



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

**CENTRO DE TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**EZEQUIEL VASCONCELOS PEREIRA**

**TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS E MERCADO ATUAL  
DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL E NO MUNDO**

**FORTALEZA**

**2016**

EZEQUIEL VASCONCELOS PEREIRA

TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS E MERCADO ATUAL  
DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL E NO MUNDO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial à obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr.-Ing. Sérgio Daher.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- P49t Pereira, Ezequiel Vasconcelos.  
Tendências tecnológicas e mercado atual dos veículos elétricos no Brasil e no mundo / Ezequiel Vasconcelos Pereira. – 2016.  
82 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2016.  
Orientação: Prof. Dr. Sérgio Daher.
1. Veículo Elétrico. 2. Mercado Atual. 3. Viabilidade Econômica. 4. Meio Ambiente. 5. Combustível Fóssil. I. Título.

CDD 621.3

---

EZEQUIEL VASCONCELOS PEREIRA

TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS E MERCADO ATUAL  
DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL E NO MUNDO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial à obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Elétrica.

Aprovado em: \_\_/\_\_/\_\_\_\_.

---

Ezequiel Vasconcelos Pereira

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr.-Ing. Sérgio Daher  
(Orientador)

---

Prof. Ph.D. Fernando Luiz Marcelo Antunes

---

Prof. MSc. Rodnei Regis de Melo

A Deus, meus pais, professores e todos aqueles que tanto respeito e contribuíram de forma direta e indireta para minha formação.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me abençoar com uma família maravilhosa.

Aos meus pais pela dedicação e oferta de vida, sempre se esforçando para proporcionar o melhor para mim.

À UFC que me acolheu por todos estes anos e sempre deu o suporte para avançar e aprofundar meus conhecimentos no curso.

Ao Prof. Dr.-Ing. Sérgio Daher pela orientação e paciência durante este trabalho e as disciplinas ofertadas ao longo do curso.

Aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica pela contribuição, dedicação e compromisso durante o curso com o aprendizado dos alunos do curso.

A todos os meus familiares e amigos pelas valiosas colaborações, sugestões e, acima de tudo, incentivo.

Aos colegas de curso e amigos que, durante o curso, de alguma forma contribuíram para minha formação profissional.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

## RESUMO

No contexto atual, visando a preservação do meio ambiente e a escassez dos recursos não renováveis, tem-se o veículo elétrico (VE) como uma alternativa para solucionar muito desses problemas. Este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão do mercado atual dos VEs no Brasil e no mundo, apresentando um histórico do desenvolvimento do veículo elétrico, desde a fabricação em paralelo com os veículos a combustão, passando pela decadência inicial devido à facilidade de encontrar e armazenar petróleo e seus derivados. Em seguida, visualiza a superprodução de carros a combustão e os problemas deles advindos como a poluição do meio ambiente e a crescente escassez de petróleo, correndo o risco de se chegar a um colapso econômico, o que forçou a retomada da evolução tecnológica dos veículos elétricos. Nesse contexto, salienta-se, também o esforço global de se desenvolver veículos elétricos cada vez mais leves, mais eficientes, com baterias de maior potência, e versatilidade em termos de variação de energia utilizada na recarga, com foco no tipo de fonte de energia utilizada nessa fabricação que contribua, cada vez menos, com a poluição do meio ambiente. No Brasil os incentivos para a produção e aquisição de um VE ainda são insuficientes. A tecnologia tem evoluído bastante, contudo, o gargalo continua sendo as baterias. Nos próximos anos essas novas tecnologias podem deixar os VEs mais acessíveis e viáveis.

**Palavras-chave:** Veículo elétrico. Mercado atual. Viabilidade econômica. Meio ambiente. Combustível fóssil.

## **ABSTRACT**

In the current context, aiming at the preservation of the environment and the scarcity of non-renewable resources, we have the electric vehicle (VE) as an alternative to solve many of these problems. This paper aims to review the current market of electric vehicles in Brazil and in the world, presenting a history of the electric vehicle development, from manufacturing in parallel with the combustion vehicles, through the initial decay due to the ease of finding and storing oil and its derivatives. Then view the overproduction of combustion cars and its problems arising as environmental pollution and the increasing scarcity of oil, at the risk of reaching an economic collapse, which forced the resumption of the technological evolution of electric vehicles. In this context, it is also worth noting the global effort to develop lighter and more efficient electric vehicles with higher power batteries and versatility in terms of the variation of energy used in the recharging, focusing on the type of energy source Used in this manufacturing that contributes, less and less, to the pollution of the environment. In Brazil the incentives for the production and purchase of an VE are still insufficient. The technology has evolved a lot, however, the bottleneck is still the batteries. In the coming years these new technologies can make VEs more accessible and viable.

**Keywords:** Electric vehicle. Current Market. Economic viability. Environment. Fossil fuel.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Característica típica do motor elétrico com variação da velocidade .....	19
Figura 2 - Forças de tração de um MCI com quatro marchas e um ME com uma marcha. ....	19
Figura 3 - Evolução do Consumo Mundial de Petróleo por Setor, em Mtoe. (1973-2014). ....	20
Figura 4 - Consumo Mundial de Petróleo por Setor (1973-2014).....	20
Figura 5 - Emissões globais de CO <sub>2</sub> provenientes da combustão de combustíveis, por setor (2014), em %. .....	21
Figura 6 - Emissões totais no Brasil por setor (2015), em MtCO <sub>2</sub> .....	21
Figura 7 - Uso de Energia no Brasil. ....	22
Figura 8 - Matriz Elétrica Brasileira (2015). ....	22
Figura 9 - Thomas Edison e um Carro Elétrico (1913). ....	26
Figura 10 - Protótipos tipo Diesel-Hybrid criados com a iniciativa PNGV.....	28
Figura 11 - Veículos elétricos pelo mundo, em 2011.....	29
Figura 12 - Esquema de um BEV.....	32
Figura 13 - Esquema de um E-REV.....	33
Figura 14 - Comparação entre versões BEV (c/ ME) e REX (c/ ME e MCI) do BMW i3.....	33
Figura 15 - Esquema de um HEV.....	34
Figura 16 - Esquema de um PHEV. ....	35
Figura 17 - Ilustração do veículo elétrico modelo BMW i3.....	37
Figura 18 - Produção Mundial de Terras-Raras (2012).....	48
Figura 19 - Baterias de Chumbo Ácido de um carro elétrico, de 1915, produzido pela empresa Anderson Electric Car Company. ....	49
Figura 20 - Repartição da oferta interna de energia. ....	53
Figura 21 - Consumo de Energia no setor de Transportes. ....	54
Figura 22 - Fluxo Energético.....	55
Figura 23 - Oferta mundial total de energia primária por combustível, em 2014. ....	57
Figura 24 - Consumo mundial total por combustível, em 2014. ....	57
Figura 25 - Geração elétrica mundial por combustível, em 2014. ....	58
Figura 26 - Estados em que o IPVA é diferenciado para o veículo elétrico.....	64
Figura 27 - Grupo de Veículos Elétricos. ....	66
Figura 28 - Matriz elétrica na Alemanha, em 2011.....	71
Figura 29 - Valores de veículos 0 km equivalentes, VE x VCI, em 2013.....	74

Figura 30 - Valores de revenda de veículos equivalentes fabricados em 2013, VE x VCI, em Agosto de 2016.....75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - BMW i3 (BEV). .....	39
Tabela 2 - BMW i3 (E-REV). .....	39
Tabela 3 - REANULT TWIZY URBAN 80 Z.E. (BEV).....	40
Tabela 4 - RENAULT ZOE Z.E. (BEV).....	40
Tabela 5 - NISSAN LEAF (BEV).....	41
Tabela 6 - TESLA MODEL S (BEV). .....	41
Tabela 7 - MITSUBISHI i-MIEV / PEUGEOT iOn (BEV). .....	42
Tabela 8 - SMART MINI E (BEV). .....	42
Tabela 9 - MERCEDES SLS AMG E-CELL (BEV).....	43
Tabela 10 - CHEVROLET VOLT (2ª GERAÇÃO) (E-REV).....	43
Tabela 11 - HYUNDAI SONATA HYBRID 2016 (HEV / PHEV). .....	44
Tabela 12 - FORD FUSION HYBRID (HEV) / ENERGI (PHEV).....	44
Tabela 13 - TOYOTA PRIUS IV (PHEV).....	45
Tabela 14 - BMW i8 (PHEV).....	45
Tabela 15 - OPEL AMPERA (E-REV).....	46
Tabela 16 - Avaliação dos motores para VEs.....	47
Tabela 17 - Uso de Terras-Raras. ....	47
Tabela 18 - Modelos de carros beneficiado pelo projeto Inovar. ....	63
Tabela 19 - Preço dos veículos do Brasil, EUA e Chile.....	70
Tabela 20 - Garantia de VEs por fabricante. ....	73

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAMA	American Automobile Manufacturers Association
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
ANFAC	Associação Espanhola de Fabricantes de Automóveis e Caminhões
BEN	Balanco energético nacional
BEV	Battery Electric Vehicle: Veículo Elétrico Puro
BLDC	Brushless DC
BMBF	German Federal Ministry of Education and Research
CAMEX	Câmara de Comercio Exterior
CARB	California Air Resources Board
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CFT	Comissão de Finanças e Tributação
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COP-3	Conferência das Partes
DC	Direct Current: Corrente Contínua
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
EIA DOE	Departamento de Energia da Administração de Informação Energética dos Estados Unidos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
E-REV	Extended-Range Electric Vehicle: Veículo Elétrico com Autonomia Estendida
GEE	Gases de Efeito Estufa
HEV	Hybrid Electric Vehicle: Veículo Elétrico Híbrido
HSM	Máquina Síncrona Híbrida
IEA	Agencia Internacional de Energia
IFEU	Instituto de Pesquisa de Energia e Meio Ambiente
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
II	Imposto sobre Importação
IPCC	Mudança Climática no Painel Intergovernamental
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
MCI	Motor Clássico Térmico
ME	Motor Elétrico

MSIP	Motor Síncrono de Imã Permanente
ONU	Organização das Nações Unidas
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle: Veículo Elétrico Híbrido Plug-in
PIS/PASEP	Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PL	Projeto de Lei
PLS	Projeto de Lei do Senado
PNE	Plano Nacional de Energia
PNGV	Partnership for a new generation vehicles
REX	Range Extender
SEB	Rapid Charging System for Electric Buses in Public Transport
TR	Terras Raras
VCI	Veículos de Combustão Interna
VE	Veículos Elétricos
VHEP	Veículo Elétricos Híbridos Plug-in
ZeEUS	Zero Emission Urban Bus System
ZSW	Instituto Germany's Centre for Solar Energy and Hydrogen Research Baden-Württemberg

## LISTA DE SÍMBOLOS

CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
gCO <sub>2</sub> /km	Gramas de dióxido de carbono por quilômetro
MJ/km	Megajoules por quilômetro
Mt	Milhões de toneladas
NiMH	Hidreto metálico de níquel
MtCO <sub>2</sub> – eq	Milhoes de toneladas equivalentes de dióxido de carbono
Mtoe	Milhões de toneladas equivalentes de petróleo

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	18
1.1. Questão ambiental .....	20
1.2. Objetivos.....	24
2. EVOLUÇÃO DOS VEs.....	25
3. CLASSIFICAÇÃO DOS VEs .....	31
3.1. Veículo elétrico a bateria (BEV) .....	31
3.2. Veículo elétrico com autonomia estendida (E-REV) .....	32
3.3. Veículo elétrico híbrido (HEV) .....	34
3.4. Veículo elétrico híbrido plug-in (PHEV) .....	35
4. TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS DOS VEs E DA MATRIZ ENERGÉTICA .....	36
4.1. Últimos lançamentos comerciais .....	37
4.1.1. BMW i3.....	37
4.1.2. Outros modelos .....	40
4.2. Motores .....	46
4.3. Baterias .....	48
4.3.1. Novas Tecnologias .....	51
4.4. Matriz energética .....	52
4.4.1. Matriz energética brasileira.....	52
4.4.2. Matriz energética mundial.....	56
4.4.3. Smart Grid .....	59
5. MERCADO ATUAL DO VEs NO BRASIL .....	61
5.1. Alterações tributárias .....	61
5.2. Políticas públicas .....	61
5.3. Caso Brasil.....	61
5.3.1. Carga tributária brasileira sobre veículos elétricos .....	61
5.3.2. Importância para o futuro.....	62
5.3.3. Incentivos fiscais .....	62
5.3.4. Projeto inovar .....	63
5.3.5. Projeto em andamento .....	64
5.3.6. Inovações tecnológicas.....	65
5.4. Comportamento global .....	66
5.5. Aceitação do mercado.....	67

5.5.1. Caso Brasil .....	68
5.6. Mercado do lítio.....	68
5.7. Preços das baterias e dos VEs.....	69
6. ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA.....	71
6.1. Meio ambiente .....	71
6.2. Influência da bateria no preço do carro elétrico .....	72
7. CONCLUSÃO .....	76
8. REFERÊNCIAS.....	78

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente existem cerca de 1 bilhão de veículos em uso em todo o mundo. Esse grande número de veículos tem sido responsável por uma série de questões importantes em nossa sociedade, como emissões de gases de efeito estufa (GEE), poluição do ar, esgotamento do petróleo, segurança energética e crescimento populacional.

Estudos feitos pela Organização das Nações Unidas (ONU) apontam que, até o ano de 2050, haverá um crescimento demográfico acentuado nas zonas urbanas. No ano de 1800 cerca de 3% da população mundial vivia em áreas urbanas, hoje esse número chega a 54%. Em 2025, haverá 29 megacidades e, em 2050, mais de 70% da população mundial viverá nas grandes cidades (Nikowitz, 2016).

Portanto, transportes eficientes e com “zero” em impacto ambiental são um dos principais desafios da nossa sociedade. Tendências como conectividade, smart grid, transporte compartilhado, veículos autônomos, veículos leves e combustíveis alternativos terão um enorme impacto sobre o futuro dos setores de transporte, de energia e de telecomunicações.

Pesquisas e desenvolvimentos no âmbito da “descarbonização” dos veículos tem sido uma meta para o século 21. Indústrias e governos de todo o mundo têm buscado por soluções alternativas e sustentáveis para o setor de transporte. Um dos focos principais de pesquisa são veículos que utilizem meios alternativos de propulsão e que proporcionem boa eficiência energética, diminuição de emissões de poluentes e redução do uso de combustíveis fósseis.

A tecnologia dos veículos elétricos (VE) tem sido vista por muitos como alternativa chave, diminuindo assim, a dependência do petróleo e a emissão de poluentes por parte do setor de transporte, já que VEs puros reduzem as emissões de GEE em 80%; híbridos plug-in, em 55%; e os híbridos não plug-in, em 30% que um veículo tradicional a combustão produz (Vonbun, 2015). Assim, esse segmento tem sido colocado como uma opção promissora, pensando futuramente em novas demandas para a indústria automobilística global, levando aos fabricantes de veículos automotores e fornecedores de componentes a reunir esforços na área de pesquisa e desenvolvimento (P&D) para a concepção e produção de veículos mais eficientes, menos poluentes e com menos impactos ao meio ambiente.

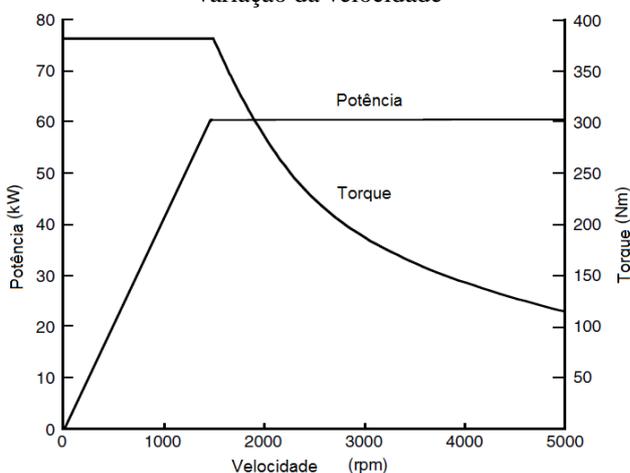
O desenvolvimento de veículos elétricos puros, híbridos, e a células combustíveis de hidrogênio têm tido grande progresso. Como a eletricidade é a principal fonte de energia do VE, esse meio de transporte necessita, para sua propulsão, de motores elétricos que podem

ser alimentados por fonte externa (linha de transmissão) ou por fonte interna (conversão de combustível em eletricidade ou a bateria), além de poder armazenar energia na bateria quando utilizam a frenagem regenerativa.

Em vias onde passam habitualmente trens, ônibus e metrô planeja-se a construção de linhas de transmissão, para a rota de cada meio de transporte, junto aos trilhos ou acima dos veículos onde a alimentação é feita pelo contato da linha com catenária. Nos veículos movidos com fonte interna, são construídos dispositivos que armazenam energia para alimentação dos motores. A maioria desses VEs possui menor autonomia se comparados com os veículos movidos a combustão, pois estes são capazes de armazenar uma maior quantidade de energia; no entanto, alguns modelos como o Model S e Model X da Tesla Motors já estão mudando este quadro.

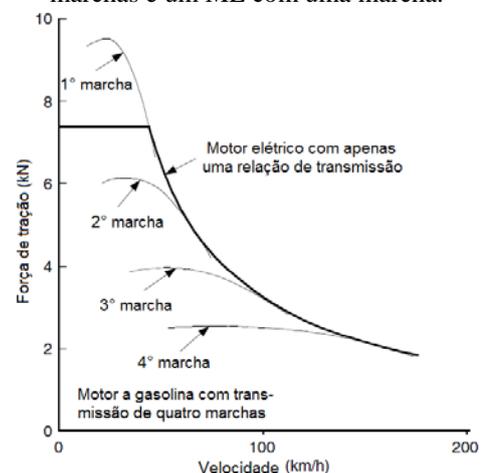
O rendimento médio de um motor clássico térmico de ciclo Otto, ou motor de combustão interna (MCI), está na ordem de 22 a 30% (Vasconcelos, 2015). A maior parcela das perdas se dá pela condução do calor produzido pela combustão e pela quantidade de peças móveis, que são centenas, se atritando e produzindo mais calor. O que torna o MCI um motor complexo, que necessita de intervenções regulares e manutenção onerosa. Já a simplicidade na construção e o baixo número de peças móveis conferem aos motores elétricos (ME) robustez, pouca manutenção e boa eficiência, chegando a 90% em toda sua gama de velocidade e potência. Se ainda comparado aos MCI, os ME podem ser controlados com bastante precisão, podendo ser comandado para fornecer um alto torque de partida (Figura 1), bem como arrancadas suaves e atingir velocidade máxima, do VE, sem a necessidade de múltiplas marchas (Figura 2), já necessária em veículo de MCI para atingir níveis máximos de potência e torque em determinadas condições de rotações.

Figura 1 - Característica típica do motor elétrico com variação da velocidade



Fonte: Adaptado de Ehsani *et al.*, 2005.

Figura 2 - Forças de tração de um MCI com quatro marchas e um ME com uma marcha.

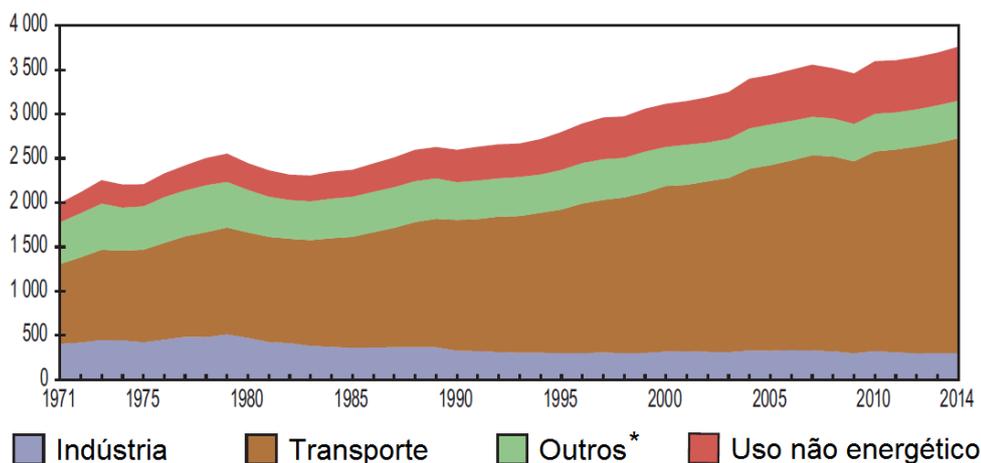


Fonte: Adaptado de Ehsani *et al.*, 2005.

## 1.1. Questão ambiental

O consumo de petróleo no mundo tem apresentado uma trajetória predominantemente crescente, sendo transportes o setor da economia que mais consome petróleo (Figura 3), responsável por 64,5% do consumo de petróleo em 2014 e 23% da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provenientes da combustão de combustíveis no mundo, como se pode observar nas Figura 4 e Figura 5, respectivamente.

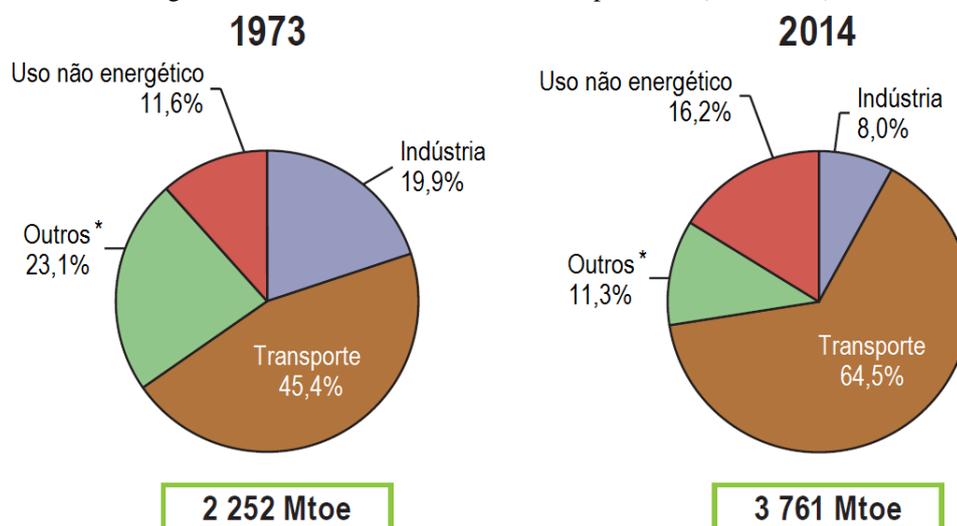
Figura 3 - Evolução do Consumo Mundial de Petróleo por Setor, em Mtoe. (1973-2014).



\* Inclui serviços agrícolas, comerciais e públicos, residenciais e outras não-especificadas.

Fonte: Adaptado de IEA Statistics, 2016.

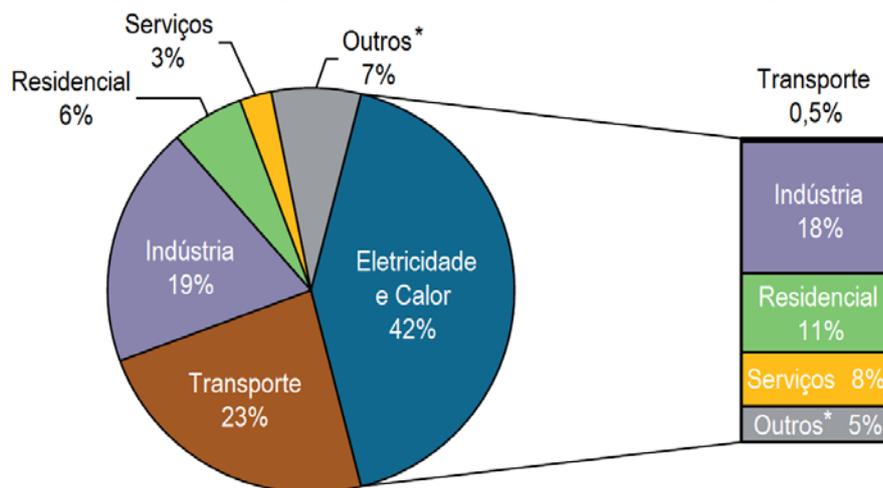
Figura 4 - Consumo Mundial de Petróleo por Setor (1973-2014).



\* Inclui serviços agrícolas, comerciais e públicos, residenciais e outras não-especificadas.

Fonte: Adaptado de IEA Statistics, 2016.

Figura 5 - Emissões globais de CO<sub>2</sub> provenientes da combustão de combustíveis, por setor (2014), em %.

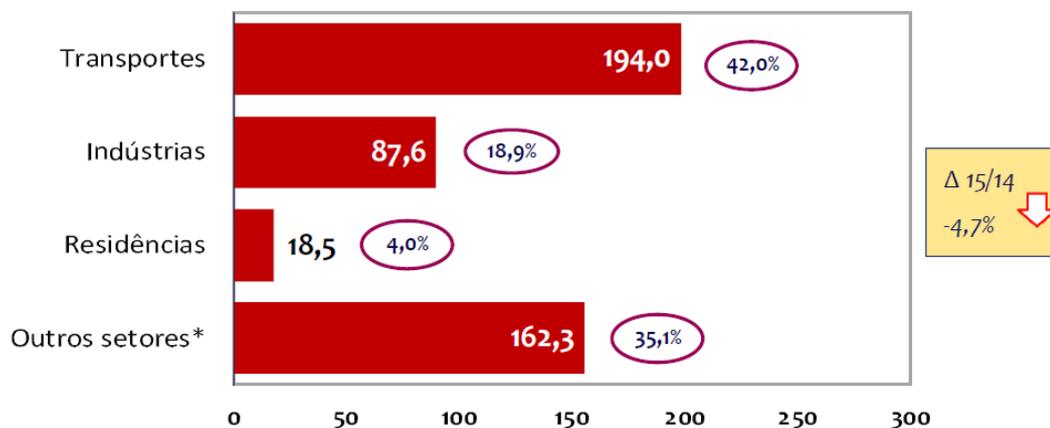


\* Inclui a agricultura, silvicultura, pesca, indústrias de energia (com exceção para geração de eletricidade e calor) e outras emissões não especificadas em outros lugares.

Fonte: Adaptado de IEA Statistics, 2016.

Os dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), publicados anualmente pelo Balanço Energético Nacional (BEN) apontam que, em 2015, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 462,34 milhões de toneladas equivalentes de dióxido de carbono ( $MtCO_2 - eq$ ); dessa, 42,0% foi gerada pelo setor de transportes (194,0  $MtCO_2 - eq$ ), como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Emissões totais no Brasil por setor (2015), em  $MtCO_2$ .

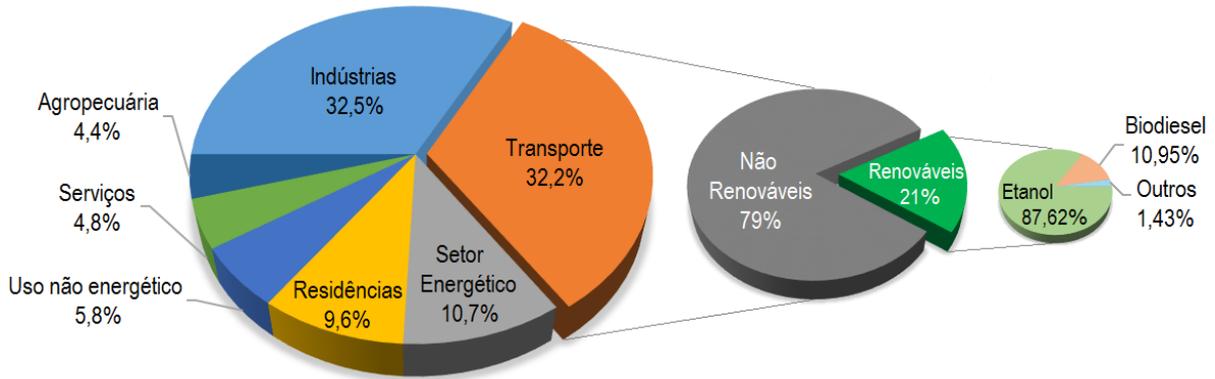


\* Inclui os setores agropecuário, serviços, energético, elétrico e as emissões fugitivas.

Fonte: EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

No Brasil, o segmento de transporte é responsável por 32,2% do uso energético (Figura 7), sendo que deste consumo, 79% é proveniente de fontes não renováveis. No entanto, deve-se se atentar que desses, 21% são provenientes de fontes renováveis, sendo 98,57% vem do Etanol e Biodiesel, emissores também de poluentes.

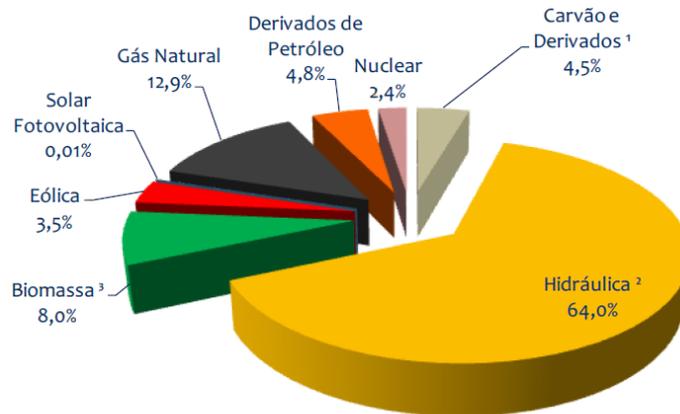
Figura 7 - Uso de Energia no Brasil.



Fonte: Adaptado de EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

Acrescente-se que no Brasil enquanto a matriz de energia elétrica é considerada uma das mais limpas do mundo devido à produção majoritária das usinas hidráulicas (Figura 8), a matriz de transporte, ao contrário, apresenta um desempenho de baixa eficiência tendo em vista a predominância quase exclusiva do modal rodoviário baseado nos ciclos Diesel e Otto (Peres, *et al.*, 2011).

Figura 8 - Matriz Elétrica Brasileira (2015).



oferta hidráulica<sup>2</sup> em 2015: 394,2 TWh

oferta total<sup>2</sup> em 2015: 615,9 TWh

<sup>1</sup> Inclui gás de coqueria

<sup>2</sup> Inclui importação

<sup>3</sup> Inclui lenha, bagaço de cana, lixo e outras fontes primárias.

Fonte: EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

Devido à dependência dos meios de transporte em relação ao petróleo e à emissão de poluentes deles, cresce a preocupação no contexto ambiental decorrentes da emissão significativa de gases poluentes, considerados altamente cancerígenos e causadores de doenças respiratórias e que agravam as doenças cardíacas (Becker *et al.*, 2009), obrigando alguns países a desenvolver combustíveis mais eficientes e limpos. Com a criação de

convênios, o biodiesel, etanol, gás natural começaram a ser utilizados. Apesar de a eletricidade, não ser considerada um combustível, começou a ser inserida no mercado do setor automotivo ((Grant-Muller; Usher, 2014), (Dijk *et al.*, 2013), (Lima; Souza, 2015)).

Samaras e Meisterling (2008) afirmaram que os problemas ambientais diminuiriam, caso fossem reduzidos os GEE provenientes dos Veículos de Combustão Interna (VCI), que são responsáveis por 40% do aumento do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no mundo desde 1990. Em 1997, na Conferência das Partes (COP-3) foi assinado o compromisso de reduzir essas emissões de gases em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 entre 2008 e 2012 (Protocolo de Quioto, 1998).

Mais tarde na Conferência das Nações Unidas, de acordo com ONU (2012) e o Relatório Rio+20 (2013), os países se comprometeram a usar diversas fontes de energia como as de baixa emissão de GEE e as energias limpas para assegurar a proteção ambiental. Segundo o IPCC (2014) serão exigidas mudanças no setor tecnológico, econômico, social e institucional para diminuir a emissão de poluentes, a exemplo das áreas de transporte e indústria, onde será concentrado o fornecimento de eletricidade de baixo carbono e alta eficiência energética.

De acordo com a Rio+20 Corporate Sustainability Forum (2012), mais de 200 Conselhos delegados de empresas brasileiras foram incentivados a promover a economia verde e inclusiva a de desenvolvimento sustentável que estabelece compromissos específicos a serem realizados.

Tendo em vista que, no setor de transporte, os VCIs são os maiores responsáveis pela emissão do CO<sub>2</sub>, um dos principais Gases do Efeito Estufa (GEE), muitos fabricantes de automóveis têm colocado ênfase no desenvolvimento de vários tipos de veículos elétricos. Esses incluem, veículos elétricos híbridos, híbridos *plug-in, extended range* e VEs puros, totalmente elétricos, que será visto com maiores detalhes no desenvolvimento deste trabalho.

Ao contrário do que muitas pessoas acreditam, a tecnologia dos automóveis híbridos e elétricos não representa uma inovação tecnológica recente. Embora haja certamente avanços importantes nos veículos elétricos atuais, como as baterias de Íon-Lítio e toda a tecnologia digital presente nos carros modernos, na essência o conceito básico se mantém. Ou seja, não houve mudanças radicais nos motores elétricos de hoje, nem mesmo na utilização da energia cinética gerada pelo movimento do veículo (Baran; Legey, 2010).

## 1.2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo fazer um estudo sobre a situação dos veículos elétrico no Brasil e no mundo, mostrando as principais tendências tecnológicas dos VEs e da matriz energética, análise de mercado e da viabilidade econômica.

Dentre os objetivos específicos estão:

- Fazer uma revisão bibliográfica da evolução dos VEs e os tipos de VEs existentes;
- Pesquisar as tendências tecnológicas dos VEs e da matriz energéticas desenvolvidas mundialmente;
- Observar como está o mercado atual dos VEs no Brasil e no mundo, bem como sua aceitação em relação aos veículos convencionais e;
- Estudar a viabilidade econômica dos VEs em relação ao meio ambiente e em termos de influência da bateria no preço do VE.

## 2. EVOLUÇÃO DOS VEs

Este capítulo apresenta um breve histórico da evolução do VE no mundo. A partir de 1973 o consumo do petróleo começou a aumentar e seus derivados tiveram várias aplicações. Por ser uma matéria-prima que ainda não pode ser substituída, os países dos setores consumidores ficaram cada vez mais dependentes da importação desse produto, fazendo com que o preço do petróleo passasse por grandes oscilações durante os diversos acontecimentos políticos e econômicos da história da humanidade.

Segundo Hoyer (2008), o surgimento dos VE está relacionado com o da bateria, pois em 1859 o belga Gaston Planté apresentou a primeira bateria criada com chumbo e ácido e em 1880, na França e no Reino Unido, os primeiros VE foram desenvolvidos utilizando essa bateria. Foi quando, em 1885, Benz apresentou o primeiro motor a combustão interna e a partir de 1890 o desenvolvimento da indústria automotiva foi impulsionado, inicialmente na Europa e nos E.U.A. O VE ganhou notoriedade apenas a partir de 1891 com William Morrison, em Iowa nos Estados Unidos, onde em sua oficina foi produzido o primeiro carro totalmente elétrico, o qual, após algumas mudanças básicas no chassi, pode ser produzido ao ponto de competir com as duas principais tecnologias de propulsão da época.

O carro mais popular nos E.U.A. foi o Locomobile, movido a vapor, mas seu mercado se dividia entre carros elétricos, a vapor e, em menor quantidade, os movidos a gasolina como registrou em 1899 as vendas de 936 carros, além de 1575 elétricos e 1681 movidos a vapor (Cowan e Hultén, 1996).

As indústrias de cada tipo de carro possuíam visões de estratégia comercial diferentes: as dos carros movidos a gasolina visavam o consumo em massa e se preocupavam com o preço do automóvel; a preocupação das do motor a vapor era a alta performance e os fabricantes do automóvel elétrico se preocupavam em atender a um público mais exigente e com maior poder aquisitivo (Arthur, 1989).

Em 1899, acreditando no futuro promissor dos VEs, Thomas Edison (Figura 9) começou sua pesquisa na criação de baterias de longa duração. Em 1901 ele desenvolveu uma bateria de níquel-ferro capaz de armazenar 40% mais energia que as de chumbo, no entanto seu custo era muito elevado. Além desta, foram criadas baterias de níquel-zinco, zinco-ar. Embora suas pesquisas produzissem algumas melhorias para as baterias alcalinas. Depois de uma década de pesquisas, Thomas Edison abandonou sua missão.

Figura 9 - Thomas Edison e um Carro Elétrico (1913).



Fonte: <[https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_the\\_electric\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_electric_vehicle)>.

Segundo Baran (2012), ainda no final do século XIX e início do século XX, foram criadas a frenagem regenerativa, que consiste em transformar a energia cinética do automóvel em energia elétrica durante a frenagem; e o sistema híbrido a gasolina e eletricidade. De acordo com Hoyer (2008), há registros daquela época da produção de automóveis com sistema híbrido em série e em paralelo, para compensar a baixa eficiência das baterias utilizadas nos veículos totalmente elétricos e a precária estrutura da rede elétrica das cidades no início do séc. XX, podendo assim fazer um percurso mais longo nas estradas do interior.

Devido ao maior desempenho do MCI em km/L de combustível, mais tarde, surgiram postos de abastecimento de gasolina, a facilidade de venda em pequenos galões e havia manutenção por profissionais especializados em conserto de bicicleta. Já para os VE era difícil encontrar profissional que entendesse de motor elétrico e de baterias.

Por volta de 1903, havia 52% de motores a vapor, 27% de MCI e 20% de VE no mercado em Nova York. Já em 1912, a quantidade de veículos MCI já era 30 vezes maior que os VEs (Struben e Serman, 2006). Segundo EIA DOE (2009), a venda de VEs diminuiu devido a fatores como: necessidade de carros que percorresse caminhos longos entre cidades; a redução do preço da gasolina por causa da aplicabilidade do petróleo; a criação do motor de partida que substituiu a manivela para ligar MCI; o preço dos MCI cobrados era a metade do preço dos VEs.

Problemas técnicos sérios apareceram nos três tipos de automóveis, segundo Baran (2012): no caso dos MCI havia o barulho excessivo, dificuldade em dar partida, consumo excessivo de água, baixa autonomia e velocidade; já os carros a vapor consumiam

água em demasia e precisavam de um pré-aquecimento de 20 minutos antes de começar o percurso; enquanto que os VE subiam ladeiras íngremes com dificuldade, possuíam baixa velocidade e pouca autonomia, por conta da pequena capacidade de armazenamento da bateria.

Os fabricantes do MCI foram os primeiros a buscar soluções e, então, inovações tecnológicas foram desenvolvidas possibilitando aos automóveis alcançar velocidades mais altas e criar as competições que existem até hoje. Enquanto isso os carros a vapor deixaram de ser fabricados e os VE dependiam do desenvolvimento de baterias maiores.

O mercado dos automóveis com MCI superou as vendas primeiramente nos E.U.A. e depois na França, Grã-Bretanha e Alemanha, dominando o mercado em 1920. Assim, os VE passaram a ser produzidos para utilização de coleta municipal de lixo e serviço de entrega em algumas cidades dos E.U.A. e do Reino Unido. Devido ao racionamento da gasolina e do diesel começou a busca por fontes de energia alternativa; então o VE tornou a ficar popular no Japão, mas a produção foi descontinuada devido ao fim do racionamento.

Somente em 1960, com a preocupação ambiental, os VEs voltaram a ter atenção e em 1970, três fatores impulsionaram o desenvolvimento de novas fontes de energia: a limitação dos recursos não renováveis, a crise do petróleo e a conscientização em relação a utilização da energia nuclear, segurança operacional e destino do lixo radioativo. Assim, foram criados protótipos com baixa emissão de poluentes e com a possibilidade do uso de energia renovável. Segundo Baran (2012), foi realizada na França uma pesquisa para analisar os usuários em potencial e o *gap* existente entre desempenho demandado e as possibilidades técnicas, obtendo resultado desanimador, visto que, com a tecnologia existente da bateria não era possível atender à demanda.

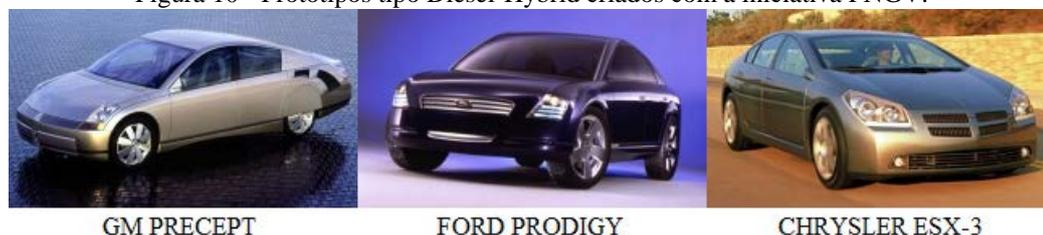
Em 1976 houve o lançamento de um programa para o desenvolvimento de 2500 VE e híbridos com baterias de níquel-ferro e níquel-zinco até 1979 e depois expandindo para 5000 até chegar em 50000, mas essa meta nunca foi alcançada e o programa foi fechado devido a fatores econômicos do governo Reagan (1981-1989).

Os primeiros VEs foram construídos no final do século XIX, porém somente a partir do final dos anos 1980 observa-se uma retomada vigorosa pelo interesse do VE, favorecida pelo progresso tecnológico e pela combinação simultânea das questões políticas, econômicas e ambientais, cujas respostas são incompatíveis com o VCI, apontando para o desenvolvimento e disseminação do VE (Peres, *et al*, 2011).

Socacool e Hirsh (2008) afirmaram que, em 1990, foram implantadas normas regulamentares de emissão zero na Califórnia e os legisladores decidiram que as montadoras deveriam oferecer VE para os consumidores. Assim, a CARB (California Air Resources Board), órgão do governo responsável por medir a qualidade do ar na Califórnia definiu uma cota de vendas de veículos com emissão zero de 2, 5 e 10% em 1998, 2001 e 2003, respectivamente, e cada montadora receberia um bônus de 5000 dólares por VE vendido dentro da cota, o que incentivou a General Motors e a Honda a desenvolver os VEs. Os estados de Nova York e Massachusetts também adotaram essas medidas.

No entanto, outras montadoras e a American Automobile Manufacturers Association (AAMA) criticaram, afirmando que o VE seria dispendioso para o bolso do consumidor e que o chumbo, presente na bateria, não seria vantajoso em termos ambientais em relação à gasolina. Além disso, Exxon, Shell e Texaco financiavam campanhas políticas e propagandas contrárias aos VEs. Ainda na década de 1990, o governo Clinton anunciou a iniciativa Partnership for a New Generation Vehicles (PNGV) com o objetivo de criar um automóvel “limpo” de emissões, com consumo de 4 litros/100 quilômetros e foram criados 3 protótipos (Figura 10), mas nenhum chegou na linha de produção.

Figura 10 - Protótipos tipo Diesel-Híbrido criados com a iniciativa PNGV.



Fonte: Adaptado de <[https://en.wikipedia.org/wiki/Partnership\\_for\\_a\\_New\\_Generation\\_of\\_Vehicles](https://en.wikipedia.org/wiki/Partnership_for_a_New_Generation_of_Vehicles)>.

A Toyota lançou no mercado japonês, em 1997, o Prius que foi bem aceito no mercado e, no mesmo ano, a Audi lançou o Duo, primeiro VE híbrido do mercado europeu, mas não chamou atenção nas vendas. Em 1999, a Honda lançou o Insight que foi sucesso no mercado americano, mas o Prius que chegou em 2000 superou aquele em vendas. Em 2003, a Honda lançou o Civic híbrido imitando a aparência do convencional e em 2004, surgiu o Escape da Ford VE híbrido esportivo.

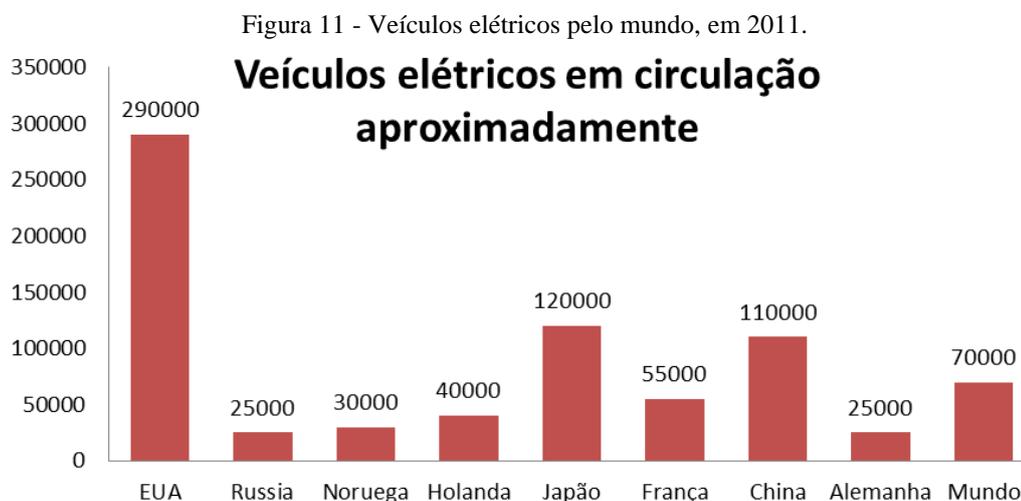
Em 2007, o governo norte americano promulgou o Energy Independence and Security Act que destinou 95 milhões de dólares entre 2008-2013 para a pesquisa e o desenvolvimento de um sistema de transporte público elétrico e a formação e especialização de profissionais na área de VEs e Veículos Elétricos Híbridos Plug-in (PHEV), além de 25

bilhões de dólares aos fabricantes que produzirem veículos elétricos híbridos e seus componentes até 2020.

A lei American Clean Energy and Security Act, promulgada em 2009, instituiu que a Secretaria de Energia, as agências reguladoras estaduais e todas as distribuidoras de energia devem apresentar planos para desenvolvimento de smart grids integradas, como suporte à tecnologia PHEV até julho de 2012, além da assistência financeira que pode chegar até 50 bilhões de dólares até 2020 para as montadoras que se dedicarem ao desenvolvimento de híbridos e seus fornecedores de autopeças.

A introdução dos VE abriu uma série de oportunidades para as distribuidoras de energia elétrica, principalmente com o advento das redes inteligentes, também conhecida por “Smart Grid”. Por exemplo, o consumo mensal de um VE equivale ao consumo de um domicílio; logo é fácil perceber que a massificação do VE amplia o negócio das distribuidoras. O aumento da demanda seria bem vindo se ocorresse durante a madrugada, um período de carga leve e, portanto, com maior capacidade disponível para atender às recargas de baterias sem implicar em investimentos adicionais por porte na rede elétrica. Porém, o nível de apropriação dessas oportunidades pelas distribuidoras dependerá do mercado potencial do VE e de como será a regulação da infraestrutura elétrica para recarga das baterias (Peres, *et al*, 2011).

O Instituto German Centre for Solar Energy and Hydrogen Research Baden-Württemberg (ZSW) mostrou que, em 2011, os E.U.A. lideram a quantidade de veículos puramente elétricos ou híbridos no mundo inteiro, sendo 4% da sua frota de veículos total (Figura 11). Em segundo lugar vem o Japão com 11% da sua frota nacional.



Fonte: Pereira, 2016.

Como afirma Pereira (2016), os veículos ganharam mais atenção e mais incentivos para serem adquiridos devido à preocupação ambiental. Em alguns países, como Noruega e Alemanha, o preço do VE se equipara ao do convencional, mas o consumidor ganha muito mais com descontos na compra, nas taxas de emplacamento e licenciamento, bem como vantagens ao utilizar faixas exclusivas de ônibus, como estacionamento e abastecimento gratuito e isenção de pedágio. Na projeção de VEs, fornecida pelo SEB e ZeEUS, subsidiadas pelo BMBF, observa-se claramente o grande interesse da China quando em 2014 aumentou as vendas de VE em 120% no país. Portugal apresenta uma das maiores redes de carregamento do mundo, o que comprova sua preocupação em incentivar e implantar os VEs no país.

### 3. CLASSIFICAÇÃO DOS VEs

Segundo o relatório “Barómetro sobre Seguridad Vial y Medio Ambiente” feito pelas instituições ANFAC (Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones) e Grupo Bosch, sobre veículos alternativos, publicado em abril de 2016, há quatro tipos principais de VE:

- BEV (Battery Electric Vehicle): Veículo Elétrico a Bateria;
- E-REV (Extended-Range Electric Vehicle): Veículo Elétrico com Autonomia Estendida;
- HEV (Hybrid Electric Vehicle): Veículo Elétrico Híbrido;
- PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle): Veículo Elétrico Híbrido Plug-in.

#### 3.1. Veículo elétrico a bateria (BEV)

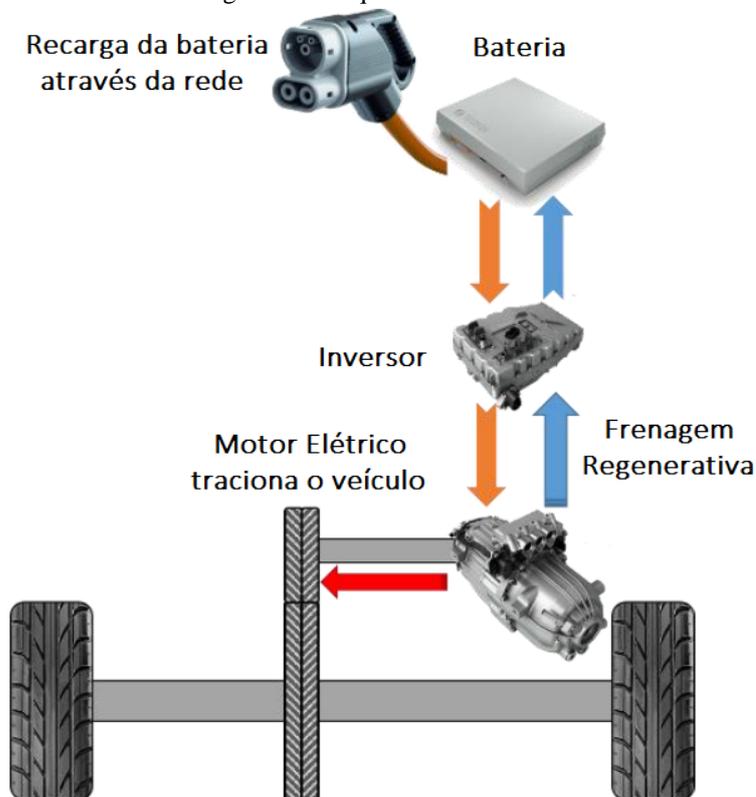
Os BEVs (Figura 12) são os veículos puramente elétricos, ou seja, a tração é realizada somente por um ou mais motores elétricos (MEs) alimentados pela energia armazenada em um conjunto de baterias, que, por sua vez, são carregadas através de uma tomada ou pontos de recarga. Em geral, sem a necessidade de uma caixa de câmbio, podendo ser do tipo de tração traseira, dianteira ou nas quatro rodas.

Os tipos de MEs mais utilizados em VE são os motores de indução, motores de ímã permanente sem escovas (Brushless DC ou BLDC) e motores híbridos, sendo que os primeiros são os de menor custo e mais confiáveis, os segundos são os mais eficientes, e já os terceiros trata-se de uma combinação dos motores de indução com os de ímã permanente, possuindo assim, a qualidade dos dois tipos. Esse motor também funciona como um gerador ao utilizar o freio motor, recuperando energia nas frenagens (Frenagem Regenerativa). Isto aumenta tanto a autonomia do veículo quanto a eficiência energética. Contudo, é necessário conduzir o veículo de maneira eficiente para aproveitar o máximo da regeneração e assim percorrer mais quilômetros com uma só carga.

Os BEVs, por não possuírem MCIs, não apresentam emissões de poluentes em seu funcionamento. Apesar destas vantagens, a autonomia do VE é limitada pela bateria e pela recarga.

Exemplos de BEV, são os veículos da Tesla Motors (Model S, Model X e Model 3), BMW i3 (Modelo BEV), Nissan Leaf, BYD e6, Renault Twizy, Zoe, Fluence ZE e Kangoo ZE, Citroen C-Zero, VW E-Up e E-Golf, Fiat 500e.

Figura 12 - Esquema de um BEV.



Fonte: Adaptado de Barómetro sobre Seguridad Vial y Medio Ambiente, Abril 2016.

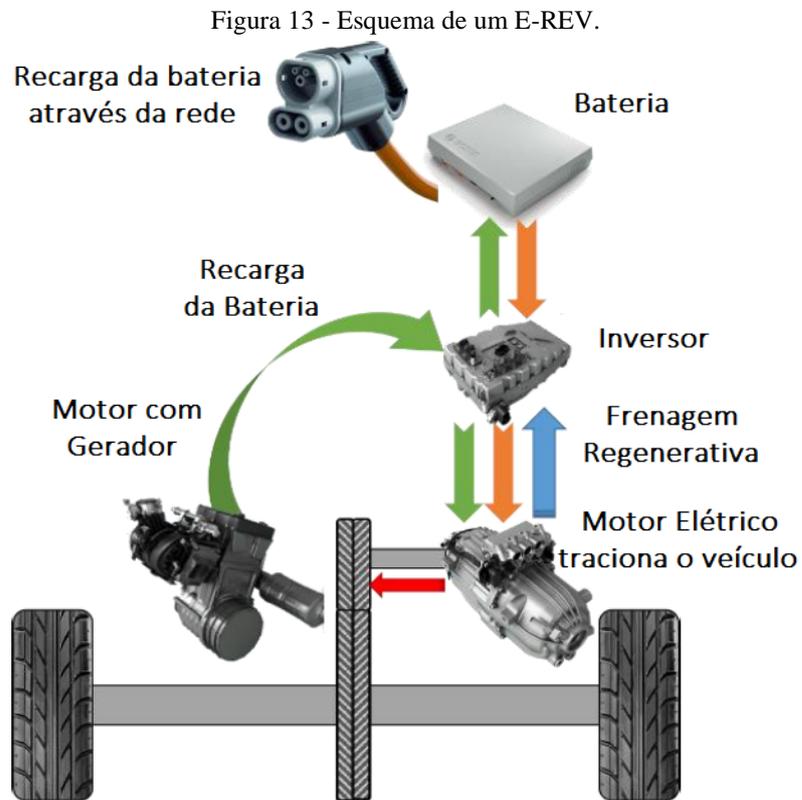
### 3.2. Veículo elétrico com autonomia estendida (E-REV)

Os E-REV (Figura 13) são veículos elétricos do tipo plugáveis ou Plug-in que, além de se conectar a rede elétrica para recarregar suas baterias, conta com um tanque de combustível e um MCI que funciona como um gerador para alimentar o ME e as baterias, aumentando a autonomia do veículo. É importante destacar que a propulsão desses veículos é exclusivamente elétrica, não havendo nenhuma conexão mecânica entre o MCI e as rodas, porém desfruta de uma autonomia mais elevada que os BEV. Exemplos nítidos desta diferença de autonomia são as duas versões, “BEV” e “REX” (E-REV), do veículo BMW i3 (Figura 14), que tem uma autonomia de 190 e 300 km, respectivamente. Em geral, o MCI entra em funcionamento quando a bateria atinge um determinado nível de carga pré-estabelecida pela fabricante, 20% no caso do BMW i3 REX, ou pelo usuário.

Os E-REV geram emissões de poluentes para a atmosfera apenas quando o MCI entra em funcionamento. Conta também com o sistema de frenagem regenerativa através do

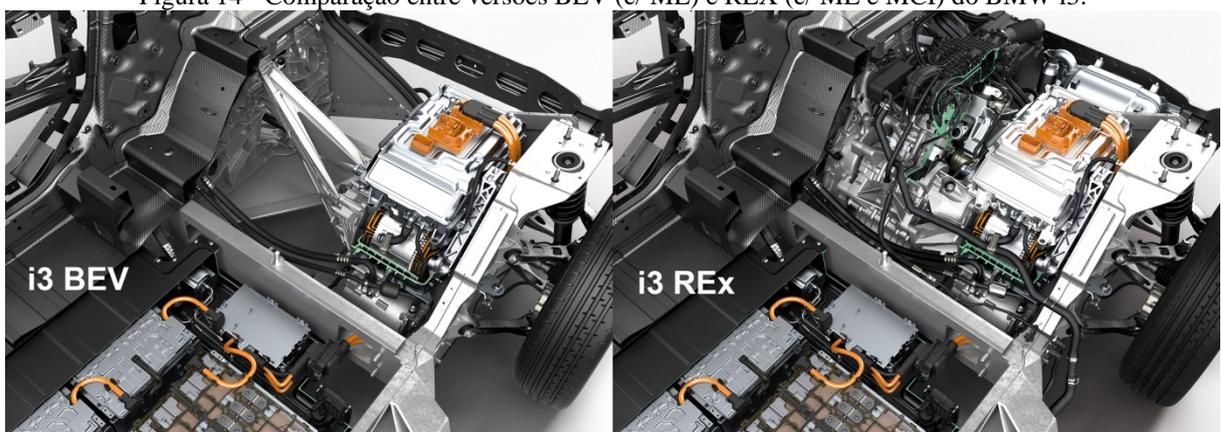
ME. Por possuir os dois tipos de motores (ME e MCI), também são conhecidos como híbrido série, mas se utiliza somente do ME para tracionar.

Exemplos de E-REV: BMW i3 (Modelo REX), Chevrolet Volt (1ª e 2ª Geração) e Opel Ampera.



Fonte: Adaptado de Barómetro sobre Seguridad Vial y Medio Ambiente, Abril 2016.

Figura 14 - Comparação entre versões BEV (c/ ME) e REX (c/ ME e MCI) do BMW i3.



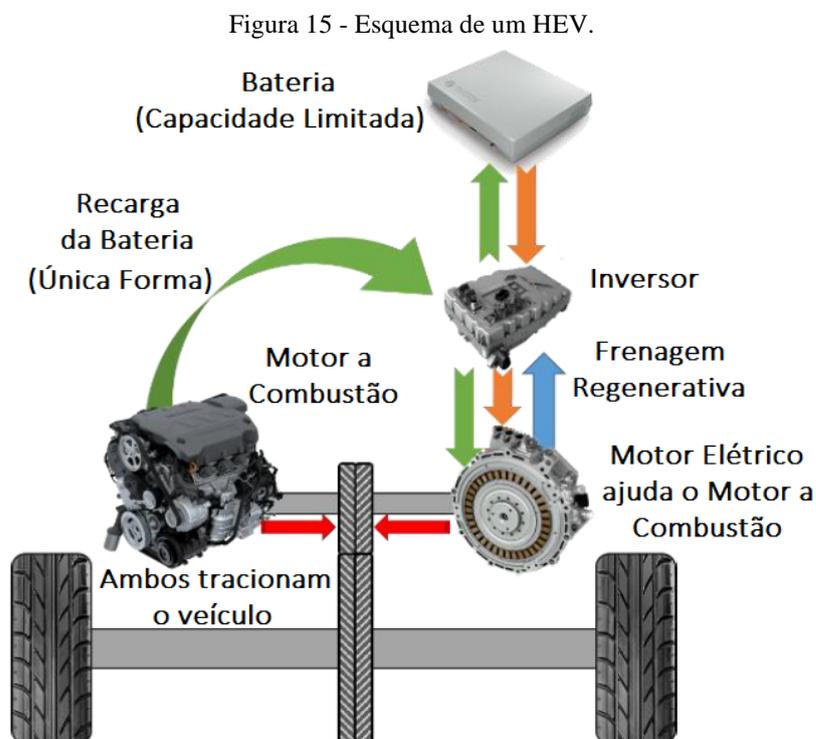
Fonte: <<http://www.bmwblog.com/2014/12/05/underbody-bmw-i3-rex/>>.

### 3.3. Veículo elétrico híbrido (HEV)

Estes são considerados veículos de transição entre o veículo convencional e o elétrico. É possível encontrar configurações distintas dos veículos do tipo HEV (Figura 15), mas todos têm pelo menos dois motores: um ME e um MCI. Ambos são capazes de tracionar o veículo. Dependendo do modelo, os motores podem trabalhar em conjunto ou individualmente. Contudo, não é possível conectar o HEV a rede elétrica para carregar as baterias cuja capacidade de carga é limitada; quando utilizado no modo 100% elétrico, o HEV apresenta uma baixa autonomia (2 - 3 km), e baixo nível de velocidade, se comparado com os demais tipos de VE.

Essa configuração de veículos (HEV) geralmente é projetada visando à redução de consumo do MCI e, dependendo da capacidade adotada para a bateria, percorrer curtas distâncias, como trafegando dentro de cidades. O ME dos HEV são utilizados mais para funções de assistência ao MCI como Start/Stop, acelerações ou como gerador das frenagens regenerativas. Por isso, como desvantagem, se fazem necessárias estratégias de controle mais sofisticadas para o uso das duas fontes de propulsão, frente aos VE tipo E-REV.

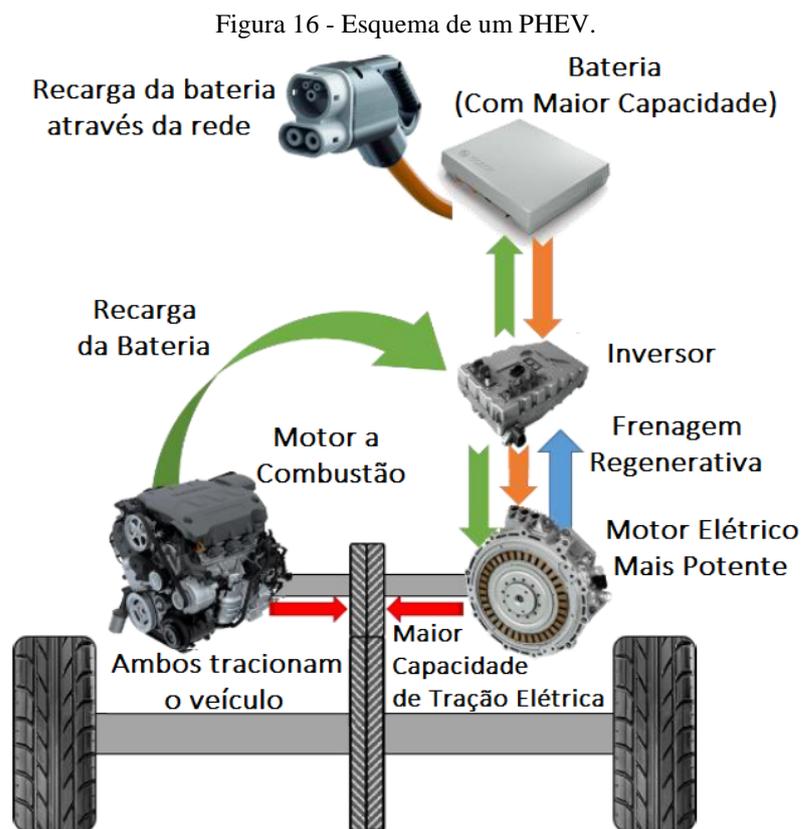
Exemplos de HEV: Toyota Prius (1ª e 2ª Geração), Ford Fusion Hybrid, Lexus CT200h.



Fonte: Adaptado de Barómetro sobre Seguridad Vial y Medio Ambiente, Abril 2016.

### 3.4. Veículo elétrico híbrido plug-in (PHEV)

O PHEV (Figura 16) é uma combinação dos HEV e BEV. Por se tratar de um híbrido, conta com pelo menos dois motores (um ME e um MCI) capazes de tracionar o veículo. Possui bateria com maior capacidade em relação às baterias dos HEV, possibilitando ao veículo uma autonomia de até 50 km no modo 100% elétrico, podendo ser feita recarga mediante conexão à rede elétrica, pelos freios regenerativos e através do MCI. Ainda que haja a geração de poluentes quando o MCI está em funcionamento, o nível é bastante reduzido. A combinação das duas tecnologias o torna extremamente versátil, possibilitando a utilização do ME em percursos urbano, onde o nível de emissões seria zero, e o MCI em estradas e rodovias de alta velocidade. Os PHEV também são denominados Híbridos Paralelo ou Paralelo-Série. Exemplos de PHEV: BMW i8, Mitsubishi Outlander PHEV, Toyota Prius (3ª e 4ª Geração).



Fonte: Adaptado de Barómetro sobre Seguridad Vial y Medio Ambiente, Abril 2016.

#### 4. TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS DOS VEs E DA MATRIZ ENERGÉTICA

O ingresso dos VEs na sociedade não trará efeitos expressivos apenas para o setor de transporte, mas também para o sistema elétrico. As redes elétricas de distribuição são projetadas, avaliadas e construídas de forma a atender a demanda dos consumidores dentro de determinado horizonte. Com a admissão em massa dos VEs na frota de veículos particulares acarretará aumento expressivo na potência elétrica requerida à rede distribuição, por parte da energia elétrica necessária para fins de recarga de baterias dos VEs. Esta “carga extra” implicaria novos padrões de demanda em nível de distribuição, o que poderia ocasionar consequências adversas à rede elétrica em áreas onde grande quantidade de VEs estivessem realizando a recarga ao mesmo tempo, causando sobrecarga, subtensão e perdas por efeito joule.

Tendo em mente que um VE do tipo BEV, por exemplo, consome em média o equivalente a uma residência em energia elétrica por mês, fica evidente que a elevada inclusão de VEs no sistema de distribuição influenciaria no planejamento, controle, geração, transmissão e distribuição do sistema elétrico como um todo. Supondo a existência de uma cidade em que surgiu quantidade considerável de VEs, e que os proprietários dos veículos cheguem do trabalho em suas respectivas casas, a maioria no horário compreendido entre 17h:30 e 20h:30, e plugam os veículos às tomadas, necessitando de uma recarga de 9 horas, em média, conforme características dos veículos, para uso no dia seguinte. Dessa forma causaria distúrbio na rede elétrica, por não estar preparada para fornecer a potência demandada pela nova quantidade significativa de carga exigida no horário de ponta que se estenderia até a madrugada.

As concessionárias de energia elétrica precisam de metodologias e aplicativos computacionais para auxílio no gerenciamento de rede e verificação dos parâmetros de carregamento, perfil de tensão, desequilíbrio entre fases, perdas e por consequência decidir sobre possíveis novos investimentos (Zamora, et al, 2013).

Os veículos elétricos podem funcionar como uma fonte de energia suplementar em horários adequados e até mesmo em caso de falhas no fornecimento regular de energia elétrica pela rede de distribuição. Esta característica vem demandando um grande esforço de novos desenvolvimentos, pois agrega valor substancial às atuais concepções das redes inteligentes (Peres, et al, 2011).

## 4.1. Últimos lançamentos comerciais

### 4.1.1. BMW i3

Figura 17 - Ilustração do veículo elétrico modelo BMW i3.



Fonte: <<http://cleantechnica.com/2016/05/02/protonic-blue-bmw-i3-ht-photoshop-midnight-blue-i3/>>.

Atualmente o VE BMW i3 (Figura 17), possui duas versões, “BEV” e “REX”. O “BEV” como a própria sigla diz, trata-se de um veículo elétricos puro. Já a versão “REX” é do tipo E-REV, que, além do motor elétrico, possui um MCI acoplado a um gerador, que entra em funcionamento quando o nível de descarga da bateria chega a 20%, gerando energia elétrica para recarrega-las e alimentar o ME; funciona como um extensor de autonomia (REX). O MCI do “REX” usa gasolina com teor de no máximo 10% de etanol como combustível, possui dois cilindros em linha de 647 cm<sup>3</sup>, com potência de 28 kW (38 CV) e 55 Nm (5,6 kgfm) de torque. O tanque de combustível, localizado na parte frontal do veículo, comporta 9 litros.

Ambos são dotados de um motor elétrico DC com tecnologia HSM (Hybrid Synchronous Machines), trata-se de um motor híbrido com ímãs permanentes e enrolamentos, combinando as propriedades positivas dos motores de relutância e ímã permanente, tornando-o extremamente ágil, fornecendo 125 kW (170 CV) de potência e 250 Nm (25,5 kgfm) de torque, capaz de acelerar de 0 a 100 km/h em 7,2 segundo.

O modelo “REX” acelera de 0 a 100 km/h em 7,9 segundo. Essa diferença, de 7,2 para 7,9 segundos, se dá pelo peso extra de 120 kg, do MCI e tanque de 9 litros de combustível (Gasolina), que o modelo “REX” tem. O modelo “BEV” e “REX” pesam 1.195 e 1.315 kg respectivamente.

A transmissão única permite a potência nas rodas traseiras, acelerando o BMW i3 até os 150 km/h de forma uniforme e sem interrupção da força de tração, por meio do controle eletrônico.

O fornecimento de energia elétrica para propulsão, bem como para outras funcionalidades do veículo, é proporcionado por uma bateria composta por oito módulos (cada uma com 12 células individuais), que juntas, produzem uma tensão nominal de 360V e geram aproximadamente 22 kWh de energia. As células de íon-lítio, desenvolvida para uma melhor eficiência energética, utilizadas na bateria destacam-se pela alta densidade de energia e ciclo de vida. Elas são projetadas para desempenhar a função de armazenamento de energia ao longo de toda a vida útil do veículo; no entanto, deve-se destacar que a garantia da bateria, do BMW, é de 8 anos ou 100.000 km (o que ocorrer primeiro).

O i3 possui um sistema de gestão inteligente que controla tanto o carregamento quanto os processos de descarga, como também a temperatura de funcionamento das células da bateria, garantindo que as células trabalhem em uma temperatura ideal de regime de funcionamento (cerca de 20°C), conseqüentemente contribuindo de uma forma significativa para o desempenho e autonomia do veículo, eficiência e ciclo de vida das células da bateria. Quando o veículo está em movimento todas as células são utilizadas igualmente para fornecer energia. No entanto, também é possível substituir os módulos individuais em caso de falha.

O BMW i3 possui uma autonomia de até 160 km no modelo “BEV” e 240 km no modelo “REX”, no modo COMFORT. Já no modo ECO PRO, que altera as configurações do pedal de aceleração, é possível aumentar a autonomia em cerca de 20 km. O modo ECO PRO+ aumenta sua autonomia em cerca de 40 km, ao limitar a velocidade em 90 km/h e gerencia os componentes que consomem energia elétrica, como aquecimento e ar-condicionado, para o modo economia de energia.

O cabo de alimentação permite carregar 80% da bateria num período compreendido entre 6 e 8 horas.

Além de possuir o pedal de freio, o BMW i3 possui a frenagem regenerativa que, quando o veículo em movimento, ao tirar o pé do acelerador, o motor elétrico aciona o modo de alternador e alimenta a bateria com a energia recuperada a partir do movimento das rodas. A função de regeneração produz um torque de frenagem que desacelera eficazmente o veículo, permitindo uma economia de energia superior forçando a utilização de um estilo de direção mais prudente.

A BMW deu ênfase ao consumo de energia, reduzindo componentes elétricos e adotando LEDs econômicos, de modo a permitir maior autonomia.

Tabela 1 - BMW i3 (BEV).

<b>BMW: i3 BEV</b>			
<b>Tipo:</b>	<b>Tração:</b>	<b>Velocidade Máxima:</b>	
<b>Subcompacto</b>	Traseira	150 km/h	
<b>Produção:</b>	<b>Tipo de ME:</b>	<b>Tipo de Bateria:</b>	
<b>Série</b>	Síncrono 3φ CA c/ Imã Permanente	Íon-Lítio (360 Vcc) c/ Refrigeração	
<b>Comprimento:</b>	<b>Distância entre eixos:</b>	<b>Potência / Torque:</b>	
<b>3,999 m</b>	2,57 m	170 CV / 250 Nm	
<b>Largura:</b>	<b>Peso do Veículo:</b>	<b>Carregamento (Tempo):</b>	
<b>1,775 m</b>	1.280 kg	110/220 Vca – 0,5 - 8 h	
<b>Altura:</b>	<b>Peso do ME:</b>	<b>Peso da Bateria:</b>	
<b>1,578 m</b>	50 kg	233 kg	
	<b>Capacidade da Bateria:</b>	<b>Autonomia:</b>	
<b>165 Wh/km</b>	22 kWh (60 Ah) (18,8 kWh Utilizável)	Até 190 km	

Fonte: Adaptado de Nikowitz, 2016.

Tabela 2 - BMW i3 (E-REV).

<b>BMW: i3 REX</b>			
180 Wh/km 16,67 km/L			
<b>Tipo:</b>	<b>Tração:</b>	<b>Velocidade Máxima:</b>	
<b>Subcompacto</b>	Traseira	150 km/h	
<b>Produção:</b>	<b>Tipo de ME:</b>	<b>Tipo de Bateria:</b>	
<b>Série</b>	Síncrono 3φ CA c/ Imã Permanente	Íon-Lítio (360 Vcc) c/ Refrigeração	
<b>Comprimento:</b>	<b>Distância entre eixos:</b>	<b>Potência / Torque:</b>	
<b>3,999 m</b>	2,57 m	170 CV / 250 Nm	
<b>Largura:</b>	<b>Peso do Veículo:</b>	<b>Carregamento (Tempo):</b>	
<b>1,775 m</b>	1.415 kg	110/220 Vca – 0,5 - 8 h	
<b>Altura:</b>	<b>Peso do ME:</b>	<b>Peso da Bateria:</b>	
<b>1,578 m</b>	50 kg	233 kg	
<b>MCI p/ geração:</b>	<b>Capacidade da Bateria:</b>	<b>Autonomia:</b>	
<b>Ciclo Otto, Gas. E10, 2 cilindros de 647 cm<sup>3</sup>, 38 CV, 55 Nm. Vol. Tanque: 9 L</b>	22 kWh (60 Ah) (18,8 kWh Utilizável)	170 km + “Range Extender” (Total de até 300 km)	

Fonte: Adaptado de Nikiwitz, 2016.

#### 4.1.2. Outros modelos

Tabela 3 - REANULT TWIZY URBAN 80 Z.E. (BEV).

		
<b>RENAULT: TWIZY URBAN 80 Z.E.</b>		
Tipo:	Tração:	Velocidade Máxima:
<b>Microcar</b>	Traseira	80 km/h
Produção:	Tipo de ME:	Tipo de Bateria:
<b>Série</b>	3CG – Assíncrono (Indução)	Íon-Lítio (58 Vcc)
Comprimento:	Distância entre eixos:	Potência / Torque:
<b>2,337 m</b>	1,686 m	17 CV / 57 Nm
Largura:	Peso do Veículo:	Carregamento (Tempo):
<b>1,237 m</b>	375 kg	220 Vca – 3,5 h
Altura:	Peso do ME:	Peso da Bateria:
<b>1,454 m</b>	130 kg	100 kg
	Capacidade da Bateria:	Autonomia:
	6,1 kWh	Até 80 km

Fonte: Adaptado de Nikiwitz, 2016.

Tabela 4 - RENAULT ZOE Z.E. (BEV).

		
<b>RENAULT: ZOE</b>		
Tipo:	Tração:	Velocidade Máxima:
<b>Supermini</b>	Dianteira	135 km/h
Produção:	Tipo de ME:	Tipo de Bateria:
<b>Série</b>	Síncrono CA c/ rotor bobinado	Íon-Lítio (400Vcc)
Comprimento:	Distância entre eixos:	Potência / Torque:
<b>4,086 m</b>	2,59 m	88 CV / 220 Nm
Largura:	Peso do Veículo:	Carregamento (Tempo):
<b>1,788 m</b>	1.468 kg	220 / 400 Vca – 0,5 - 9 h
Altura:	Peso do ME:	Peso da Bateria:
<b>1,540 m</b>	N/D	290 kg
	Capacidade da Bateria:	Autonomia:
<b>146 Wh/km</b>	22 kWh	Até 200 km

Fonte: Adaptado de Nikiwitz, 2016.

Tabela 5 - NISSAN LEAF (BEV).

		
<b>NISSAN: LEAF Modelos S, SV e SL</b>		
<b>Tipo:</b>	<b>Tração:</b>	<b>Velocidade Máxima:</b>
<b>Compacto</b>	Dianteira	145 km/h
<b>Produção:</b>	<b>Tipo de ME:</b>	<b>Tipo de Bateria:</b>
<b>Série</b>	Síncrono CA	Íon-Lítio (360 Vcc)
<b>Comprimento:</b>	<b>Distância entre eixos:</b>	<b>Potência / Torque:</b>
<b>4,445 m</b>	2,7 m	107 CV / 280 Nm
<b>Largura:</b>	<b>Peso do Veículo:</b>	<b>Carregamento (Tempo):</b>
<b>1,770 m</b>	1.525 kg	110/220 Vca – 0,5 - 8 h
<b>Altura:</b>	<b>Peso do ME:</b>	<b>Peso da Bateria:</b>
<b>1,409 m</b>	130 kg	300 kg
	<b>Capacidade da Bateria:</b>	<b>Autonomia:</b>
	24 kWh (S) / 30 kWh (SV/SL)	135 km (S) / 172 km (SV/SL)

Fonte: Adaptado de Nikiwitz, 2016.

Tabela 6 - TESLA MODEL S (BEV).

		
<b>TESLA: MODEL S 70D / 90D P90D / 100D</b>		
<b>Tipo:</b>	<b>Tração:</b>	<b>Velocidade Máxima:</b>
<b>Versão de Luxo</b>	Integral	225 km/h (70D) 250 km/h (90D / P90D)
<b>Produção:</b>	<b>Tipo de ME:</b>	<b>Tipo de Bateria:</b>
<b>Série</b>	2 x MIT com rotor copper (375 Vca, 16000 RPM <sub>MAX</sub> )	Íon-Lítio (366 Vcc) c/ Refrigeração
<b>Comprimento:</b>	<b>Distância entre eixos:</b>	<b>Potência / Torque:</b>
<b>4,976 m</b>	2,96 m	524 CV / 525 Nm (70D) 524 CV / 660 Nm (90D) 772 CV / 967 Nm (P90D/P100D)
<b>Largura:</b>	<b>Peso do Veículo:</b>	<b>Carregamento (Tempo):</b>
<b>1,963 m</b>	2.108 kg	110/220 Vca – 0,5 - 9 h
<b>Altura:</b>	<b>Peso do ME:</b>	<b>Peso da Bateria:</b>
<b>1,435 m</b>	130 kg	1200 kg
<b>MEs:</b>	<b>Capacidade da Bateria:</b>	<b>Autonomia:</b>
<b>262 CV (f) + 262 CV (t) (70D / 90 D)</b>	70 kWh (70 D) 90 kWh (90D / P90D)	Até
<b>262 CV (f) + 510 CV (t) (P90D / P100D)</b>	100 kWh (P100D)	

Fonte: Adaptado de Nikiwitz, 2016.

Tabela 7 - MITSUBISHI i-MIEV / PEUGEOT iOn (BEV).

		
<b>MITSUBISHI: i-MIEV</b>  <b>PEUGEOT: iOn</b>		
<b>Tipo:</b>	<b>Tração:</b>	<b>Velocidade Máxima:</b>
<b>Subcompacto</b>	Traseira	130 km/h
<b>Produção:</b>	<b>Tipo de ME:</b>	<b>Tipo de Bateria:</b>
<b>Série</b>	Síncrono CA c/ Imã Permanente	Íon-Lítio (330 Vcc)
<b>Comprimento:</b>	<b>Distância entre eixos:</b>	<b>Potência / Torque:</b>
<b>3,475 m</b>	2,55 m	66 CV / 180 Nm
<b>Largura:</b>	<b>Peso do Veículo:</b>	<b>Carregamento (Tempo):</b>
<b>1,475 m</b>	1.110 kg	200-240 Vca – 0,5 - 10 h
<b>Altura:</b>	<b>Peso do ME:</b>	<b>Peso da Bateria:</b>
<b>1,610 m</b>	N/D	200 kg
	<b>Capacidade da Bateria:</b>	<b>Autonomia:</b>
<b>135 Wh/km</b>	16 kWh	Até 150 km

Fonte: Adaptado de Nikiwitz, 2016.

Tabela 8 - SMART MINI E (BEV).

		
<b>SMART/BMW GROUP: MINI E</b>		
<b>Tipo:</b>	<b>Tração:</b>	<b>Velocidade Máxima:</b>
<b>Subcompacto</b>	Dianteira	152 km/h
<b>Produção:</b>	<b>Tipo de ME:</b>	<b>Tipo de Bateria:</b>
<b>Demonstração</b>	Indução CA (12.500 RPM <sub>MAX</sub> )	Íon-Lítio c/ Refrigeradas
<b>Comprimento:</b>	<b>Distância entre eixos:</b>	<b>Potência / Torque:</b>
<b>3,698 m</b>	2,467 m	201 CV / 220 Nm
<b>Largura:</b>	<b>Peso do Veículo:</b>	<b>Carregamento (Tempo):</b>
<b>1,683 m</b>	1.465 kg	110 / 240 Vca – 3 – 26,5 h
<b>Altura:</b>	<b>Peso do ME:</b>	<b>Peso da Bateria:</b>
<b>1,407 m</b>	N/D	260 kg
	<b>Capacidade da Bateria:</b>	<b>Autonomia:</b>
<b>140 Wh/km</b>	35 kWh (30 kWh Utilizável)	Até 170 km

Fonte: Adaptado de Nikiwitz, 2016.

Tabela 9 - MERCEDES SLS AMG E-CELL (BEV).

		
<b>MERCEDES: SLS AMG E-CELL</b>		
<b>Tipo:</b>	<b>Tração:</b>	<b>Velocidade Máxima:</b>
<b>Sportivo</b>	Integral	317 km/h
<b>Produção:</b>	<b>Tipo de ME:</b>	<b>Tipo de Bateria:</b>
<b>Série</b>	4 x Síncronos	Íon-Lítio (400 Vcc) c/ Refrigeração
<b>Comprimento:</b>	<b>Distância entre eixos:</b>	<b>Potência / Torque:</b>
<b>4,638 m</b>	2,69 m	750 CV / 1000 Nm
<b>Largura:</b>	<b>Peso do Veículo:</b>	<b>Carregamento (Tempo):</b>
<b>1,939 m</b>	1.620 kg	110 / 220 Vca – 3 - 20 h
<b>Altura:</b>	<b>Peso do ME:</b>	<b>Peso da Bateria:</b>
<b>1,262 m</b>	N/D	550 kg
	<b>Capacidade da Bateria:</b>	<b>Autonomia:</b>
	60 kWh	Até 250 km

Fonte: Adaptado de Nikiwitz, 2016.

Tabela 10 - CHEVROLET VOLT (2ª GERAÇÃO) (E-REV).

		
<b>CHEVROLET: VOLT (2ª Geração)</b>		
<b>Tipo:</b>	<b>Tração:</b>	<b>Velocidade Máxima:</b>
<b>Compacto</b>	Dianteira	157 km/h
<b>Produção:</b>	<b>Tipo de ME:</b>	<b>Tipo de Bateria:</b>
<b>Série</b>	Síncrono c/ Ímã Permanente	Íon-Lítio (360 Vcc) c/ Refrigeração
<b>Comprimento:</b>	<b>Distância entre eixos:</b>	<b>Potência / Torque do ME:</b>
<b>4,58 m</b>	2,69 m	149 CV / 398 Nm
<b>Largura:</b>	<b>Peso do Veículo:</b>	<b>Carregamento (Tempo):</b>
<b>1,57 m</b>	1.607 kg	110/220 Vca – 4,5 – 13 h
<b>Altura:</b>	<b>Peso do ME:</b>	<b>Peso da Bateria:</b>
<b>1,43 m</b>	N/D	183 kg
<b>MCI p/ geração:</b>	<b>Capacidade da Bateria:</b>	<b>Autonomia:</b>
<b>Ciclo Otto, Gasolina, 4 cilindros em linha, 1.5 L, 101 CV. Vol. Tanque: 34 L</b>	18,4 kWh (14 kWh Utilizável)	Até 676 km (Híbrido) Até 85 km (Elétrico)

Fonte: Autoria própria.

Tabela 11 - HYUNDAI SONATA HYBRID 2016 (HEV / PHEV).

<p><b>HYUNDAI: SONATA HYBRID (HEV / PHEV)</b></p> <p>17 km/L (HEV) 16,66 km/L (PHEV)</p>					
<b>Tipo:</b>	<b>Tração:</b>	<b>Velocidade Máxima:</b>			
<b>Mid-size car</b>	Dianteira	195 km/h			
<b>Produção:</b>	<b>Tipo de ME:</b>	<b>Tipo de Bateria:</b>			
<b>Série</b>	Ímã Permanente (270 V <sub>MAX</sub> )	Polímero de Lítio			
<b>Comprimento:</b>	<b>Distância entre eixos:</b>	<b>Potência / Torque do ME:</b>			
<b>4,854 m</b>	2,804 m	51 CV / 204 Nm (HEV) 68 CV / (PHEV)			
<b>Largura:</b>	<b>Peso do Veículo:</b>	<b>Carregamento (Tempo):</b>			
<b>1,864 m</b>	1.586 kg	110/220 Vca – 3,5 - 9 h			
<b>Altura:</b>	<b>Peso do ME:</b>	<b>Peso da Bateria:</b>			
<b>1,471 m</b>	N/D	45 kg			
<b>MCI:</b>	<b>Capacidade da Bateria:</b>	<b>Autonomia:</b>			
<b>2.0 Atkinson-cycle I4. Vol. Tanque: 60L (HEV), 55 L (PHEV). 195 CV (HEV) (MCI + ME) 205 CV (PHEV) (MCI + ME)</b>	1,62 kWh (HEV) / (270 Vcc) 9,8 kWh (PHEV) / (360 Vcc)	N/A (Elétrico) (HEV) Até 1020 km (Híbrido) (HEV) Até 35 km (Elétrico) (PHEV) Até 916 km (Híbrido) (PHEV)			

Fonte: Autoria própria.

Tabela 12 - FORD FUSION HYBRID (HEV) / ENERGI (PHEV).

<p><b>FORD: FUSION HYBRID</b></p>					
<b>Tipo:</b>	<b>Tração:</b>	<b>Velocidade Máxima:</b>			
<b>Mid-size car</b>	Dianteira	175 km/h			
<b>Produção:</b>	<b>Tipo de ME:</b>	<b>Tipo de Bateria:</b>			
<b>Série</b>	Ímã Permanente	Íon-Lítio			
<b>Comprimento:</b>	<b>Distância entre eixos:</b>	<b>Potência / Torque do ME:</b>			
<b>4,869 m</b>	2,58 m	N/D / 249 Nm			
<b>Largura:</b>	<b>Peso do Veículo:</b>	<b>Carregamento (Tempo):</b>			
<b>1,852 m</b>	1.554 kg	110/220 Vca – 2,5 – 7 h			
<b>Altura:</b>	<b>Peso do ME:</b>	<b>Peso da Bateria:</b>			
<b>1,476 m</b>	N/D	48 kg			
<b>MCI:</b>	<b>Capacidade da Bateria:</b>	<b>Autonomia:</b>			
<b>2.0 Atkinson-cycle I4</b>	1.4 kWh	Até 30 km (Elétrico)			

Fonte: Adaptado de Nikiwitz, 2016.

Tabela 13 - TOYOTA PRIUS IV (PHEV).

		
<b>TOYOTA: PRIUS IV</b>		
<b>Tipo:</b>	<b>Tração:</b>	<b>Velocidade Máxima:</b>
Mid-size car	Dianteira	180 km/h
<b>Produção:</b>	<b>Tipo de ME:</b>	<b>Tipo de Bateria:</b>
Série	Síncrono c/ Imã Permanente (600 VcaMAX)	Íon-Lítio (207,2 V)
<b>Comprimento:</b>	<b>Distância entre eixos:</b>	<b>Potência / Torque do ME:</b>
4,539 m	2,7 m	72 CV / 163 Nm
<b>Largura:</b>	<b>Peso do Veículo:</b>	<b>Carregamento (Tempo):</b>
1,760 m	1.380 kg	110/220/400 Vca – N/D h
<b>Altura:</b>	<b>Peso do ME:</b>	<b>Peso da Bateria:</b>
1,476 m	N/D	N/D.
<b>MCI:</b>	<b>Capacidade da Bateria:</b>	<b>Autonomia:</b>
Ciclo Otto, 4 cilindros em linha de, 1.8L, 96 CV, 142 Nm. Vol. Tanque: 42,8 L	22 kWh (18,8 kWh Utilizável)	Até 977 km (Híbrido) Até 50 km (Elétrico)

Fonte: Autoria própria.

Tabela 14 - BMW i8 (PHEV).

		
<b>BMW: i8</b>		
<b>Tipo:</b>	<b>Tração:</b>	<b>Velocidade Máxima:</b>
Sportivo	Integral (ME Diant. / MCI Tras.)	120 km/h (Elétrico) 250 km/h (Híbrido)
<b>Produção:</b>	<b>Tipo de ME:</b>	<b>Tipo de Bateria:</b>
Série	Síncrono c/ Imã Permanente	Íon-Lítio
<b>Comprimento:</b>	<b>Distância entre eixos:</b>	<b>Potência / Torque do ME:</b>
4,869 m	2,7 m	130 CV / 250 Nm
<b>Largura:</b>	<b>Peso do Veículo:</b>	<b>Carregamento (Tempo):</b>
1,942 m	1.485 kg	110/220 Vca – 1,5 – 3,5 h
<b>Altura:</b>	<b>Peso do ME:</b>	<b>Peso da Bateria:</b>
1,293 m	N/D	98 kg
<b>MCI:</b>	<b>Capacidade da Bateria:</b>	<b>Autonomia:</b>
Ciclo Otto, Gasolina, 4 cilindros em linha, Turbo-charged 1.5L, 231 CV, 320 Nm.	7,2 kWh	Até 440 km (Híbrido) Até 37 km (Elétrico)

Fonte: Adaptado de Nikiwitz, 2016.

Tabela 15 - OPEL AMPERA (E-REV).

<b>OPEL: AMPERA</b>			
<b>Tipo:</b>	<b>Tração:</b>	<b>Velocidade Máxima:</b>	
<b>Compacto</b>	Dianteira	161 km/h	
<b>Produção:</b>	<b>Tipo de ME:</b>	<b>Tipo de Bateria:</b>	
<b>Série</b>	Síncrono c/ Imã Permanente	Íon-Lítio	
<b>Comprimento:</b>	<b>Distância entre eixos:</b>	<b>Potência / Torque do ME:</b>	
<b>4,498 m</b>	2,685 m	148 CV / 370 Nm	
<b>Largura:</b>	<b>Peso do Veículo:</b>	<b>Carregamento (Tempo):</b>	
<b>1,787 m</b>	1.735 kg	110/220 Vca – 4,5 – 13 h	
<b>Altura:</b>	<b>Peso do ME:</b>	<b>Peso da Bateria:</b>	
<b>1,439 m</b>	N/D	180 kg	
<b>MCI p/ geração:</b>	<b>Capacidade da Bateria:</b>	<b>Autonomia:</b>	
<b>Ciclo Otto, Gasolina, 4 cilindros em linha, 1.4 L, 84 CV, 128 Nm Vol. Tanque: 35 L</b>	17,1 kWh	Até 80 km (Elétrico)	

Fonte: Adaptado de Nikiwitz, 2016.

## 4.2. Motores

Pôde-se observar, pelas Tabelas 1-15, que o Motor Síncrono de Imã Permanente (MSIP) é uma das máquinas preferidas na fabricação dos VEs e HEVs, visto que se destaca pela alta eficiência, confiabilidade, baixa manutenção e alta densidade de energia (relação torque/peso). Como o espaço necessário para os ímãs permanentes, no rotor, pode ser inferior ao exigido pelos enrolamentos de campo, as máquinas de ímã permanente podem ser menores que máquinas similares. A Tabela 16 mostra uma comparação entre diferentes motores elétricos utilizados para veículos elétricos. Nota-se que o MSIP é um dos motores com melhor desempenho.

Os materiais com os quais são feitos os ímãs permanentes dos VEs (Tabela 17), apesar de serem abundantes, são de difícil extração, por isso o nome “Terras-Raras” (TRs). Além disso, o país que detém, quase como um monopólio, o mercado de Terras-Raras é a China, chegando a obter por volta de 97% do mercado mundial, entre 2005 e 2010 (Figura 18). Podendo assim ocorrer oferta limitada ou de elevado custo de TRs, tornando o MSIP inacessível e oneroso.

Tabela 16 - Avaliação dos motores para VEs.

	Motor CC	Motor de Indução	Motor Síncrono de Imã Permanente	Motor CC de Imã Permanente Sem Escovas (Brushless/BLDC)	Motor Síncrono de Relutância	Motor Híbrido de Imã Permanente
<b>Densidade de Potência</b>	4	6	10	10	6	8
<b>Eficiência</b>	4	6	10	10	6	10
<b>Controlabilidade</b>	10	6	8	8	6	10
<b>Confiabilidade</b>	6	10	8	8	10	8
<b>Maturidade</b>	10	10	8	6	6	4
<b>Custo</b>	6	10	4	4	8	4
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>46</b>	<b>42</b>	<b>44</b>

Fonte: Adaptado de Chau &amp; Wang, 2005.

Tabela 17 - Uso de Terras-Raras.

Uso industrial	Aplicação de TRs	Funcionalidade habilitadora	Elementos TRs requeridos
Veículos elétricos, híbridos, <i>plug-in</i>	Ímãs permanentes	Motores de tração elétrica, substituindo ou suplementando motores de combustão interna	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Motores elétricos em veículos convencionais e avançados	Ímãs permanentes	Redução do consumo de combustível pela diminuição do peso do veículo	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Geração de energia eólica e hidrelétrica	Ímãs permanentes	Geradores sem engrenagem para maior confiabilidade e desempenho	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Ferramentas elétricas sem fio	Ímãs permanentes	Motores elétricos compactos, leves e potentes	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Sistema integrado automático de partida	Ímãs permanentes	Sistema integrado automático de partida, reduzindo consumo de combustível	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Unidades de discos rígidos para computadores	Ímãs permanentes	Motores elétricos compactos, leves e potentes	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Dispositivos pessoais móveis sem fio	Ímãs permanentes	Aparelhos compactos, leves e potentes	Nd, Pr, Dy, Tb, Y, Eu, Sm
Equipamentos para diagnóstico por imagem (MRI)	Ímãs permanentes	Geração de campo magnético	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Unidades de craqueamento catalítico em leito fluidizado (FCC)	Catalisadores	Propiciam sítios ácidos para a matriz catalítica	La, Ce, Pr e Nd
Conversores catalíticos e outras tecnologias para redução de emissões atmosféricas	Catalisadores	Capacidade de oxidação de CO e ozônio para CO <sub>2</sub> e O <sub>2</sub>	Ce, La
Indústria automotiva	Ligas metálicas ferrosas contendo TRs	Modificação de propriedades físicas e químicas para melhoria de desempenho e ampliação do espectro de usos industriais de ligas metálicas	Todos ETRs
Indústria aeroespacial, geração de energia nuclear, fabricação e operação de satélites, linhas de transmissão de energia, sistemas de refrigeração magnética, entre outros	Ligas metálicas não ferrosas contendo TRs	Modificação de propriedades físicas e químicas para melhoria de desempenho e ampliação do espectro de usos industriais de ligas metálicas	Todos ETRs
Lâmpadas fluorescentes compactas e lineares, LEDs, entre outros itens de iluminação	Fósforos	Redução no consumo de energia, com melhoria das características de cor e luminescência	Y, Eu, Tb

Fonte: <<http://www.portalresiduossolidos.com/usos-e-aplicacoes-de-terras-raras/>>.

Figura 18 - Produção Mundial de Terras-Raras (2012).



Fonte: Adaptado de <<http://www.portalresiduossolidos.com/ usos-e-aplicacoes-de-terras-raras/>>.

Embora o custo de aquisição do MSIP seja o mais alto, deve-se considerar que a maior eficiência deste motor vai compensar o investimento inicial. Adicionalmente, é esperada uma futura redução no custo do MSIP devido ao desenvolvimento de materiais magnéticos melhores e mais econômicos.

Os MSIP também são conhecidos como Motores CA de Imã Permanente, Motores de Imã Permanente de Terras-Raras, Motores Sem Escova (Brushless), ou ainda por Motores CC Sem Escovas. Essa última terminologia surge devido à similaridade, quando combinado com um sistema de acionamento de frequência e tensão variável, entre suas características de velocidade *versus* conjugado e as dos motores CC (Fitzgerald, p.285, 2006).

A incerteza quanto à garantia do fornecimento de TRs pela China, em função de sua política instável de quota e de corte de exportação, têm mobilizado os países consumidores a buscarem alternativas de suprimento por meio de acordos de cooperação e parcerias com outros países.

### 4.3. Baterias

Como se pôde observar, pelos diversos tipos de VEs existentes, um VE depende totalmente ou parcialmente de um motor elétrico, que deve ser alimentado por uma fonte, um acumulador de energia interno ao veículo, isto é, uma bateria para seu pleno funcionamento, sendo este um dos principais quesitos e gargalo tecnológico no desenvolvimento dos veículos elétricos e híbrido.

Bateria é um dispositivo que armazena energia elétrica na forma química e é capaz de transformar em energia elétrica novamente através de reações eletroquímicas de oxidação com perda de elétrons e redução com ganho de elétrons.

De acordo com Rosolem (2012), a unidade básica de uma bateria se chama elemento ou célula, onde a associação de dois ou mais elementos em série ou em paralelo constituem a bateria.

O processo de substituição do petróleo no sistema de transporte por energia alternativa tem sofrido dificuldades no que se refere a acumuladores de energia, no caso, baterias.

Os três tipos principais de baterias já utilizadas em VEs são as baterias de Chumbo Ácido (Figura 19), Hidreto Metálico de Níquel (NiMH) e as baterias de Íon-Lítio. Segundo Pereira (2016), dentre os três tipos de baterias, a que não possui material poluente é a de NiMH. No entanto, muitas pesquisas foram feitas, diversos materiais foram testados, e, até o momento, o material que tem demonstrado maior densidade de potência e de energia é o Íon-Lítio, tanto para utilização em carros elétricos como nos veículos híbridos, conferindo maior autonomia no que diz respeito à quantidade de quilômetros rodados por kWh (km/kWh).

Figura 19 - Baterias de Chumbo Ácido de um carro elétrico, de 1915, produzido pela empresa Anderson Electric Car Company.



Fonte: < [http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2016/02/160228\\_carros\\_eletricos\\_tg](http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2016/02/160228_carros_eletricos_tg)>.

O lítio possui algumas características importantes para sistemas de armazenamento de energia por ser um dos metais de maior densidade energética e com um grande potencial eletroquímico, além de ser altamente leve, o que auxilia no desempenho final do veículo.

A primeira bateria não recarregável que utilizou lítio como ânodo foi comercializada em 1970, já a recarregável, utilizando lítio metálico foi desenvolvida em 1980.

Devido ao risco de explosões e chamas pela alta reatividade do lítio metálico, originado de reações violentas, o lítio foi utilizado na forma iônica.

Então, desde 1991, como primeira bateria recarregável de ion-lítio (Stewart, 2012), esse tipo de tecnologia tem sido estudada e desenvolvida em diversos países através de parcerias entre empresas, universidades como afirma Cherian (2009).

- Características:

- a) apesar da alta densidade de carga do lítio equiparado ao diesel e à gasolina (20.000 Wh/kg), esse rende menos devido à necessidade de combinação a outros elementos para a formação das células e geração de reversibilidade.
- b) de toda a bateria entre 25 e 40% da massa é reativa devido à formação de outros componentes necessário à formação do produto.
- c) elementos contaminantes, existem, mesmo que de baixo nível.

- Fatores que influenciam na densidade de energia de uma bateria:

- a) utilização de reagentes de elevada densidade de energia;
- b) designe adequado para evitar reações em paralelo;
- c) uso de compostos oxidantes;
- d) uso de compostos reagentes armazenados externamente.

Rosolem (2012) comenta que os principais parâmetros eletroquímicos utilizados para caracterizar uma bateria e avaliar seu desempenho são tensão, corrente, capacidade específica, energia específica, potência específica, mássica e volumétrica e o ciclo de vida ativa do produto.

- Princípios de otimização a serem perseguidos na fabricação de baterias são:

- a) alta confiabilidade;
- b) alto desempenho (ciclos de vida e profundidade de descarga);
- c) alta densidade energética (Wh/kg e Wh/l);
- d) ampla faixa de temperatura de operação;
- e) tempo de recarga reduzido;
- f) vida útil elevada;
- g) peso e volume reduzidos;
- h) custo razoável;
- i) segurança;
- j) não agressividade ao meio ambiente.

Atualmente o maior cuidado que os pesquisadores estão tendo na fabricação de bateria, se situa no que se refere à segurança, para evitar explosão, pois, apesar de a reação do lítio reagir em intervalos bem definido de tensão, o fato de essa, por algum motivo exceder aos limites de segurança, pode provocar explosão e queima do produto devido a reações exotérmicas.

Para contornar esse tipo de problema, os pesquisadores vêm trabalhando com células interdependentes, evitando sobrecargas, subcarga, temperatura elevada, curto-circuito. Etc.

Porém, dentro da especificação do veículo, para se obter a tensão x potência requerida, faz-se necessário interligar células de lítio em série ou em paralelo, o que pode desequilibrar a tensão do sistema, diminuindo a vida útil do produto. Assim, faz-se necessário a colocação de sistema de monitoração para fazer o balanceamento de carga das células.

#### **4.3.1. Novas Tecnologias**

Outras tecnologias estão sendo estudadas a exemplo da bateria feita com polímero de grafeno. O grafeno foi descoberto, em 2004, pelos cientistas Andre Geim e Konstantin Novoselov, na Universidade de Manchester, que o apelidaram de “Material de Deus”. Já a bateria a base de polímeros de grafeno foi desenvolvida por cientista da Universidade de Córdoba e a equipe de engenheiro da Graphenano e Grabat Energy.

O grafeno possui grandes propriedades que impulsionam a tecnologia aéreo-espacial e dos carros elétricos como leveza e resistência, durabilidade (vida útil) de até 4 vezes mais que as baterias comuns de NiMH e 2 vezes mais que as de Íon-Lítio; transparência, totalmente impermeável, flexibilidade, excelente condutividade térmica e elétrica, além de recargar rápida a bateria, chegando até ao mínimo de 8 minutos, gerar 3 vezes mais potência em comparação com a bateria de lítio, chegando a 600Wh/kg, proporcionando uma autonomia de até 1000 km. A fabricação da bateria de grafeno chega a custar 77% menos que a da bateria de lítio cuja instalação pode ser feita em carros elétricos já existentes, além de minimizar o desperdício de energia na utilização em termos de perdas por efeito Joule.

Todas essas características foram observadas nas baterias produzidas e desenvolvidas pela Grabat Energy, de origem espanhola, trabalhando em parceria com a Universidade de Córdoba e a Graphenano (empresa produtora do grafeno). No início de 2016,

em Madrid, a Grabat Energy apresentou oficialmente os protótipos de suas baterias de polímero de grafeno, e confirmou o acordo estratégico com a Chint Group para produção em escala industrial.

O novo desafio dos fabricantes reside na redução do tamanho das baterias, com o objetivo de utilizar em pequenos aparelhos como celular, tornando o produto cada vez mais popular, aliado ao mais baixo custo, característica do grafeno.

Vale salientar que, desde 2015, as baterias de grafeno vêm sendo testadas em carros alemães para atingir melhor desempenho. Além da fabricação da bateria, as possibilidades de utilização do grafeno são ilimitadas devido às características do produto, prometendo avanço nas diversas áreas de tecnologia.

A América latina já possui sua primeira fábrica de grafeno inaugurada pelo Instituto Presbiteriano Mackenzie. Há a promessa, de a empresa Mack Graph, colocar o Brasil na frente dos estudos com o grafeno.

#### **4.4. Matriz energética**

Matriz energética é toda energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos, é uma representação quantitativa da oferta de energia, ou seja, da quantidade de recursos energéticos oferecidos por um país ou por uma região.

##### **4.4.1. Matriz energética brasileira**

O Brasil tem uma matriz energética bem diversificada, basta observar que somos autossuficientes em produção de petróleo, com diversas bacias de exploração tanto em terra como no mar, além de ter desenvolvida a melhor tecnologia de extração de petróleo no mar.

Temos grandes áreas de corrente de ar, especialmente na região costeira do Rio Grande do Norte, passíveis de serem aproveitadas para geração de energia, além de grande extensão de terra ensolarada o ano todo passível de ser aproveitada para geração de energia através de células fotovoltaicas, apesar de essa tecnologia ainda ser de preço bastante elevado.

Em termos de etanol, o Brasil produz o de melhor qualidade, a partir da cana de açúcar, que proporciona baixo preço e boa competitividade no mercado, podendo substituir a gasolina e o diesel no sistema de transporte, além do mais é considerada como energia renovável, pois há o ciclo de reaproveitamento do carbono pelas plantações seguintes.

Figura 20 - Repartição da oferta interna de energia.



Fonte: Adaptado de EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

Há ainda outras como o aproveitamento das marés, nas grandes extensões de praias brasileiras e aproveitamento das grandes extensões de rios de planaltos cujo desnível proporciona condições para construção de grandes reservatórios que podem e são, em boa parte, aproveitados para construção de hidrelétricas.

Vale salientar que 64,0% (BEN 2016) da energia elétrica consumida no Brasil vem das hidrelétricas, enquanto, no planeta, apenas 18,13 % (IEA 2016) dessa modalidade é utilizada. As vantagens dela residem no baixo custo, ser renovável e pouco poluente. O percentual de energia hidrelétrica já girou em torno dos 90% na década de 90 (BEN 1970-2015), com a crescente demanda o governo teve que procurar fontes alternativas de energia como a queima de carvão mineral e gás natural. Para 2030 estima-se que o percentual cairá ainda mais, devido à insuficiência desse potencial de geração de energia.

O Brasil possui o terceiro maior potencial hidroelétrico do mundo, ficando atrás apenas da China e Rússia, respectivamente. Conforme indica o Plano Nacional de Energia - PNE, elaborado com um horizonte de 30 anos (pela dita Empresa de Pesquisa Energética – EPE), das bacias brasileiras, hoje se utiliza pouco mais de 30%, apenas 20% ainda precisam ser analisadas para utilização em longo prazo. As demais, 50% já catalogadas são localizadas nas Bacias Amazônica, no Tocantins e Araguaia.

Considera-se, ainda, as pesquisas feitas para produção do biodiesel que substitui com eficiência o diesel do petróleo, é considerado como fonte de energia renovável, pois provem do óleo vegetal. Estima-se que em 2030, o transporte rodoviário terá reduzido

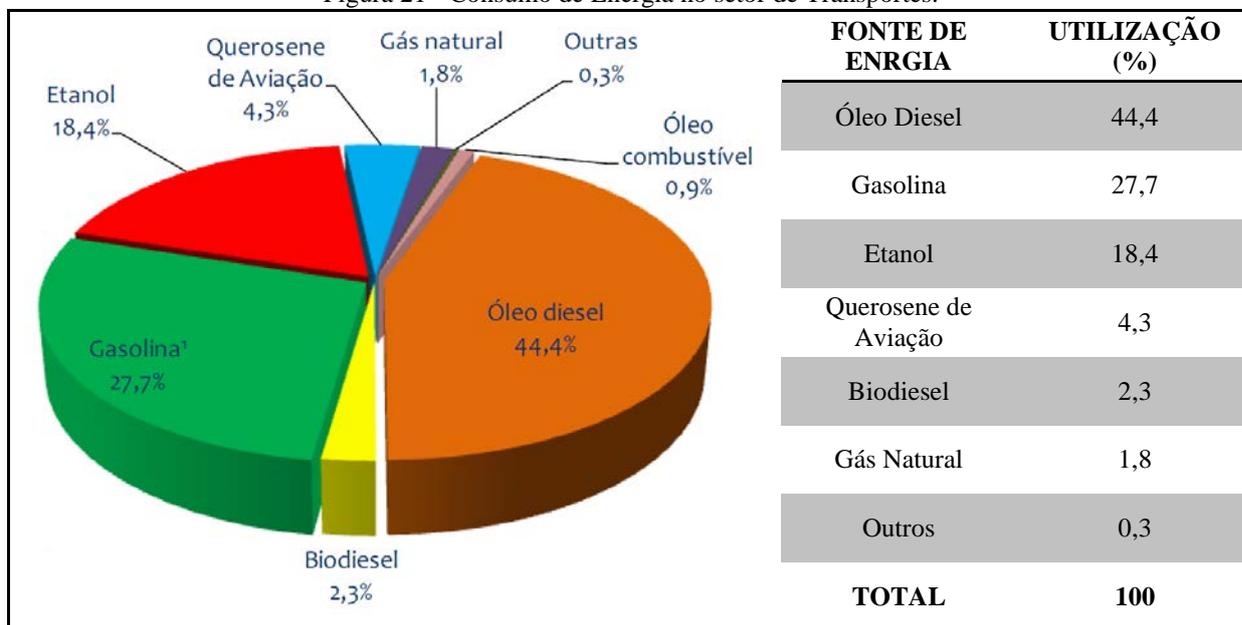
sensivelmente o consumo do diesel comum, sendo substituído por essa modalidade de combustível.

Em geral, a matriz energética do Brasil é considerada a mais limpa do planeta.

Sabe-se, também, que 79% (BEN 2016) dos combustíveis utilizados no transporte vêm de origem do petróleo, ou seja, fazem parte do tipo fóssil, que, ao serem queimados, produzem alto índice de CO<sub>2</sub>. E somente 21% do consumo de energia se enquadram como renovável ou “limpa”.

Na Figura 21, pode-se observar, de forma resumida, o percentual de energia utilizado no setor de transporte no Brasil, no ano de 2015:

Figura 21 - Consumo de Energia no setor de Transportes.



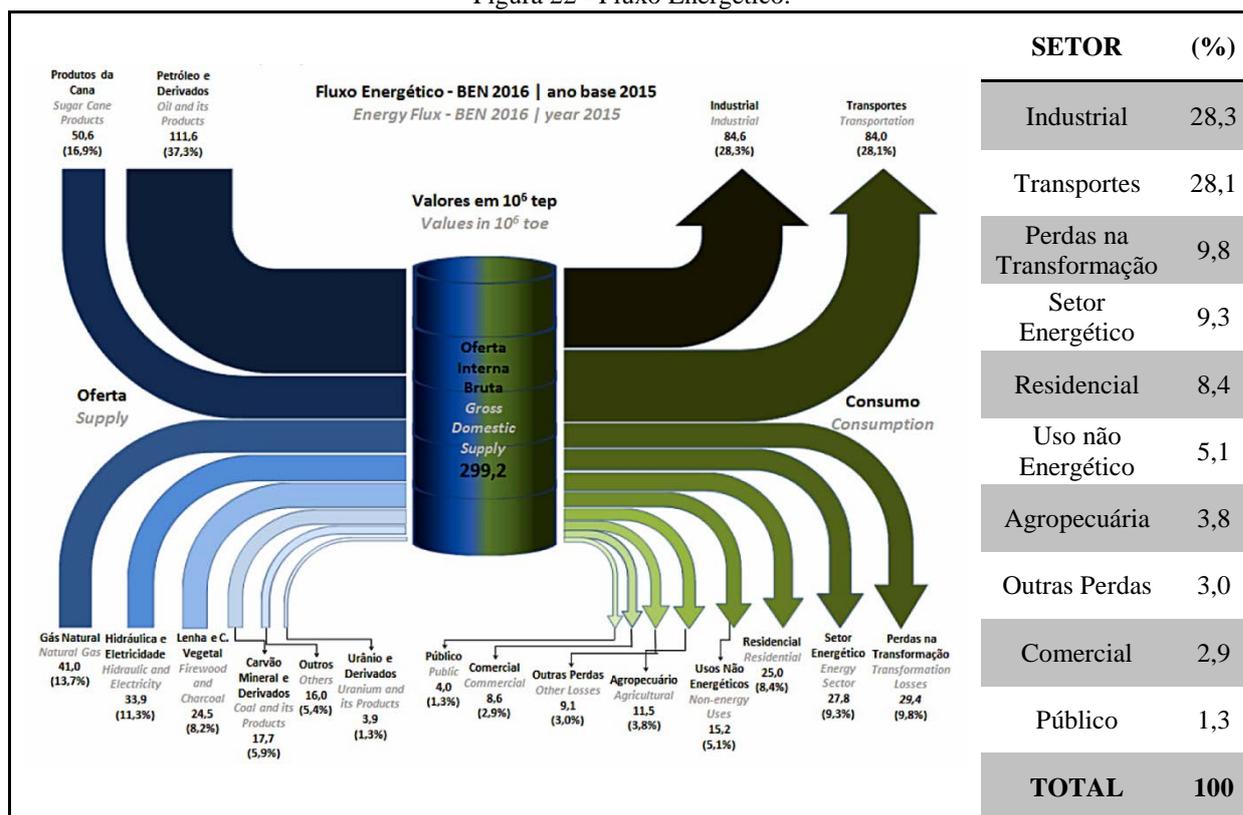
Fonte: Adaptado de EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

Ressalte-se que existe a tendência de crescimento de utilização de derivados de petróleo no setor de transporte, basta observar o crescimento no período entre 1970 e 2015, esse consumo saltou de 51,5 para 61,1% segundo o BEN 1970-2015 (Cap. 3).

Observe-se, na Figura 22, o consumo de energia distribuída por setor, em que o sistema de transporte perde somente para a indústria, motivo suficiente para elaboração de estudos com a finalidade de formular políticas que promovam a utilização de energia limpa nesse setor.

Sabe-se, também, que a tendência mundial, devido à consciência ecológica, é substituir os combustíveis fósseis por fontes alternativas de energia que reduzam ou não produzam CO<sub>2</sub>, as denominadas energias limpa.

Figura 22 - Fluxo Energético.



Fonte: Adaptado de EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

Tem-se conhecimento de que os veículos elétricos, após percorrerem determinadas milhagens de quilômetros, atingem o ponto de equilíbrio em que entre os gases poluentes produzidos para sua produção e a ausência de poluentes em seu funcionamento normal, passando, a partir desse ponto a se classificar como veículo não poluente.

Sabe-se, ainda, que o veículo elétrico é versátil na utilização de diversas fontes de energia para carregar as baterias. Assim, nada mais justo que se estimular a produção desse tipo de transporte no Brasil, aproveitando as mais diversas formas de produção de energia limpa possíveis de produzir.

Porém, pelo que se observam nas políticas governamentais, as fontes de energia adotada pelo governo para suprir novas demandas aponta para energia atômica ou queima de carvão mineral, como aconteceu em São Paulo na recente crise hídrica. A energia para suprir proveio de fontes alternativas do tipo termoeletricas. Isto se dá, não pela falta de conhecimento ou vontade política, mas, sim, pela faltarem de recursos para investir na construção de novas hidrelétricas.

Outra dificuldade existente para construção de novas hidrelétricas, como foi a da usina de Belo Monte, são os problemas ambientais dela advindo, devido a necessidade de

alargar grandes áreas de planícies, provocando deslocamento de populações indígenas inteiras, além da destruição da biodiversidade.

O grande problema da utilização de energia atômica reside no armazenamento dos resíduos radiativos gerados no processo, devido ao risco de contaminação do meio ambiente. Outro problema associado ao perigo de radiação, como aconteceu no Japão, problemas de cunho natural tais como tsunamis ou tremores de terra que podem danificar as estruturas e causar contaminação em grandes áreas.

Solução melhor seria observar a vocação de cada área no que se refere à geração de energia alternativa, aproveitando o potencial natural das diversas regiões.

#### **4.4.2. Matriz energética mundial**

A economia global utiliza diversas fontes de energia para se manter em funcionamento, sendo, a maioria delas não renovável, a exemplo do gás natural, carvão, petróleo e energia nuclear. Exceção se faz com o uso da fonte hidrelétrica, que, apesar de pouco poluente, é renovável.

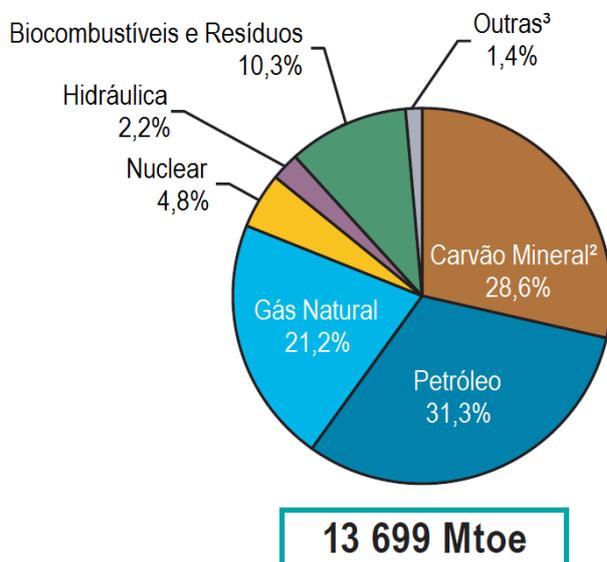
Porém, pela própria versatilidade e facilidade de armazenamento, o petróleo se impôs, pelas suas características, como a principal fonte de energia para manter em funcionamento toda a moderna economia mundial. Sendo fonte de recursos não renovável, de utilizada global, tende ao esgotamento. Para fugir do caos econômico-político-social que a falta desse recurso provocaria, cientistas do mundo inteiro buscam formas alternativas de geração de energia não poluentes para substituir o petróleo.

Muitas fontes renováveis de energia já foram pesquisadas e testadas, sendo de possível uso para substituição de tipos convencionais de energia com a grande vantagem de serem energia limpa ou semi limpa.

Há dificuldades encontradas no trabalho e no custo dessa conversão sem perda de produtividade no setor de transformação. A mudança cultural que dela advém, tem causado bastante resistência aos detentores do poder do sistema econômico.

Tomando-se por base 2014, o IEA mostrou a seguinte distribuição da oferta mundial de energia:

Figura 23 - Oferta mundial<sup>1</sup> total de energia primária por combustível, em 2014.

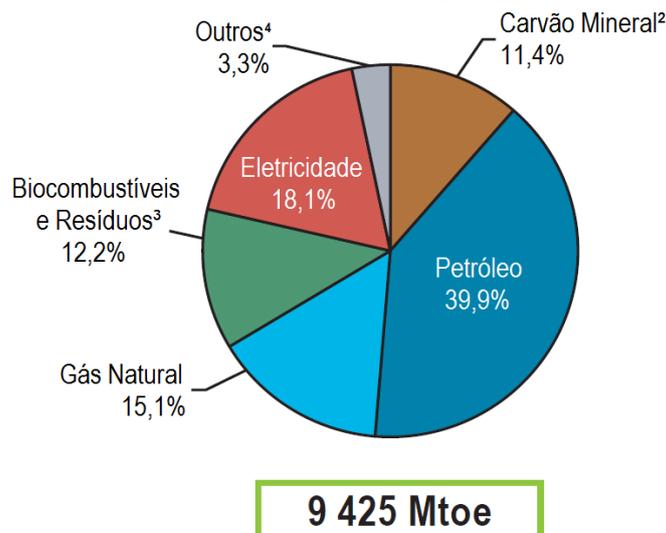


1. Inclui aviação internacional e frotas bancas marítimas internacionais.
2. Nestes gráficos, turfa e óleo de xisto estão incluídos em Carvão Mineral.
3. Inclui geotérmica, solar, eólica, térmica, etc.

Fonte: Adaptado de IEA Statistics, 2016.

No mesmo período o consumo mundial distribuiu-se da seguinte forma, impondo média de crescimento anual de 2% ao ano, tornando-se cada vez mais difícil tanto o processo de conversão quanto a diminuição da emissão de gases no meio ambiente.

Figura 24 - Consumo mundial<sup>1</sup> total por combustível, em 2014.



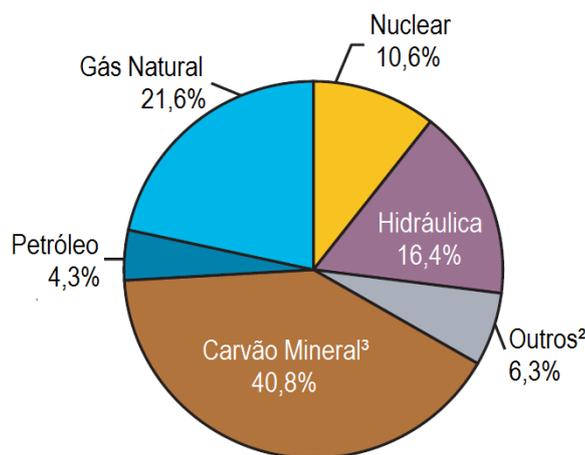
1. Inclui aviação internacional e frotas bancas marítimas internacionais.
2. Nestes gráficos, turfa e óleo de xisto estão incluídos em Carvão Mineral.
3. Dados estimados para um determinado número de países.
4. Inclui geotérmica, solar, eólica, térmica, etc.

Fonte: Adaptado de IEA Statistics, 2016.

A participação do carvão mineral, por ser o mais poluente, vem sendo gradativamente diminuída, ao passo que a queima de gás natural vem crescendo em todo o planeta. Mesmo sendo menos poluente, essa queima continua sendo nociva ao meio ambiente, por ser de cadeia fechada, não renovável e emissora de CO<sub>2</sub>.

Para produzir energia elétrica no plano mundial, utilizam-se as seguintes combinações de produtos primários:

Figura 25 - Geração<sup>1</sup> elétrica mundial por combustível, em 2014.



**23 816 TWh**

1. Exclui a produção de electricidade a partir de hidroelétrica reversível.
2. Inclui geotérmica, solar, eólica, térmica, etc.
3. Nestes gráficos, turfa e óleo de xisto estão incluídos em Carvão Mineral.

Fonte: Adaptado de IEA Statistics, 2016.

Exceção feita ao pré-sal, as últimas descoberta de fontes de petróleos vem diminuindo a cada ano e com capacidade cada vez menor. Segundo Rosa & Gomes (2004), estima-se existir reserva de petróleo com capacidade de extrair 25 bilhões de barris/ano, podendo garantir o abastecimento para um período médio de 40 anos, tempo suficiente para a humanidade rever seus conceitos e buscar alternativas cada vez mais viáveis para substituição do petróleo na economia mundial.

Essas fontes alternativas, apesar de serem renováveis ou limpas, com menor emissão final de gases poluentes, são provenientes de novas tecnologias, impõem ao produto final maior custo, o que, no acirramento da competição mundial, muitas vezes tornam o produto com preço inviável no mercado internacional.

Não há como deixar de fora de discussão o conceito de sustentabilidade, ou seja, cada vez mais os governos, a sociedade e a economia como um todo tem que se submeter às novas formas de produção respeitando esse fator, ou seja, utilizar os recursos da natureza com

responsabilidade, respeitando a vida e meio ambiente, sem esgotar os recursos naturais necessários à vida, permitindo que gerações futuras também tenham o direito de fazer o mesmo.

#### **4.4.3. Smart Grid**

A utilização de carro elétrico proporcionaria grande redução de queima de combustíveis convencionais emissores de poluentes, o que proporcionaria a exportação desse excedente, ao invés de simplesmente consumir.

Deve-se levar em conta que o carro elétrico e o híbrido, tem a flexibilidade de utilização de diversas fontes primárias para extração de energia elétrica a exemplo da energia solar, energia eólica, energia hidráulica, biogás do lixo, da cana de açúcar além do gás natural e do petróleo, possibilitando melhor aproveitamento dos recursos renováveis.

Note-se que, ao se introduzir a utilização do Veículo Elétrico necessita estudo para desenvolvimento de redes inteligentes, chamadas *smart grids*, onde as baterias podem funcionar como no-break das residências, além de ser possível a devolução de carga ao sistema nos horários de alto consumo. As baterias podem ainda ser recarregadas à noite, quando cai o nível geral de consumo e o preço por kWh tem tarifa reduzida, ajudando a equilibrar o sistema geral de produção de energia.

VEs podem auxiliar na substituição de combustíveis fósseis de uma matriz energética por fontes renováveis. Um sistema inteligente de carregamento poderia reconhecer, por exemplo, quando a incidência forte de sol ou vento geram excedentes de energia, e então abastecer o veículo com esse excedente. Se o carro não for movimentado em seguida, a bateria serviria como armazenador e poderia devolver a energia à rede em horas de calmaria ou após o pôr do sol.

O sistema convencional de fornecimento de energia só possui o fluxo em uma direção, produtor-consumidor, com o sistema de rede inteligente, poderá haver fluxo de carga nos dois sentidos.

Para isso, em 2009, com a promulgação do American Clean Energy and Security act 2009, criou a Secretaria de Energia, as agências reguladoras estaduais, determinou que as distribuidoras de energia não reguladas tivessem que formular planos para o desenvolvimento de *Smart Grids* (redes inteligentes), com prazo até 2012.

A grande vantagem da utilização de redes inteligentes reside do aproveitamento maior da energia produzida, além de equilibrar o nível de consumo produção. Assim, em horários de pico de consumo, as baterias poderiam alimentar o sistema e, quando nos intervalos de baixo consumo, as baterias dos carros plugados seriam novamente recarregadas.

## **5. MERCADO ATUAL DO VEs NO BRASIL**

### **5.1. Alterações tributárias**

Com a utilização de veículos elétricos em massa, a venda de petróleo e o custo de manutenção por unidade caíram sensivelmente, provocando menos custo de manutenção e de aquisição de combustível, causando perda no recolhimento tributário, fator que afetará diretamente às contas do governo. Logo, para contornar essa diminuição de arrecadação, políticas governamentais alternativas devem ser desenvolvidas por técnicos de finanças governamentais.

### **5.2. Políticas públicas**

Políticas Públicas provém da ciência política, tem caráter de interdisciplinaridade, vindo, inclusive da ética.

Ronald Dworkin afirma política como o tipo padrão que estabelece determinado objetivo a ser atingido, com finalidade de melhorar aspectos econômicos, políticos e sociais da comunidade.

Fábio Comparato afirma que “... a política aparece, antes de tudo, como uma atividade, isto é, como um conjunto organizado de normas e atos tendentes à realização de um objetivo determinado (...). A política, como um conjunto de normas e atos, é unificada por sua finalidade”.

Logo, políticas públicas é um conjunto de ações, determinadas pelo Estado, provenientes de atividades administrativas e legislativas, com a finalidade de gerar normas e atos para atingir determinado fim.

### **5.3. Caso Brasil**

#### **5.3.1. Carga tributária brasileira sobre veículos elétricos**

Um dos principais fatores que dificultam o desenvolvimento de mercado para os veículos elétricos no Brasil refere-se a elevada carga tributária que incide sobre os veículos elétricos comercializados. Para se adquirir um veículo elétrico no Brasil, inevitavelmente deve-se recorrer ao mecanismo de importação, haja vista a ausência de montadoras fabricando e comercializando este tipo de veículo no país (BARASSA & CONSONI, 2013).

Os carros elétricos sofre uma tributação geral acima de 80%. Para o ano de 2014, ao importar um veículo elétrico as tributações incidentes sobre o veículo consistiam em: 35% de Imposto de Importação (II), 25% de Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), 18% a 19% de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), 9,25% de PIS/COFINS e 11,6% por contribuições sociais e por fim, e há ainda um imposto anual estadual sobre veículos automotores (IPVA) que pode chegar a 4% (DOMINGUES et al, 2013; BARASSA, 2015).

Tudo isso dificulta a produção desse tipo de veículo em larga escala. Já não basta o custo inicial de desenvolvimento tecnológico que todo novo produto exige para ser lançado no mercado com o mínimo de especificações técnicas necessárias.

A indústria brasileira precisa inovar em tecnologias que garantam o progresso nacional distribuído em forma de bem-estar. E a exploração das possibilidades da energia solar e eólica, das redes inteligentes (“smart grids”) e dos veículos elétricos como vetores de desenvolvimento sustentável sem poluição e com maximização de recursos naturais gratuitos e abundantes, merece o estímulo do Estado através de regulação, mas especialmente de tributação que não estorve atividade econômica sustentável (DOMINGUES, 2016).

### **5.3.2. Importância para o futuro**

Fazendo análise estatística, a projeção para 2030 do número de veículos da frota brasileira, estima-se em 86,6 milhões, prometendo ser a quarta maior mundial, cujo crescimento de fatores nocivos ao ambiente podem crescer nas mesmas proporções. Devido a isso, é urgente para o Brasil desenvolver fontes de alternativas de energia renovável, e novos modelos de veículos que utilizem energia limpa. Logo, políticas de incentivo ao desenvolvimento de veículos elétricos, com tecnologia própria para evitar dependência externa, torna-se fator de alta importância. Para isso, políticas de incentivo devem ser criadas e implantadas no menor período possível.

### **5.3.3. Incentivos fiscais**

Desde 2009 o governo sinalizou com medidas de incentivos fiscais para promover a produção de carro elétrico. Porém, em 2010, por ocasião da Challenge Bibendum ocorrida no Rio de Janeiro, o governo frustrou as expectativas, não dando a devida importância ao

desenvolvimento tecnológico, econômico e social que a produção dessa nova modalidade de transporte proporcionaria ao Brasil.

Além disso, o governo não enquadrou a produção de carro elétrico na função extra fiscal, na qual essa nova tecnologia proporciona vantagem singular, em relação ao veículo convencional, no que se refere à proteção do meio-ambiente. Isto vai de encontro ao dever de proteção ambiental que deve ser cumprida pelo serviço público, conforme preceitua a Constituição brasileira, o que obriga a aplicação de políticas fiscais e ambientais necessárias a proporcionar o desenvolvimento sustentável em sincronia com as necessidades sociais e econômicas.

A proposição adequada seria, na forma legal de tributação, feita por MJ/km por carro aliada ao nível de emissão de CO<sub>2</sub> medido por gCO<sub>2</sub>/km, o que não privilegia os carros de combustão interna, levando em conta os diferentes tipos de tecnologias de forma direta.

Essa forma de cálculo se enquadraria no conceito poluidor-pagador, ou seja, seria cobrado mais pelos danos da poluição daqueles que mais danificam o meio ambiente, estimulando decisões empresariais de utilização dos meios não poluentes.

#### 5.3.4. Projeto inovar

A partir do segundo semestre de 2014, o governo federal sinalizou com o projeto Inovar Auto, direcionado aos veículos elétricos híbridos, exceto os de luxo. O programa reduz a taxa de importação de 35% para as possibilidades de:

- zero, 2% e 5% para veículos cujos componentes são importados e montados no país.
- 2%, 4% e 7% para veículos completos importados, a depender da eficiência energética.

Fica fora do programa qualquer modelo que utilize a rede elétrica para recarga da bateria. Alguns modelos beneficiados:

Tabela 18 - Modelos de carros beneficiado pelo projeto Inovar.

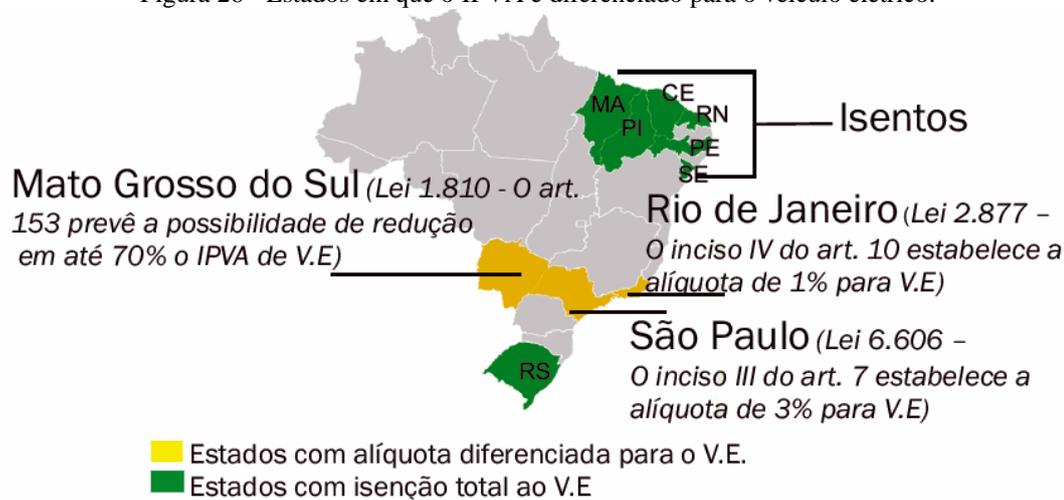
Fabricante	Modelo	Valor R\$
Lexus (Toyota)	CT200h	entre 150 e 200 mil
Ford	Fusion Hybrid	125 mil
Toyota	Prius	abaixo de 125 mil
<b>(Dólar cotado a R\$ 3,4223)</b>		

Fonte: Autoria própria a partir de Barrasa, 2015.

O fusion, modelo mexicano, caso venha a ser fabricado no país, o valor baixaria para menos de R\$ 100 mil (US\$ 29.220,11). Vale ressaltar que o veículo Lexus CT200h, mesmo com as medidas de desoneração, custará um valor acima de R\$ 100 mil (US\$ 29.220,11), incompatível com as demandas do mercado nacional. Logo, classifica-se essa medida como pontual, apesar de ser abrangente a todo o território nacional. Continua não correspondendo às expectativas brasileiras.

Outra iniciativa aplicada em alguns estados é a isenção do IPVA, praticada em alguns estados do nordeste e no Rio Grande do Sul. Outros estados reduzem a alíquota como Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo (Figura 26).

Figura 26 - Estados em que o IPVA é diferenciado para o veículo elétrico.



Fonte: Barrasa, 2015.

### 5.3.5. Projeto em andamento

O Plano de Lei do Senado, de número 44 de 2009 (PLS 44/2009), propõe a isenção do IPI aos veículos de passageiros e mistos movidos a tração elétrica (BRASIL, 2009a).

O PLS 364/2009 sugere a alteração do art. 11 da Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993, que "dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências", para determinar que os veículos leves híbridos utilizem, além da energia elétrica, apenas biocombustíveis (BRASIL, 2009b).

Já o PLS 255/2010 propõe a isenção total do IPI, durante o período de 10 anos, para os seguintes veículos elétricos e respectivos acessórios: transporte de pessoas (até 8 passageiros); carro de corrida (isenção parcial); transporte de carga; ambulâncias; caminhões

de carga; caminhões guindaste e motocicletas. Também previsto nesse projeto, alíquota zero para importação de peças sem equivalência no mercado nacional, além da isenção de PIS/PASEP e COFINS na comercialização de tais veículos. (BRASIL, 2010).

No entanto, os projetos citados anteriormente que tramitavam em conjunto, encontram-se arquivados desde o dia 26 de dezembro de 2014 na Secretaria de Arquivo, podendo vir a ser debatido novamente para então se transformar em Lei, se pelo menos 27 senadores apresentarem requerimento e o levarem à aprovação em Plenário. Somente desta forma o projeto poderá voltar a tramitar por mais uma Legislatura. Não havendo decisão no prazo legal será novamente arquivado em caráter definitivo. (BRASIL, 2010).

Outro Projeto de Lei, apresentado na Câmara Federal em 23 de agosto de 2011, o PL 2092/2011, estabelece incentivos à fabricação e utilização de veículos automóveis elétricos no Brasil e concede outras providências como a isenção de IPI, inclusive quanto a partes, peças, acessórios e insumos utilizados na fabricação ou que os integrem, além da isenção de PIS/PASEP. Este projeto segue aguardando parecer na Comissão de Finanças e Tributação – CFT (BRASIL, 2011).

Segue ainda em tramitação na Comissão de Assuntos Econômicos, o PLS 174/2014 do senador licenciado Eduardo Braga que isenta do IPI, por 10, anos os veículos elétricos fabricados no Brasil movidos a bateria, a álcool e que usam pelo menos 30% de biodiesel. Além disso, o PLS 174 suspende pelo mesmo período, a cobrança do IPI incidente sobre equipamentos feitos no Brasil para recarga das baterias utilizadas nos veículos elétricos. Também ficariam livres do IPI partes e acessórios importados, sem similar nacional, para a fabricação dos veículos e recarga das baterias. Nesse caso, o benefício poderá acabar antes dos dez anos, caso haja a produção de similares nacionais ((BRASIL, 2014), (BAZANI, 2015)).

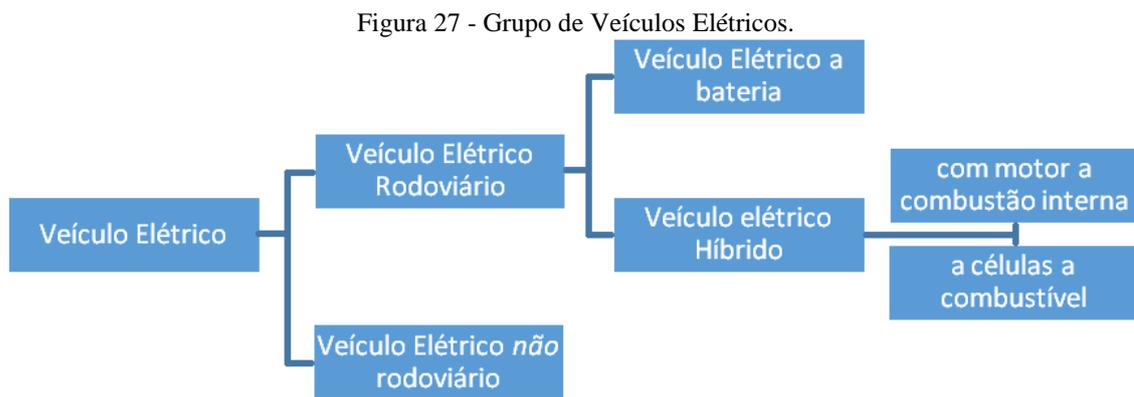
### **5.3.6. Inovações tecnológicas**

O Ministério das Ciências e Tecnologias vem trabalhando em duas frentes no que se refere ao desenvolvimento de veículos elétricos: o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico vem trabalhando no sentido de formar profissionais e Pesquisa e Desenvolvimento P&D direcionado ao desenvolvimento de tecnologias de baterias e super-capacitores, juntamente com seus respectivos processos de reciclagem, além de desenvolvimento de peças aplicadas aos carros elétricos, híbridos e a hidrogênio.

## 5.4. Comportamento global

A partir de 1973 Estados Unidos, França e Japão tomaram a iniciativa de entrar no segmento de veículos elétricos. Como resultado, na passagem do século XX para o XXI, já se comercializava 1% de veículos elétricos em relação aos convencionais.

No início do ano 2000 já existiam diversos tipos de veículos elétricos em diferentes estágios de desenvolvimento. Pecorelli e Hollanda (2003) classificavam os VEs em grupos, conforme a Figura 27:



Fonte: Barassa, 2015.

Diante de todos os modelos já criados, ainda não há uma padronização a ser seguido, pois, cada um apresenta vantagens e desvantagens em relação aos outros. Além do mais, todos passam ainda por um processo de aceitação comercial devido a aspectos como autonomia, abastecimento e custo do produto.

O desenvolvimento da tecnologia de veículos elétricos tomou impulso a partir de 2005, quando foi crescente a curva de determinação de patentes para proteção das descobertas de novas tecnologias, com destaque para a Toyota, com 1900 famílias de patentes e Hyundai com 1062, onde os asiáticos tomam a dianteira em relação ao resto do globo.

Entre 1999 e 2013 o mercado de veículo tem tido aumento expressivo, passando de 17 a 1.566.184 unidades híbridas. E, de 2010 a 2013, veículos elétricos puros passaram de 10.000 a 210.359 unidades.

Quanto à venda de carros plugin, os Estados Unidos lideram a venda com 45%, chegando ao total de 95.099 unidades, de acordo com informações de Evobsession (2015). Esse resultado se deve à política de incentivo praticada desde 1990, a começar pela Califórnia que praticou a reserva de mercado de veículos eletrificados e política de créditos não reembolsável para estímulo à aquisição de veículos elétricos, em 2005.

Em 2009, com a promulgação do American Clean Energy and Security act 2009, criou a Secretaria de Energia, as agencias reguladoras estaduais. Determinou que as distribuidoras de energia não reguladas tivessem que formular planos para o desenvolvimento de smart grids (redes inteligentes), com prazo até 2012. Além disso, foi determinado teto de US\$ 50 bilhões até o ano de 2020, a fim de prestar assistência financeira às montadoras e indústrias de autopeças, que se dedicassem ao desenvolvimento de carros elétricos híbridos.

Esse esforço se deu devido os EUA ser o maior consumidor de petróleo do mundo, em torno 20 milhões de barris dia, correspondente a 21,7% do consumo mundial. Sendo fator estratégico, pois a produção interna cobre apenas 33% do consumo, ficando a depender das importações e das reservas mundiais.

Em termos de vendas, o destaque fica para os asiáticos, onde a Nissan, Mitsubishi e Toyota, juntas possuem 46% de todo o mercado. Das três, a Nissan LEAF, vendeu 47.848 unidades em 2013.

## **5.5. Aceitação do mercado**

A aceitação do carro elétrico no mercado vem crescendo de forma acelerada, basta observar no primeiro semestre houve acréscimo de 44% nas vendas, podendo chegar, ao final de 2016 a 647.000 unidades em todo o mundo.

A Volkswagen, por exemplo, planeja fabricar, na próxima década, total de 3 milhões de unidades. Em Paris o salão do automóvel apresentou o protótipo do modelo 2018-2019 com autonomia variando entre 400 e 600 quilômetros, suficiente para atender à necessidade da maioria dos motoristas. Além do mais, segundo estudos da *Union of Concerned Scientists*, esse carro, utilizando energia de fontes ecologicamente correta, produz duas vezes menos gases poluentes, e chegando a 20% a menos de poluição em caso de utilização de energia produzida por carvão mineral.

Também, no 12º Salão Latino-Americano de Veículos Elétricos, onde 40 expositores fizeram demonstração objetivando convencer o público sobre as vantagens da utilização dessa modalidade de veículo e de negócios deles provenientes.

Algumas novidades foram apresentadas como:

- ônibus apresentado pela Eletra, com autonomia de 70 km que pode ser recarregado nos terminais da garagem, equipado com bateria de 8 anos de duração.

- ônibus híbrido, modelo Pirus, apresentado pela Toyota, equipado com eficiente sistema de propulsão no qual mistura combustível e energia. Esse veículo tem apoio da prefeitura de São Paulo, o qual é isento de pagamento do IPVA.

- A Vela Bike apresentou a bicicleta elétrica, equipada com motor elétrico de 350W, alarmes e faróis ligados à bateria principal, atinge velocidade de 25 km/h, com autonomia de 40 km, cujo tempo de recarga atinge em torno de duas horas. O custo total de R\$ 5.290,00 (US\$ 1.545,74), parcelado sem juros.

### **5.5.1. Caso Brasil**

Crítica - Em tempo de crise, os empresários brasileiros aguardam por definições do governo acerca do tema para se definirem acerca dos investimentos no setor.

Críticos como Cido Biderman, ex-chefe do gabinete de Transporte da cidade de São Paulo critica o governo por permanecer com a postura de que a solução sustentável para as grandes cidades se encontra na construção metroviária, afirmando ele que o ônibus elétrico substituiria plenamente essa via de transporte.

Por ser mais flexível, seria viável economicamente e atenderia a milhares de pessoas prejudicadas, atualmente, pela falta do sistema eficiente de transporte. Enquanto os empresários apontam para a via sustentável, o governo direciona políticas de construção de moradias no centro das cidades para resolver o problema – transporte público.

Perspectiva - A Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE, 2016) estima que em 2020 haverá entre 30 e 40 mil carros elétrico circulando, o que seria absorvido naturalmente pelo sistema conforme visão de Celso Novais, coordenador brasileiro do Programa de Veículos Elétricos da Itaipu.

## **5.6. Mercado do lítio**

Como o lítio é elemento básico para a fabricação de baterias, utilizados nos carros elétricos, o preço desse produto disparou no mercado mundial. Há perspectiva de a produção de lítio, até 2025 chegar a 300.000 toneladas ano, com inflação de até 200% no preço de mercado, segundo instituição norte-americana. De acordo com essa estimativa, nessa época, a cada ano, 40 milhões de novos veículos equipados com bateria de lítio entrarão no mercado.

O epodumênio, mineral de onde se extrai o lítio, de 2014 para cá teve o preço da tonelada aumentado em US\$ 100, passando a US\$ 480, devido ao aumento da procura e falta de produto alternativo.

De acordo com Giacomo Mori, vice presidente da consultoria norte-americana Alix Partner, a Tesla inaugurou em Nevada (EUA) a planta gigafactory para produção, em 5 anos, de baterias para 500.000 carros ano.

Países como Bolívia, Chile e Argentina, devem se beneficiar como o crescimento do mercado, pois concentram respectivamente 22,7%, 18,9% e 16,4% de todas as reservas de lítio conhecidas no mundo, situadas na região das salinas, perto das fronteiras comuns – região conhecida como Triângulo do Lítio – Dessa forma, a Bolívia, maior produtora, poderá determinar o preço de mercado desse produto.

Ressalte-se que o lítio produzido pelo Chile contém três vezes menos magnésio, o que facilita o beneficiamento do produto.

Explica, ainda, que hoje o carro elétrico tem preço 45% acima em relação aos dos veículos a diesel, diferença essa que deverá cair para 5% até 2025.

### **5.7. Preços das baterias e dos VEs**

É importante notar que a popularidade dos carros elétricos depende diretamente da baixa de custo das baterias, o que de fato vem ocorrendo. Em início de 2008 pagava-se US\$ 1.000 por kWh, em bateria, chegando a US\$ 350 em 2015, cuja estimativa para 2030 chega a US\$ 120. Vale ressaltar que o preço de equilíbrio entre o kWh e o preço dos combustíveis fósseis situa-se em US\$ 150.

Outro fator importante para avaliação é o tempo de recarga. A Ford vai lançar nos Estados Unidos o veículo Focus Electric, modelo totalmente elétrico, equipado com carregador que recarrega 80% da bateria em 30 minutos, gerando autonomia de 160 km.

Com o desenvolvimento dessa tecnologia, a Bloomberg New Energy Finance (BNEF) estima que em 2040 40 milhões de veículos sejam vendidos por ano, diminuindo o consumo diário de petróleo em 13 milhões de barris dia.

Segundo McCarthy (2015), a Noruega é o país com a maior frota de carros elétricos do mundo chegando a 33% do total de veículos comercializados no país. No Brasil, esse percentual não chega a 1%. São 3 mil carros entre elétricos e híbridos em um universo de

91.752.333 veículos registrados até o mês de abril de 2016 (DENATRAN). A falta de políticas de incentivo é apontada por sites especializados (Auto Esporte, Quatro Rodas) como o principal empecilho para melhorar as vendas. A primeira ação do governo para modificar esse quadro só aconteceu no último trimestre de 2015.

O governo brasileiro, por meio da Câmara de Comercio Exterior eliminou em outubro de 2015 a alíquota do imposto de importação para carros elétricos e movidos a célula de combustível (Resolução CAMEX nº 97/2015). Provavelmente, com esse incentivo, a frota de carros elétricos e híbridos possa aumentar. No entanto, assim como os modelos convencionais, movidos a combustível fóssil, o preço ainda é um fator que afeta as vendas.

Na Tabela 19, há um comparativo entre os preços praticados no Brasil e em mais dois países.

Tabela 19 - Preço dos veículos do Brasil, EUA e Chile.

	R\$	Tipo	US\$	CAD\$	CLP\$
Modelo	Brasil		EUA	Canadá	Chile
<b>Prius C - 2016</b>	115.500,00	híbrido	24.200	21.235	18.890.000
<b>Nissan Leaf</b>	-----	elétrico	29.860	32.698	21.290.000
<b>BMW i3</b>	225,9252	elétrico	42.400	45.300	24.000.000
<b>Lexux CT200h</b>	134.000	híbrido	31.250	37.893	22.800.000
<b>Volks GOLF gte</b>	-----	híbrido	36.900	33.000	-----
<b>(Dólar cotado a R\$ 3,4223)</b>					

Fonte: Tabela Fipe, Maio de 2016.

Os carros escolhidos para compor esta tabela já estão no mercado brasileiro, como o Prius, ou ainda serão apresentados neste ano de 2016, como, por exemplo o Nissan Leaf.

Nos EUA, o Leaf custa a partir de US\$ 29.010 ou algo em torno de R\$ 99.280. Com o IPI zerado, o elétrico nipônico deverá ter redução entre 25% e 30% no preço final.

Atualmente, algumas unidades do Leaf são utilizadas por taxistas das cidades de São Paulo e do Rio de Janeiro dentro de uma parceria firmada entre a Nissan e as prefeituras desses municípios. (Web Motors)

De acordo com o jornal Estadão, a Nissan pretende iniciar a produção do elétrico Leaf no Brasil a partir de 2017.

Sedã Qin e Hatch e6 da BYD são os que devem vir. Eles poderão ser oferecidos pelo sistema compartilhado, como já existe em Paris e Amsterdã, segundo o interesse já manifestado por cidades brasileiras como Curitiba, Belo Horizonte e Rio de Janeiro.

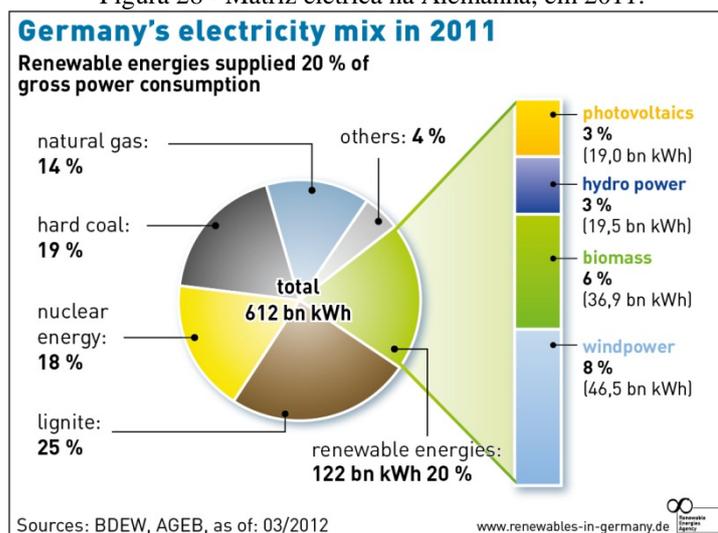
## 6. ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

### 6.1. Meio ambiente

Quanto à utilização de carro elétrico no mercado, vários fatores precisam ser analisados a fim de se verificar a viabilidade econômica associada aos impactos ambientais.

Segundo estudos do Instituto de Pesquisa de Energia e Meio Ambiente (IFEU) de Heidelberg, Alemanha, 2011, quanto ao uso de energia para fabricação do veículo elétrico, o nível de poluição gerado depende da região onde for produzido. Se ocorrer em países como a Alemanha (Figura 28) e a China, onde se queima bastante carvão mineral para produzir energia, um carro, para equilibrar a emissão de dióxido de carbono teria que percorrer em torno de 100 mil quilômetros, o que poderia ser reduzido a 30 mil se a fonte de geração de energia fosse renovável.

Figura 28 - Matriz elétrica na Alemanha, em 2011.



Fonte: <[http://www.planet-biogas.ca/info/ae-strommix-deutschland-2011\\_en-01/](http://www.planet-biogas.ca/info/ae-strommix-deutschland-2011_en-01/)>.

Vale salientar que o alto consumo de energia para fabricação do carro elétrico se dá primeiramente pelo processo de extração e fabricação do alumínio, material básico para a produção da estrutura do veículo, visto ser um metal leve, necessário ao melhor desempenho e menor consumo de energia.

A fabricação da bateria também danifica o meio ambiente com a emissão de gás poluente. Segundo pesquisa do IFEU para cada capacidade de armazenamento de um quilowatt/hora na fabricação da bateria utilizada pelo modelo BMW i3, produz a emissão de 215 quilos de CO<sub>2</sub>, o que eleva a três toneladas de CO<sub>2</sub> para fabricar uma bateria de 22 kWh.

Existem estudos de alternativas para diminuir o impacto da produção de energia no meio ambiente. Uma delas seria a criação de um sistema com base em energia solar que carregasse a bateria, e, nos períodos em que os veículos estivessem em repouso serviria como acumulador de carga que poderiam devolver ao sistema energético nos horários de falta de sol.

Esse mesmo tipo de bateria fabricado na China ou na República do Congo elevaria os danos ambientais no que se refere ao desmatamento sistemático de florestas tropicais além da poluição de rios e solos especialmente na extração de metais e terras raras necessárias ao processo de produção.

Outro fator a ser considerado, analisando caso prático como ocorrido na Noruega, a fabricação de carros elétricos estimula a utilização de veículos individuais, aumentando, por conseguinte, os problemas já existentes de tráfegos nas grandes cidades. A solução seria envidar esforços no sentido de fabricação de ônibus elétricos, pois, ao fazer a comparação, o IFEU constatou que 10.000 ônibus seriam suficientes para substituir 1 milhão de veículos individuais.

Diante desses posicionamentos há que tomar cuidado com o que se divulga como emissão zero de CO<sub>2</sub> quando se relaciona à utilização de carro elétrico. Pois isso ocorre após o ponto de equilíbrio, a depender da fonte de energia utilizada no país onde esse tipo de veículo for fabricado.

Para constatar esse fato, pesquisa feita pela BNEF, calculou que o carro elétrico na China reduz apenas em 15% o nível de poluição devido à utilização de carvão mineral para produção de Energia. Essa redução pode chegar a 40 ou 50% a depender da matriz energética utilizada, conforme conclusões Bloomberg LP com sede em Londres e Union of Concerned Scientists.

## **6.2. Influência da bateria no preço do carro elétrico**

Nas condições em que se encontra o mercado atual, segundo os sites CarFax.com e CarAndDriver.com, é possível encontrar VEs com cinco anos de uso, quilometragem relativamente baixa, baixo custo operacionais e sem nada de errado com eles, por um preço extremamente baixo. Isso devido à alta depreciação dos VEs, se comparado com os VCI. Tornando, para quem deseja possuir um VE, um bom "investimento".

Um VE como o Nissan Leaf que custa entre US\$ 30.000 e US\$ 40.000, quando novo, com três anos de uso passa a ser vendido, em média, por US\$ 6.000 a US\$ 7.000 em revenda, cerca de 18% do preço inicial. Mesmo considerando os investimentos fiscais de US\$ 7.500 (nos EUA), o proprietário de um Nissan Leaf não recupera mais que 30% do valor inicial do veículo. Diferentemente de um VCI que com três anos de uso, essa porcentagem passa para o intervalo entre 45% a 65%.

Muitos fatores como a degradação da bateria, custo de reposição da bateria, baixa autonomia, tempo de recarga, e por se tratar de uma tecnologia “nova” e de preço ainda muito alto contribuem para a elevada depreciação dos VEs. Além do mais, há o efeito “smartphone”, comportamento de o consumidor esperar pelo lançamento de uma tecnologia nova que apresente mais recursos, garanta maior autonomia, melhor desempenho e baixo custo, comportamento normal em toda qualquer tecnologia nova lançada no mercado.

Sendo equipamento caro, as montadoras oferecem garantia, a depender do modelo, podendo variar de 3 a 8 anos (Tabela 20), o que vai além do período de depreciação do veículo, que, segundo estudos da BlackBook.com, o VE é depreciado em torno de 3 anos, período bem mais curto que os veículos convencionais, que são de cinco anos.

Tabela 20 - Garantia de VEs por fabricante.

<b>MODELO</b>	<b>GARANTIA</b>
<b>BMW i3</b>	8 anos / 100.000 milhas
<b>Citroen C Zero</b>	5 anos / 40.000 milhas
<b>Ford Focus EV</b>	5 anos
<b>Mitsubishi i-MiEV</b>	5 anos
<b>Nissan Leaf</b>	5 anos / 60.000 milhas
<b>Peugeot iOn</b>	8 anos / 80.000 milhas
<b>Renault Fluence</b>	5 anos / 100.000 milhas
<b>Renault Twizy</b>	4 anos / 100 mil milhas (três primeiros anos c/ milhas ilimitada)
<b>Renault Zoe</b>	5 anos / 60.000 milhas
<b>Smart Fortwo ED</b>	3 anos
<b>Tesla Model S</b>	8 anos / milhas ilimitada
<b>VW e-Golf</b>	8 anos / 99,360 milhas
<b>VW e-Up!</b>	8 anos / 99,360 milhas

Fonte: <<http://www.driving.co.uk/car-clinic/what-do-you-need-to-know-before-buying-a-used-electric-car/>>.

Exceção a essa regra, segundo o site TRUECar.com, são os VEs fabricados pela Tesla, por serem carros de luxo e de alta performance, aliado a maior autonomia, com garantia da bateria de oito anos, tem seu valor de 62% preservado após cinco anos de uso.

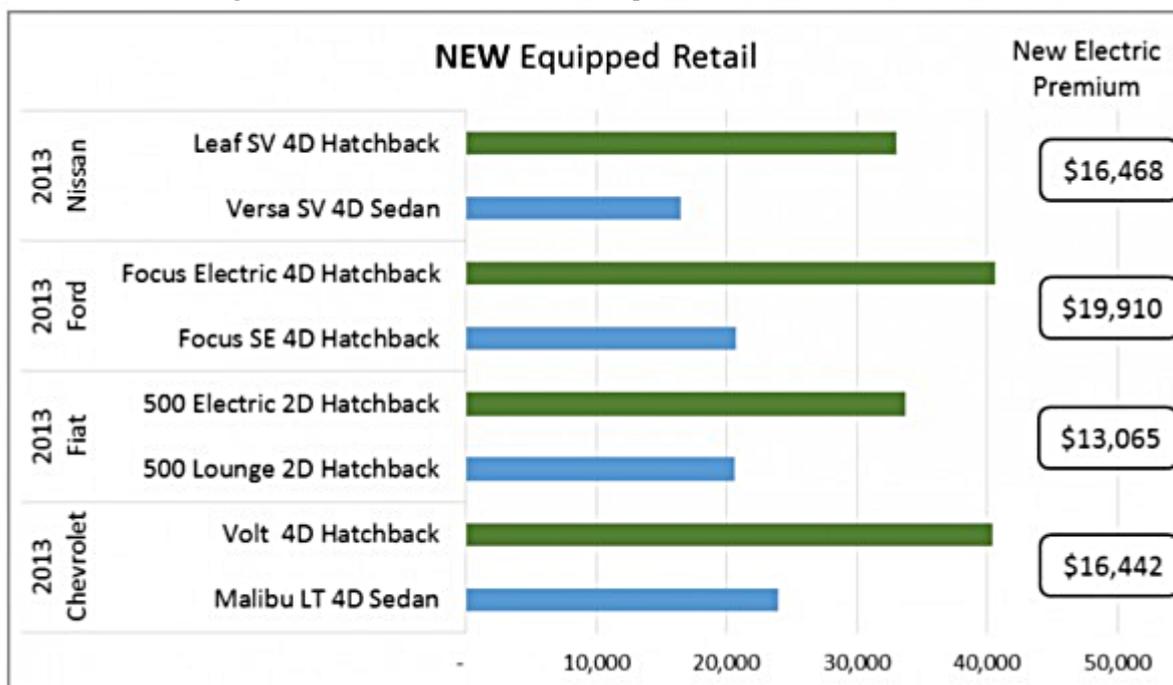
No entanto, mesmo diante das condições supracitadas, a possibilidade de troca de bateria nos veículos puramente elétricos assusta, pois uma bateria nova é onerosa, é o objeto que mais influencia no preço deles, tendo o possível proprietário que analisar bem antes de decidir investir na aquisição de um veículo elétrico.

Pelo receio de aceitação do carro elétrico no mercado, ainda não existe estatísticas que meçam a influência direta do custo da bateria no índice de depreciação por ele sofrido. Sabe-se, no entanto, que o preço inicial do veículo elétrico, no primeiro ano, cai em torno de 50%, sendo vantajoso para quem compra o carro usado, pois além do baixo preço, não tem que buscar opções de incentivos fiscais oferecidos pelo governo para incentivar a aquisição deles zero km. Além do mais, as taxas de incentivos oferecidas, nem de longe cobrem o prejuízo causado pela depreciação no primeiro ano de uso do veículo elétrico.

Esse efeito fica mais atenuado na aquisição do carro híbrido, pelo fato de também conter combustão interna, tem maior aceitação no mercado, fazendo com que a depreciação dos três primeiros anos de uso, faça com que o preço de revenda se mantenha acima do preço do veículo de combustão interna convencional, de performance equivalente no mercado, apesar de a taxa de depreciação ainda continuar sendo maior.

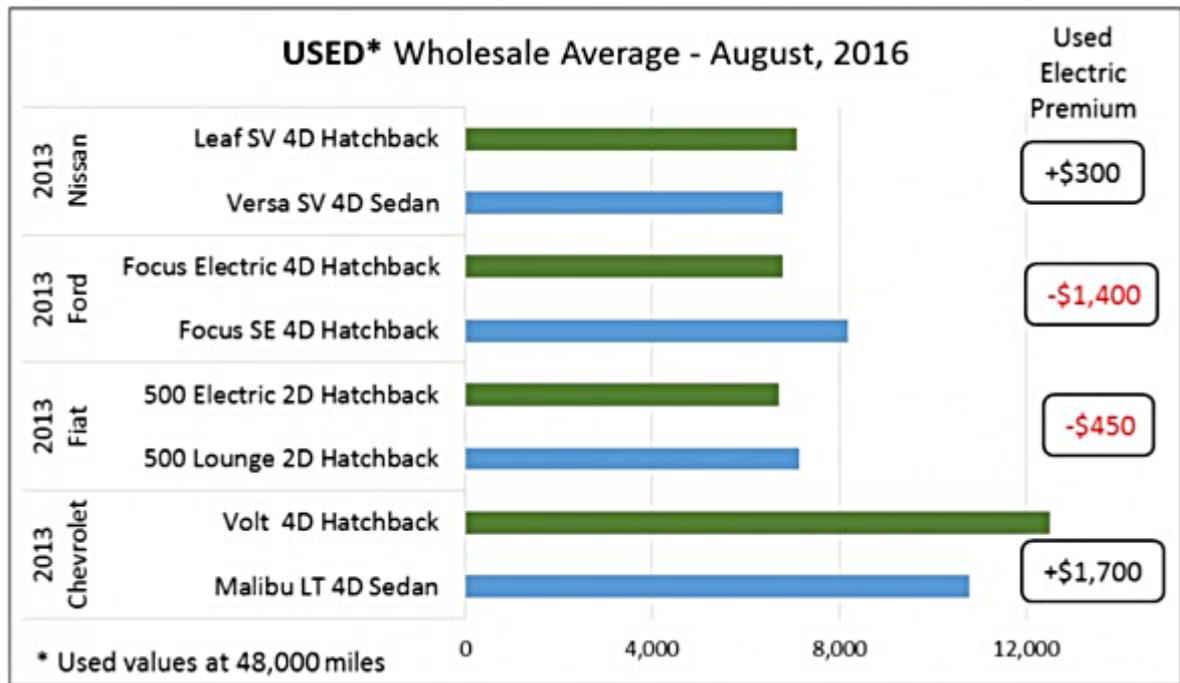
Os gráficos das Figura 29 e Figura 30 elucidam um comparativo de alguns modelos de VEs com VCIs, no que se refere ao acompanhamento dos preços iniciais e após três anos de efetiva utilização, respectivamente.

Figura 29 - Valores de veículos 0 km equivalentes, VE x VCI, em 2013.



Fonte: <<http://blog.caranddriver.com/tesla-aside-resale-values-for-electric-cars-are-still-tanking/>>.

Figura 30 - Valores de revenda de veículos equivalentes fabricados em 2013, VE x VCI, em Agosto de 2016.



Fonte: <<http://blog.caranddriver.com/tesla-aside-resale-values-for-electric-cars-are-still-tanking/>>.

## 7. CONCLUSÃO

De início, nos anos 1900, quando os primeiros veículos foram desenvolvidos, o motor a combustão ganhou a corrida por fatores como, facilidade de acesso e armazenamento de combustível, além do melhor desempenho do veículo, apesar da poluição sonora que provocava. Não sendo possível armazenar energia, o carro elétrico, detentor de pouca autonomia devido à baixa tecnologia de baterias, logo perdeu na competição.

Mais adiante, nos anos 70, quando as reservas de petróleo foram se tornando escassa, trazendo consigo o risco de colapso do sistema produtivo, somado aos danos que os gases poluentes dos derivados de petróleo trazem ao meio ambiente, começou a ser repensada a retomada do desenvolvimento do carro elétrico.

Auxiliado pela evolução tecnológica a grande variedade de opções energéticas das quais os veículos elétricos podem dispor, tornou-se viável o desenvolvimento dessa renovada tecnologia, onde foram fabricados os novos motores elétricos e híbridos.

Muitas foram as modelagens de motor elétrico criados por diversas empresas em todo o globo, alguns híbridos, outros exclusivamente elétricos, variando de potência e de economia. Essa luta toda em busca de se conseguir um padrão que tenha bom desempenho, não polua, tenha facilidade de ser abastecido, seja leve e mantenha maior autonomia a um preço ideal de mercado que possa competir com os veículos convencionais.

Diante de tantas pesquisas, alguns países como a Alemanha, Estados Unidos e Japão tomaram a dianteira ao desenvolver veículos com maior autonomia, conseguiram baratear e tornar as baterias mais leves, aliadas à maior potência, tornando o custo benefício do veículo elétrico mais próximo da realidade de mercado.

Os Estados Unidos e Japão tomaram a dianteira na fabricação desses veículos, investindo fortemente em tecnologia, subsidiando a compra deles com empréstimos não reembolsáveis.

Outro aspecto ambiental relevante é o grau de poluição gerado no processo produtivo, de um VE e de sua bateria que depende da fonte geradora da energia necessária a esse processo. Apesar da poluição gerada na fabricação do VE e da bateria, essa poluição é compensada com o uso do carro com energia limpa.

Para que a fabricação de veículo chegue ao preço de concorrência do mercado, muito ainda tem que ser desenvolvido, grandes investimentos em pesquisas e tecnologia a fundo perdidos ainda deve ser feitos, especialmente no que se refere ao preço da bateria e a

autonomia do VE que dela provém. Hoje, já se vislumbra o preço por kWh a US\$ 150 para que possa competir com os veículos a combustão.

Novas pesquisas atualmente estão sendo desenvolvidas no sentido de se fabricar baterias à base de carbono, que oferece maior potência, maior durabilidade, menor peso e menor tempo de recarga.

No Brasil, pouco se tem feito em termos de desenvolvimentos tecnológicos, o assunto ainda é muito polêmico, o que há, na prática é a permissão de importação de VEs, desde que tenha valor não ultrapasse a R\$ 250.000,00. A indústria brasileira precisa inovar em tecnologias e explorar a possibilidade dos veículos elétricos o que faz parte do desenvolvimento sustentável, com menor índice de poluição e preservando os recursos naturais.

Como se não bastasse o custo inicial do desenvolvimento tecnológico e a falta de políticas de incentivos, no Brasil, os VEs sofrem elevada tributação, dificultando a produção desse tipo de tecnologia. O mercado brasileiro necessita de estímulos do Estado através de regulações, mas especialmente de tributações que não estorvem atividades econômicas sustentáveis.

No geral, sabe-se que a tecnologia de Veículo Elétrico tende a tornar-se cada vez mais barata, gerando carros com maior autonomia e produtora de menos gases poluentes no processo produtivo, tanto no trato do alumínio, material básico do veículo, como na fabricação de baterias.

Melhorando a tecnologia, baixando o preço tanto das baterias como dos veículos, reduzindo a poluição no processo produtivo, obtendo maior autonomia devido ao melhor armazenamento de energia, os veículos elétricos apontam para um grande benefício à humanidade tanto no que se refere a diminuição da poluição no centros urbanos, como na diminuição do risco de colapso de produção pela crescente escassez e escalada dos preços dos derivados de petróleo.

## 8. REFERÊNCIAS

ABVE. Associação Brasileira do Veículo Elétrico. **Brasil terá até 2020 de 30 mil a 40 mil carros ‘verdes’ na frota.** Disponível em: <<http://www.abve.org.br/noticias/brasil-tera-ate-2020-de-30-mil-a-40-mil-carros-verdes-na-frota>>. Acesso em: 18 nov. 2016.

ANFAC. **Barómetro sobre seguridad vial y medio ambiente. Vehículo alternative la movilidad de combustivles alternativos en España.** 2016. Disponível em: <<http://www.anfac.es/openPublicPdf.action?idDoc=12759>>. Acesso em 31 maio 2016.

ARTHUR, W. B. **Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events.** The Economic Journal, Vol. 99, No. 394. (Mar., 1989), pp. 116-131.

AUTOESPORTE. **Governo zera imposto de importação para carro elétrico e a hidrogênio.** 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/carros/noticia/2015/10/governo-zera-imposto-de-importacao-para-carro-eletrico-e-hidrogenio.html>. Acesso em: 18 out. 2016.

BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil.** BNDES Setorial, 33, p. 207-224. 2010.

BARAN, R. **A introdução de veículos elétricos no Brasil: Avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade.** 2012. 124f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharias, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

BARASSA, E., CONSONI, F. **Desafios para o veículo elétrico no Brasil: uma análise a partir das políticas de oferta (technology-push) e de mercado (demand-pull).** IX Congresso Latino Americano de Veículos Elétricos, Novas Tecnologias e Componentes. São Paulo, Brasil, 2013.

BARASSA, E. **Trajetória tecnológica do veículo elétrico: atores, políticas e esforços tecnológicos no Brasil.** Campinas, SP. 2015. 105p.

BAZANI, A. **Opinião: Uma pequena luz para os veículos elétricos.** Diário do Transporte. 2015. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2015/10/26/opiniao-uma-pequena-luz-para-os-veiculos-eletricos/>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

BECKER, T. A., IKHLAQ S.; BURGHARDT T. **Electric vehicles in the United States: A new model with forecasts to 2030.** Center for Entrepreneurship and Technology, University of California, Berkeley. Aug. 2009.

BRASIL. Câmara de Comércio Exterior. CAMEX. Resolução nº. 97, de 26 de outubro de 2015. **Diário Oficial da União, Brasília**, 27 de outubro de 2015. Seção 1, p.1.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei do Senado PLS 44/2009.** Concede isenção do Imposto sobre Produtos Industrializados aos veículos de passageiros e mistos movidos a tração elétrica. Disponível em: <<http://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/89535>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei do Senado PLS 364/2009.** Altera o art. 11 da Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993, que "dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências", para determinar que os veículos leves híbridos utilizem, além da energia elétrica, apenas biocombustíveis. Disponível em:

<<http://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/92780>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei do Senado PLS 255/2010**. Concede benefícios fiscais referentes ao Imposto sobre Produtos Industrializados, ao Imposto de Importação, à Contribuição para o PIS/PASEP e à Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social incidentes sobre operações com veículos híbridos ou movidos a tração elétrica, suas partes e acessórios. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/98179>>. Acesso em: 9 dez. 2016.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei do Senado PLS 174/2014**. Concede isenção do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) incidente sobre a fabricação de automóveis elétricos ou híbridos a etanol e dá outras providências. Disponível em: <<http://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/117572>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei PL 2092/2011**. Estabelece incentivos à fabricação e Utilização de veículos automóveis elétricos no Brasil e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=516874>>. Acesso em: 9 dez. 2016.

CHAU, K. T.; WANG, Zheng. **Overview of power electronic drives for electric vehicles**. Hong Kong, 2005.

CHERIAN, A. E. **Redefining Energy Storage in Transportation Markets: The Lithium Revolution**. WebCom Communications Corp., 2009.

COWAN, R., HULTÉN, S., 1996. **Escaping Lock-in: The case of electric vehicle**. Technological Forecasting and Social Change, v. 53, p. 61-79.

DENATRAN. **Relatório Estatístico**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota2016.htm>>. Acesso em 30 maio 2016.

Dijk, M.; Orsato, R. J.; Kemp, R. 2013. **The emergence of an electric mobility trajectory. Energy policy**, 52, 135-145.

DOMINGUES, J. M. **Como o direito tributário pode contribuir expressivamente com o desenvolvimento**. Disponível em: <<http://www.conjur.com.br/2016-jan-09/jose-domingues-energia-solar-veiculos-eletricos-impostos>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

DOMINGUES, J. M.; PECORELLI PERES, L. A.; BATISTA, M. S.; SENA, M., VASCONCELLOS, A. P.; ROCHA, L. B.; AMINDE, N.; ASSANTI, O. B.; FERREIRA, T. S.. Eficiência Energética, Tributação e Políticas Públicas no Brasil: Caso do Veículo Elétrico. **Revista do Instituto do Direito Brasileiro**, v. 2, p. 1065-1102, 2013.

EHSANI, M.; GAO, Y.; GAY, S. E.; EMADI, A. **Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles - Fundamentals, Theory, and Design**. 1 ed. CRC Press. 2005. 419p.

EIA DOE. **Annual Energy Review, 2009**. Disponível em: <<http://eia.doe.gov>>. Acesso em: 29 maio 2016.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional - BEN**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 20 out. 2016.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional – BEN 1970-2015. Séries Históricas Completas do Balanco Energético Nacional a partir do ano de 1970.** Capítulo 3 (Consumo de Energia por Setor) . Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompletas.aspx>>. Acesso em: 16 out. 2016.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia - 2030**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 20 out. 2016.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLELY JUNIOR, C. UMANS, S. D. **Máquinas elétricas com introdução à eletrônica de potência**. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 648 p.

GRANT-MULLER, S.; USHER, M. (2014) **Intelligent Transport Systems: The propensity for invironmental and economic benefits**. Thechnological Forecasting and social change, 82, 149-166.

HOYER, K. G. 2008. **The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars**, Utilities Policy, v. 16.

IEA. Internacional Energy Agency. **Key CO<sub>2</sub> Emissions Trends. Excerpt from: CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion**. França, 2016.

IEA. Internacional Energy Agency. **Key World Energy Statistics**. França, 2016.

IPCC (2014). Intergovernmental Panel on Climate Change Synthesis Report. **Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva.

LIMA, N. C.; DE SOUZA, S.; HENRIQUE, G. (2014) **A demanda do etanol e sua caracterização no mercado brasileiro de combustíveis**. Organizações rurais e agroindustriais, 16(4), p. 532-544.

MCCARTHY, N. 8 países com maior mercado de carros elétricos no 1º trimestre de 2015. **Forbes Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://www.forbes.com.br/listas/2015/07/8-paises-com-maior-mercado-de-carros-eletricos-no-1o-trimestre-de-2015/>>. Acesso em: 30 maio 2016.

NIKOWITZ, M. **Advanced Hybrid and Electric Vehicles, System Optimization and Vehicle Integration**. Berlin: Springer, 2016. 230 p.

ONU. Organização das Nações Unidas. **The future we want Rio+20**. Rio de Janeiro. 2012.

PEREIRA, L. S. L. **Revisão da tecnologia de veículos elétricos e o panorama atual do cenário brasileiro**. 2016. 100f. (Trabalho de conclusão de curso – Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

PERES, L. A. P.; PESSANHA, J. F. M.; SERRA, J. V.; PARTICELLI, F. M. F.; CALDAS, A. C. I. **Analysis of the use of electric vehicle by electric utility companies fleet in Brazil**, IEEE Latin America transactions, v. 9, n. 7, p. 1032-1039, 2011.

PROTOCOLO, Q. S. M. C. (1998). **Protocolo de Quioto á convecção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. Quioto.

RELATÓRIO RIO+20, (2013). **Comissão de Meio ambiente e desenvolvimento sustentável – Subcomissão Rio+20**. Câmara dos Deputados.

RIO+20 CORPORATE SUSTAINABILITY FORUM. **Innovation & collaboration public policy recommendations commitments to action**. Rio de Janeiro. 2012.

ROSA, S. E. S. & GOMES, G. L. **O pico de Hubbert e o futuro da produção mundial de petróleo**. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, Vol. 11, No. 22, p. 21-49, Dezembro de 2004.

ROSOLEM, M. F. N. C.; BECK, G. R. S.; ARIOLI, V. T. **Bateria de lítio-íon: conceitos básicos e potencialidades**. Cad. CPqD Tecnologia, Campinas, v. 8, n. 2, p. 59-72, jul./dez. 2012.

SAMARAS, C.; MEISTERLING, K. (2008) **Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from plug-in hybrid vehicles: implications for policy**. Environmental science & technology, 42(9), 3179-3176.

SITE. CARANDDRIVER. **Tesla Aside, Resale Values for Electric Cars Are Still Tanking**. Disponível em: <<http://blog.caranddriver.com/tesla-aside-resale-values-for-electric-cars-are-still-tanking/>>. Acesso em 24 nov. 2016.

SITE. DRIVING. **What do you need to know before buying a used electric car?** Disponível em: <<http://www.driving.co.uk/car-clinic/what-do-you-need-to-know-before-buying-a-used-electric-car/>>. Acesso em 24 nov. 2016.

SITE. WEB MOTORS. **Nissan Leaf será vendido no Brasil**. Disponível em: <[http://revista.webmotors.com.br/direcao-sustentavel/nissan-leaf-sera-vendido-no-brasil/201614233814735\\_1](http://revista.webmotors.com.br/direcao-sustentavel/nissan-leaf-sera-vendido-no-brasil/201614233814735_1)>. Acesso em 28 maio 2016.

SOCACOOOL, B. K.; HIRSH, R. F., 2008. **Beyond batteries: An Examination of the venefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) Transition**, Energy Policy, v. 37, n. 3, p. 1093-1103.

STEWART, D. **Discovery of Lithium**. Chemicool.com, 2012. Disponível em: <<http://www.chemicool.com/elements/lithium.html>>. Acesso em: 16 out. 2016.

STRUBEN, J.; STERMAN, J. D., 2006. **Transition Challenges for alternative fuel vehicle and transportation systems, Environment and planning B: Palnning and design**, v. 35, n. 6, p. 1070-1097.

VASCONCELOS, P. S. D. **Estudo de viabilidade técnica e econômica de um veículo elétrico urbano de carga**. 2015. 82 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

VONBUN, C. **Impactos ambientais e econômicos dos veículos elétricos e híbridos plug-in: uma revisão da literatura**. Brasília: IPEA, 2015.

ZAMORA, F. H. P.; KAGAN, H.; PELEGRINI, M. A.; ZAMBONI, L.; GARDIMAN, V. L. G.; GAVAZZI, M.; SILVA, J. P. N.; FREDES, M. A. P.; GRIMONI, J. A. B.; GONÇALVES, C. A. M.; AMEDOMAR, A. A.; CARVALHO, D. E.; SAMPAIO, L. E.;

FELDMANN, P. R. Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA), 2013  
IEEE PES Conference On. **Evaluation of electric vehicles impacts on distribution networks  
under different penetration scenarios.** São Paulo. 1-7p. 2013.