percentual de energia comparado ao seu total, o que permite descarregar a bateria sem danificá-la, ou seja, sem necessidade de diminuir seus ciclos, por exemplo. Portanto, dimensionar sistemas que necessitam de menor quantidade da capacidade de energia pode ser uma boa forma de garantir a duração da bateria. Já a atenção com a *densidade energética* se justifica porque representa a quantidade de energia por unidade de volume, que envolve diretamente o processo químico e a forma como os componentes da bateria são acomodados.

Os cuidados com o *número de ciclos* da bateria, segundo Orrico (2013) se justifica porque envolve a quantidade de vezes que a bateria pode ser descarregada até atingir seu valor ideal de profundidade de descarga e ser recarregada antes que seja capacidade energética chegue a 80%. Lembrando que a capacidade de eletrólise da bateria diminui em proporção aos ciclos de descarga e recarga, isto é, quanto maior a necessidade de carga/recarga, menor será sua vida útil. Por conseguinte, saber a média dos ciclos utilizados é medida relevante, neste caso. A propósito, a FIG. 3 exemplifica o ciclo de uma bateria.



Fonte: ORRICO, 2013, p. 11

A atenção quanto à *manutenção* da bateria, de acordo com Orrico (2013), se deve ao fato de que a manutenção pode evitar problemas sérios com o banco de baterias, como desbalanceamento de capacidade entre as baterias, falhas do circuito de controle e de carga e mau contato nos conectores das baterias. Logo, a manutenção exige tratamento constante para garantir a eficiência do sistema de funcionamento.

#### 4.3.4 Análise do ciclo de vida de uma bateria

Almeida Júnior (2014) descreve que a avaliação do ciclo de vida da bateria teve início entre os anos de 1960 e 1980, época da primeira crise do petróleo, em que os estudos sobre novas fontes de energia e o aperfeiçoamento dos processos de consumo de recursos naturais esgotáveis se intensificaram. De acordo com a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC, 1993), a avaliação de

ciclo de vida de um produto deve englobar todo o processo ou atividade do mesmo, quais sejam: extração, processamento de matérias primas, fabricação, transporte e distribuição, uso, reemprego, manutenção, reciclagem, reutilização e disposição final. Segundo parâmetros estabelecidos pela ISO 14040, (BRASIL, 2006), a avaliação do ciclo de vida de um produto é definida por meio da compilação e avaliação das entradas e saídas e do impacto ambiental consequente ao ciclo de vida de tal produto. Nesse contexto, Baran (2012) cita que a análise do ciclo se inicia com a criação de um fluxograma do processo, especificando todos os fluxos de material e energia que entram ou saem do sistema.

#### **4.4 Baterias para carros elétricos**

As baterias apesar de não ser tecnologia recente, apresentam modelos que estão na fase de desenvolvimento, a seguir são apresentadas as principais baterias do mercado e suas características.

##### **4.4.1 Bateria de chumbo-ácido**

A primeira bateria recarregável capaz de acumular energia foi criada por Gastón Plate após aperfeiçoamentos na bateria criada por Volta. Em 1912, os modelos em escala comercial das baterias de chumbo-ácido começaram a ser utilizados para acionar o sistema de ignição de carros comerciais (ORRICO, 2013). Segundo Machado (2015), por causa das novas aplicações conferidas (sistema de armazenamento de emergência, veículos elétricos e híbridos e o fato de poder ser usada para a ignição e iluminação de carros a combustão), a bateria chumbo-ácido ocupa a maior fatia do mercado mundial de baterias, embora ainda precise ser submetida a inovações, a fim de diminuir/eliminar algumas desvantagens significativas (QUADRO 1).

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens da bateria de chumbo-ácido

Vantagens	Desvantagens
Bateria de baixo custo, com altas taxas de produção;	Baixo ciclo de vida, entre 50 a 500 ciclos;
Disponível em grandes quantidades e em uma variedade de tamanhos e modelos;	Densidade energética entre 30-40 Wh-kg;
Alta taxa de desempenho, adequada para sistemas de motor a combustão;	Armazenamento descarregado por longo prazo pode levar à sulfatação;
Bom desempenho em altas e baixas temperaturas;	Difícil de ser fabricada em tamanhos muito pequenos;
Possui uma eficiência de mais de 70%, comparando com a energia de carga e descarga;	Gera hidrogênio, em alguns modelos é necessário um sistema corta-chamas para evitar perigo de ignição;
Altas voltagens em circuito aberto;	Fugas térmicas durante o carregamento;
Boa retenção de carga;	Corrosão dos eletrodos.
Baixo custo em comparação com outras baterias secundárias.	
Componentes das baterias são facilmente reciclados.	

Fonte: SALKING; ZGURIS, 2011, *apud* MACHADO, 2015, p. 46.

#### 4.4.2 Bateria de níquel-hidreto-metálico (NiMH)

A bateria de níquel-hidreto-metálico, ou NiMH, apresenta a capacidade energética 40%. As pesquisas iniciadas a partir das baterias de níquel-hidrogênio, buscando uma forma de armazenar hidrogênio, acabaram por beneficiar as pesquisa da bateria de NiMH, que hoje ocupa uma larga fatia do mercado (ORRICO, 2013). Machado (2015) cita que a bateria de NiMH possui duas grandes vantagens sobre as de lítio-íon, quais sejam, segurança e preço, mas, por outro lado sua energia específica é menor que as de lítio-íon (QUADRO 2) . Por isso, para alguns



especialistas, as baterias de níquel-hidreto-metálico atendem como uma solução provisória para os sistemas de lítio-íon mais promissores.

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens da bateria de níquel-hidreto-metálico

Vantagens	Desvantagens
Capacidade entre 30% a 40% maior que a de NiCd padrão;	Vida útil limitada, as descargas profundas reduzem a vida útil;
Menos propensa para o efeito memória em comparação à de NiCd;	Requer um algoritmo complexo para a sua recarga;
Armazenamento e transporte simples;	Não absorve sobrecarga bem;
Contém apenas metais menos agressivos para o meio ambiente;	Gera calor durante a carga - rápida e descarga em alta descarga;
O teor de níquel torna a reciclagem rentável.	Alta autodescarga, aditivos químicos podem reduzir a autodescarga, em detrimento da capacidade;
	Tem perdas de desempenho e degrada o armazenamento em temperatura elevada, deve ser armazenada em local fresco e com cerca de 40% da carga.

Fonte: BATTERY UNIVERSITY, 2014; BRILL, 2011 *apud* MACHADO, 2015, p. 48.

#### 4.4.3 Bateria Zebra (*Zero Emission Batteries Research Activity*)

Orrico (2013) relata que a bateria Zebra é constituída de células que utilizam o sal fundido como eletrólito. Os primeiros modelos de baterias à base de sal foram produzidos no período da 2ª Guerra Mundial e, embora necessitasse de aperfeiçoamentos, teve boa aceitabilidade, visto que o sal de sódio é encontrado em abundância na natureza e sua composição não traz nenhum prejuízo ao meio ambiente. A bateria Zebra, ou de sódio ( $\text{NaNiCl}_2$ ) funciona a  $245^\circ\text{C}$  e utiliza cromato de sódio alumínio ( $\text{NaAlCl}_4$ ) como eletrólito. Seu ponto de fusão se dá aos  $157^\circ\text{C}$ . Sua principal desvantagem é a necessidade de aquecimento prévio (QUADRO 3).

QUADRO 3 – Vantagens e desvantagens da bateria Zebra

Vantagens	Desvantagens
Pode ser montada no estado descarregada, utilizando-se NaCl, Al, Ni e Fe em pó;	Necessita de aquecimento prévio de 270 <sup>o</sup> -350 <sup>o</sup> C;
O eletrodo positivo é composto principalmente por materiais em estado sólido, o que reduz o risco de corrosão, tornando a célula mais segura;	Mesmo com o isolamento especial, o aquecimento consome 14% da energia da bateria por dia;
Energia específica de 90 Wh/kg e potencia específica de 150 Wh/kg;	Possui falhas como curto circuito devido à corrosão e ao crescimento de dendritos nos eletrodos, o que levará ao aumento do processo de autodescarga;
Vida útil de mais de 5 anos ou 1.500 ciclos;	O tempo necessário para se aquecer as baterias até seu regime de operação é de 12h a 24h e isso impossibilita seu uso em operações não premeditadas;
Elevado potencial de redução que o sódio é capaz de proporcionar;	
Baixo custo;	A quantidade de fabricantes é bastante limitada, sendo que o principal encontra-se na Suíça.
Incrível resistência à sobredescarga e à sobrecarga.	

Fonte: MACHADO, 2015 (Adaptada pela autora).

#### 4.4.4 Bateria Zinco-ar

As baterias secundárias zinco-ar têm um eletrodo positivo gasoso de oxigênio e um eletrodo de sacrifício de zinco metálico (metal que, em contato com objeto de ferro, oxida-se no lugar dele, pois possui um potencial de oxidação maior). Na prática, a recarga da bateria zinco-ar é feita apenas por via mecânica, ou seja, pela troca do eletrodo sacrificado e seus resíduos por um eletrodo novo. Tanto o eletrodo sacrificado quanto seus resíduos são facilmente reciclados. Pode-se dizer que a bateria Zinco-ar é uma célula de combustível formado pelo zinco metálico (NOCE, 2009). O QUADRO 4 apresenta as principais vantagens e desvantagens deste tipo de bateria.

Quadro 4 – Vantagens e desvantagens da bateria Zinco-ar

Vantagens	Desvantagens
Preço;	Recarga mecânica;
Sustentabilidade (reciclagem);	Autodescarga;
Alta energia específica;	Fragilidade de operação em altas temperaturas.
Alta densidade energética.	Altas temperaturas e alta umidade;
	Baixo número de ciclos.

Fonte: ORRICO, 2013, adaptada pela autora, 2017.

#### 4.4.5 Baterias de lítio

De acordo com Machado (2015), a primeira experiência com o metal denominado lítio empregado na fabricação de uma bateria ocorreu no ano de 1912, sendo que o invento foi protagonizado por G. N. Lewis. Entretanto, as primeiras baterias de lítio foram disponibilizadas no mercado somente a partir da década de 1970, e ainda não recarregável. Na década de 1980, houve tentativas para criar baterias recarregáveis de lítio, entretanto nenhum sucesso foi obtido, devido à instabilidade do lítio metálico utilizado no ânodo, lembrando que o lítio é o metal mais leve que existe na natureza, possui o maior potencial eletroquímico e fornece a maior energia específica por peso.

As baterias recarregáveis, que utilizam o lítio como metal do ânodo (eletrodos negativos), têm como característica o alto fornecimento de densidade energética. Entretanto, na década de 1980, descobriu-se que essas baterias produziam substâncias indesejadas no ânodo, durante o recarregamento e que isso poderia causar curtos-circuitos, pois a temperatura se elevava rapidamente e, então, a célula próxima do ponto de fusão do lítio causava fuga térmica. O resultado foi que, devido à instabilidade do lítio, os pesquisadores substituíram-no por íon-lítio que, embora possua energia específica menor, confere mais segurança ao usuário (DAHAN; EHRLICH, 2001 *apud* MACHADO, 2015).

Husain (2003 *apud* ALMEIDA JÚNIOR, 2014) descreve que o lítio é o metal com maior potencial de redução (3,045 V) e com menor massa atômica (6,94 u), ao

que Noce (2009) acrescenta que esse elemento químico possui alta capacidade de armazenamento de energia, baixa toxicidade e não apresenta efeito memória<sup>7</sup>. As baterias de íon-lítio operam em temperaturas não muito distintas da temperatura ambiente e seu carregamento é feito em curto período de tempo. Nesse contexto, Orrico (2013) considera que a vasta diversidade de baterias baseadas em eletrodos positivos contendo lítio é a mais popular e promissora para aplicações portáteis e para modelos atuais de carros elétricos. As pesquisas mostram que é possível obter um grande número de composições para a fabricação de baterias: com valores diferentes de densidade energética, energia específica e vantagens e desvantagens de uso.

De acordo com Linden e Reddy (1995, p. 329), as principais características das baterias de lítio são: *alta voltagem, alta energia específica, alta densidade energética, operação em uma ampla faixa de temperatura, boa densidade de potência, características de descarga plena e prazo de validade superior.*

- *Alta voltagem:* dependendo do material do cátodo, as baterias de lítio podem apresentar voltagem maior que 4 V, enquanto outros sistemas de baterias primárias apresentam apenas 1,5 V, lembrando que a alta voltagem reduz o número de células na bateria.
- *Alta energia específica e densidade energética:* a energia de saída de uma bateria de lítio (entre 200 Wh/kg e 400 Wh/kg) é de duas a quatro vezes melhor que as baterias de zinco, por exemplo.
- *Operação em uma ampla faixa de temperatura:* há baterias de lítio que podem operar em uma faixa de temperatura de cerca de 70°C a -40°C, sendo que algumas são capazes de operar a 150°C.
- *Boa densidade de potência:* isso porque algumas baterias de lítio são projetadas para transmitir sua energia em alta corrente e em altos níveis de potência.

---

<sup>7</sup> Efeito memória é conhecido como “vício de bateria”. Ocorre em algumas baterias mais antigas, como as de níquel cádmio, enquanto em outros tipos não, como é o caso das de lítio-íon. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/notebook/2827-baterias-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-elas.html>>.

- *Características de descarga plena:* uma curva de descarga plana apresenta uma tensão constante e resistência através da maior parte da descarga, fenômeno comum a muitas baterias de lítio.
- *Prazo de validade superior:* as baterias de lítio podem ser armazenadas por longo período, mesmo sob temperaturas elevadas. Estudos de confiabilidade contribuíram para que as validades destas baterias extrapolem o período de 20 anos.

A respeito das vantagens/desvantagens das baterias lítio-íon (QUADRO 5), percebe-se que esta é uma preocupação de pesquisadores no mundo todo, como Dahn e Ehrlich (2011 *apud* MACHADO, 2015) e Castro e Ferreira (2010), dentre outros, que enfatizam a alta capacidade de armazenamento, o fato de não viciarem e o baixo peso como algumas das vantagens desse tipo de bateria. Como desvantagens atribuídas a essas baterias, esses autores relatam o alto custo e a necessidade de um circuito eletrônico para ajudar no processo de carga/descarga e funcionamento.

Quadro 5 – Vantagens e desvantagens da bateria de íon-lítio

Vantagens	Desvantagens
Células seladas;	Custo inicial moderado;
Sem necessidade de manutenção;	Degrada em altas temperaturas;
Longo ciclo de vida;	Necessidade de circuitos de proteção;
Ampla faixa de temperatura de operação;	Perda de capacidade e potencial quando há fuga térmica quando danificada;
Longo prazo de validade;	Pode tornar-se insegura se rapidamente carregada a temperaturas baixas (<0°C).
Baixa taxa de autodescarga;	
Capacidade de carga rápida;	
Alta capacidade de energia;	
Alta densidade de energia;	
Alta densidade de energia específica;	
Sem efeito memória;	
Pode ser construída com diferentes produtos oferecendo flexibilidade no projeto.	

Fonte: DAHN; EHRLICH, 2011 *apud* MACHADO, 2015.

Almeida Júnior (2014) descreve que as baterias de lítio possuem um vasto número de subtipos, como aquelas que apresentam maior possibilidade de utilização em carros e as que ainda estão em desenvolvimento, ou seja, ainda não estão disponíveis no mercado.

#### 4.4.5.1 Bateria de lítio-íon-cobalto (LCO)

Segundo Noce (2009), este subtipo de bateria de íon-lítio funciona pela movimentação de íons de lítio entre o cátodo e o ânodo, normalmente com o auxílio de um solvente orgânico. As primeiras baterias de lítio – que utilizavam óxido de lítio

e cobalto no cátodo e um ânodo de grafite – foram disponibilizadas no comércio em 1991. A tecnologia de lítio-íon-cobalto não é utilizada em módulos que necessitam de energia maior que 1 kW/h (Kilowatt/hora), nem em aplicações de carga e descarga complexa, devido à alta reatividade do cátodo de cobalto. De acordo com Orrico (2013), o óxido de cobalto de lítio é a bateria que apresenta a maior energia específica de todo os tipos de baterias existentes, mas sua produção é de alto custo e limitada, por causa da pouca quantidade de cobalto acessível no planeta.

Linden e Reddy (1995) descrevem que as baterias que utilizam o cátodo de cobalto estão caindo em desuso por razões justificáveis, como falhas ao atingir temperaturas maiores que 70<sup>0</sup>C, dano mecânico devido a quedas e penetração de objetos pontiagudos, danos elétricos causados por curto-circuito quando submetidas a uma taxa de carga e/ou descarga além ou da capacidade limite e erro interno relacionado a defeitos de produção (eletrodo desalinhado, respingo de solda, contaminação de material solto). Para lidar com a fragilidade nas operações com esse tipo de bateria, já existem sistemas de controle e segurança avançados, para certificar que o ciclo de operação do banco de baterias não saia dos limites de operação. Tais sistemas funcionam por meio de microcontroladores e sensores eletrônicos avançados, que permitem segurança e evitam risco de explosão durante o uso. Nesse contexto, Almeida Júnior (2014) destaca apenas uma vantagem da bateria LCO: sua capacidade específica elevada, contra desvantagens como a baixa segurança intrínseca, o reduzido número de ciclos, o custo elevado, a reduzida faixa operacional de temperatura e a baixa disponibilidade de materiais.

#### **4.4.5.2 Bateria de lítio-íon-manganês (LMO)**

Trata-se de um subtipo da bateria de lítio e, de acordo com Noce (2009), a terceira maior produtora de baterias de LMO atualmente é uma empresa sul-coreana, que utiliza a tecnologia de cátodo de manganês. Esse autor acrescenta que, comparada à bateria de lítio-íon-cobalto, a LMO traz a vantagem de ser mais segura quanto a explosões. No entanto, Castro, Barros e Veiga (2010) asseguram que a bateria LMO traz outras vantagens como o preço mais baixo dos compostos de manganês (em relação ao preço do cobalto) e o fato de que o manganês, além de ser mais abundante na natureza que o carbono, gera menos impacto ao meio

ambiente. A desvantagem, segundo esses autores, é a progressiva perda de capacidade durante a descarga.

#### **4.4.5.3 Bateria de fosfato ferroso de lítio (LFP)**

Segundo Orrico (2013), a tecnologia desta bateria foi desenvolvida na Universidade do Texas, com o objetivo de suprir a demanda de uma bateria mais durável e com nível superior de proteção contra curtos-circuitos. A bateria de LFP, assim como a de lítio-íon-manganês, também é subtipo da de lítio e seu diferencial é que apresenta mais segurança contra explosão – devido à baixa reatividade do material do cátodo – quando comparada à bateria de lítio-íon-cobalto. (NOCE, 2009).

A durabilidade da bateria LFP é de mais de 5 anos, desde que os limites de 80% de descarga sejam respeitados. O preço de todas as melhorias neste tipo de bateria é a diminuição da densidade energética e energia específica da bateria, que pode chegar a 25%. Em baixas temperaturas, seu funcionamento é comprometido, seu desempenho é reduzido e sua autodescarga é alta o bastante para desequilibrar a carga contida no banco de baterias. Apesar de suportar temperaturas de operação altas sem perdas de eficiência, o número de ciclos diminui (ORRICO, 2013).

#### **4.4.5.4 Bateria de nanofosfato**

Esta modalidade de bateria utiliza íons de sais de lítio dissolvidos em solvente não aquoso, no eletrólito. Quando ocorrem as descargas, os íons de lítio se deslocam para o interior do material que forma o ânodo e segue até o interior do material catódico, sendo que os elétrons se movem através da caixa externa (ALMEIDA JÚNIOR, 2014). Segundo Noce (2009), a bateria de nanofosfato foi desenvolvida pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), nos EUA, e é concebida como uma grande promessa no que se refere à bateria. Atualmente, uma empresa americana é a mais potente fabricante da produção em escala e sua utilização é prevista em um modelo automotivo e em ônibus híbridos e elétricos. Embora ainda sejam escassos os resultados sobre este tipo de bateria, há que se destacar que apresenta baixa densidade de lítio – o que faz com que o tamanho da massa e o custo sejam menores – e tem mostrado bom desempenho e



confiabilidade. Esse autor lembra, ainda, que segundo dados de fábrica, a potência da bateria de nanofosfato está estabelecida em torno de 3.000 W/kg e seu ciclo de vida é 10 vezes maior que o de uma bateria convencional.

#### **4.4.5.5 Bateria de lítio-íon óxido de titânio (LTO)**

Segundo Noce (2009), neste tipo de bateria, o nano-óxido de titânio substitui o grafite como ânodo, o que diminui os riscos de explosão. A LTO foi desenvolvida por uma empresa norte-americana. Sua capacidade de energia é metade da das células convencionais de lítio-íon e resiste a 20.000 ciclos em um período de 20 anos. A propósito, a bateria de lítio-íon-óxido de titânio suporta bem as temperaturas entre  $-50^{\circ}\text{C}$  e  $75^{\circ}\text{C}$ . Segundo dados do fabricante, este tipo de bateria não supera a energia específica e a potência da bateria de lítio-polímero, apesar de requisitar menor tempo de recarga que esta.

#### **4.4.5.6 Bateria de lítio-polímero**

Esta bateria é considerada a evolução das baterias de lítio-íon e nela o trânsito de íons é realizado por meio de um polímero sólido, geralmente óxido de polietileno ou poliacrilonitrila (substituto do eletrólito de lítio-sal) diluído em um solvente (NOCE, 2009). Nesse contexto, Hussain (2003) também cita que a bateria de lítio-polímero é classificada como uma bateria de estado sólido, pois o eletrólito não é um líquido, e que o eletrólito mais promissor para esse tipo de bateria é o óxido de vanádio ( $V_6O_{12}$ ).

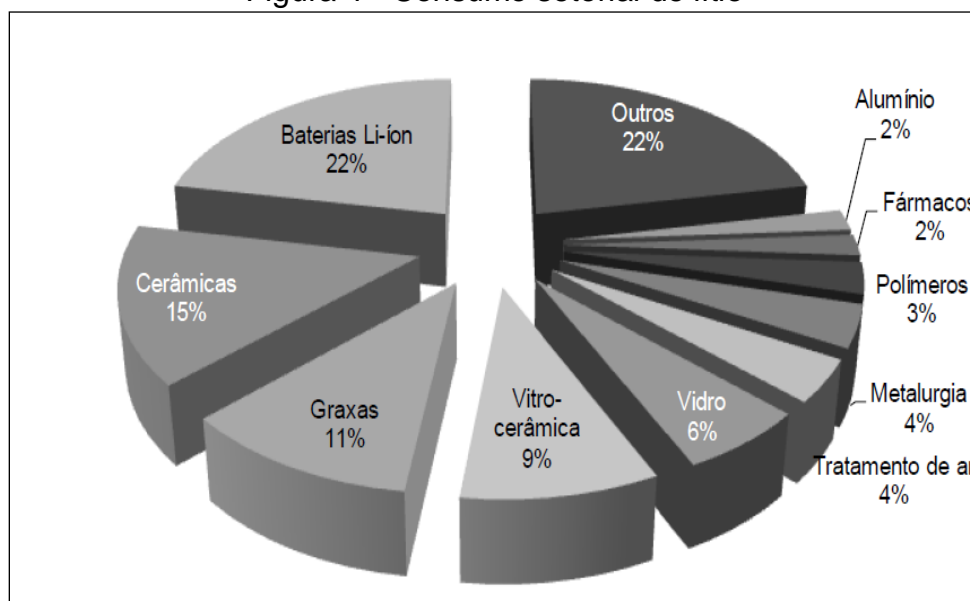
Ainda segundo Husain (2003 *apud* ALMEIDA JÚNIOR, 2014), as baterias de lítio-polímero possuem potencial para alcançar a mais alta energia e potência específicas, porque usam polímeros sólidos em vez de eletrólitos de líquidos inflamáveis, presentes em outros tipos de baterias que, aliás, podem conduzir os íons a temperaturas acima de  $60^{\circ}\text{C}$ . O uso do polímero proporciona uma enorme vantagem no quesito segurança quando se trata de acidentes envolvendo carros elétricos e híbridos. É que, na forma de íon, o lítio tem sua capacidade de reatividade reduzida. Este tipo de bateria também possui a vantagem de ser fabricada em diversos tamanhos e formatos, além de possuir boa vida útil. Sua

maior desvantagem é a sensibilidade à temperatura, pois sua faixa situa-se entre 80°C a 120°C.

#### **4.5 Breve relato sobre o lítio**

Foi descoberto em 1817, pelo químico sueco Johan August Arfwedson, ao estudar um mineral chamado petalita. Todavia, esse químico sueco não conseguiu realizar a extração do lítio. Somente no ano de 1855, Robert Bunsen e Peter Matthiessen conseguiram isolar este mineral, utilizando a técnica de eletrólise do cloreto de lítio. Inicialmente, acreditava-se que a formação do lítio só ocorria nas pedras, por isso, foi denominado *lithós* que, no idioma grego significa pedra. É importante saber que, além de ser o metal mais leve encontrado na natureza, é o mais eletropositivo dos elementos metálicos. Tem brilho prateado e é encontrado em rochas magmáticas, porém não é abundante na natureza. A forma metálica do lítio é utilizada na fabricação das baterias denominadas pilhas de alta densidade de energia. Já os vários sais de lítio, como cloreto, brometo, iodeto, perclorato e nitrito, são utilizados como eletrólito em baterias de lítio primárias, enquanto as baterias de lítio secundárias, ou recarregáveis, são compostas por um cátodo geralmente feito de lítio-cobalto, lítio-manganês e lítio-fosfato de ferro, como relatam Braga e França (2013). Dentre as principais aplicações do lítio na indústria destaca-se: as baterias de íon de lítio, cerâmicas e outros conforme a FIG.4.

Figura 4 - Consumo setorial de lítio



Fonte: BAYLIS<sup>8</sup>, 2012 *apud* BRAGA; FRANÇA, 2013, p.20.

De acordo com Garcia (2011), a produção mundial de concentração de lítio foi de 35.586 toneladas de óxido de lítio ( $Li_2O$ ), no ano de 2013, sem contar a produção dos EUA e da Bolívia, países que não disponibilizam informações oficiais. Tal resultado representa um crescimento de 1,1% em relação a 2012. Os principais produtores de lítio são o Chile (37,9%), Austrália (36,51%) e China (11,3%). No Brasil, a produção de óxido de lítio aumentou 6,7% em relação a 2012 e contribuiu em 1,2% da produção de lítio no mundo. As reservas mundiais de óxido de lítio, com exceção da Bolívia, cujas informações não são divulgadas, eram de 13 milhões de toneladas em 2013. As informações oficiais da produção brasileira apontam 48 mil toneladas de  $Li_2O$ .

<sup>8</sup> BAYLIS, R. Vehicle electrification and other lithium end-uses: How big and how quickly? 4th Lithium Supply & Markets, Buenos Aires, Argentina, presentation, 27 p., 2012.

Tabela 1 – Reserva e produção mundial de lítio

Discriminação	Reservas de lítio (10 <sup>3</sup> t)		Produção mundial de lítio (t)	
	Países	2013	2012	2013
Brasil	48	390	416	1,2
Chile	7500	13200	13500	37,9
Austrália	1000	12800	13000	36,5
China	3500	4500	4000	11,3
Argentina	850	2700	3000	8,4
Zimbábue	23	1060	1100	3,1
Portugal	60	560	570	1,6
EUA	38	nd	Nd	Nd
Bolívia	Nd	Nd	Nd	Nd
Total	13019	35210	35586	100

Fonte: DNPM/DIPLAM, 2014.

Segundo Mendes (2009), a Companhia Brasileira de Lítio (CBL) realiza a extração de lítio em pegmatitos nos municípios de Araçuaí e Itinga, ambos no estado de Minas Gerais, e em Solonópole, no Ceará. A respeito dessa lavra, essa autora esclarece que

A lavra do lítio em pegmatitos exige um beneficiamento dispendioso em relação ao aproveitamento do lítio das salmouras, pois envolve a cominuição, separação principalmente por catação, em meio denso ou magnético de alta intensidade, como exemplificado pelo beneficiamento feito pela Companhia Brasileira de Lítio - CBL (MENDES, 2009, p. 17).

Nos últimos anos, o desenvolvimento de novas tecnologias visando à utilização das propriedades do lítio colaborou para as iniciativas de pesquisas e o Brasil deixou de apenas exportar concentrados e compostos para uso na indústria. Como há apenas um fabricante de compostos químicos no Brasil – e este atende à demanda interna, com quase nenhuma geração de estoques – não há mais necessidade de grandes importações para atender o mercado brasileiro, ressaltando que o país não possui uma demanda expressiva de lítio e que a produção nacional é adequada apenas para uso convencional, por enquanto (GARCIA, 2011).

#### 4.6 Breve relato sobre a matriz energética brasileira

Noce (2009) resume a matriz energética como o montante das fontes de energia empregadas para as mais diversas atividades da sociedade e que, examinando a matriz energética brasileira, por exemplo, é possível identificar quais são as fontes de energia utilizadas, bem como, a participação destas no setor de transportes terrestres de passageiros. Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2016), no ano de 2015, a oferta interna de energia atingiu 299,2 Mtep<sup>9</sup> e registrou uma redução de 2,1% em relação ao ano interior. No que se refere à energia elétrica, houve uma redução de 8,4 TWh (1,3%) da oferta interna em relação a 2014. Pelo quarto ano consecutivo, devido às condições hidrológicas desfavoráveis, houve uma redução da energia hidráulica disponível, situação bastante desconfortável para um país que ocupa a 7ª posição entre os maiores consumidores de energia.

No segmento de transporte, a redução foi de 2,3 milhões de tep, em virtude da queda de 4,3% do consumo de óleo diesel. Além disso, o recuo do mercado de venda de automóveis leves contribuiu para a redução da demanda de combustíveis para uso no ciclo de Otto<sup>10</sup>. Lembrando que, devido aos incrementos na biomassa e na energia eólica, a participação de energias renováveis na matriz energética brasileira é de 75,5%, segundo dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE (BRASIL, 2016).

#### 4.7 As políticas públicas de incentivo à inserção do carro elétrico no Brasil

No ano de 2012, foram registrados 115 carros elétricos, sendo que em 2013 houve um aumento de 389 carros elétricos em relação ao ano anterior, a maior parte veículos híbridos, segundo dados da Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2016). No que se refere aos carros elétricos,

---

<sup>9</sup> A tonelada equivalente de petróleo (tep) é uma unidade de energia definida como o calor libertado na combustão de uma tonelada de petróleo cru, aproximadamente 42 giga joules. Como o valor calórico do petróleo cru depende de sua exata composição química, que admite bastante variação, o valor exato da tep deve ser definido por convenção. Fonte: <<http://www.eletronuclear.gov.br/LinkClick.aspx?fileticket=11POuNbDdJtw%3D&tabid=69>>

<sup>10</sup> Ciclo de Otto: ciclo termodinâmico que representa o funcionamento de motores de combustão interna, popularmente conhecidos como motores à explosão. Fonte: <[http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/Ciclo\\_otto.htm](http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/Ciclo_otto.htm)>.

Machado (2015) enfatiza seu alto custo que, devido aos elevados impostos – com importação, com Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e com Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), dentre outros – faz o preço médio de um carro elétrico à bateria alcançar valores de até R\$ 200.000,00, enquanto os carros elétricos híbridos podem chegar a valores de até R\$ 120.000,00.

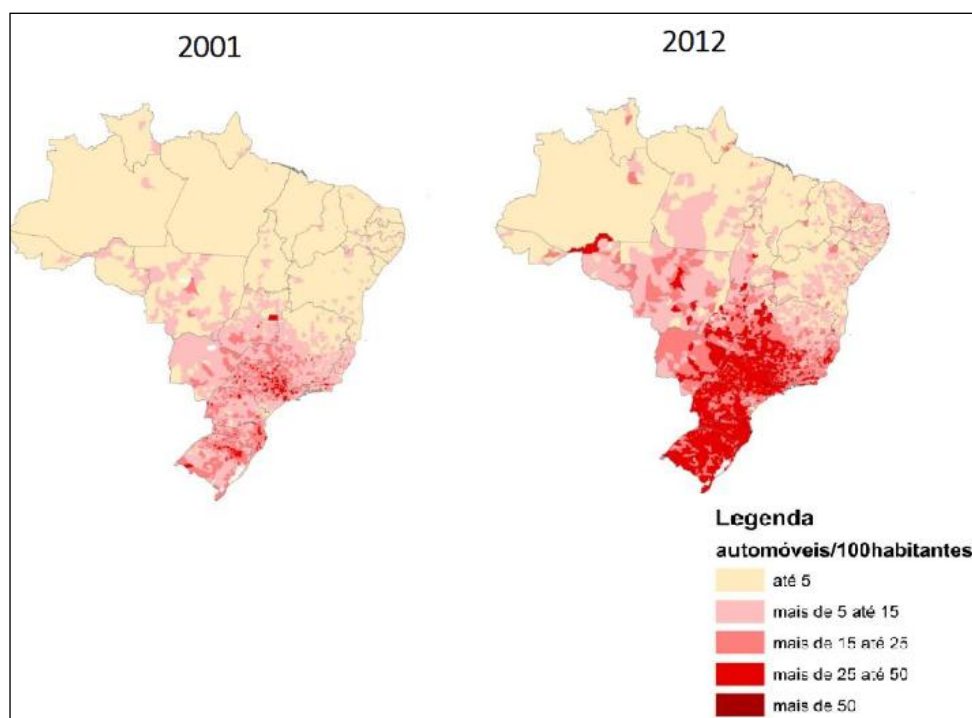
Diante disso, o autor supracitado relata que existem projetos para uma possível inserção de veículos elétricos no Brasil, e que tais projetos envolvem incentivos à fabricação, taxas de impostos reduzidas e a infraestrutura adequada para o carregamento das baterias elétricas. Nesse sentido, o Projeto de Lei (PL), de 23 de agosto de 2011, propõe a isenção dos impostos citados, cuja isenção se estenderia a peças, insumos e acessórios utilizados na fabricação de carros elétricos. No entanto, depois de passar por duas comissões e ter sido aprovado, o projeto de lei ainda não foi submetido à votação na Câmara dos Deputados. Há outra iniciativa com o objetivo de incentivar a inserção dos carros elétricos no Brasil: Projeto de Lei do Senado N<sup>o</sup> 415, de 2012, que tem como objetivo a isenção do IPI incidente nas operações com automóveis movidos a energia elétrica.

#### **4.8 A frota de automóveis no Brasil e sua evolução**

Ao fim de 2012 o Brasil possuía uma frota de 76.137.125 automóveis, já no ano de 2001 esse número era de 42.9 milhões de veículos. Com base nestes dados se verifica um crescimento de 28,5 milhões de automóveis no país. O número de veículos durante o período obteve um crescimento de 104,5%. A taxa de automóveis passou de 14,4 automóveis para cada 100 habitantes no ano de 2001 para 28,1 automóveis para cada 100 habitantes em 2014. Dentre as regiões do país a região Sudeste apresentou 51,5% sendo o menor crescimento percentual, durante 2001 e 2012. A região Sul obteve 21,5 %do crescimento, onde a frota saltou de 2,5 milhões para 6 milhões de toda a frota nacional. (RODRIGUES, 2015)

A FIG.5 compara o crescimento de automóveis do ano de 2001 e 2012 e a TAB.2 mostra o crescimento de automóveis nas principais metrópoles do país no ano de 2012.

Figura 5 – Crescimento da frota de automóveis nos anos de 2001 e 2012.



Fonte: RODRIGUES, 2015, p. 26.

Tabela 2 – Crescimento da frota de carros nas metrópoles

Metrópoles	Crescimento da frota de carros	Frota de carros
Manaus	141,9%	387.049
Belo Horizonte	108,5%	1.753.405
Distrito Federal	103,6%	1.274.792
Goiânia	100,5%	786.256
Belém	97,3%	280.231
Salvador	94,3%	668.472
Curitiba	91,7%	1.543.739
Fortaleza	89,7%	628.039
Recife	78,2%	692.389
São Paulo	68,2%	8.292.812
Porto Alegre	67,0%	1.423.439
Rio de Janeiro	62,0%	1.274.792
Total:	1102,9%	19.005.415

Fonte: RODRIGUES, 2015, p. 26. (Adaptada pela autora)

No Brasil, a produção de carros comerciais leves, de caminhões e de ônibus cresceu 18,1% em março de 2017, em comparação ao mês anterior. No total, 234.746 veículos saíram das fábricas do país em março de 2017 em oposição ao mesmo mês no ano de 2016, quando foram produzidos 198.830 automóveis. A TAB.3 apresenta a produção de veículos entre os anos de 1990 a 2016 (ANFAVEA, 2017). No mundo essa produção é de 94.976.469 conforme a TAB. 4.

Tabela 3 – Produção de veículos no Brasil

Ano	Automóveis	Comerciais leves	Caminhões	Ônibus	Total
1990	665.051	182.787	51.597	15.031	914.466
1991	707.176	180.736	49.295	23.012	960.219
1992	816.446	201.104	32.025	24.286	1.073.861
1993	1.100.670	223.995	47.876	18.894	1.391.435
1994	1.249.098	250.719	64.137	17.435	1.581.389
1995	1.299.493	237.373	70.495	21.647	1.629.008
1996	1.479.490	258.783	48.712	17.343	1.804.328
1997	1.700.438	283.965	63.744	21.556	2.069.703
1998	1.273.356	227.704	63.773	21.458	1.586.291
1999	1.118.483	168.020	55.277	14.934	1.356.714
2000	1.375.382	221.498	71.686	22.674	1.691.240
2001	1.516.182	199.813	77.431	23.690	1.817.116
2002	1.525.491	174.655	68.558	22.826	1.791.530
2003	1.591.780	160.061	78.960	26.990	1.857.791
2004	1.954.604	226.527	107.338	28.758	2.317.227
2005	2.122.101	255.068	117.693	35.387	2.530.249
2006	2.204.390	266.826	106.601	34.512	2.612.329
2007	2.481.949	321.922	137.281	39.011	2.980.163
2008	2.634.010	370.854	167.406	44.111	3.216.381
2009	2.655.704	369.609	123.633	34.536	3.183.482
2010	2.924.208	484.839	191.621	45.880	3.646.548
2011	2.630.893	530.330	229.083	56.023	3.446.329
2012	2.765.557	488.872	136.264	41.556	3.432.249
2013	2.954.711	547.749	190.962	45.026	3.738.448
2014	2.504.117	487.751	143.660	37.222	3.172.750
2015	2.017.831	332.446	77.686	25.659	2.453.622
2016	1.779.610	307.585	64.539	23.550	2.175.284

Fonte: ANFAVEA, 2017, adaptado pela autora, 2017.



Tabela 4 - Produção de veículos mundial em 2016

País	Carros	Veículos comerciais	Total
<b>Argentina</b>	241.315	231.461	472.776
<b>Austrália</b>	149	12.294	161.294
<b>Áustria</b>	90	18.000	108.000
<b>Bélgica</b>	354.003	45.424	399.427
<b>Brasil</b>	1.778.464	377.892	2.156.356
<b>Canadá</b>	802,057	1.568.214	2.370.271
<b>China</b>	24.420.744	3.698.050	28.118.794
<b>República Tcheca.</b>	1.344.182	5.714	1.349.896
<b>Egito</b>	10.930	25.300	36.230
<b>Finlândia</b>	55.280	0	55.280
<b>França</b>	1.626.000	456	2.082.000
<b>Alemanha</b>	5.746.808	315.754	6.062.562
<b>Hungria</b>	472	0	472
<b>Índia</b>	3.677.605	811.360	4.488.965
<b>Indonésia</b>	968.101	209.288	1.177.389
<b>Irã</b>	1.074.000	90.710	1.164.710
<b>Itália</b>	713.182	390.334	1.103.516
<b>Japão</b>	7.873.886	1.330.704	9.204.590
<b>Malásia</b>	469.720	43.725	513.445
<b>México</b>	1.993.168	1.604.294	3.597.462
<b>Países Baixos</b>	42150	2.280	44.430
<b>Polônia</b>	554. 600	127.237	681.837
<b>Portugal</b>	99.200	43.896	143.096
<b>Romênia</b>	358 861	445	359.306
<b>Rússia</b>	1.124.774	179.215	1.303.989
<b>Sérvia</b>	79.360	960	80.320
<b>Eslováquia</b>	1.040.000	0	1.040.000
<b>Eslovênia</b>	133.702	0	133.702
<b>África do Sul</b>	335.539	263.465	599.004
<b>Coreia do Sul</b>	3.859.991	368 518	4.228.509
<b>Espanha</b>	2.354.117	531.805	2.885.922
<b>Suécia</b>	205.374	N / D	205.374
<b>Taiwan</b>	251.096	58.435	309.531
<b>Tailândia</b>	805.033	1.139.384	1.944.417
<b>Peru</b>	950.888	535.039	1.485.927
<b>Ucrânia</b>	4.340	924	5.264
<b>Reino Unido</b>	1.722.698	93.924	1.816.622
<b>EUA</b>	3.934.357	8.263.780	12.198.137
<b>Uzbequistão</b>	88.152	0	88.152
<b>Total</b>	72.105.435	22.871.134	94.976.569

Fonte: OICA,2017

## 5 METODOLOGIA

O presente trabalho é classificado como: pesquisa básica ou fundamental, pois tem o objetivo de adquirir novos conhecimentos que contribuem para o avanço da ciência, sem que haja uma aplicação prevista, quanto a natureza é classificado como: pesquisa observacional, pois neste tipo de estudo o investigador atua como expectador de fatos, embora possa realizar medições, análises e outros procedimentos para coleta de dados ( FONTELLES et al.,2009).

Foi adotado o método de caráter exploratório, ou seja, aquele realizado com o objetivo de examinar um tema de pesquisa pouco estudado. Relacionado com a abordagem a pesquisa pode ser classificada como quantitativa, pois tem como característica a utilização de números para obter informações sobre a inserção de carros elétricos no Brasil (SAMPIERI, 2010).

Com essas proposições foi realizada a projeção da quantidade de lítio existente para ser explorado para a fabricação de baterias elétricas e se esta quantidade é suficiente para substituir os carros movidos à combustão interna da frota brasileira.

Para o tratamento dos materiais foram adotados os métodos de pesquisa bibliográfica, a partir de artigos científicos, livros e outros documentos, para a coleta de informações com especialistas na área de estudo. (SEVERINO, 2007)

A pesquisa bibliográfica detalhou todos os assuntos referentes à bateria elétrica, em que foi apresentado um breve relato do histórico do carro elétrico desde a sua criação até os fatores que contribuem para a sua possível implantação, os tipos de carros e as principais baterias elétricas assim como as principais vantagens e desvantagens com ênfase na bateria de lítio que é o objeto de estudo deste trabalho. Foram apresentadas as principais reservas de lítio no mundo e a quantidade de reservas no Brasil, também foram descritas as principais políticas de incentivo do carro elétrico no Brasil, a evolução da frota no país, assim como a sua demanda de produção.

Atualmente o Brasil apresenta uma frota de mais de 76 milhões de automóveis, sendo que 72% representam os carros leves. A frota circulante de carros no país é de 19.005.415 e a produção brasileira de automóveis no ano de 2016 foi de 2.175.284 sendo que 1.779.610 foram carros leves.

Através das informações acima foi possível realizar uma análise da produção futura de automóveis para verificar a possibilidade de substituição dos carros leves que utilizam combustível fóssil para baterias elétricas, considerando que a massa atômica do lítio (que é o material de estudo) é 6,941u, segundo o Journal Power Sources é necessário 3% massa de lítio para a produção de uma bateria elétrica. Segundo Daniel (2008) uma célula cilíndrica padrão chamada de 18650 (18 mm de largura e 65 mm de comprimento) tem massa de 40 g e capacidade de cerca de 1,35 amperes, uma célula com 10 amperes possui a massa de aproximadamente 3,25g, já uma célula de 100 amperes possui a massa de 3.430 g.

Após a realização dos cálculos, foi sugerida para futuros trabalhos a possibilidade de reciclagem do lítio nas baterias que já perderam a sua capacidade de carga e utilização. Para a análise da substituição dos veículos é necessário informações como as reservas de lítio (RL), a produção de veículos no Brasil do ano de 2016(PVB), a produção de veículos no mundo (PVM), o peso total de uma bateria (PTB), o consumo de lítio (CL), a duração do consumo de lítio (DCL), a quantidade de lítio por carro (QLC), o número de células (NC) e o consumo de lítio por ano (CLA).

Relacionado as ferramentas utilizadas neste trabalho, foram utilizadas ferramentas de tomada de decisão para o investimento com o fim de avaliar o potencial de substituição, calculados pelas EQ.1,EQ.2,EQ.3 e EQ.4:

$$CL = PTB * 3\% \quad (1)$$

Onde:

CL= consumo de lítio, em g;

PTB= peso total de uma bateria, em g;

3%= porcentagem de lítio necessária em uma bateria;

$$QLC = CL * NC \quad (2)$$

Onde:

QLC = quantidade de lítio por carro, em kg;

CL= consumo de lítio, em g;

NC = número de células;

$$CLA = PVB * QLC \quad (3)$$

Onde:

CLA = consumo de lítio por ano, em tonelada/ano;

PVB = produção de veículos no Brasil;

QLC= quantidade de lítio por carro, em kg;

$$DCL = \frac{RL}{CLA} \quad (4)$$

Onde:

DCL= duração do consumo de lítio, em anos;

RL= quantidade de reservas de lítio, em toneladas;

CLA = consumo de lítio no ano, em toneladas/ano;

Ao final deste trabalho, foram feitas considerações baseadas nos resultados onde foi obtida a possibilidade de substituição de carros movidos a combustão interna por carros movidos a bateria lítio-ion.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta etapa retrata a análise e discussão dos dados obtidos, os quais respondem aos objetivos geral e específicos propostos pela pesquisa. Neste trabalho foram consideradas apenas baterias que possuem o mineral lítio como matéria prima devido a sua maior eficiência e para a substituição foram considerados somente automóveis e comerciais leves.

Os resultados foram divididos em possíveis cenários para a que fosse possível a análise da inserção das baterias elétricas no Brasil através da duração do consumo do lítio (DCL).

Foi considerada para estes fins a bateria 18650 que possui o peso de 3430g e foi multiplicado pela porcentagem de massa de lítio em uma bateria, conforme EQ.5.

$$CL = PTB * 3\% = 3430 \text{ g} * 3\% = 103,0\text{g} \quad (5)$$

Através do resultado obtido percebe-se que o consumo de lítio para uma bateria será de 103 g. Foi considerado também que as baterias tenham a capacidade de 100 amperes com 11 células de lítio em cada uma. A quantidade de lítio em cada carro seria de 1,133 conforme a EQ. 6

$$QLC = CL * NC = 103,0\text{g} * 11 = 1,133 \text{ Kg lítio/carro} \quad (6)$$

Com base na ANFAVEA (2016) o Brasil produziu 2.087.195 de automóveis e comerciais leves, onde a maioria tem seu funcionamento através de combustíveis (gasolina, álcool ou diesel).

Atualmente são conhecidas 13.019 reservas de lítio com uma produção total de 35.586 toneladas de lítio em 2013, sendo que o Brasil possui 48.000 toneladas em reservas de lítio conforme TAB.1. Através destas informações foram criados cenários para a inserção das baterias.

*1º cenário:* Foi considerado que a substituição das baterias alcançasse toda a produção de veículos do ano de 2016 e que fosse utilizada 100% da capacidade das reservas de lítio brasileiras somente para este fim excluindo as demais atividades apresentadas na FIG.4. A EQ.7 apresenta a quantidade de lítio em toneladas necessária por ano.

$$CLA = PVB * QLC = 2.087.195 * 1,133 \text{ Kg} \cong 2364,8 \text{ toneladas de lítio/ano} \quad (7)$$

Após obter a quantidade de lítio necessário para cada ano foi possível estimar o tempo de duração do consumo do lítio através da EQ.8.

$$DCL = \frac{RL}{CLA} = \frac{48.000 \text{ toneladas}}{2364,8} \cong 20 \text{ anos} \quad (8)$$

*2º cenário:* Foi considerado que a substituição das baterias alcançasse toda a produção de veículos do ano de 2016 e que fosse utilizada 22% da capacidade das reservas de lítio brasileiras conforme o destinado para este setor conforme a FIG.4. A EQ.9 apresenta a quantidade de lítio em toneladas que será utilizada.

$$RL = n^\circ \text{ total de reservas (t)} * 22\% = 48.000 * 22\% = 10.560 \text{ toneladas} \quad (9)$$

Após obter a quantidade de lítio da reserva será utilizada foi possível estimar o tempo de duração do consumo do lítio através da EQ.10.

$$DCL = \frac{RL}{CLA} = \frac{10.560 \text{ toneladas}}{2364,8} \cong 4,5 \text{ anos} \quad (10)$$

*3º cenário:* Foi considerado que a substituição das baterias alcançasse apenas 1/3 de toda a produção de 2016 para diminuir a quantidade de automóveis e que fosse utilizada 100% da capacidade das reservas de lítio brasileiras somente para este fim excluindo as demais atividades apresentadas na FIG.4. A EQ.11 apresenta a quantidade de automóveis.

$$\frac{1}{3} \text{ de } 2.087.195 \cong 695.731 \text{ automóveis} \quad (11)$$

Após obter a da quantidade de automóveis, foi calculada a quantidade de lítio necessária para cada ano através da EQ.12.

$$CLA = PVB * QLC = 695.731 * 1,133 \text{ Kg} \cong 788,26 \text{ toneladas de lítio/ano} \quad (12)$$

Através da EQ.13 foi possível calcular a duração do consumo de lítio.

$$DCL = \frac{RL}{CLA} = \frac{48.000 \text{ toneladas}}{788,26 \text{ toneladas}} \cong 61 \text{ anos} \quad (13)$$

*4º cenário:* Foi considerado que a substituição das baterias alcançasse 1/3 (695.731 automóveis) da produção de veículos do ano de 2016 e que fosse utilizada 22% (10.560 toneladas de lítio) da capacidade das reservas de lítio brasileiras conforme o destinado para este setor conforme a FIG.4. Foi calculada a quantidade de lítio necessária para cada ano através da EQ.14.

$$CLA = PVB * QLC = 695.731 * 1,133 \text{ Kg} \cong 788,26 \text{ toneladas de lítio/ano} \quad (14)$$

Através da EQ.15 foi possível estimar a duração do consumo de lítio.

$$DCL = \frac{RL}{CLA} = \frac{10.560 \text{ toneladas}}{788,26 \text{ toneladas}} \cong 13 \text{ anos} \quad (15)$$

*5º cenário:* Outra possibilidade é a seria verificar a quantidade de lítio no mundo versus a produção de veículos conforme a TAB.4 existem nove países que possuem reservas somando o total de 13.019.000 toneladas disponíveis. Para considerar essa possibilidade é necessário levar em conta a produção de veículos no mundo em 2016 conforme TAB.4, onde é estimada a quantidade de produção para o ano de 2016. Nos cálculos a seguir será considerada 100% de utilização das reservas mundiais para 100% da produção mundial.

A EQ. 16 apresenta os cálculos da estimativa de quantidade de lítio para cada automóvel.

$$CLA = PVM * QLC = 94.976.569 * 1,133 \text{ Kg} \cong 107.608,5 \text{ toneladas de lítio/ano} \quad (16)$$

Através da EQ.17 foi possível estimar a duração do consumo de lítio.

$$DCL = \frac{RL}{CLA} = \frac{13.019.000}{107.608,5 \text{ toneladas}} \cong 121 \text{ anos} \quad (17)$$

Considerando que a substituição das baterias alcançasse 1/3 de toda a produção de automóveis mundial em 2016 e que fosse utilizada 100% da capacidade das reservas de lítio mundial somada a quantidade importada da Argentina e Chile. Na EQ.18 foi calculada a quantidade de automóveis e na EQ.19 foi calculado consumo de lítio no ano.

$$\frac{1}{3} \text{ de } 94.976.569 \cong 3.165.856 \text{ automóveis} \quad (18)$$

$$CLA = PVM * QLC = 3.165.856 * 1,133 \text{ Kg} \cong 35.869,48 \text{ toneladas de lítio/ano} \quad (19)$$

Através da EQ.20 foi calculada a duração de consumo de lítio baseada na produção mundial.

$$DCL = \frac{RL}{CLA} = \frac{13.019.000}{35.869,48 \text{ toneladas}} \cong 363 \text{ anos} \quad (20)$$

Analisando os contextos apresentados no primeiro cenário, que se considera a conversão em carro elétrico para 100% da produção de carros e veículos leves no Brasil consumindo 100% das reservas de lítio brasileiras, obteve-se a duração 20 anos para o consumo de lítio. No segundo cenário, que se considera a conversão em carro elétrico para 100% da produção de carros e veículos leves, porém consumindo apenas os 22% destinados ao consumo para o setor de baterias, obteve-se a 4,5 anos para o consumo de lítio. No terceiro cenário, que se considera a conversão em carro elétrico em apenas 1/3 da produção de carros e veículos leves consumindo 100% das reservas de lítio, obteve-se a duração 61 anos de consumo de lítio. No quarto cenário que se considera a conversão em carro elétrico em apenas 1/3 da produção de carros e veículos leves consumindo apenas os 22% destinados ao setor de baterias, obteve a duração 13 anos de consumo de lítio.

No quinto cenário que se considera a utilização mundial para a conversão de carros mundial. Considerando 100% da produção mundial de carros e veículos leves consumindo 100% das reservas de lítio mundial, ou seja, excluindo todas as demais atividades que necessitam de lítio. Obteve-se então a duração de 120 anos de consumo de lítio. Entretanto quando considerada a conversão de apenas 1/3 da produção mundial de carros e veículos leves consumindo 100% das reservas de lítio no mundo obteve-se a duração de 363 anos de consumo de lítio.



## 7 CONCLUSÃO

As tecnologias relacionadas aos carros elétricos têm aumentando a eficiência dos automóveis através da capacidade de armazenamento e do ciclo de vida das baterias elétricas. Como esta é uma tecnologia em desenvolvimento, uma das questões acerca das baterias é o lítio, objetivo principal em discussão.

O lítio é um mineral com enorme valor agregado devido as suas possibilidades de aplicações, porém não é abundante na natureza, sendo encontrado em apenas 9 países com um total de 13019 toneladas em reservas no mundo. As baterias de lítio-ion possuem alta capacidade, potência, densidade energética e prazo de validade superior.

Com a produção de automóveis de 2.087.195 e com a quantidade de reservas de lítio no Brasil foi analisado os possíveis cenários para a inserção dos carros elétricos.

A melhor opção seria a descrita no quarto cenário utilizando apenas 1/3 dos automóveis e apenas 22% das reservas de lítio, pois utilizando 1/3 dos carros é possível dar um tempo para que o país consiga a infraestrutura necessária para a tecnologia e utilizando 22% das reservas torna possível que o lítio seja utilizado nos demais setores.

Com os resultados obtidos conclui-se existe é viável a substituição dos carros convencionais por carros elétricos utilizando as considerações apresentadas no quarto cenário, mas são necessários novos estudos a fim de obter métodos que permitam prolongar a duração do consumo de lítio como a reciclagem das baterias.

## 8 PROPOSTA DE SUGESTÃO PARA NOVOS TRABALHOS

O setor de transporte representa mundialmente um entrave na busca de sustentabilidade. Apesar de o carro elétrico possuir a vantagem de não emissão de  $CO_2$ . Porém com um determinado numero de recarga a bateria se torna inutilizável, sendo necessário o seu descarte. Uma alternativa para o descarte é a reciclagem da bateria.

Segundo BUSNARDO, BUSNARDO e AFONSO (2004), a reciclagem de uma bateria primária de lítio apresenta risco de explosão devido ao lítio e ao solvente não aquoso. Tentativas de abri-las podem expor as baterias à umidade do ar, o que provoca reações violentas. Já as baterias secundárias de lítio são as mais empregadas nos estudos de reciclagem. O procedimento das baterias usadas de lítio deve obedecer a duas principais condições:

- a) recuperação maximizada dos componentes de valor do produto usado;
- b) tratamento de materiais não recuperados para obter formas seguras de descarte.

Em termos ecológicos, impõe - se que no futuro, as baterias sejam as mais recicláveis possíveis, reduzindo a pressão, por fontes naturais. O processamento é relativamente simples e pode-se recuperar boa parte do lítio. Assim, a proposta de sugestão para novos é a pesquisa de reciclagem de baterias secundárias a fim de reutilizar o lítio na produção de novas baterias lítio-ion.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. **Anuário da indústria automobilística Brasileira**. 2016. Disponível em: <[www.anfavea.com.br](http://www.anfavea.com.br)>. Acesso em: 25 maio 2017.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. **Anuário da indústria automobilística Brasileira**. 2017. Disponível em: <[www.anfavea.com.br](http://www.anfavea.com.br)>. Acesso em: 10 junho 2017.

ALMEIDA JÚNIOR, H. A. J. **Análise comparativa de veículos elétricos e veículos com motor de combustão interna**. Dissertação (Mestrado de Engenharia de Energia). Programa de Mestrado de Engenharia de Energia do CEFET-MG. 2014. 115 f. Disponível em: <[http://www.files.scire.net.br/atricio/cefet-mg-ppgee\\_upl//THESIS/32/dissertaohlder\\_alves\\_de\\_almeida\\_jnior\\_\\_versao\\_final.pdf](http://www.files.scire.net.br/atricio/cefet-mg-ppgee_upl//THESIS/32/dissertaohlder_alves_de_almeida_jnior__versao_final.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2017.

BARAN, R; LEGEY, L. F. L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. BNDES Setorial. 2010. 33 f. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/684>>. Acesso em: 09 mar. 2017.

BARAN, R. **A Introdução de veículos elétricos no Brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade**. 2012. 139 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético). Programa de Planejamento Energético da UFRJ. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/baran.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

BATISTA, R. A. S. G. **Fabrico e caracterização de baterias recarregáveis de lítio em estado sólido**. 2011. 106 f. Tese (Mestrado em Engenharia Eletrônica Industrial e Computadores). Universidade do Minho. Disponível em: <<http://intranet.dei.uminho.pt/gdmi/galeria/temas/pdf/43552.pdf>>. Acesso em: 19 maio 2017.

BRAGA, P. F. A; FRANCA, S. C. A. **Lítio: um mineral estratégico. Série Estudo e Documentos - 81**. CETEM/MCTI. 2013. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/series/serie-estudo-e-documentos>>. Acesso em: 07 abr. 2017.

BRASIL. Norma Brasileira de Regulamentação. *International Standard Organization - ISO*. ISO 14040: **Avaliação do ciclo de vida**. 2006. Disponível em: <<http://www.abre.org.br/esp/wp-content/uploads/2012/07/cetea.pdf>>. Acesso: 1º maio 2017.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Empresa de Pesquisa Energética – EPE**. 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumodeenergia%20C3%A9tricanoBrasilcai0,9em2016.aspx?CategoriaID>>. Acesso em: 12 mar. 2017.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional – BEN**. 2016. Disponível em: <<http://www.ben.epe.gov.br/BENRelatórioFinal.aspx?anoColeta=2016&FimColeta=2015>> Acesso em: 12 mar. 2017

BUSNARDO, R. G; BUSNARDO, N.G; AFONSO, J. C. **Baterias de lítio: novo desafio para a reciclagem.** Revista Ciência Hoje. Rio de Janeiro, vol.35, nº205 p.72. 2004.

CASTRO, B; FERREIRA, T. **Veículos elétricos:** aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. BNDES Setorial. 2010. 32 p. 267- 310. Disponível em: <<https://web.bndes.net/bib/jspui/handle/1408/1764>>. Acesso em: 22 abr. 2017.

CASTRO, B. H. R; BARROS, D. C; VEIGA, S. G. **Baterias automotivas:** panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. BNDES Setorial. 2010. 37 f. Disponível em: <<https://web.bndes.net/bib/jspui/handle/1408/1511>>. Acesso em: 11 mar. 2017.

CASTRO, D. E. **Reciclagem e sustentabilidade na indústria automobilística.** Belo Horizonte: [s.n], 2012.

CASTRO, E. S. de. **Impacto de veículos elétricos na operação em regime permanente de sistemas de distribuição.** 2015. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/12914>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

CEARÁ. **Estudo dos pegmatitos litiníferos da região de Solonópole-Ceará.** Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/estudo-dos-pegmatitos-litiniferos-da-regiao-de-solonopole-ceara/view>>. Acesso em: 14 maio 2017.

CIEZ, R.E; WHITACRE, J. F. **The cost of lithium is unlikely to upend the price of li-ion storage systems.** Journal of Power Source. 2016. pag. 310-316. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/jpowsour>. Acesso em 24 jun 2017.

COSTA, E. **Sobre o carro elétrico.** 2013. Disponível em: <<http://www.verdesobre rodas.com.br/p/sobre-o-carro-eletrico.html>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

DANIEL, C. Material and Coatings - The Minerals, metals e materials society .vol60. nº9. 2008. Disponível em:<<https://www.tms.org/jom.html>> . Acesso em 06 Set. 2017.

DUARTE, M. S. **Veículo elétrico.** 2014. 119 f. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Portugal. Disponível em: <[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779578772181/CE\\_VeiculoEletrico.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779578772181/CE_VeiculoEletrico.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2017.

FONTELLES, M. J; SIMÕES, M.G; FARIAS, S.H, FONTENELLES, R.G.S. **Metodologia da Pesquisa Científica: Diretrizes para a Elaboração de um Protocolo de Pesquisa.** Revista Paraense de Medicina v 23, n 3 , 2009. Disponível em: <[https://cienciassaude.medicina.ufg.br/up/150/o/Anexo\\_C8\\_Noname.pdf](https://cienciassaude.medicina.ufg.br/up/150/o/Anexo_C8_Noname.pdf)>. Acesso em 06 Set. 2017.

GARCIA, I. J. Lítio. *In: Sumário mineral*. DNPM/MME. Brasília. 2011. 187-190. Disponível em: <[WWW.dnpm.gov.br/sumarios/litio-sumario-mineral-2014/viem](http://WWW.dnpm.gov.br/sumarios/litio-sumario-mineral-2014/viem)>. Acesso em: 14 maio 2017

IEA. **Key World Energy Statistics**. International Energy Agency, Paris, França. 2016.

LINDEN, D; REDDY, T. B. **Handbook of batteries**. 3. ed, Nova York. USA. 1995.

MACHADO, F. F. **Análise das políticas públicas para a inclusão do automóvel elétrico no Brasil**. 2015. 130 f. (Dissertação). Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/sites/default/files/FelipeFerrazMachado.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2017.

MENDES, M. T. S. **Perfil econômico do lítio nos países sul-americanos e consumo mundial**. 2009. 46 f. Monografia (Bacharelado em Geologia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista - UNESP. 2009. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/119955>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

NOCE, T. **Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento**. 2009. 129 f. (Dissertação). Programa de Pós-Graduação da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2009. Disponível em: <[http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngMecanica\\_NoceT\\_1.pdf](http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngMecanica_NoceT_1.pdf)>. Acesso em: 02 maio 2017.

NYBROE, C. E. C. **Estudo prospectivo da inserção de veículos elétricos no Paraguai e na Bolívia à luz de uma avaliação econômico-financeira**. 2015. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Energia. Instituto de Energia e Ambiente. Universidade de São Paulo – USP. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-28032016.../CarlosNybroe.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-28032016.../CarlosNybroe.pdf)>. Acesso em: 29 mar. 2016.

OICA. **Produção de veículos mundial 2016**. Disponível em: <<http://www.oica.net/category/production-statistics>>. Acesso em 29/09/2017

ORRICO, M. V. M. **Otimização do dimensionamento de um sistema de motor elétrico e bateria para veículo elétrico**. 2013. 102 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasília/DF. 2013. Disponível em: <<http://bdm.unb.br/handle/10483/8232>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

RODRIGUES, J. M. **Estado da motorização individual no Brasil Relatório 2015**. Disponível em: <[http://www.observatoriodasmetroles.net/download/automoveis\\_e\\_motos2015.pdf](http://www.observatoriodasmetroles.net/download/automoveis_e_motos2015.pdf)>. Acesso em 10 jun. 2017

SATO, P. **Como funcionam os carros elétricos?** 2009. 3 f. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/1088/como-funcionam-os-carros-eletricos>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

SAMPIERI, R. H. **Metodologia de la investigación**. 5 ed. México. 2010.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 2ed. São Paulo. 1941.

Disponível em:

<[https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=uBUUpDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=severino+2007+metodologia+do+trabalho+cientifico&ots=aHo0au\\_SR3&sig=QrwuEtnYaZuWXQRtgglwtL8DciM#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=uBUUpDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=severino+2007+metodologia+do+trabalho+cientifico&ots=aHo0au_SR3&sig=QrwuEtnYaZuWXQRtgglwtL8DciM#v=onepage&q&f=false)> Acesso em: 06 Set. 2017.

*SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY - SETAC.*

**Guidelines for lifecycle assessment: a code of practice**. Bruxelas, 1993.

Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02978897>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

SOUSA, D. M. **Veículo elétrico**. 2014. 95 f. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Disponível em: <[https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/41997/1/disserta%A7%C3%A30\\_David%20Cunha\\_2014.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/41997/1/disserta%A7%C3%A30_David%20Cunha_2014.pdf)>. Acesso em: 11 mar. 2017.

*UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY ADMINISTRATION, 2012.*

**Alternative Fuel Data Center**. Disponível em:

<<http://www.afdc.energy.gov/afdc/data/>>. Acesso em: 07 abr. 2017.