accenture | CADERNOS FGV ENERGIA

MAIO 2017 | ANO 4 | Nº 7 | ISSN 2358-5277

CARROS ELÉTRICOS

CARROS ELÉTRICOS

FGV ENERGIA

FGV ENERGIA

DIRETOR

Carlos Otavio de Vasconcellos Quintella

EQUIPE TÉCNICA

Coordenação Editorial
Felipe Gonçalves

Autores
Fernanda Delgado
José Evaldo Geraldo Costa
Júlia Febraro
Tatiana Bruce da Silva

Colaboração
Accenture Strategy

EQUIPE DE PRODUÇÃO

Coordenação Operacional
Simone Corrêa Lecques de Magalhães

Execução
Raquel Dias de Oliveira

Diagramação
Bruno Masello e Carlos Quintanilha

FGV ENERGIA

ESCRITÓRIO
Praia de Botafogo, 210 - Cobertura 02, Rio de Janeiro | RJ, CEP: 22250-145
Tel: (21) 3799-6100 | www.fgv.br/energia | fgvenergia@fgv.br

PRIMEIRO PRESIDENTE FUNDADOR
Luiz Simões Lopes

PRESIDENTE
Carlos Ivan Simonsen Leal

VICE-PRESIDENTES
Sergio Franklin Quintella, Francisco Oswaldo Neves Dornelles
e Marcos Cintra Cavalcanti de Albuquerque

FGV

Instituição de caráter técnico-científico, educativo e filantrópico, criada em 20 de dezembro de 1944 como pessoa jurídica de direito privado, tem por finalidade atuar, de forma ampla, em todas as matérias de caráter científico, com ênfase no campo das ciências sociais: administração, direito e economia, contribuindo para o desenvolvimento econômico-social do país.

FGV ENERGIA

DIRETOR
Carlos Otavio de Vasconcellos Quintella

SUPERINTENDENTE DE ENSINO E P&D
Felipe Gonçalves

SUPERINTENDENTE ADMINISTRATIVA
Simone Corrêa Lecques de Magalhães

SUPERINTENDENTE DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS E RESPONSABILIDADE SOCIAL
Luiz Roberto Bezerra

CONSULTORES ESPECIAIS
Milas Evangelista de Sousa
Nelson Narciso Filho
Paulo César Fernandes da Cunha

PESQUISADORES
Fernanda Delgado
Larissa de Oliveira Resende
Mariana Weiss de Abreu
Tatiana de Fátima Bruce da Silva
Bruno Moreno Rodrigo de Freitas
Tamar Roitman
Vinícius Neves Motta
Júlia Febraro França G. da Silva

ASSISTENTE ADMINISTRATIVA
Ana Paula Raymundo da Silva

ESTAGIÁRIA ADMINISTRATIVA
Raquel Dias de Oliveira

Agradecimentos

Este trabalho foi possível graças à colaboração de diversos profissionais ligados aos setores energético, ambiental e automotivo, áreas que serão transformadas pela inserção dos carros elétricos na nossa sociedade. A contribuição desses profissionais nos auxiliaram a melhor entender quais são os desafios e oportunidades ligados ao desenvolvimento dos carros elétricos não só no Brasil, mas também no mundo.

Em nome da **FGV Energia e da Accenture Strategy**, agradecemos a todos aqueles que disponibilizaram seu tempo para a realização de conversas sobre o tema: Adriano Castro, André Bello, Angela Oliveira da Costa, Ângelo Leite, Antônio Carlos Marques de Araújo, Bruno Cecchetti, Celso Novais, Eduardo Azevedo, Everton Lucero, Giovani Machado, José Mauro Ferreira Coelho, Laercio de Sequeira, Luís Eduardo Dutra, Luiz Artur Pecorelli Peres, Marco Ristuccia, Maria de Fatima Rosolem, Natália Moraes, Nelson Leite, Patrícia Feitosa Bonfim Stelling, Paulo Maisonnave, Rafael Barros Araujo, Rafael Lazzaretti, Raul Fernando Beck, Ricardo Abe, Ricardo Bastos, Ricardo Gorini, Ricardo Takahira, Ronald Amorim, Sergio Escalante, Wanderlei Marinho e outros profissionais que também contribuíram para a realização deste projeto.

Aproveitamos também para expressar nossa gratidão aos nossos colegas da FGV Energia e da Accenture Strategy. Em nossos ambientes de trabalho, o debate e a colaboração são sempre constantes, contribuindo para a realização de pesquisa e publicações decorrentes que, esperamos, auxiliem no fortalecimento do setor energético e no desenvolvimento do nosso país.

FERNANDA DELGADO
Pesquisadora FGV Energia

JOSÉ EVALDO GERALDO COSTA
Consultor FGV Energia

JÚLIA FEBRARO
Pesquisadora FGV Energia

TATIANA BRUCE DA SILVA
Pesquisadora FGV Energia

Índice

7
INTRODUÇÃO

15
VEÍCULOS ELÉTRICOS (VEs): CONCEITO E DEFINIÇÕES

39
INCENTIVOS E MODELOS DE NEGÓCIOS PARA DISSEMINAÇÃO DOS VEs

59
OS PRINCIPAIS IMPACTOS DIRETOS E INDIRETOS RESULTANTES DA EXPANSÃO DOS VEs

71
MOBILIDADE ELÉTRICA NO BRASIL: OPORTUNIDADES E DESAFIOS

88
CONCLUSÃO

91
LISTA DE SIGLAS

93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Introdução

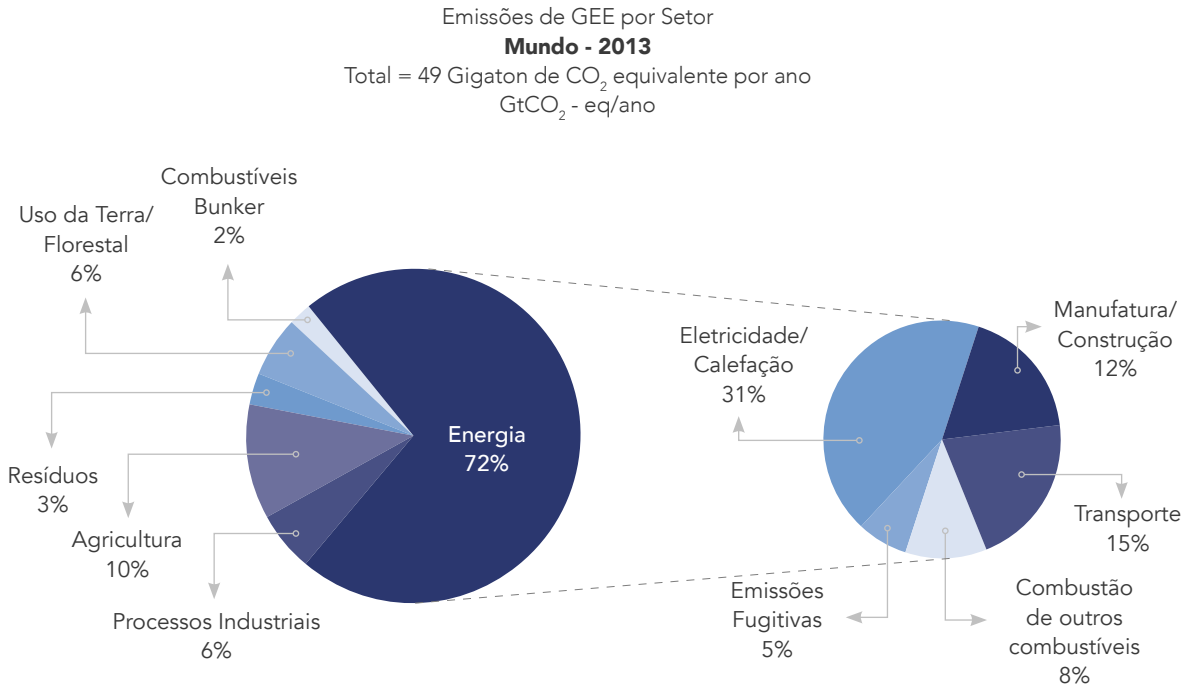
Preocupações com as mudanças climáticas e o aquecimento global resultaram na recente formulação e adoção do Acordo de Paris por grande parte dos países do mundo, inclusive os maiores emissores de gases de efeito estufa (GEE) mundiais – EUA e China[1].

A mensagem que o Acordo de Paris transmite é que o mundo está disposto a transformar sua maneira de gerar e consumir energia, investindo em fontes renováveis e em tecnologia para que sua geração e consumo se tornem cada vez mais sustentáveis. Neste sentido, descarbonizar o setor de transportes se torna uma peça fundamental para se atingir esse objetivo. A Figura 1 ilustra a participação do setor de transportes nas emissões de GEE mundiais no ano de 2013, sendo aquele que mais emite gases de efeito estufa após o setor de Eletricidade/Calefação.

Dessa forma, dada a importância do setor transportes neste relevante passo para uma economia de baixa emissão de carbono, este Caderno **FGV Energia** terá como tema central os carros elétricos, devido ao seu importante papel na transição energética para esta nova

1. Para o status atual de ratificação do Acordo de Paris, vide: http://cait.wri.org/source/ratification/#?lang=pt

FIGURA 1: EMISSÕES DE GEE POR SETOR - MUNDO (2013)



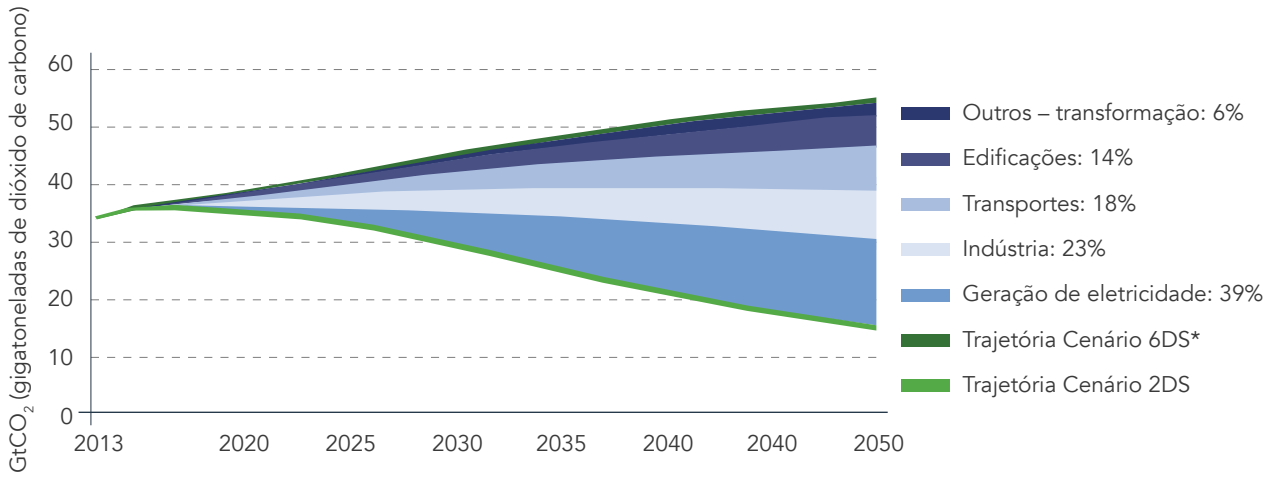
Fonte: *World Resources Institute*, CAIT *Climate Data Explorer, 2017*

economia (primeiramente serão estudados os carros elétricos e, posteriormente, em uma abordagem mais ampla, os veículos elétricos).

Mas qual o valor exato de descarbonização necessária para que o aumento da temperatura global até o final do século não ultrapasse os 2° Celsius estabelecidos no Acordo de Paris? A Figura 2 traz projeções da *International Energy Agency* (IEA), que visam responder essa pergunta. Em um cenário no qual nenhuma ação em relação à redução do consumo de energia e emissões de GEE é tomada, a temperatura global aumenta em 6° Celsius até o fim do século (Cenário 6DS). Para se ter uma chance de 50% de limitar este aumento de temperatura em 2° Celsius (Cenário 2DS), a descarbonização no setor de transportes deve ser da ordem de 18% até 2050.

E qual deveria ser a participação dos carros elétricos nesse cenário de limitação da temperatura global em 2° Celsius? Até 2030, o esto-

FIGURA 2: REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE POR SETOR ATÉ 2050 - CENÁRIO 2DS VS. CENÁRIO 6DS



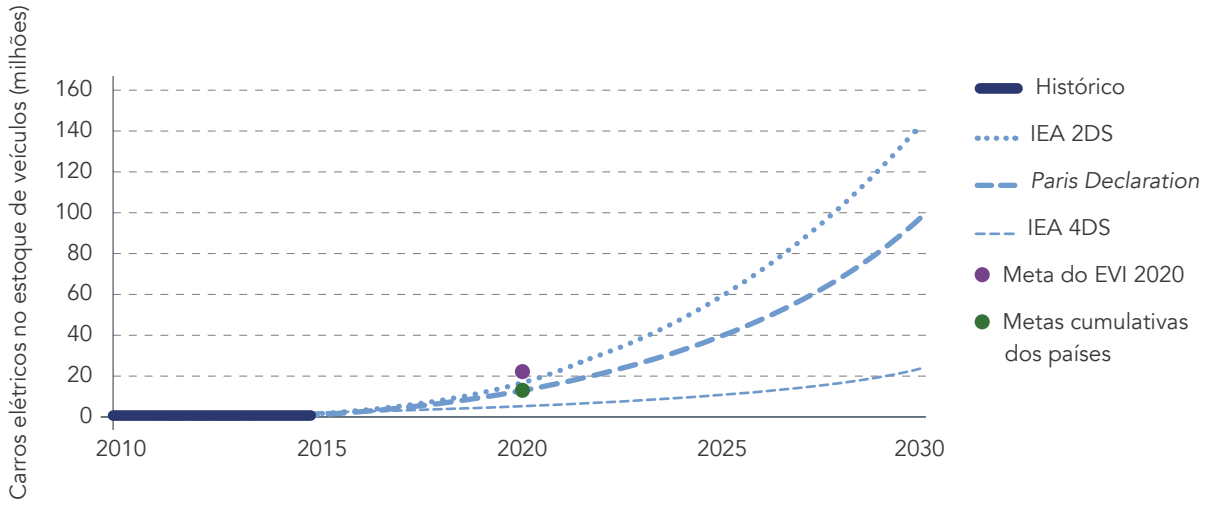
* O Cenário 6°C da IEA (6DS) considera, essencialmente, a continuidade das tendências atuais e exclui a adoção de políticas transformadoras do setor energético. Em 2050, o uso energético quase dobra (comparado a 2010) a as emissões totais de GEE aumentam ainda mais, levando a um aumento projetado da temperatura global de pelo menos 6°C no longo prazo.

Fonte: *Global EV Outlook,* IEA, 2016.

que global de carros elétricos deve atingir 140 milhões (Figura 3), 10% da frota total de veículos leves de passageiros. A Figura 3 também traz projeções de outras instituições para desenvolvimento dos carros elétricos até 2030: a iniciativa *EVI*[2] *20 by 20* menciona uma frota de 20 milhões de carros elétricos até 2020 globalmente. A *Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change and Call to Action* estabelece um objetivo global de implantação de 100 milhões de carros elétricos e 400 milhões de *2-wheelers* e *3-wheelers* (motos e triciclos elétricos) em 2030. De acordo com a IEA, a fim de atingir essas metas, é necessário que ocorra um crescimento substancial do mercado para desenvolver ainda mais o atual estoque de 1,26 milhão de carros elétricos, bem como a rápida implantação de outros tipos de veículos elétricos pelo mundo – como *2-wheelers* e ônibus elétricos.

2. EVI é um fórum político multi-governamental voltado para acelerar a introdução e adoção dos veículos elétricos ao redor do mundo. Para mais informações, vide: http://www.iea.org/topics/transport/subtopics/electricvehiclesinitiative/

FIGURA 3: CENÁRIOS DE IMPLEMENTAÇÃO PARA O ESTOQUE DE CARROS ELÉTRICOS ATÉ 2030



Nota: 2DS = Cenário de 2°C; 4DS = Cenário de 4°C

Fonte: *Global EV Outlook*, IEA, 2016.

A Figura 3 também ilustra as metas cumulativas de desenvolvimento dos carros elétricos em vários países – que, em 2020, estaria próxima a 13 milhões. A Tabela 1 traz essas metas individuais. Alguns dos países listados também estabeleceram ou estão discutindo datas para banir carros movidos a combustíveis fósseis: Noruega (meta de vender apenas carros elétricos após 2025), Alemanha (banir veículos à combustão interna - VCIs - após 2030) e Índia (também banir VCIs após 2030)[3]. Essas metas são vistas com ceticismo – principalmente no caso da Alemanha, país com uma forte indústria automotiva, mas também indicam que formuladores de políticas públicas estão cada vez mais considerando um futuro de baixo carbono no setor de transportes.

3. Deign, 2016.

TABELA 1: METAS DE ESTOQUE DE CARROS ELÉTRICOS ATÉ 2020 PARA ALGUNS PAÍSES SELECIONADOS

Países que anunciaram metas até 2020 ou mais tarde	Estoque de VEs em 2015 (mil veículos)	Meta do estoque de VEs em 2020	Participação dos VEs na venda de carros entre 2016 e 2020	Participação dos VEs no estoque total em 2020
Áustria	5.3	0.2	13%	4%
China*	312.3	4.5	6%	3%
Dinamarca	8.1	0.2	23%	9%
França	54.3	2.0	20%	6%
Alemanha	49.2	1.0	6%	2%
Índia	6.0	0.3	2%	1%
Irlanda	2.0	0.1	8%	3%
Japão	126.4	1.0	4%	2%
Holanda**	87.5	0.3	10%	4%
Portugal	2.0	0.2	22%	5%
Coreia do Sul	4.3	0.2	4%	1%
Espanha	6.0	0.2	3%	1%
Reino Unido	49.7	1.5	14%	5%
EUA***	101.0	1.2	6%	2%

* Essa meta inclui 4,3 milhões de carros e 0,3 milhões de taxis e faz parte de uma meta geral de 5 milhões de carros, taxis, ônibus e veículos especiais em 2020

** Estimativa baseada em uma meta de 10% de participação de mercado em 2020

*** Estimativa baseada no alcance da meta de 3,3 milhões de VEs até 2025 anunciada em oito estados americanos (Califórnia, Connecticut, Maryland, Massachusetts, New York, Oregon, Rhode Island e Vermont). Todos os indicadores nessa tabela referem-se a esses oito estados americanos; assume-se que participação de mercado e participação no estoque somem 25% da participação e estoque totais de veículos nos EUA.

Fonte: *Global EV Outlook*, IEA, 2016.

A transição de veículos convencionais à combustão para veículos elétricos também é um caminho natural de desenvolvimento da tecnologia veicular. Os veículos à combustão existentes hoje são muito mais eficientes do que aqueles de anos atrás e os VEs, por sua vez, são muito mais eficientes que os VCIs. Quando VEs e VCIs atingirem paridade de custos – o que deve ocorrer na próxima década, como veremos nos capítulos a seguir, será muito mais vantajoso para o consumidor ter um carro elétrico. Eventualmente, as pessoas vão demandar VEs, baseando essa escolha nos bene-

fícios para saúde e meio ambiente que os carros elétricos trazem – principalmente em grandes cidades, dado que se espera que, no futuro, haja um aumento da densidade urbana.

Outra vantagem interessante dos carros elétricos é a possibilidade de utilização da sua bateria como recurso energético distribuído – salvo algumas limitações, que também detalharemos a seguir. Hoje em dia, o consumidor está cada vez mais participando ativamente na maneira como sua energia é gerada e consumida. Em um mundo no qual esse consumidor de energia passa a ser um *prosumer*[4], os carros e veículos elétricos se tornam um recurso inteligente para melhor utilização da energia.

Dessa forma, os VEs estão caminhando para se tornarem, em um futuro próximo, os veículos do futuro. No Brasil, contudo, essa realidade está um pouco mais distante, sejam por questões tecnológicas, seja por termos um *pace* diferente do resto do mundo em relação à redução de emissões. Ainda assim, dado que, eventualmente, essa tecnologia terá potencial para ser adotada no país, o momento é propício para iniciarmos a discussão a respeito da sua inserção e seus impactos sobre os setores energético, ambiental e automotivo brasileiros.

Isto posto, passada a empolgação inicial e o otimismo tecnológico inerente a qualquer nova tecnologia transformadora, a proposta deste caderno é trazer uma discussão constante e isenta sobre o estado da arte da mobilidade elétrica no Brasil e no mundo, organizado da seguinte forma: além deste Capítulo introdutório, no Capítulo 2 conceituaremos o veículo elétrico, evidenciando suas diferentes tecnologias, infraestrutura de recarga, baterias e potenciais barreiras para sua expansão. Cabe mencionar que, devido ao amplo escopo de atuação da mobilidade elétrica em diversos modais de transporte, este Caderno terá como foco os veículos elétricos rodoviários leves, para o transporte de passageiros – ou carros elétricos. O desenvolvimento do veículo elétrico em outros modais de transporte será objetivo de uma publicação futura.

Avançando, no Capítulo 3 analisaremos os diferentes subsídios e incentivos empregados em diferentes países para maior difusão dos carros elétricos, além dos novos modelos de negócio que o desenvolvimento dos carros elétricos possibilitam. Neste Capítulo, será também discutido como os carros elétricos são mais um elemento contribuinte para a modernização da mobilidade urbana e da indústria automotiva mundial. No Capítulo seguinte, analisaremos como a maior disseminação dos carros elétricos impacta os setores ambientais e energético mundiais – neste último, os setores elétrico e de combustíveis fósseis. Por fim, o Capítulo 5 detalhará o status atual da inserção do carro elétrico no Brasil – incentivos atuais para disseminação e iniciativas existentes, além da análise dos impactos que os carros elétricos causariam no setor energético nacional.

4. *Prosumer*: aquela pessoa que, além de consumir energia da rede, a produz por geração distribuída.

Timeline da mobilidade elétrica no mundo[5]

1801-1850 | O começo
Os primeiros modelos de carros elétricos são inventados na Escócia e EUA

1851-1900 | A primeira era
Os carros elétricos entram no mercado e encontram ampla aceitação
Highlights do período:
1900: VEs se tornam os veículos rodoviários mais vendidos dos EUA, capturando 28% do mercado

1901-1950 | Boom e decadência
Carros elétricos atingem o auge, mas são logo substituídos por veículos à combustão interna (VCIs)
Highlights do período:
1908: o VCI Ford Model T entra no mercado
1912: a invenção da ignição elétrica elimina a necessidade da manivela, tornando mais fácil dirigir carros a gasolina
1912: estoque global de VEs atinge a marca histórica de 30 mil veículos
Década de 1930: por volta de 1935, os VEs são quase extintos devido à predominância de VCIs e gasolina barata
1947: racionamento de petróleo no Japão leva a fabricante de automóveis Tama a lançar um carro elétrico de 4.5cv (cavalo vapor), com uma bateria de chumbo-ácido de 40V

1951-2000 | A segunda era
O alto preço do petróleo e os elevados níveis de poluição atmosférica renova o interesse nos VEs
Highlights do período:
1966: o Congresso dos EUA introduz legislação recomendando VEs como medida para redução da poluição do ar
1973: o embargo da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) leva à alta nos preços do petróleo, longas filas nos postos de gasolina e um renovado interesse pelos VEs
1976: o governo francês lança o programa "PREDIT", acelerando P&D em VEs
1996: para cumprir os requisitos de emissões-zero (ZEV) da Califórnia, a General Motors começa a produzir e fazer leasing do carro elétrico EV1
1997: no Japão, a Toyota começa as vendas do Prius, o primeiro carro híbrido comercial do mundo. 18.000 são vendidos no primeiro ano de produção

2001 | A terceira era
Setores público e privado voltam a se comprometer com a eletromobilidade
Highlights do período:
2003: lançamento da Tesla Motors
2008: o preço do petróleo passa dos US$145/barril
2010: o BEV (*Battery Electric Vehicle*) Nissan Leaf é lançado
2011: o serviço de *car sharing* Autolib é lançado em Paris, com uma meta de estoque de 3 mil VEs
2011: estoque global de VEs atinge nova marca histórica de 50 mil veículos
2015: estoque global de VEs atinge nova marca histórica de 1,26 milhão de veículos[6]
2015: a quantidade de eletropostos (públicos e privados, lentos e rápidos) atinge o número de 1,45 milhão no mundo – valores em 2014 e 2010 eram de 820 mil e 20 mil, respectivamente
2016: preço do *pack* das baterias fabricadas pela Tesla atinge baixa recorde de US$190/kWh[7] – com a *Gigafactory* da Tesla iniciando produção em dezembro deste ano, esse valor ficará cada vez mais próximo de US$100/kWh (valor considerado chave para massificação dos VEs)
2017: reservas do Tesla Model 3 alcançam 530 mil, 24 meses antes da entrega prevista dos veículos[8]

5. Adaptado de *Global EV Outlook*, IEA, 2013.
6. *Global EV Outlook*, IEA, 2016.
7. Lambert, 2017.
8. Fonte: http://model3counter.com. Acessado em 19 de abril de 2017.

P

Veículos Elétricos (VEs): conceito e definições

Veículos elétricos (VEs ou EVs, da sigla em inglês *Electric Vehicles*) são aqueles que utilizam um ou mais motores elétricos, em parte ou completamente, para propulsão. O combustível dos veículos elétricos é a eletricidade, que pode ser obtida de diferentes maneiras: conectando diretamente à fonte externa de eletricidade, por meio de *plugs* ou utilizando cabos aéreos; recorrendo ao sistema de indução eletromagnética; a partir da reação do hidrogênio e oxigênio com água em uma célula de combustível[9]; ou por meio da energia mecânica de frenagem (frenagem regenerativa, ao se frear o veículo). Essa eletricidade, em seguida, é armazenada em baterias químicas[10] que alimentam o motor elétrico.

Como mencionado na introdução, embora a família de VEs seja diversificada, este caderno focará em veículos elétricos rodoviários leves (veículos de passeio), para o transporte de passageiros.

Os VEs fazem parte do grupo de veículos denominados "emissões zero", pois quase não emitem poluentes (atmosférico e sonoro) na sua utilização. Além disso, a eficiência (capacidade do motor de gerar trabalho) de seus motores pode chegar a 80%, o que os torna muito mais eficientes do que os veículos equipados com motores à combustão interna, cuja eficiência energética situa-se entre 12% e 18%[11]. Outra consequência de

9. A fonte de oxigênio para essa reação ocorrer é o ar atmosférico. Quanto ao hidrogênio, ele pode ser suprido diretamente por meio de uma fonte externa, sendo armazenado em um tanque, ou por meio de uma reação química que produz hidrogênio a partir de etanol na Célula de Combustível de Óxido Sólido (SOFC). Fonte: Barbosa, 2016.
10. A exceção são os veículos elétricos à célula de combustível, que não precisam armazenar eletricidade em baterias dado que o combustível necessário para mover o veículo é gerado pela reação do hidrogênio ou oxigênio com a água.
11. https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml#data-sources

sua maior utilização é a redução da dependência dos combustíveis fósseis, em especial do petróleo. Em função disso, governos de várias regiões têm investido neste tipo de mobilidade: entre 2014 e 2016, a quantidade de VEs nas estradas duplicou[12]. Mais de 1 milhão de VEs encontravam-se em uso em 2015, reflexo do aumento da sua participação no mercado (*market share)* em sete países, alcançando 23% na Noruega, 10% na Holanda e superando 1% em outros 5 países: Suécia, Dinamarca, França, China e Reino Unido.

AS DIFERENTES TECNOLOGIAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS[13]

Os VEs podem ser de quatro tipos diferentes. Primeiramente existem os veículos elétricos puros (BEVs, da sigla em inglês para *Battery Electric Vehicles*[14]), cuja fonte principal de energia é a eletricidade proveniente de fontes externas (a rede elétrica, por exemplo). A eletricidade é armazenada em uma bateria interna, que alimenta o motor elétrico e propulsiona as rodas. Como estes veículos usam exclusivamente a eletricidade como combustível, são considerados veículos *all-electric*. Todos os BEVs são *plug-in electric vehicles* (PEV), dado que a eletricidade é fornecida por uma fonte externa – daí o termo *plug-in*, que em tradução literal significa "ligado na tomada".

Dentro dos PEVs também se incluem alguns VEs híbridos, que são aqueles que utilizam ambos motores elétrico e à combustão interna para propulsão. Os híbridos são classificados como em série (utilizam apenas o motor elétrico para mover o carro, com o motor à combustão interna fornecendo eletricidade ao motor elétrico) ou paralelo (utilizam ambos os motores para propulsão)[15]. Os elétricos híbridos são de três tipos[16]:

- Híbrido puro (HEV, da sigla em inglês *Hibrid Electric Vehicle*). O motor principal que propulsiona o veículo é à combustão interna. A função do motor elétrico é apenas melhorar a eficiência do motor à combustão interna ao fornecer tração em baixa potência. Logo, ele é um híbrido paralelo. A eletricidade para o motor elétrico é fornecida pelo sistema de frenagem regenerativa do veículo.

- Híbrido Plug-in (PHEV, da sigla em inglês *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*), cujo motor à combustão interna também é o principal, mas eles podem, além disso, receber eletricidade diretamente de uma fonte externa. Assim como o HEV, o PHEV é um híbrido paralelo. Como também utiliza combustíveis tradicionais (fósseis ou biocombus-

11. https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml#data-sources
12. Global EV Outlook, IEA, 2016.
13. http://thechargingpoint.azurewebsites.net/knowledge-hub/ev-glossary.html, Global EV Outlook, IEA, 2013.
14. Também conhecidos como: BOEV (*Battery Only Electric Vehicle*), AEV (*All Electric Vehicle*) ou elétricos puro (*pure electrics*).
15. Alguns fabricantes também empregam a terminologia *full-hybrid* ou *strong-hybrid* para os híbridos paralelos.
16. Existem também os chamados veículos semi-híbrido (*mild hybrid*) e micro-híbrido (*micro-hybrid*), em que o motor elétrico não tem potência suficiente para movimentar o carro. Para mais informações, vide German, 2015.

tíveis), quando comparado ao BEV, o PHEV geralmente garante uma maior autonomia.

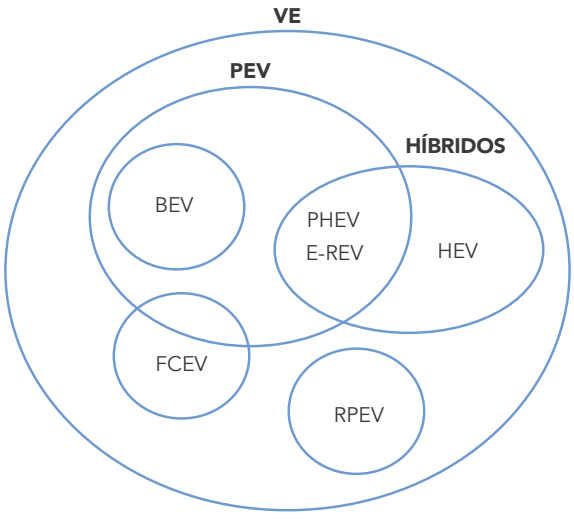
- Híbrido de longo alcance (E-REV, da sigla em inglês *Extended Range Electric Vehicle*), é um híbrido do tipo em série: o motor principal é o elétrico – que é alimentado diretamente por uma fonte elétrica externa – com o motor à combustão interna fornecendo energia a um gerador, que mantém um nível mínimo de carga da bateria, fazendo com que o E-REV tenha alcance estendido.

Os veículos elétricos movidos a célula de hidrogênio (FCEV, da sigla em inglês *Fuel Cell Electric Vehicle*) combinam hidrogênio e oxigênio para produzir a eletricidade que fará funcionar o motor. A conversão do gás de hidrogênio em eletricidade produz somente água e calor como subprodutos, ou seja, não apresentam emissões de escape. Se comparado aos outros tipos de VEs, o FCEV tem autonomia similar aos veículos movidos a gasolina ou a diesel (300-500 km) e, portanto, superior à maioria dos VEs. Esta maior autonomia garantida pelas células de hidrogênio as tornam mais apropriadas para o uso em veículos que percorrem longas distâncias (como veículos de carga) e também para usuários que não possuem o acesso *plug-in* em suas residências[17].

Adicionalmente, vale mencionar ainda os veículos elétricos alimentados por cabos externos (RPEV – *Road Powered Electric Vehicle*) que, por definição, recebem a eletricidade através de cabos externos diretamente conectados, estejam eles acima do veículo – como os *trolley buses* (trólebus) e caminhões em portos e estradas eletrificadas – ou abaixo – como os Veículos Leves sobre Trilhos (VLTs).

A maioria[18] dos veículos elétricos possui baterias químicas para armazenar a eletricidade necessária para acionar o motor e mover o veículo – a autonomia (distância percorrida por recarga) de cada VE depende do tipo e modelo em questão. Os VEs mais antigos utilizavam baterias de ácido de chumbo (NiMH), enquanto que os mais modernos utilizam baterias de íons de lítio (li-ion). As Figura *4* e Figura *5* apresentam uma classificação dos veículos elétricos.

FIGURA 4: TIPOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS (VEs)

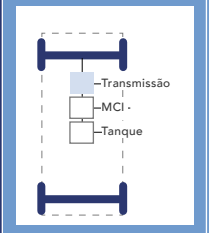
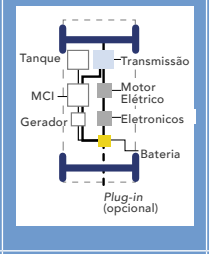
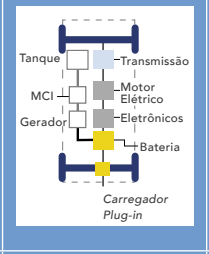
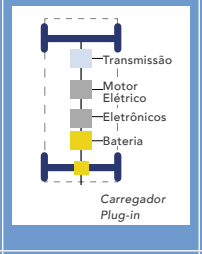
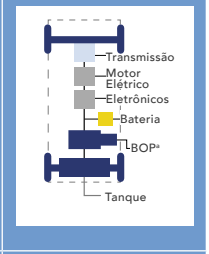


Fonte: Elaboração própria

17. FCEVs também podem ser *plug-in*. Para mais detalhes, vide: *Fuel Cells Bulletin*, 2016.
18. Vide nota de rodapé 10.

FIGURA 5: CARACTERÍSTICAS DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

- Transmissão de potência a partir de um motor à combustão interna
- Transmissão de potência a partir de uma célula de combustível (MCI)
- Transmissão
- Bateria
- Transmissão de potência a partir de um motor elétrico

	VCI é a fonte primária de propulsão		**Motor elétrico é a fonte primária de propulsão**		
Tipo de veículo	Veículo à combustão interna (VCI) 	Veículo elétrico (*plug in*) híbrido (P)HEV 	Veículo elétrico com autonomia estendida (E-REV ou REX) 	Veículo elétrico à bateria (BEV) 	Veículo elétrico à célula de combustível (FCEV) 
Tipo de motor	Motor à combustão interna	Motores à combustão interna e elétrico dispostos **em paralelo**; sistema *plug in* opcional. Motor à combustão é o principal para mover o veículo, com auxílio de um pequeno motor elétrico	Motores à combustão interna e elétrico dispostos **em série**. Motor elétrico é o principal para mover o veículo, com o motor à combustão interna gerando eletricidade para o elétrico.	100% elétrico	Sistema de célula de combustível e motor elétrico, que propulsiona o veículo, dispostos **em série**.
Tipo de combustível	Fóssil ou biocombustível. Alto consumo de combustíveis e emissões de escape	Fóssil, biocombustível ou eletricidade. Melhor economia de combustível se comparado a um modelo similar à combustão interna	Eletricidade	Eletricidade	Hidrogênio ou etanol

Tipo de armazenamento elétrico	Bateria que não depende de infraestrutura elétrica	Bateria carregada através do motor à combustão interna ou por eletricidade (para híbridos *plug-in*)	Bateria é recarregada como no híbrido. Além disso, costuma ter uma bateria com menor capacidade do que o BEV	Bateria de íons de lítio com grande capacidade, recarregada por fonte externa elétrica	Célula de combustível de hidrogênio baseada na tecnologia PEM[19] (*Proton Exchange Membrane*); célula de combustível de etanol de óxido sólido (SOFC)
Autonomia	Grande autonomia proporcionada pelo combustível fóssil/ biocombustível	Pouca autonomia elétrica, que é complementada pela autonomia proporcionada pelo combustível fóssil/ biocombustível	Autonomia elétrica média, complementada pela autonomia proporcionada pelo combustível fóssil/ biocombustível	Autonomia elétrica de pequena a média (comparada aos VCI)	Autonomia elétrica de média a alta
Informações adicionais	Alguns modelos apresentam otimização contínua (sistema *start-stop* automático)	Direção totalmente elétrica apenas em baixas velocidades e pequenas distâncias	Pequeno motor à combustão interna para maior autonomia, se comparada à do BEV (autonomia estendida)		
Preço médio inicial de um modelo nos EUA (exemplos ilustrativos)	US$ 18.000*	US$ 34.000**	US$ 44.000***	US$ 29.000****	US$ 60.000*****
Emissões[1]	0,23 kg CO_2/Km	0,062 kg CO_2/km	0,060 kg CO_2/km	Zero	Zero

* Preço médio de um Toyota Corolla com potência de 148cv **Chevrolet Volt modelo 2016, autonomia de 85 km e potência de 149cv ***BMW i3 modelo 2016, autonomia elétrica de 184 km e autonomia estendida de 290 km. Potência de 170cv **** Nissan Leaf modelo 2016, autonomia de 172 km e potência equivalente a um carro motor 1.0, de 120cv ***** Toyota Mirai modelo 2016, autonomia de 502 km e potência de 152cv.

a BOP: *Balance of Plant* - vários componentes de suporte necessários (por exemplo, umidificador, bombas, válvulas, compressor)

b Valores calculados a partir da *Vehicle Cost Calculator* do Departamento de Energia dos Estados Unidos.

c Fonte: *Global EV Outlook*, IEA, 2013.

d *Ibid.*

Fonte: Elaboração própria, adaptado de *Amsterdan Round Tables in collaboration with McKinsey & Company.*

19. Considerado o tipo mais versátil de células de combustível atualmente em produção: elas são capazes de gerar a maior quantidade de energia dado determinado volume de células. http://www.nedstack.com/faq/about-pem-fuel-cells

Dadas as tecnologias elencadas na Figura 5, lembramos que este caderno terá como foco os carros elétricos, ou seja, veículos rodoviários para o transporte privado de passageiros, cujos novos registros aumentaram 70% entre 2014 e 2015 e cujas vendas ao redor do mundo chegaram a 550.000 no ano de 2015[20]. A China é líder mundial em novos registros de carros elétricos e, com isso, possui o maior mercado para estes veículos, ultrapassando os Estados Unidos em 2015. Quando juntos, estes dois países respondiam por mais da metade dos novos registros de VEs realizados globalmente em 2015. Além destes, destacam-se, também, Noruega e Holanda como países com os maiores *market shares*. Estes países implementaram uma série de medidas de modo a incentivarem os consumidores a optarem pelos carros elétricos, como significativas reduções nas taxas de registro e circulação além de acesso privilegiado a algumas regiões da malha de transportes.

Outros números que justificam o foco deste caderno são os referentes aos estoques[21] de carros elétricos, que alcançaram 1,2 milhão em 2015[22], 100 vezes maior do que a estimativa feita em 2010. Neste mesmo ano de 2015 o crescimento do estoque de carros elétricos ultrapassou 77% e em 2014 este número já havia atingido 84%.

Visto que ainda há um longo caminho a ser percorrido, apesar de todo esse expressivo crescimento, o estoque mundial de carros elétricos ainda é pequeno (0,1%) quando comparado com o total de carros de passageiros, que esteve próximo a 1 bilhão em 2015. A *Electric Vehicles Initiative* (EVI) projeta que, em 2020, se atinja a meta de 20 milhões de carros elétricos, o que corresponderá a um *market share* global de 1,7%[23].

Como já mencionado, os VEs estão presentes em diversos modais de transporte, a exemplo do transporte público de passageiros, cargas e até mesmo na aviação, como detalhado no box a seguir.

20. *Global EV Outlook*, IEA, 2016.
21. Chamamos de "estoque" a soma dos veículos em circulação (a frota) com os veículos que estão disponíveis para venda nas concessionárias.
22. Número referente aos países considerados no *Global EV Outlook*, IEA, 2016: 40 países que respondem por 98% do estoque global de carros elétricos.
23. *Global EV Outlook*, IEA, 2016.

VEs em outros modais de transporte

Os VEs podem ser encontrados em todos os modais de transporte, em diferentes estágios de desenvolvimento. Grande parte da inovação recente ocorre no setor rodoviário, especialmente entre os veículos elétricos leves (automóveis e motocicletas, – que incluem *e-bikes*, *e-scooters*, 2-*wheelers* e 3-*wheelers*).

No entanto, ressalta-se o aumento do interesse da inserção de VEs no setor de transporte público de passageiros – contemplando trens, ônibus, veículos leves sobre trilhos (VLT), trolébus e embarcações. Ônibus elétricos já são cada vez mais comuns em grandes centros urbanos[24]. Luxemburgo e Itália foram precursores na introdução desta tecnologia em suas grandes cidades, e Pequim (China) e Nova York (EUA) também já contam com ônibus elétricos em suas ruas. No Brasil, por exemplo, já são mais de 400 ônibus com tração elétrica em operação na grande São Paulo[25]. A introdução dos ônibus elétricos traz benefícios tanto para o meio ambiente – pois é uma tecnologia limpa – como para os passageiros que podem viajar com mais conforto e menos poluição. Moradores destas cidades também se beneficiarão com ruas mais limpas e silenciosas.

No caso do transporte de carga, desenvolver caminhões movidos somente a partir de eletricidade é um grande desafio, mas caminhões elétricos já estão sendo testados em diferentes países e aplicações. Por exemplo, em 2015 passou a circular nas ruas da Alemanha um caminhão *all electric* de 40 toneladas operando em serviço regular. Este modelo, da BMW[26], precisa de 4 horas para carregar completamente e tem autonomia de 100 km. Vale mencionar também, que, em 2016, na Suécia, a Siemens, em parceria com a Scania, iniciou testes da *eHighaway*, cujos caminhões elétricos prometem ter motores duas vezes mais eficientes do que os motores tradicionais à combustão interna. Esta inovação da Siemens fornece eletricidade a partir de cabos externos localizados acima dos caminhões e diretamente conectados a eles.

Na aviação, o desenvolvimento dos VEs ainda está em fase incipiente. Em uma das investidas mais ambiciosas, engenheiros da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) estão desenvolvendo e realizando testes em sistemas que prometem fazer parte da "próxima revolução da aviação". Segundo eles, o uso cada vez maior da eletricidade em motores atenderia às ambições das companhias de aviação que necessitam reduzir emissões, uso de combustíveis fósseis, barulho dos motores e custos de manutenção. Recentemente, em março de 2016, o *Solar Impulse*, avião elétrico movido à energia solar, iniciou uma jornada inédita: percorrer mais de 40.000 quilômetros ao redor do mundo utilizando apenas a energia do sol. Foram 12 anos de pesquisa e desenvolvimento que buscaram demonstrar ao mundo que as tecnologias limpas já são uma realidade e podem mudar o destino do planeta. No Brasil, o primeiro avião elétrico nacional, desenvolvido pelo Programa Veículo Elétrico da Itaipu Binacional, fez seu voo inaugural em junho de 2015. Essas iniciativas nos possibilitam imaginar a existência de um futuro próximo com aviões elétricos.

Por fim, vale enfatizar que há uma indústria robusta e diversificada, tanto no Brasil quanto no exterior – especialmente na América do Norte e Ásia – de veículos elétricos levíssimos, incluindo empilhadeiras[27]; ônibus; carrinhos para uso em aeroportos, indústrias e prática de golfe; e para deslocamentos em áreas urbanas, como é o caso dos *neighborhood electric vehicles* (NEV, denominação estadunidense para veículos elétricos de pequeno porte que não ultrapassam 40km/h). Grande parte dos veículos elétricos existentes no Brasil corresponde ao segmento industrial, através de equipamentos como empilhadeiras, rebocadores e carregadores.

24. Além do transporte público, ônibus elétricos já estão sendo utilizados em frotas cativas de empresas. Vide exemplo da Itaipu Binacional.
25. Fonte: Eletra (http://www.eletrabus.com.br/eletra_por/empresa.html)
26. Vincent, 2015.
27. O Porto de Los Angeles possui algumas iniciativas: https://www.portoflosangeles.org/environment/zero.asp

INFRAESTRUTURA DE RECARGA

Para que os veículos elétricos possam ganhar as ruas em maior escala, um requisito central é a estruturação de uma infraestrutura de recarga, uma vez que, sem ter onde carregar seu automóvel, o usuário se sente limitado e menos disposto a adquirir este tipo de veículo. Portanto, há uma relação direta e proporcional entre a inserção dos VEs no mercado e o tipo de infraestrutura desenvolvida: ao mesmo tempo em que não se faz necessária a infraestrutura de recarga se ainda não há tantos veículos elétricos nas ruas, estes só poderão se inserir no mercado se já existir esta infraestrutura bem desenvolvida. Esta interdependência fica evidenciada nos países estudados pelo relatório *Global EV Outlook 2016*, que mostra que o número total de eletropostos públicos cresceu junto com o estoque de carros elétricos, ou seja, existe uma correlação positiva entre a adoção de VEs e o desenvolvimento de infraestrutura pública de recarga. Uma variável central na implementação de infraestrutura de recarga para carros elétricos está relacionada aos custos do investimento, uma vez que eles não se restringem às estações propriamente ditas, mas também estão presentes na adaptação necessária da rede por onde circula a energia, além, é claro, de diversos custos de operação e manutenção.

Estações de recarga (também conhecidas como eletropostos, pontos de recarga, *Electric Vehicle Supply Equipment* – EVSE *ou Electric Vehicle Charging Station* – EVCS) fornecem eletricidade para recarregar as baterias de um veículo elétrico a partir de uma fonte de energia elétrica, comunicando-se com ele para assegurar que um fluxo adequado e seguro de eletricidade seja fornecido. Estes pontos de recarga se distribuem em áreas públicas e privadas. Um desafio no caso da recarga residencial é a necessidade de as residências precisarem de estacionamentos privativos e, uma vez que os possuam, estes estacionamentos precisam de tomadas disponíveis. Frente a esta questão, estações de recarga pública ou em estacionamentos no local de trabalho se tornam soluções alternativas.

Em 2015, grande parte dos países com volume de vendas de VEs mais expressivo[28], como China, Dinamarca, França, Alemanha, Japão, Holanda, Noruega, Portugal, Suécia, Reino Unido e Estados Unidos, promoveu incentivos diretos e fiscais para estimular a instalação de estações de recarga privadas. Ademais, no âmbito da recarga pública, os Estados Unidos contribuíram para a instalação de 36.500 eletropostos em 2015 graças a um programa federal de financiamento[29]. Japão e Dinamarca também contaram com parcerias de seus governos para a promoção e instalação de estações de recarga públicas[30]. Portanto, o que se vê atualmente é a popularização das EVSE em várias partes

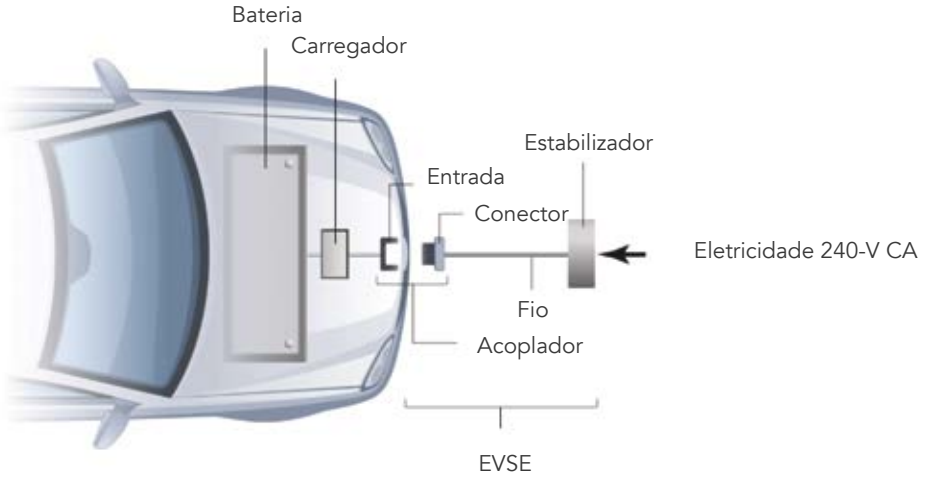
28. *Global EV Outlook*, IEA, 2016.
29. *Ibid.*
30. *Ibid.*

do mundo, além de ambiciosas metas para 2020-2030: na China, a meta é instalar meio milhão de eletropostos públicos, enquanto que no caso privado, espera-se a instalação de mais de 4 milhões neste período; a França quer chegar a 7 milhões de EVSE em todo o território nacional; e a Índia está empenhada no desenvolvimento de aproximadamente 200.000 eletropostos até 2020[31].

CARACTERÍSTICAS DOS EVSE E DO CARREGAMENTO DE VEs

Os EVSE incluem os conectores, condutores (fios), acessórios e outros equipamentos associados[32], que são plugados na entrada dos VEs e fornecem eletricidade para carregar a bateria do veículo (Figura 6).

FIGURA 6: EXEMPLO DE EVSE (CARREGAMENTO NÍVEL 2 – VIDE TABELA 2)



Fonte: *U.S. Department of Energy*, 2015.

31. *Ibid.*
32. *Global EV Outlook*, IEA, 2013.

O carregamento do VE é classificado de acordo com o montante máximo de eletricidade disponibilizado, que por sua vez afeta a velocidade de recarga. O tipo, uso e capacidade da bateria também afetam a velocidade de recarga – que varia entre 30 minutos e 20 horas[33]. Portanto, é preciso distinguir os tipos de recargas considerando o nível de tensão e de corrente (contínua ou alternada).

TABELA 2: TIPOS DE CARREGAMENTO DE ACORDO COM O NÍVEL DE RECARGA[34]

Nível*	Uso típico	Tensão/voltagem e tipo de corrente	Autonomia por hora de recarga
Nível I	Residências e locais de trabalho	127 V Corrente alternada	3km a 8km
Nível II	Residências, locais de trabalho e locais públicos	220-240 V Corrente alternada	10km a 96km
*Fast Charger***	Locais públicos	Pode atingir até 600 V Corrente alternada ou contínua	96km a 160km

* Níveis I e II são chamados de "carregamento lento". Embora fosse natural chamar DC *fast chargers* de carregadores de "Nível III", esse termo não é tecnicamente correto porque o chamado "Nível III" significa apenas que o veículo possui ambas as portas de carregamento para os Níveis I e II separadamente. Além disso, eles também fornecem corrente contínua para a bateria através de um adaptador especial, enquanto que carregadores Nível I e Nível II fornecem apenas corrente alternada para o veículo. Os supercarregadores da Tesla são chamados, por alguns, de "carregadores Nível IV" por serem super-rápidos.

** Não inclui supercarregadores da Tesla, que têm capacidade de carga para proporcionar autonomia em torno de 270 km em 30 minutos.

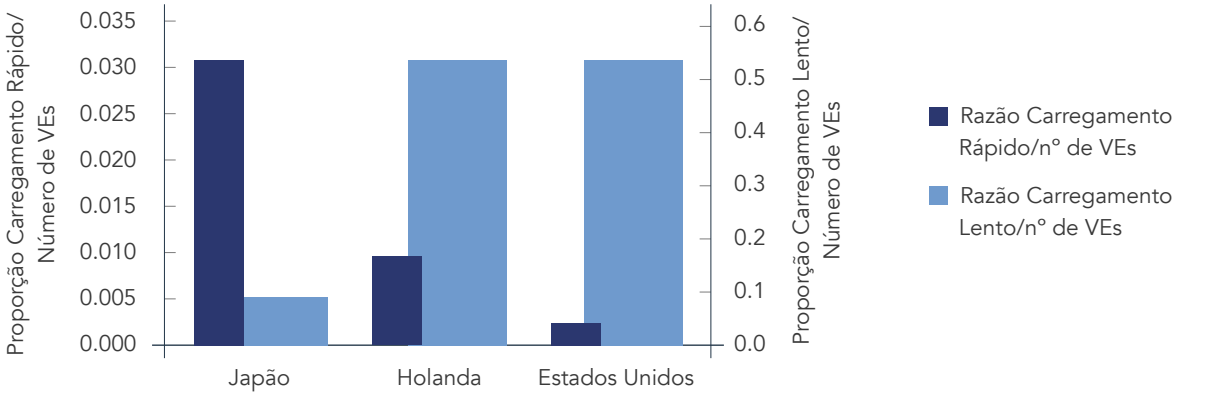
Fonte: *Global EV Outlook*, IEA, 2016.

33. Os equipamentos industriais, tipo empilhadeiras e caminhões elétricos, tem carregadores específicos produzidos por empresas especializadas. Já os veículos elétricos de pequeno porte, para uso doméstico ou serviços leves, são carregados em tomadas domésticas adaptadas.
34. Adaptado de *U.S. Department of Energy* (http://energy.gov/eere/eveverywhere/ev-everywhere-vehicle-charging)

O Nível I de recarga pode ser suficiente para os PHEVs, uma vez que estes possuem baterias com menores capacidades e, por isso, o reabastecimento ocorre em menos tempo. Já no caso dos BEVs, o Nível de recarga I é mais indicado para recarga doméstica, pois o tempo de carregamento é elevado. Por outro lado, o Nível II permite a recarga completa tanto de veículos híbridos como *all-electric* em um tempo razoável e, por este motivo, tem sido considerado o nível de recarga padrão. Com relação ao *fast charger*, apesar da comodidade de carregar a bateria dos veículos elétricos em um tempo muito menor do que os demais níveis, os custos necessários na adoção desta infraestrutura são também mais elevados.

Devido a estes custos mais elevados, o desenvolvimento dos postos de recarga rápida tem recebido incentivos dos próprios fabricantes de BEV, como é o caso do Japão, onde o mercado de VEs é predominantemente dominado por modelos *all-electric* e consequentes investimentos em redes de carregamento rápido. Em 2012 o Japão já havia instalado 1.381[35] *fast chargers*, mais do que qualquer outro país, mas, ao mesmo tempo, deu menor atenção aos níveis de carregamento mais lentos. Em contraste, nos Estados Unidos, estes últimos receberam maior ênfase, devido à predominância dos PHEVs e, também, à preferência por estações de recarga residenciais. Cada país opta pela rede de EVSE que melhor atenda às suas especificidades locais, sem haver, portanto, um caminho específico e que deva ser seguido por todos. Estas diferenças são claramente percebidas na Figura 7 a seguir.

FIGURA 7: PERFIL DE IMPLEMENTAÇÃO DE DIFERENTES EVSE, 2012



Fonte: *Global EV Outlook*, IEA, 2013.

35. *Global EV Outlook*, IEA, 2013.

Além do carregamento padrão por fio, discutido na Tabela *2*, já existe o carregamento por indução, popularmente chamado de *wireless* (sem fio), que utiliza um campo eletromagnético para recarga dos veículos, ou seja, não envolve conexão física entre o carro e o eletroposto. Existem dois tipos de carregamento *wireless*: o WPT (*Wireless Power Transfer*), onde o carregamento ocorre com o veículo estacionado[36]; e as rodovias eletrificadas, que carregam enquanto o veículo está em movimento.

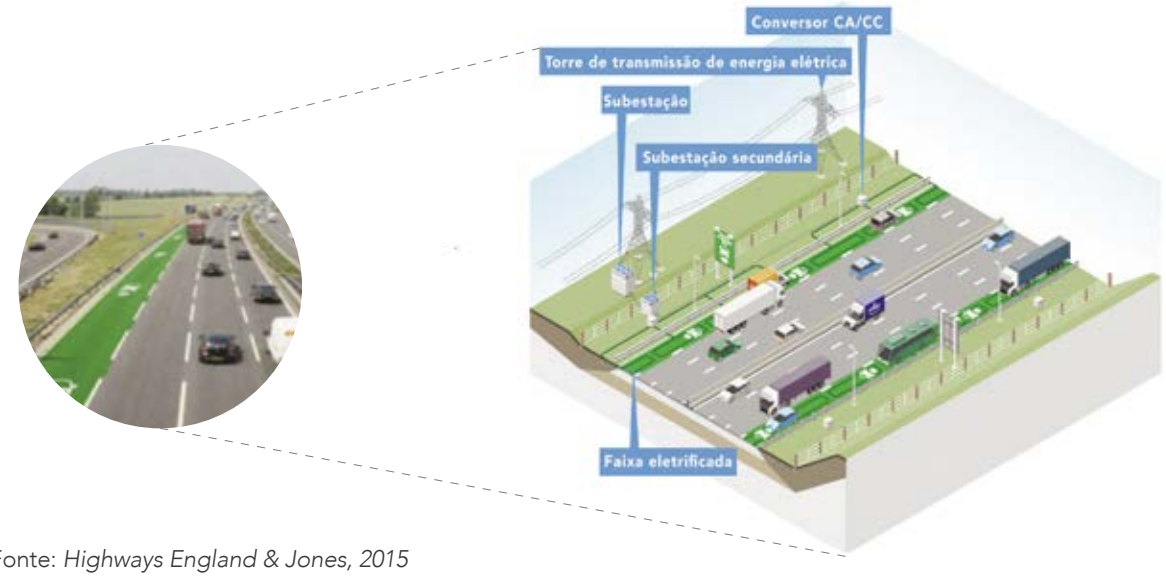
Em relação às rodovias eletrificadas, elas ainda não são utilizadas em larga escala em nenhuma parte do mundo, mas alguns países já vêm adotando iniciativas: a *Highways England* anunciou em 2015 a realização de testes de carregamento *wireless* em estradas do Reino Unido como forma de incentivar o aumento da frota de veículos elétricos em circulação, uma vez que este tipo de carregamento permite que sejam percorridas longas distâncias sem a necessidade de interromper a viagem para carregamento da bateria. Além disso, alguns modelos de VEs, como Nissan Leaf (BEV), Chevrolet Volt (PHEV) e Cadillac ELR (PHEV), já possuem ou estão desenvolvendo essa tecnologia de recarga[37]. Espera-se que, no futuro, o carregamento *wireless*, ilustrado na Figura *8*, permitirá aos motoristas simplesmente estacionarem seus carros em um local designado para que estes se recarreguem automaticamente, sem necessidade de conectá-los a um cabo de recarga. Ainda mais: os *driveless cars* de um futuro próximo poderão estacionar sozinhos em um local de carregamento sem fio disponível e retornar à estrada quando a recarga estiver completa[38].

36. No início de 2017, foi anunciado o novo padrão J2954 proposto pela *SAE International* para equipamentos de carregamento *wireless*. O acordo prepara o caminho para que estes equipamentos tenham, futuramente, um alto grau de interoperabilidade entre marcas e em vários países. A adoção desse padrão deve tornar o carregamento sem fio mais barato e mais atraente (Fonte: Hanley, 2017).
    Nota: a *SAE International* é uma associação global de mais de 128.000 engenheiros e técnicos especializados nas indústrias aeroespacial, automotiva e de veículos comerciais (http://www.sae.org/about/board/vision.htm).
37. *Plug-In Electric Vehicle Handbook for Consumers, U.S. Department of Energy.*
38. Fonte: Hanley, *2017*.

FIGURA 8: CARREGAMENTO *WIRELESS*[39]

CARREGAMENTO *WIRELESS* TRADICIONAL

CARREGAMENTO EXPERIMENTAL EM RODOVIA ELETRIFICADA

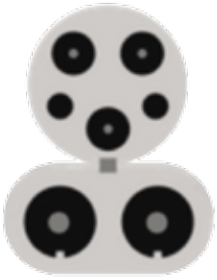


Fonte: *Highways England & Jones, 2015*

39. Adaptado de: Shahan, 2015.

O tipo de carregamento realizado também dependerá da entrada (receptor) existente no veículo (vide Tabela *3*). Carregamentos Níveis I e II são compatíveis com todos os veículos com conector e receptor padrões: tipo 1 (SAE J1772, ou conector Yazaki), utilizado nos EUA e Japão; e tipo 2 (VDE-AR-E 2623-2-2, ou conector Mennekes), utilizado na Europa e China[40]. Um terceiro tipo de conector, tipo 3, ou *EV Plug*, está sendo advogado por alguns países europeus.

TABELA 3: TIPOS DE CONECTORES/ENTRADAS PARA RECARGA DOS VEs, POR NÍVEL DE RECARGA

SAE J1772/ VDE-AR-E 2623-2-2: Níveis de recarga I e II	**SAE J1772 Combo (*Combined Charging System* – CCS): DC *Fast Charger***	**CHAdeMO: DC *Fast Charger***	**Tesla Combo *Supercharger***
			

Fonte: adaptado de *U.S. Department of Energy*: https://energy.gov/eere/electricvehicles/all-electric-and-plug-hybrid-vehicles. Acessado em 19 de abril de 2017.

40. Os padrões americano/japonês e europeu/chinês para recarga Níveis I e II têm requisitos semelhantes, adaptados para as tensões de cada localidade. A maioria das diferenças terminológicas são superficiais. Onde o padrão SAE descreve "métodos" e "níveis", o padrão europeu fala sobre "modos", que são praticamente os mesmos (Nível I de recarga equivale a Modo I, e daí por diante). Fonte: Tuite, 2012.

Ao passo que já existe um padrão para conectores/receptores de Níveis de recarga I e II, ainda não foi estabelecido um padrão para *fast chargers*, que contam com três tipos diferentes de conectores/receptores:

- SAE Combo, ou CCS, da SAE *International*: adaptador para o padrão SAE J1772, de modo que a mesma entrada possa ser utilizada para todos os níveis de carga (disponível em modelos como o BEV Chevrolet Spark EV);
- CHAdeMO (disponível nos BEVs Nissan Leaf e Mitsubishi i-MiEV, por exemplo); e
- Tesla *Supercharger* (disponível apenas em veículos Tesla[41]).

Apesar dessa inexistência de padrão, são cada vez mais comuns *fast chargers* públicos que atendam a ambos conectores SAE e CHAdeMO.

FIGURA 9: VE COM AMBAS ENTRADAS SAE J1772 PARA RECARGA NÍVEL 1 E 2 (À DIREITA) E CHADEMO PARA RECARGA *FAST CHARGER* (ESQUERDA)

Fonte: *U.S. Department of Energy*: https://energy.gov/eere/electricvehicles/vehicle-charging. Acessado em 19 de abril de 2017.

41. Veículos Tesla também podem usar conectores CHAdeMO por meio de um adaptador. Todos os veículos Tesla são BEVs.

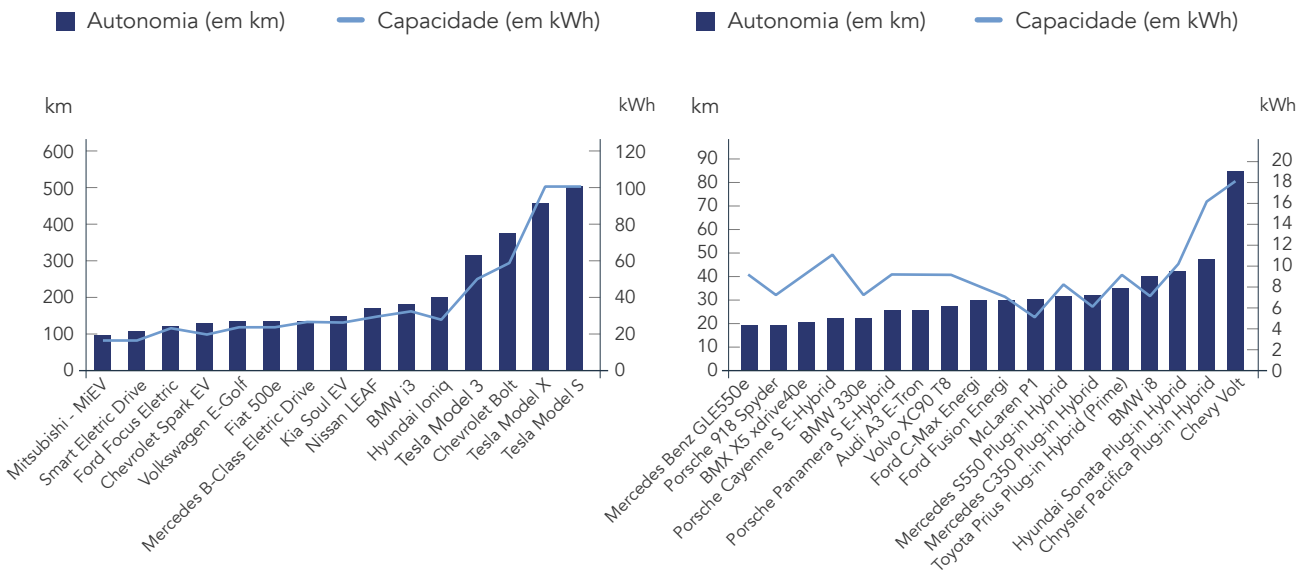
BATERIAS

As baterias dos veículos elétricos são recarregadas ao se conectar o veículo a uma fonte de eletricidade externa. Os VEs também são recarregados, em parte, por meio de energia mecânica regenerativa, também conhecida como frenagem. Dependendo do tipo de VE, diferentes baterias podem ser consideradas:

- Hidreto metálico de níquel – Ni-MH: disponível em modelos híbridos que utilizam tecnologia *start-stop* e micro-híbridos;
- Íons de lítio – Li-ion: disponível em modelos de BEV e híbridos;
- Cloreto de sódio e níquel – Na-$NiCl_2$: disponível em modelos de veículos elétricos pesados (caminhões, ônibus etc.) e PHEVs[42].

Devido a seu custo reduzido e melhor desempenho, as baterias de íons de lítio (li-ion) têm sido mais adotadas por fabricantes de VEs. Os gráficos na Figura *10* mostram as capacidades das baterias de alguns modelos de BEVs e PHEVs nos EUA. Observa-se que, geralmente,

FIGURA 10: RELAÇÃO AUTONOMIA – CAPACIDADE DAS BATERIAS, EM MODELOS DE BEVs (ESQUERDA) E DE PHEVs (DIREITA) NOS EUA



Fonte: Elaboração própria a partir de dados disponíveis em PluginCars.com, 2017.

42. EUROBAT, 2015.

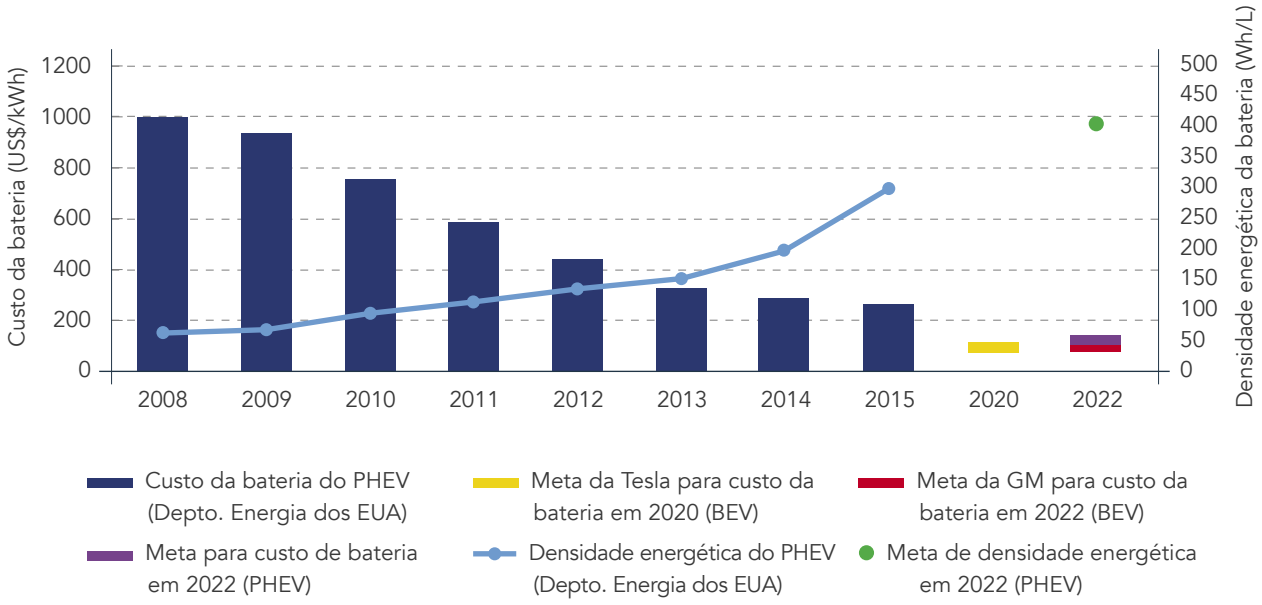
para BEVs, quanto maior a capacidade da bateria, maior a autonomia do carro. No caso dos PHEVs, essa relação não é tão forte.

Quanto às baterias de hidreto metálico de níquel, estas já atingiram um grau relativamente elevado de maturidade tecnológica, de forma que se esperam melhorias marginais no seu desempenho e custo entre agora e 2030[43]. As baterias de cloreto de sódio e níquel, por sua vez, são utilizadas em veículos elétricos pesados (ônibus e caminhões) e PHEVs. Segundo relatório elaborado pela *Association of European Automotive and Industrial Battery Manufacturers* (EUROBAT)[44], no futuro, novas tecnologias (por exemplo, zinco-ar, lítio-enxofre, lítio-ar) podem se tornar competitivas o suficiente para serem consideradas como alternativas para baterias de VEs. No entanto, essas tecnologias ainda estão em fase inicial de desenvolvimento.

A maior difusão dos veículos elétricos está intimamente ligada ao desenvolvimento das baterias. Para tanto, pesquisa e desenvolvimento (P&D) precisam focar nas questões de desempenho e custo. Em particular, para baterias de cloreto de sódio e níquel, as prioridades de pesquisa visam melhorias no processo de produção e integração de sistemas, bem como redução de custos. Já para baterias de íons de lítio, os objetivos primários são aumentar as densidades de energia e potência e reduzir seus custos. Melhorar a densidade energética das baterias é importante pois, quanto maior sua densidade energética, mais eficiente seu sistema de armazenamento de energia se torna. Estas melhorias, por sua vez, resultarão em baterias e, consequentemente, veículos elétricos mais leves[45], menores, com maior autonomia e mais baratos[46]. O gráfico na Figura 7 mostra a evolução de custo – que caiu em aproximadamente 75% desde 2008, enquanto que a densidade das baterias cresceu mais de 330% no mesmo período – e projeções para 2022, que apontam para aumento da densidade e queda do valor do kWh.

43. *Ibid.*
44. *Ibid.*
45. Por exemplo, o Tesla Model S, que tem uma bateria de 100 kWh, pesa 2.086 kg, é bem mais pesado que um VCI como o Toyota Corolla, que pesa por volta de 1.300 kg. Com a evolução da densidade das baterias, contudo, espera-se que no futuro, VEs serão tão leves quanto VCIs (DeMorro, 2015). Baterias mais leves também resultarão em VEs mais eficientes energeticamente (Gustafsson & Johansson, 2015).
46. IEA, 2011. Em 2012, a bateria de um Nissan Leaf equivalia a um terço do preço total do carro (*Global EV Outlook*, IEA, 2013).

FIGURA 11: EVOLUÇÃO DO CUSTO E DENSIDADE DAS BATERIAS



Notas: US$/kWh = Dólar norte-americano por quilowatt-hora; Wh/L = Watts-hora por litro. Valores exibidos para custo de bateria e densidade energética dos PHEVs são baseados em uma tendência observada da indústria, incluem apenas energia utilizada, referem-se a packs de baterias e supõem uma produção anual de 100.000 unidades de baterias para cada produtor.

Fonte: *Global EV Outlook*, IEA, 2016.

Outro ponto que a evolução tecnológica das baterias visa solucionar é a questão da segurança: baterias de íons de lítio têm maior risco de incêndio quando superaquecidas[47]. O BEV Tesla Model S, por exemplo, registra alguns casos de incêndio ainda sob investigação[48].

Há outros avanços tecnológicos com potencial de dar suporte ao armazenamento de energia nas baterias dos VEs. Exemplo disso são pesquisas recentes com supercondensadores, mais utilizados em veículos elétricos de maior porte, como ônibus, que apontam para sua viabilidade em veículos elétricos leves. A nova tecnologia visa ampliar a autonomia dos VEs e reduzir o tempo de recarga, aproximando-os dos modelos movidos à combustão interna[49]. Outra vantagem dos supercondensadores em relação

47. Para mais informações, vide: Bullis, 2013a.
48. Lambert, 2016a.
49. Macaulay, 2016.

às baterias de íons de lítio é seu melhor desempenho em baixas temperaturas. Temperaturas extremas (muito frio ou calor) afetam o desempenho das baterias e, consequentemente, a autonomia dos veículos elétricos[50].

Portanto, todas essas melhorias contribuiriam para os veículos elétricos se tornarem *mainstream*. Governos, fabricantes de automóveis e motoristas têm requisitos semelhantes para baterias: elas devem durar mais tempo, carregar mais rápido, ter maior densidade e ser mais baratas e leves. Elas também devem ser seguras, tecnicamente confiáveis e facilmente recicláveis[51]. Para tornar VEs acessíveis para as massas, o valor frequentemente citado coloca os custos das baterias abaixo de US$ 100 por quilowatt-hora[52]. A Tesla, por exemplo, visa atingir esse valor por meio do aumento da produção de baterias de íons de lítio na *Gigafactory*, "megafábrica" de baterias da Tesla e Panasonic, que está sendo construída no deserto de Nevada[53].

BARREIRAS PARA A EXPANSÃO DOS VEs

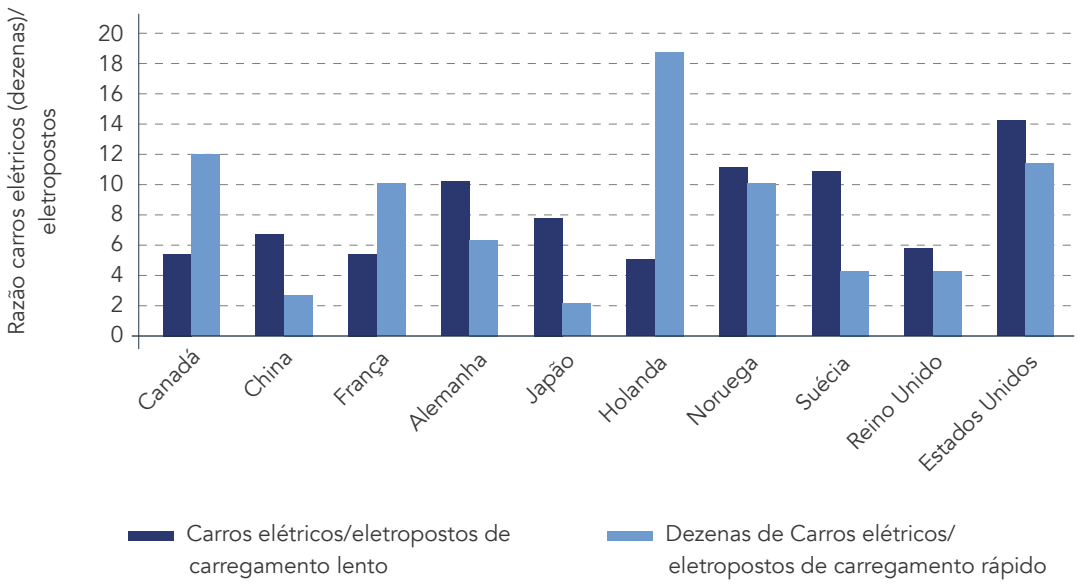
Nesta seção, analisaremos os principais entraves para expansão dos VEs, a exemplo da difusão da infraestrutura de recarga, o aumento da autonomia das baterias, redução do tempo de recarga e diminuição dos preços dos VEs. As tentativas de vários países para superar tais obstáculos, serão detalhadas nos próximos capítulos.

OTIMIZAÇÃO E PADRONIZAÇÃO DA REDE DE EVSE

Em relação à difusão dos eletropostos, qual seria sua quantidade ótima para a expansão dos veículos elétricos em uma determinada localidade? Como já mencionado, cada país investe na infraestrutura de recarga pública que melhor atende suas necessidades, com os EUA priorizando a ampliação da sua infraestrutura de carregadores lentos (*slow chargers*) não residenciais, enquanto que o Japão vem investindo mais em carregadores rápidos (*fast chargers*). Um estudo de 2011 da Comissão Europeia estimou que a razão ideal entre carros elétricos/eletropostos públicos é entre 1,25 e 3,3[54]. A Figura *12* mostra que, no ano de 2015, contudo, esse valor é atingido apenas pelos EUA (para *slow chargers*) e pela Holanda (para *fast chargers*). Entretanto, não há um consenso dentre esses países sobre qual seria esta razão ótima[55]. Apesar disso, concorda-se que há uma correlação positiva entre implementação de EVSE e disseminação dos VEs[56].

50. *U.S. Department of Energy*, 2015.
51. EUROBAT, 2015.
52. Pyper, 2016. A redução do custo das baterias impactará não apenas no preço final dos VEs, mas também no valor para troca da bateria fora da garantia do fabricante.
53. Wesoff, 2016.
54. *International Council on Clean Transportation*, 2011.
55. *Global EV Outlook*, IEA, 2016.
56. *Ibid*.

FIGURA 12: RAZÃO CARROS ELÉTRICOS/EVSE PARA CARREGADORES PÚBLICOS LENTOS E RÁPIDOS NO ANO DE 2015



Fonte: Adaptado de *Global EV Outlook*, IEA, 2016.

Um fator que auxiliaria na disseminação dos eletropostos seria sua padronização. De forma geral, a infraestrutura necessária para abastecer um veículo à combustão interna não varia muito. Já no caso dos EVSE, dependendo do país e do nível de recarga, a infraestrutura de recarga pode variar. VEs distintos também não seguem um mesmo padrão de entrada para diferentes níveis de conectores – algo que vem mudando em modelos mais recentes de VEs, que trazem entradas para ambos *slow* (Níveis I e II) e *fast chargers*. Mas, os padrões de conectores existentes ao redor do mundo seguem uma abrangência continental: dirigir um VE pela Europa não trará muitos problemas de compatibilidade com EVSE existentes nos países do continente. O mesmo se aplica aos EUA. Há quem defenda que a existência de um padrão mundial facilitaria a expansão dos VEs e reduziria custos[57].

57. *Global EV Outlook*, IEA, 2013.

ADAPTAÇÃO A UM NOVO PARADIGMA TECNOLÓGICO

Uma vantagem que os VEs têm sobre os veículos à combustão interna é uma maior liberdade em relação à infraestrutura pública de abastecimento, dado que eles podem ser recarregados na residência ou local de trabalho do usuário – o que pode vir a ser mais barato. Entretanto, o desenvolvimento de infraestrutura de recarga de VEs em áreas públicas é estratégico para que os usuários consigam se adaptar e aceitar este novo paradigma tecnológico. Motoristas de veículos à combustão interna estão habituados a abastecer seus veículos quando e onde quiserem, uma vez que eles contam com a disponibilidade de uma rede muito ampla de postos de abastecimento[58] – rede esta que cresce desde que passou a existir, no século XIX. Portanto, mudar este padrão de abastecimento – do espaço público para a residência – poderá levar tempo e deverá ocorrer de maneira gradativa, tendo o desenvolvimento de uma rede pública de recarga de VEs um papel importante nesta transição.

AUTONOMIA CONSIDERADA LIMITADA

Em relação à autonomia, embora seja um tópico que ainda precise progredir, melhorias na densidade energética das baterias, como exposto na Figura 11, foram responsáveis por avanços recentes, contribuindo significativamente na redução da *range anxiety*[59], que é a ansiedade causada pelo medo de não conseguir recarregar o VE quando necessário. A difusão da infraestrutura de recarga, o aumento da autonomia das baterias e a redução do tempo de recarga também contribuirão para a redução ou eliminação desse problema.

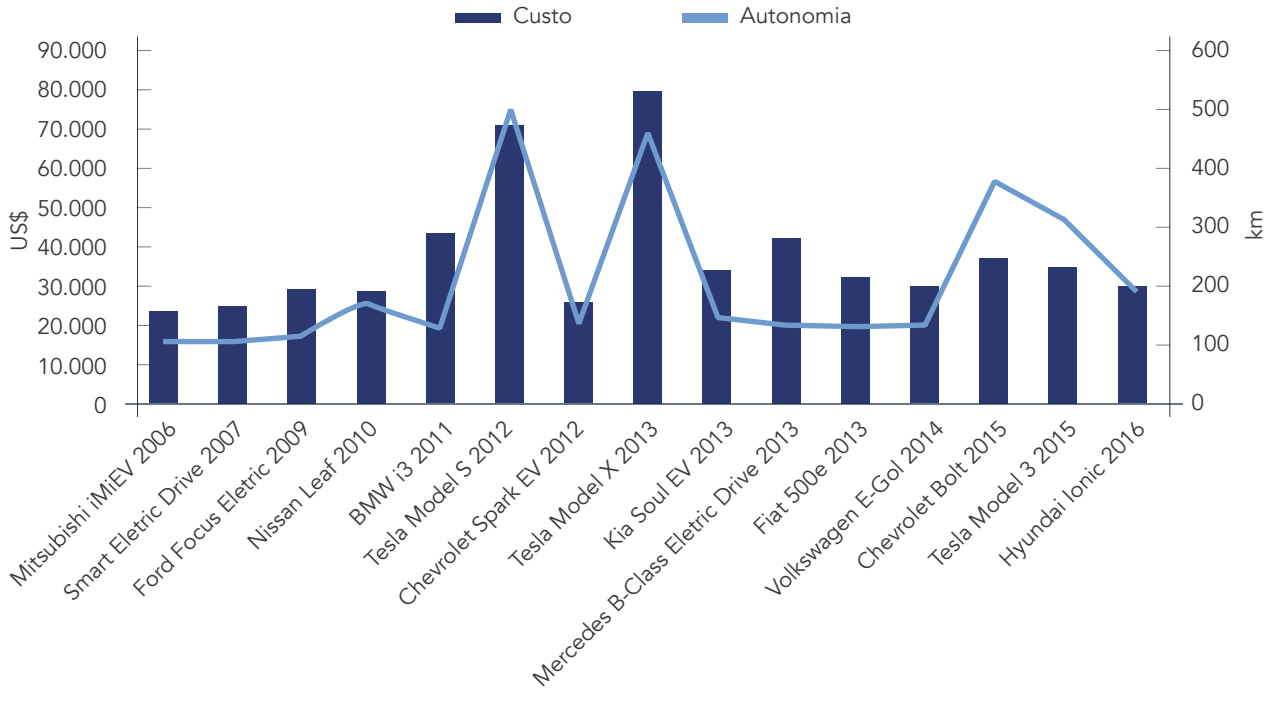
Essa ansiedade, contudo, pode ser exagerada: em estudo recente[60], baseado em na análise de dados dos padrões de deslocamento nos EUA e outras evidências, pesquisadores apontam que 87% dos veículos atualmente na estrada poderiam ser substituídos por um veículo elétrico de baixo custo disponível no mercado, mesmo que não haja possibilidade de recarga durante o dia. A *range anxiety* também pode ser mitigada por meio da redução do tempo de recarga com a maior utilização de carregadores rápidos.

58. Acredita-se que, em se promovendo uma rede de eletropostos pública, a rede de postos de combustíveis convencionais já existente possa ser utilizada. Entretanto, estes postos estão estruturados para atenderem a proprietários de veículos à combustão interna cujo abastecimento ocorre em poucos minutos. No caso dos veículos elétricos, como o tempo de carregamento é maior, de pelo menos 20 minutos, seria conveniente a reestruturação desses postos, com o desenvolvimento de opções de serviços e comércio no entorno. Essa discussão de um potencial novo modelo de oportunidades de negócios será aprofundada no Capítulo 3 deste Caderno.
59. *Global EV Outlook*, IEA, 2016.
60. Needell et al., 2016.

PREÇOS MAIS ELEVADOS DOS MODELOS ELETRIFICADOS

Por fim, o ainda alto preço dos veículos elétricos é o fator que mais impede sua disseminação em todo o mundo. Como, em média, aproximadamente 1/3 do preço total de um veículo elétrico é atribuído à bateria, a redução dos seus custos se torna essencial para a maior penetração de mercado dos modelos eletrificados. A Figura 13 traz uma lista não exaustiva de preços sugeridos pelo fabricante – isto é, pré-subsídios de aquisição – de alguns modelos de BEVs nos Estados Unidos. Nota-se uma relação positiva entre preço e autonomia. Contudo, nos últimos anos, percebe-se que essa tendência está sendo revertida. Dois modelos de BEVs anunciados em 2015, Chevrolet Bolt e Tesla Model 3, possuem autonomia elevada e preço reduzido, o que pode indicar o início de uma era de VEs mais eficientes e acessíveis[61].

FIGURA 13: RELAÇÃO PREÇO-AUTONOMIA DE ALGUNS MODELOS DE BEVs E SEUS ANOS DE LANÇAMENTO



Fonte: Elaboração própria a partir de dados disponíveis em PluginCars.com, 2017.

57. O aumento da escala de produção deverá contribuir para a redução dos preços dos VEs.

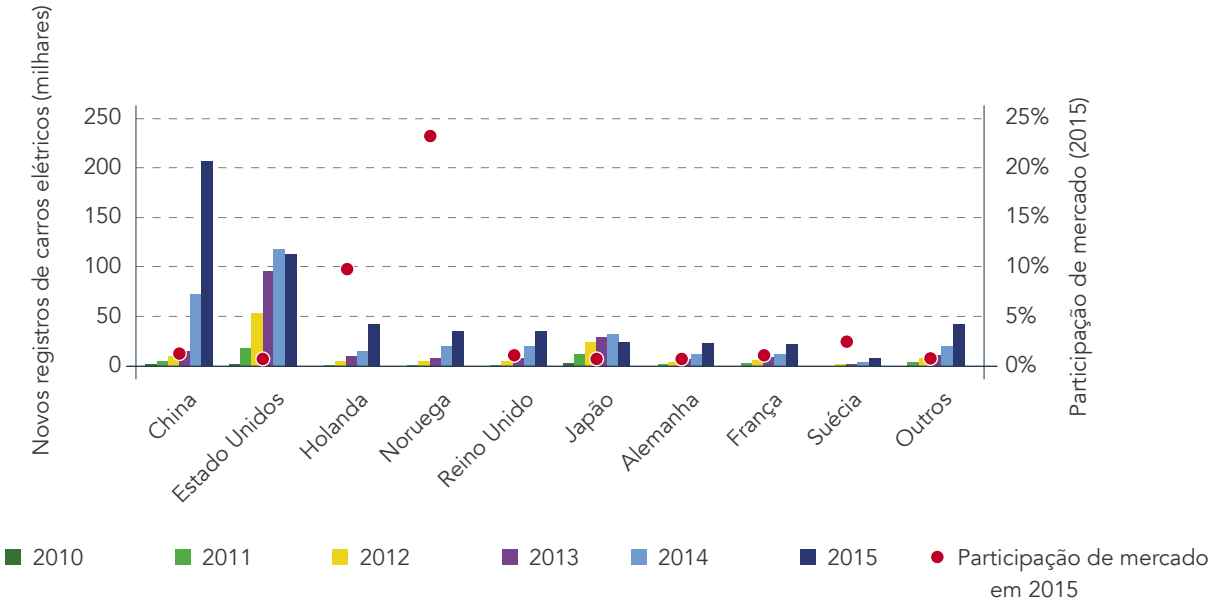
Incentivos e modelos de negócios para disseminação dos VEs

Dada a importância de descarbonização das economias mundiais e da atuação do setor de transportes neste sentido, vários países do mundo estão buscando maneiras de incentivar a maior adoção dos carros elétricos. Este capítulo discutirá as iniciativas que estes países estão implementando para promover a disseminação de frotas de VEs, visando criar as condições para criar um mercado embasado em modelos de negócios viáveis e, portanto, superar os desafios à maior adoção dos VEs descritos no capítulo anterior.

É notável o crescimento das vendas dos veículos elétricos a partir de 2014, como demostra a Figura 14. Vale destacar as vendas na China, onde a quantidade de VEs comercializados em 2015 mais que dobrou em relação ao ano anterior[62]. Este crescimento de vendas está impactando a taxa de participação dos VEs nos mercados automobilísticos destes países. Como mencionado no Capítulo 2, em sete países (Reino Unido, China, França, Dinamarca, Suécia, Holanda e Noruega), os VEs já são responsáveis por mais de um 1% do mercado automobilístico. No caso da Noruega, mais de 20% de todos os veículos do país são elétricos.

62. A China é um dos países mais afetados com poluição atmosférica, sendo esta uma grande motivação para o desenvolvimento dos veículos elétricos no país.

FIGURA 14: VENDAS DE VEs E *MARKET SHARE* EM PAÍSES SELECIONADOS



Fonte: *Global EV Outlook*, IEA, 2016.

Dentre as variáveis que permitiram esta expansão, estão: incentivos financeiros para compra de carros elétricos e instalação de EVSE residenciais; isenção de taxas de licenciamento e outros impostos para novos veículos elétricos; medidas regulatórias, como normas que visam à redução de gases do efeito estufa emitidos por automóveis e aumento da eficiência energética de combustíveis, assim como outros instrumentos direcionados, como isenção de taxas de estacionamento e acesso a áreas de trânsito restrito (como faixas de ônibus, *carpool lanes*[63], *congestion zones*[64] e *low emission zones*[65])[66]. Estes incentivos serão detalhados a seguir.

63. Faixas de tráfego rodoviário restritas a veículos ocupados por duas ou mais pessoas. Também conhecidas como *high-occupancy vehicle lane* (HOV *lane*).
64. Áreas de tráfego intenso, na qual uma taxa é cobrada a fim de reduzir o alto fluxo de veículos.
65. Zonas de Baixa Emissão (*low emission zones* - LEZs) são áreas onde os veículos mais poluentes são regulamentados. Geralmente, isso significa que veículos com emissões mais altas não podem entrar na área. Em algumas zonas de baixa emissão, os veículos mais poluentes têm que pagar a mais para acessá-las (Fonte: http://urbanaccessregulations.eu/low-emission-zones-main).
66. *Global EV Outlook*, IEA, 2016.

INCENTIVOS PARA DISSEMINAÇÃO DOS VEs EM VÁRIOS PAÍSES

Por que a aquisição de veículos elétricos precisa ser incentivada? Primeiramente, por causa do seu ainda elevado custo, seja de compra, seja de abastecimento – este último, devido à ainda restrita disponibilidade de infraestrutura para tal. Em seguida, porque os VEs trazem para a sociedade os benefícios de redução da poluição sonora e do ar. Os compromissos assumidos no Acordo de Paris (em vigor desde novembro de 2016) de redução das emissões de GEE leva ao crescimento de políticas e mercados para os VEs, na busca do atingimento desses objetivos. Para esse fim, vários países vêm implementando medidas e incentivos de modo que as barreiras para maior disseminação dos VEs sejam superadas. Dessa forma, o mercado incipiente de veículos elétricos terá maior potencial de prosperar a partir do momento em que políticas públicas, seja através de subsídios para aquisição ou também de outros incentivos, monetários ou não, sejam implementadas.

INCENTIVOS PARA AQUISIÇÃO

Por enquanto, veículos elétricos ainda são substancialmente mais caros que veículos à combustão interna devido, essencialmente, a questões ligadas à tecnologia das baterias. Embora uma análise custo-benefício – que considere fatores tais como eficiência do motor e custos com combustível e manutenção – como será exemplificado a seguir, indique que os VEs possam ser mais vantajosos que veículos à combustão interna, consumidores ainda se assustam com o preço nominal de um carro elétrico.

Para exemplificar, utilizando o *Vehicle Cost Calculator* do Departamento de Energia dos EUA, comparamos o custo cumulativo de propriedade[67] de um veículo à combustão interna (Toyota Corolla a gasolina, modelo 2016) com um BEV (Nissan Leaf, modelo 2016) no estado da Califórnia[68]. A Tabela 4 traz a informação de custos de ambos os veículos. O Nissan Leaf é mais vantajoso que o Corolla em relação a gas-

67. O custo cumulativo de propriedade por ano para cada veículo inclui gastos com combustível, pneus, manutenção, registro, licença, seguro e pagamento do empréstimo. A calculadora assume um empréstimo de cinco anos com uma entrada de 10%. O primeiro ano da Figura 12 representa uma entrada de 10% mais os custos operacionais totais neste ano. A calculadora não inclui uma estimativa do valor de revenda dos carros elétricos. Se incluso, o custo total de propriedade seria mais alto dado que os carros elétricos não têm um bom desempenho de revenda devido à depreciação de suas baterias, que podem chegar a perder 40% de capacidade após alguns anos, dependendo do uso (Voelcker, 2016). Veículos Tesla, contudo, são uma exceção a essa regra, apresentando um ótimo desempenho no mercado de veículos usados devido à: maior capacidade das suas baterias e, consequentemente, menor depreciação ao longo do tempo e maior autonomia; rede crescente de supercarregadores; oferta ainda restrita; apelo comercial da marca Tesla; dentre outros fatores (Shahan, 2016). Para mais detalhes sobre o mercado de revenda de carros elétricos, vide: NADA, 2016. NADA é a sigla da *National Automobile Dealers Association*, associação que representa as concessionárias automotivas dos EUA.

68. Toyota Corolla 2016 a gasolina – Preço: US$17.830,00. Potência de 148cv. Nissan Leaf BEV 2016 – Preço: US$29.010,00. Potência equivalente a um carro motor 1.0, de 120cv.

Enquanto os carros elétricos forem muito mais caros que seus equivalentes convencionais, subsídios que reduzam seu preço de aquisição potencialmente aumentam sua atratividade.

tos com combustível e manutenção[69], além de ser mais eficiente por quilômetro percorrido e emitir menos. Ao se comparar, contudo, o custo cumulativo de propriedade, que inclui o custo de aquisição do veículo, o Nissan Leaf perde essa vantagem. Entretanto, ao se considerar os subsídios para sua aquisição, que podem chegar a até US$ 10.000 no estado da Califórnia, o custo de propriedade do Nissan Leaf ao longo do tempo passa a ser menor, como evidenciado na Figura 15. Dessa forma, enquanto os carros elétricos forem muito mais caros que seus equivalentes convencionais, subsídios que reduzam seu preço de aquisição potencialmente aumentam sua atratividade. Vale destacar, que como toda política industrial, subsídios ou incentivos devem apoiar a fase inicial de um negócio, de forma a promover as condições de melhorias tecnológicas ligadas à cadeia de valor, até que o modelo de negócios seja autossustentável.

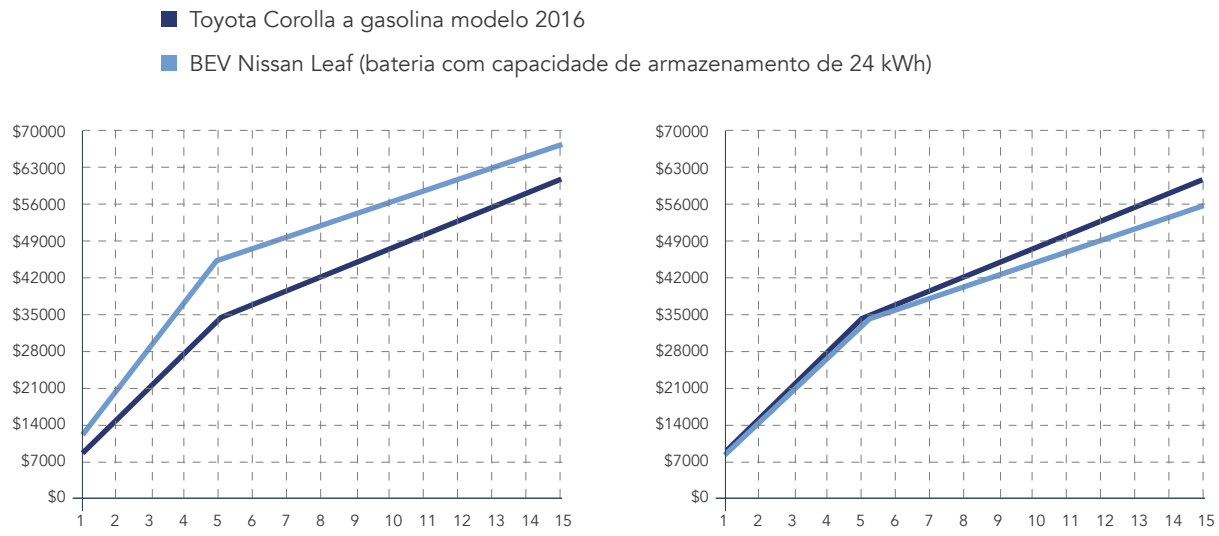
69. Por também possuírem um motor à combustão interna, a manutenção dos PHEV é similar à de um VCI. Para BEVs, contudo, por utilizarem menos óleo e fluido de transmissão, além de terem menos peças e utilizarem frenagem regenerativa – que é menos agressiva aos freios, seus custos de manutenção são bem menores. Um estudo conduzido pelo *Institute for Automotive Research* (IFA), da *Nürtingen–Geislingen University*, conclui que a manutenção dos VEs pode custar 35% menos que em um veículo tradicional (Diez, 2014).
Em relação ao custo de substituição da bateria, levando em consideração um valor de US$227/kWh (Knupfer et al., 2017), para um Nissan Leaf cuja bateria tem capacidade de 24 kWh, por exemplo, a troca custaria por volta de US$ 5.450,00. A maioria dos fabricantes, contudo, oferecem garantias de 8 a 10 anos ou 100 mil km rodados para as baterias. Entretanto, as garantias dependem do fabricante, que podem ou não cobrir perda de capacidade. Para maiores detalhes, vide Voelcker, 2016.

TABELA 4: COMPARAÇÃO DE CUSTOS DO TOYOTA COROLLA A GASOLINA E NISSAN LEAF BEV

	Toyota Corolla a gasolina – 2016	Nissan Leaf BEV (bateria de 24 kW-hr) – 2016
Uso anual de gasolina*	1.438 litros (380 galões)	0 litros
Uso anual de eletricidade*	0 kWh	3.620 kWh
Desempenho (cidade/estrada)	12/16 km/l	27/33 kWh/100mi (milhas)
Custo anual de combustível/eletricidade**	US$844	US$615
Custo de manutenção no primeiro ano***	US$3.102	US$2.720
Custo por milha	US$0,26	US$0,23
Emissões anuais (libras de CO_2)	9.129	2.602****

* Assumindo-se que a distância percorrida anualmente seja de 19.193 km (11.926 milhas). ** O custo do combustível é a média do preço da gasolina nos Estados Unidos no último trimestre de 2016, de acordo com o *Alternative Fuel Price Report*, do Departamento de Energia americano. O custo da eletricidade é o prevalente no estado da Califórnia. *** Inclui gastos com combustível, pneus, manutenção, registro, licença e seguro. Nos anos seguintes, é assumido que os custos de manutenção de um BEV são, em média, 28% menores do que em um veículo à combustão interna com base em estudo de DeLuchi et al, 2001. **** CO_2 emitido na geração de eletricidade que abastece o BEV, no estado da Califórnia. Para mais informações sobre a metodologia de cálculo, vide: http://www.afdc.energy.gov/calc/cost_calculator_methodology.html

FIGURA 15: CUSTO CUMULATIVO ANUAL DE PROPRIEDADE – TOYOTA COROLLA A GASOLINA VS. NISSAN LEAF BEV, SEM SUBSÍDIOS DE AQUISIÇÃO (ESQUERDA) E COM SUBSÍDIOS DE AQUISIÇÃO (DIREITA)



Fonte: *Vehicle Cost Calculator* do Departamento de Energia dos EUA. Acessado em 19 de abril de 2017.

Esse exemplo ilustra bem a necessidade da cessão de subsídios para aquisição dos VEs neste momento inicial em que seus preços ainda não são competitivos. Nos EUA, o governo federal concede subsídios cujo montante mínimo de crédito é de US$2.500,00, chegando a US$4.000,00 para PHEVs (com autonomia de 18km a 40km) e US$7.500,00 para BEVs (e alguns PHEVs com maior autonomia, como o Chevrolet Volt)[70]. Vários estados também concedem subsídios para aquisição[71], de forma que o crédito total pode vir a ultrapassar US$10.000,00[72] (como no exemplo acima da Califórnia. No Colorado, o incentivo estadual vai até US$5.000,00[73]). Além de subsídios que reduzam o valor nominal dos veículos, alguns governos também oferecem incentivos tais como isenção de taxas de licenciamento e outros impostos[74]. A Tabela 5 traz exemplos de incentivos para aquisição de carros elétricos em países selecionados na Europa e Ásia.

Outra maneira de vencer a resistência inicial para aquisição de um VE consiste na cessão de subsídios para instalação de EVSE residenciais. Quase todos os países onde a participação dos VEs no mercado é superior a 0,5% (China, Dinamarca, França, Alemanha, Japão, Holanda, Noruega, Portugal, Suécia, Reino Unido e EUA) fornecem incentivos diretos ou fiscais a nível nacional para instalação de infraestrutura de recarga doméstica[75]. Vários governos também incentivam o desenvolvimento de EVSE públicos. A Tabela 6 lista alguns exemplos de ambas as iniciativas.

70. Fonte: *Global EV Outlook*, IEA, 2016 e http://www.afdc.energy.gov/laws/search?loc%5B%5D=US&tech%5B%5D=ELEC. O governo federal americano também provê subsídios de 10% do valor, até US$2.500,00, para aquisição de *two-wheelers*.
71. Crédito, *vouchers* ou *rebates* (reembolsos), a depender do programa em uso. Para mais informações, vide: http://www.afdc.energy.gov/laws/matrix?sort_by=tech
72. Fonte: Schaal, 2017.
73. *State of Colorado*, 2016, e *The Denver Post*, 2016.
74. *Global EV Outlook*, IEA, 2016.
75. *Ibid.*

TABELA 5: EXEMPLOS DE INCENTIVOS PARA AQUISIÇÃO DE VEs NA EUROPA E NA ÁSIA[76]

	Incentivo monetário	Outros
China	Entre US$6.000,00 e US$10.000,00	Isenção de impostos de aquisição
França	• US$7.100,00 para BEVs • US$1.100,00 para PHEVs*	
Japão	Até US$7.800,00	
Holanda		Quanto menos CO_2 o veículo emitir, menor a taxa de licenciamento paga, que chega a zero para aqueles que não emitem CO_2 (BEVs)
Noruega		Isenção de imposto de aquisição (cerca de US$12 mil) e IVA (Imposto sobre valor adicionado) para BEVs.
Reino Unido	• Até US$6.300,00 para BEVs • Até US$11.200,00 para veículos comerciais leves • US$3.500,00 para PHEVs abaixo de US$84 mil.	

* A substituição de veículos a diesel permite um prémio suplementar de US$ 11 mil para BEVs e US$ 4 mil para PHEVs.
** Os subsídios baseiam-se na diferença de preço entre um VE e um carro a gasolina comparável.

TABELA 6: EXEMPLOS DE INCENTIVOS PARA INSTALAÇÃO DE EVSE RESIDENCIAIS E PÚBLICOS[77]

Dinamarca	• Subsídio de até US$2.700,00 para instalação de EVSE doméstico • Iniciativa administrada pela Agência Dinamarquesa de Energia apoia a implantação de eletropostos públicos
França	• Regulação requer que todas as edificações novas incluam pontos de recarga • Deduções fiscais para operadores privados que investem, mantêm ou operam EVSE em espaços públicos em, pelo menos, duas regiões diferentes. O objetivo é criar uma rede nacional de EVSE.
EUA	• Desde 2015, um programa federal já financiou a instalação de 36.500 eletropostos públicos • Vários estados também fornecem subsídios para instalação de EVSE domésticos [78]
Japão	• Governo federal financiou 2/3 da instalação de 500 *fast chargers* e 650 *slow chargers* em lojas de uma rede varejista.
Reino Unido	• Financiamento de até 75%, ou US$700, para instalação de EVSE doméstico

76. *Ibid.*
77. *Ibid.*
78. http://www.afdc.energy.gov/laws/matrix?sort_by=tech

OUTRAS MEDIDAS PARA ESTIMULAR A MAIOR ADOÇÃO DE VEs:

Medidas regulatórias

A descarbonização das economias mundiais incentiva a adoção de normas que visam à maior economia de combustíveis e redução da emissão de gases causadores do efeito estufa que, por sua vez, estimulam o desenvolvimento de veículos mais eficientes. No caso da maior eficiência, os veículos elétricos atendem perfeitamente a essas novas exigências por serem mais eficientes que os veículos tradicionais à combustão interna, como visto no capítulo anterior.

Vários países[79] contam com medidas regulatórias para economia de combustíveis e controle das emissões de GEE de novos veículos registrados. Mas, dentre eles, Índia, Coreia do Sul, alguns países europeus e Japão possuem normas gerais - aplicáveis em todo o território - para maior eficiência energética de combustíveis, o que indiretamente acaba favorecendo o desenvolvimento dos veículos elétricos. Os demais possuem políticas implementadas em determinadas áreas, mas as medidas afetam mais da metade dos habitantes de cada país.

Dentre as iniciativas para controle das emissões de GEE, destacam-se os esforços de alguns estados americanos para aumentar o número de veículos de emissão zero (ZEVs – *Zero Emission Vehicles*: BEVs, PHEVs e FCEVs) em suas frotas. Liderados pela Califórnia, outros nove estados[80] fazem parte do *ZEV Mandate*, um programa estatal que tem como meta, até 2025, a venda de mais de 3 milhões de ZEVs, o que corresponde a 15% das vendas totais dos Estados Unidos. Esta é uma meta ambiciosa, uma vez que, de 2013 a 2015, o percentual de vendas destes veículos na Califórnia, o estado com maior percentual de ZEVs em sua frota, era de apenas 2,8% e, em todo o país, não passou de 1%[81]. Daí a importância dos incentivos na aquisição e instalação dos veículos elétricos para que se dê este incremento desejado nas vendas.

Além dos estados americanos, a China está perseguindo metas ambiciosas para aumentar a frota de ZEVs: em 2018, as vendas destes veículos devem representar 8% das vendas totais e, em 2020, espera-se que a participação chegue a 12%[82].

79. São eles: Canadá, China, Dinamarca, França, Alemanha, Índia, Itália, Japão, Holanda, Noruega, Portugal, Coréia do Sul, Espanha, Suécia, Reino Unido e Estados Unidos. Fonte: *Global EV Outlook*, 2016.
80. Connecticut, Maine, Maryland, Massachusetts, Nova Jersey, Nova York, Oregon, Rhode Island e Vermont.
81. https://autoalliance.org/energy-environment/zev-sales-dashboard/
82. Lambert, 2016b.

Há ainda a recém-formada *ZEV Alliance*, composta por 8 estados dos Estados Unidos (Califórnia, Maryland, Massachusetts, Nova York, Oregon, Rhode Island e Vermont), além de Québec, Alemanha, Holanda, Noruega e o Reino Unido, que tem como objetivo a redução das emissões de gases de efeito estufa a partir de maior estímulo às vendas de veículos elétricos. A Aliança foi oficialmente fundada em setembro de 2015, momento em que seus integrantes respondiam por 7% das vendas globais de veículos e 38% das vendas de veículos elétricos[83].

Todos esses esforços para incentivar veículos de emissão-zero são muito importantes. Entretanto, deve-se considerar, que, até então, as regulações ao redor do mundo vêm ignorando as emissões *upstream*, ou seja, aquelas produzidas quando a eletricidade que abastece os VEs é gerada, assim como emissões e uso de energia associados à fabricação de materiais incorporados nos veículos. No caso dos Estados Unidos e União Europeia, o controle das emissões assume a forma de limites de emissão médios na circulação de toda a frota, que vão sendo reduzidos anualmente. De acordo com essas regulações, tanto EUA como União Europeia consideram que os veículos elétricos emitem 0g de CO_2/km. Diferentemente dos veículos à combustão interna, contudo, uma proporção significativa das emissões dos VEs encontra-se *upstream*. Com relação ao processo de fabricação, a maior diferença está no tipo e no tamanho das baterias necessárias em cada modelo: enquanto os VCIs exigem apenas uma pequena bateria para dar partida no motor e atender a outros pequenos comandos quando o motor estiver desligado, os VEs necessitam de uma bateria muito maior e que atenda a todos os comandos do carro. De acordo com estudo[84] da UCSUSA, as emissões resultantes do processo de fabricação de um BEV com autonomia de 135 km são 15% maiores do que aquelas emitidas na fabricação de um modelo equivalente à gasolina, o que corresponde a 1 tonelada de CO_2e[85] a mais.

As regulações atuais, que consideram apenas emissões de gases de escape, não captam completamente as emissões dos VEs. Portanto, para que os VEs possam efetivamente contribuir para a redução das emissões de GEE, é preciso que também haja um controle do que é emitido *upstream* que, de acordo com a IEA, não pode exceder os 700 gramas de CO_2 por kWh[86]. Esta exigência pode ser considerada um desafio para aqueles países fortemente dependentes do carvão para a geração de eletricidade.

83. http://www.zevalliance.org/
84. Nealer et al., 2015.
85. CO_2 equivalente
86. *Energy Technology Perspectives*, IEA 2014.

Em estudo[87] realizado para o caso dos Estados Unidos, revela-se que, quando são incluídas as emissões *upstream*, um veículo elétrico carregado com eletricidade gerada na rede elétrica norte-americana emite, em média, 56% menos CO_2 do que um veículo similar movido a petróleo (166g/km contra 380g/km). Esses valores mudam de acordo com as fontes de geração de eletricidade de cada estado.

Outros instrumentos direcionados, como isenção de taxas de estacionamento e acesso a áreas de trânsito restrito

Além das medidas regulatórias que terminam por incentivar indiretamente a maior adoção de veículos elétricos, vários países vêm utilizando instrumentos direcionados como incentivos ao seu desenvolvimento, como isenções de taxas de circulação e propriedade. Na China, os VEs estão isentos de ambas essas taxas. Na França, BEVs e PHEVs não pagam a taxa anual de circulação, e, no caso da Dinamarca, isso vale para os BEVs com menos de duas toneladas. Países como Holanda, Japão, Suécia, Reino Unido e Estados Unidos também contam com isenções de taxas como incentivos à circulação e uso dos veículos elétricos[88].

Outras estratégias estão voltadas para o abastecimento dos VEs, que buscam reduzir estes custos para os usuários. França, Japão, Noruega, Reino Unido, Estados Unidos, Coreia do Sul e Portugal já adotam esse tipo de incentivo. Em Wuhan (China), de 2014 a 2016 haviam lugares específicos designados aos veículos elétricos novos para que fossem reabastecidos sem custo. Na Dinamarca, foram oferecidas restituições de impostos de aproximadamente US$0,15/kWh às empresas que provessem abastecimento aos VEs em local comercial.[89]

Por fim, há também incentivos para o acesso dos VEs a áreas de trânsito restrito, como faixas exclusivas para circulação de ônibus em grandes cidades. China, França, Noruega e Reino Unido estão entre os países que utilizam esse instrumento em suas cidades para favorecer a adoção de VEs.

O VEÍCULO ELÉTRICO COMO AGENTE TRANSFORMADOR DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA MUNDIAL

A evolução da mobilidade elétrica tem potencial para afetar a indústria de petróleo, as montadoras de automóveis e os fabricantes das peças e equipamentos para os veículos à combustão.

87. Lutsey & Sperling, 2012.
88. *Global EV Outlook*, IEA, 2016.
89. *Ibid.*

Além da produção do veículo elétrico em si, a cadeia de valor também se espalha para outras áreas, como a infraestrutura de recarga e o gerenciamento de informações.

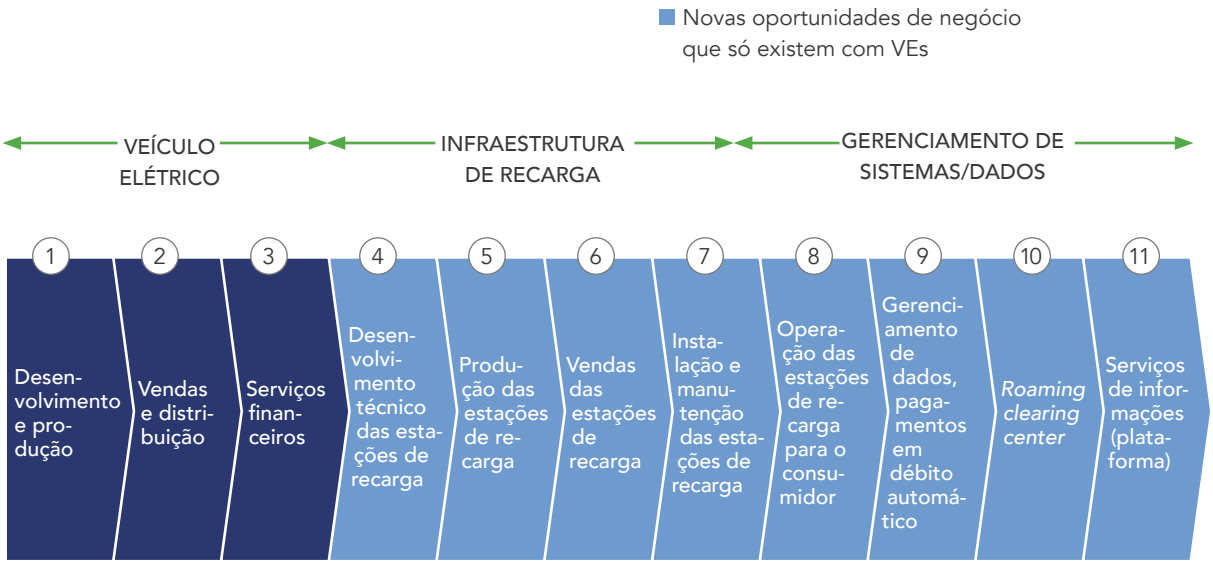
A introdução de uma nova tecnologia potencialmente pode substituir uma já existente: um exemplo foi o lançamento das câmeras digitais, que gerou o chamado "efeito Kodak", com o desaparecimento de renomadas empresas que não se adaptaram à essa nova tecnologia. Entretanto, a história já mostrou que o desaparecimento de um produto não necessariamente impede o surgimento de outro, com novas demandas impulsionando a indústria nascente[90].

Os veículos elétricos estão transformando a indústria automobilística que, por sua vez, está buscando transitar para novos modelos de negócios. Discute-se que da forma como está desenhada a indústria de mobilidade elétrica atual, ela demanda uma cadeia de valor muito mais extensa do que a cadeia dos tradicionais veículos à combustão interna, o que leva ao surgimento de novas oportunidades de negócios. Ao mesmo tempo em que novos mercados para produtos e serviços são um resultado da adoção de VEs, por outro lado, esses mercados também contribuem para que os veículos elétricos conquistem mais espaço.

Além da produção do veículo elétrico em si, a cadeia de valor também se espalha para outras áreas, como a infraestrutura de recarga e o gerenciamento de informações. As novas oportunidades estão na produção de baterias, inversores de potência, motores elétricos e muitos outros produtos, que acabam compensando aqueles que tiveram sua demanda reduzida[91]. Na Figura 16 as etapas destacadas em laranja existem apenas na cadeia de valor dos veículos elétricos[92].

90. Novais, 2016.
91. O aparecimento dessa nova cadeia de valor implica em geração de empregos em áreas antes inexistentes. Apesar dos possíveis postos de trabalho perdidos na indústria de veículos convencionais devido à sua substituição pelos carros elétricos, estudos demonstraram que o saldo será positivo, ou seja, o número de novos empregos criados será maior do que aqueles que desaparecerão. Para uma maior discussão sobre o potencial de criação de empregos na indústria de carros elétricos, vide Todd et al., 2013 e Becker & Sidhu, 2009.
92. Também podemos encontrar etapas equivalentes às 4 a 7 na cadeia de valor de abastecimento dos VCIs.

FIGURA 16: EXEMPLO DE NOVA CADEIA DE VALOR DOS VEs



Fonte: *Amsterdam Round Tables & McKinsey&Company*, 2014.

Essa nova cadeia de valor implica que as tradicionais montadoras de veículos à combustão interna terão que se relacionar com outros *players* de fora do setor automotivo para que a mobilidade elétrica conquiste espaço e mercado. Dentre os participantes dessa nova cadeia estão as distribuidoras de eletricidade, proprietários de estações de recarga, operadores da infraestrutura de recarga, usuários dos veículos e empresas de serviços financeiros. Todos esses participantes precisam estar interconectados para que o desenvolvimento dos veículos elétricos encontre sucesso.

Com a evolução da mobilidade elétrica, as montadoras têm a possibilidade de se expandir "verticalmente" na cadeia, ou seja, passam a participar também do lado da infraestrutura de abastecimento e não somente da produção dos veículos. Um bom exemplo dessa nova função são os supercarregadores desenvolvidos pela Tesla, compatíveis apenas com seus veículos e que já estão espalhados pelos Estados Unidos e Europa. Com os supercarregadores, a Tesla está conseguindo entrar no ramo de infraestrutura de recarga e está contribuindo para sua disseminação, o que contribui para o aumento

da demanda pelos veículos elétricos e, principalmente, por aqueles produzidos pela Tesla[93].

Outro ramo que está sendo estruturado pelas montadoras é o de *leasing* das baterias. A escolha pela venda dos veículos separadamente das baterias é uma estratégia adotada com vistas à redução dos altos preços de aquisição dos VEs. Além de tornar mais atrativa a compra pelos consumidores, outro benefício é a possibilidade de troca das baterias quando necessário, reduzindo a preocupação dos usuários com durabilidade e performance das mesmas.

Como visto no capítulo anterior, a expansão da infraestrutura de recarga está intimamente relacionada com o sucesso e maior adoção dos veículos elétricos. Portanto, muitas das novas oportunidades de negócio encontram-se nesse ramo. Indústrias de *software* auxiliarão os proprietários de veículos elétricos com aplicativos e programas de navegação que os ajudem a encontrar mais facilmente os eletropostos mais próximos e que sejam compatíveis com o modelo de seus veículos. Há ainda muito a ser explorado em relação aos serviços de carregamento, como pagamento remoto, acesso e registro de usuários, assim como serviços de instalação e manutenção dos eletropostos. Quanto à instalação, muitas empresas estão voltando-se para o carregamento privado: elas instalam os pontos de carregamento em residências e locais de trabalho, além de oferecerem serviço de manutenção.

Outra vertente de negócios que pode ser explorada é o desenvolvimento de serviços ao redor dos eletropostos públicos. Diferentemente dos veículos à combustão interna, cujo abastecimento ocorre em poucos minutos, os veículos elétricos, atualmente, demoram, no mínimo, 20 minutos para terem suas baterias recarregadas. Portanto, há um significativo tempo de espera dos proprietários de VEs nos eletropostos, levando à necessidade de uma infraestrutura que atenda aos motoristas enquanto seus veículos são recarregados. Os eletropostos podem ser instalados em locais onde uma infraestrutura de apoio já exista, como em estacionamentos de shoppings, restaurantes e outros centros comerciais.

Em suma, a incorporação dos carros elétricos aos seus modelos de negócio proporciona diversas oportunidades para a indústria automobilística. Os VEs, por si só, já são uma inovação considerável ao modelo existente. Além disso, sua associação a outras tendências da mobilidade, como o *car sharing* e soluções *full mobility*, ampliam ainda mais o leque de possibilidades de atuação para a indústria automotiva, como veremos a seguir.

93. *Amsterdam Round Tables & McKinsey&Company*, 2014.

MOBILIDADE COMO SERVIÇO

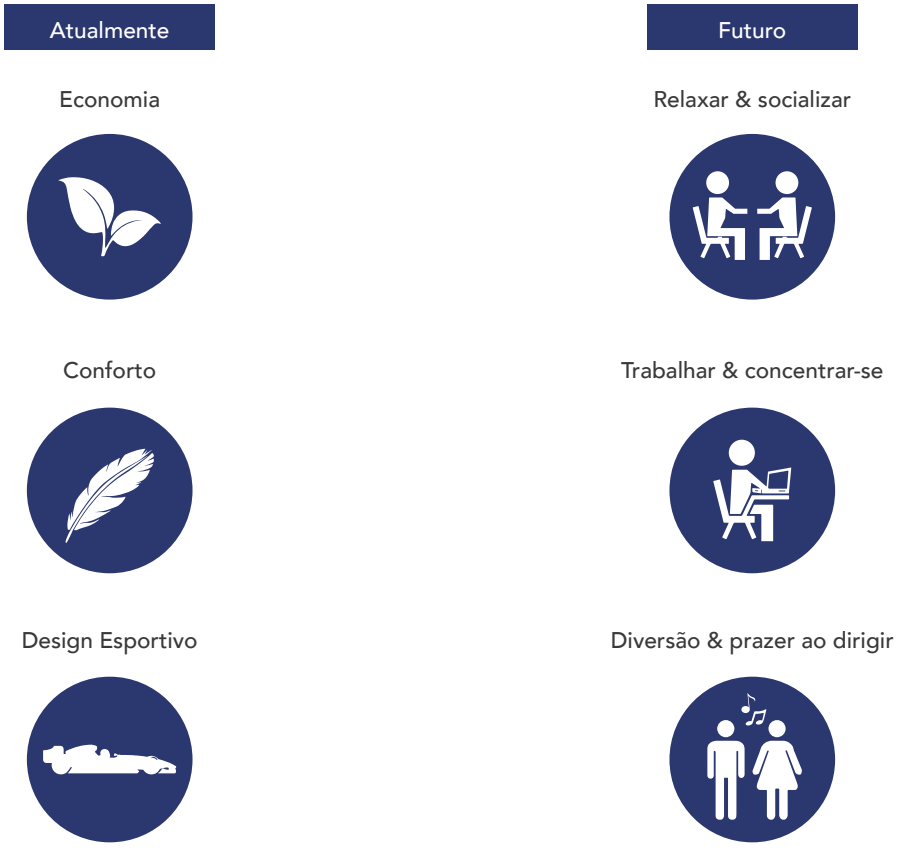
A sociedade como um todo tem passado a enxergar a mobilidade como um serviço, ou seja, aquela capaz de prover fácil acesso a todos os meios de transporte para que o deslocamento de um ponto a outro ocorra da maneira mais eficiente e satisfatória possível aos usuários. Segundo pesquisa recente realizada pela KPMG[94], até 2025, mais da metade dos atuais proprietários de carros não terão mais interesse em adquiri-los[95]. Como o modelo de negócios que prevalece e sustenta a indústria automotiva é a venda de veículos, o resultado da pesquisa pode representar uma queda significativa das receitas dessa indústria e a quebra inevitável do atual modelo de negócios.

A partir do momento em que o custo de adquirir um carro, somado às inconveniências desta aquisição (como engarrafamentos, tributos, dificuldade de encontrar estacionamento, poluição etc.), forem maiores do que os ganhos de utilidade obtidos com o carro, os consumidores e proprietários tenderão a migrar para outro tipo de mobilidade[96]. A sociedade está se dando conta de que há outras formas mais eficientes e confortáveis para se deslocar de um ponto a outro: também segundo o *Global Automotive Executive Survey 2017* da KMPG, os critérios de compra de carros no futuro serão diferentes dos atuais, com os consumidores preferindo relaxar, socializar, trabalhar e se divertir enquanto se locomovem – vide Figura 17. Os carros autônomos devem ganhar força nas próximas décadas, uma vez que eles atendem a esses novos critérios dos consumidores[97].

Portanto, para que continue relevante no futuro, a indústria automotiva precisa se adaptar a esse novo conceito de mobilidade como serviço (*mobility as a service*) e passar a prover mobilidade, além de atuar somente na produção de veículos. A ligação entre o conceito de mobilidade como serviço e os veículos elétricos reside no fato que, apesar de possuírem um custo de aquisição maior do que os veículos à combustão interna, os custos de manutenção e por quilômetro rodado

94. KPMG, 2017.
95. Contribui para esse comportamento a crescente tendência nas cidades europeias, como Londres, Paris e Barcelona, de tornar cada vez mais difícil dirigir um veículo nos seus centros urbanos, seja para reduzir tráfego em áreas históricas, seja por questões de preservação ambiental. Vide, por exemplo, o caso de Barcelona, que quer banir, em dias úteis, o tráfego de veículos com mais de 20 anos do seu centro histórico a partir de 2019 (Jones, 2017).
96. KPMG, 2017.
97. Ainda em fase incipiente, os veículos autônomos não devem se tornar economicamente viáveis antes de 2020. Mas, até lá, é preciso que reguladores, consumidores e corporações estejam preparados para uma nova realidade com veículos totalmente autônomos representando 15% das vendas de veículos novos em 2030. Os maiores desafios para que esses veículos conquistem espaço são os altos preços, a aceitação por parte dos consumidores e questões de segurança (McKinsey&Company, 2016).

FIGURA 17: DIFERENTES CRITÉRIOS DE COMPRAS DE CARROS: ATUALMENTE X NO FUTURO



Fonte: KMPG, 2017.

dos VEs são menores. Assim, quanto mais utilizado, em serviços como o *car sharing*, por exemplo, mais rápido será seu *payback* – principalmente se disponíveis em áreas urbanas densas[98].

O *car sharing* consiste em um serviço de aluguel de veículos específico para o uso rápido, pois o cliente aluga o carro pela quantidade de horas utilizadas. A ideia é que o transporte individual seja utilizado de forma mais racional, quando realmente for necessário. Outra vantagem desse serviço é a possibilidade de "aliviar" a barreira da *range anxiety*, já que os usuários podem utilizar esse serviço para

98. Este argumento também é válido para frotas de taxi e transporte público.

testar os carros elétricos, dirigindo dentro de distâncias nas quais se sentirem confortáveis, adaptando-se melhor à mobilidade elétrica antes de adquirir um VE. Além disso, com relação à aquisição, o *car sharing* permite que os usuários utilizem os veículos elétricos sem precisar comprá-los, ajudando a eliminar outro obstáculo ao uso dos VEs: os altos valores de aquisição.

Esse novo modelo de negócios tem ganhado força em muitos países europeus. Na Alemanha, por exemplo, uma pesquisa de mercado realizada pela McKinsey revelou que um terço da população urbana é usuária potencial do serviço de *car sharing*: em torno de 40% da população jovem (18 a 39 anos) que mora em cidades com mais de 100.000 habitantes respondeu que daqui a 10 anos estará usando com mais frequência o serviço de *car sharing*[99].

Um dos maiores programas de *car sharing* existentes é o Autolib', em Paris. Este foi o primeiro serviço público de aluguel de carros elétricos desenvolvido em uma grande metrópole europeia. Os veículos 100% elétricos à disposição dos parisienses permitem a condução de carros que produzem menos ruídos e que não contribuem para emissões diretas na atmosfera de gases causadores do efeito estufa. Atualmente, os 4.000 carros disponíveis no serviço Autolib' já são responsáveis por reduzir a frota de carros privados em mais de 36.000 veículos, o que equivale a 165.000.000 km que deixarão de ser percorridos pelos veículos à combustão interna[100]. Portanto, além de contribuir para a redução dos gases causadores do efeito estufa, a maior utilização desses veículos leva a menos engarrafamentos, menos estresse e mais tempo disponível para toda a população.

Como complemento ao serviço de *car sharing* estão as soluções *full mobility*[101], que são aquelas responsáveis por garantir que os usuários de mobilidade "cheguem aos seus destinos". Ou seja, é preciso considerar todas as etapas intermediárias entre suas casas e o destino final. Um exemplo de serviço *full mobility* oferecido pela BMW é o ParkNow, que tem como objetivo auxiliar no estacionamento dos veículos. Este serviço transmite informações em tempo real da disponibilidade de vagas de acordo com a localização geográfica do usuário e também facilita o pagamento das taxas para estacionar. Outro exemplo é o Moovel, um aplicativo para celular desenvolvido pela Daimler que oferece todas as opções de rotas para se chegar ao destino solicitado, levando em conta informações em tempo real da disponibilidade de transpor-

98. Este argumento também é válido para frotas de taxi e transporte público.
99. *Amsterdam Round Tables & McKinsey&Company*, 2014.
100. www.autolib.eu
101. *Amsterdam Round Tables & McKinsey&Company*, 2014.

te público, taxis, *ride-sharing*, *bike-sharings*, entre outros.

De acordo com o *survey* realizado pela KMPG[102], a maioria dos executivos que participaram da pesquisa acredita que as empresas de ICT (informação, comunicação e tecnologia), como a Google, estarão cada vez mais presentes no mercado de mobilidade. Ainda não se tem certeza onde essas empresas irão atuar, mas certamente os atuais provedores de mobilidade terão que lidar com esses novos competidores no mercado. Com relação a como se dará a interação entre as empresas do setor automotivo e as de ICT, a dúvida persiste. Irão elas cooperar ou competir? A falta de experiência das empresas de comunicação e tecnologia na produção, propriamente dita, do carro poderia ser compensada com sua vasta experiência em conectar pessoas e prover serviços de mobilidade, havendo uma cooperação entre as diferentes empresas.

No futuro, espera-se que as montadoras terão suas receitas baseadas principalmente no "ecossistema digital", atuando também na venda de peças e produtos separadamente, assim como serviços que atendam aos consumidores em várias etapas de suas vidas, não necessariamente associados à mobilidade.

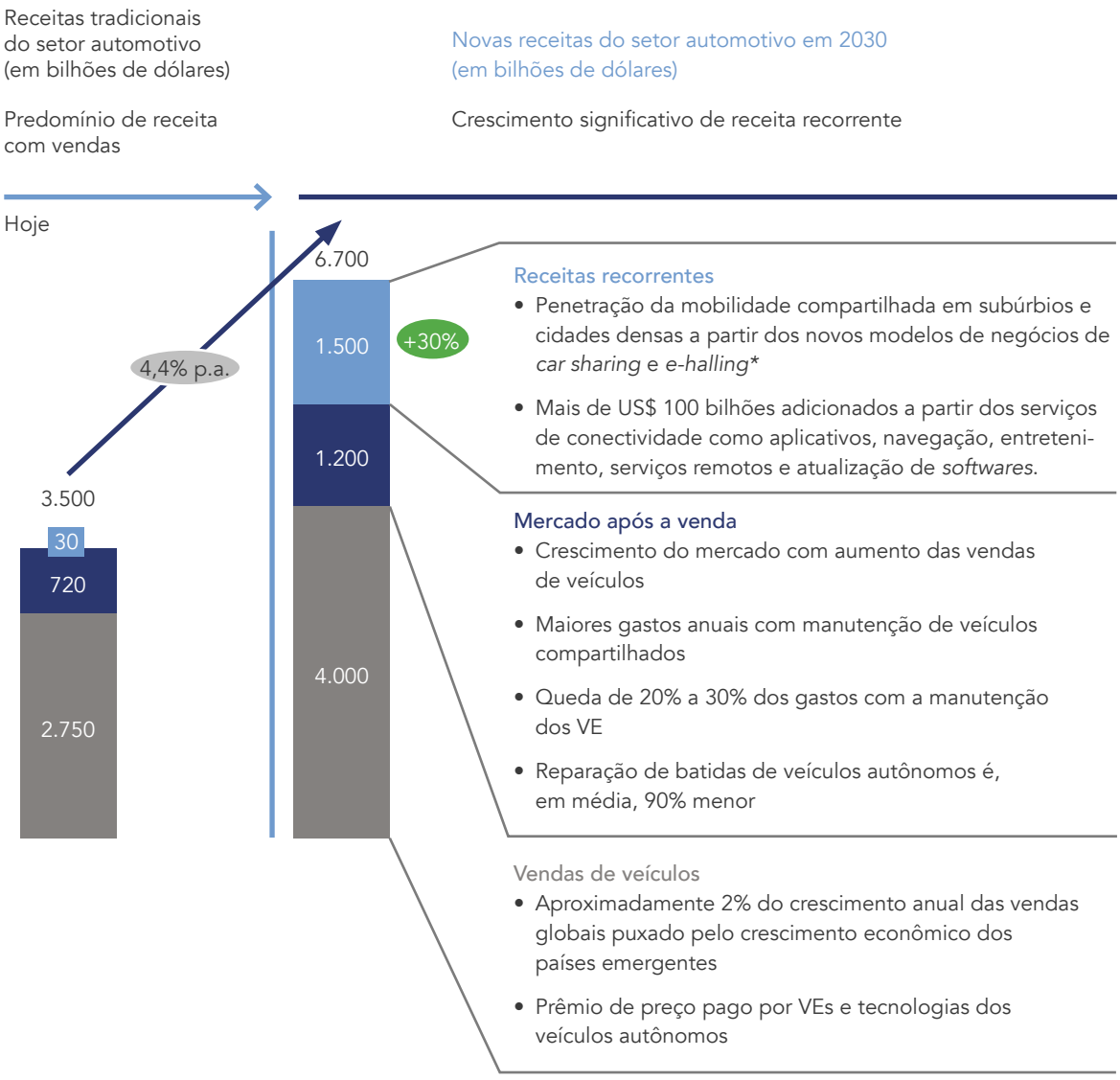
Todas essas novas oportunidades de negócio podem ser responsáveis por expandir significativamente as receitas do setor automotivo, puxadas principalmente por serviços de mobilidade *on demand* e de *data services*. O aumento das receitas do setor deve chegar a 30%, ou US$ 1,5 trilhões, em 2030. Essa nova configuração da indústria automotiva já poderá alcançar um crescimento anual de 4,4% até 2030 (superior aos 3,6% de 2010 a 2015).[103]

Apesar de todas essas novas oportunidades de negócios para a indústria automotiva do futuro, no curto prazo, contudo, os veículos elétricos ainda estão longe de serem uma opção lucrativa para as montadoras de automóveis, principalmente devido aos custos das baterias. Gastos em pesquisa e desenvolvimento também são elevados, assim como o custo de uma forte mudança estrutural dessas empresas, que, durante décadas, estiveram voltadas para a produção de veículos à combustão interna. As empresas que já vêm investindo em carros elétricos, como Tesla, General Motors e Renault-Nissan, ainda não obtiveram lucro na venda desses modelos[104]. Outras montadoras, contudo, como BMW e Daimler, têm vantagens nessa transição por já terem como foco o mercado de carros de luxo. O mesmo não ocorre para aquelas em-

102. KPMG, 2017.
103. McKinsey&Company, 2016.
104. *The Economist*, 2017.

FIGURA 18: CRESCIMENTO DAS VENDAS NO SETOR AUTOMOTIVO

As receitas do setor automotivo irão crescer e diversificar-se com a entrada de novos serviços, transformando-se em um mercado de aproximadamente US$ 1,5 trilhões



*Não inclui taxis tradicionais nem alugueis de veículos.

Fonte: McKinsey&Company, 2016.

presas que produzem veículos mais populares, como Fiat e Peugeot, que ainda têm um longo caminho a percorrer para conseguirem produzir veículos elétricos a preços acessíveis aos seus consumidores.

Não obstante esses fatores, as empresas do setor devem pensar no longo prazo. Futuramente, há grandes chances de os veículos elétricos serem mais lucrativos que os à combustão interna, conforme caiam os preços das baterias. A demanda por esses veículos também tende a crescer, devido a todos os fatores apresentados: preocupação com o meio ambiente e mudança no comportamento dos consumidores, que passarão a enxergar o carro como mais um meio de transporte. Além disso, quando os preços das baterias forem competitivos o suficiente e as opções de recarga pública e rápida crescerem, será muito mais vantajoso para o consumidor adquirir um carro elétrico, dada sua maior eficiência. Entretanto, até chegar nesse estágio, é preciso passar por uma difícil e custosa transição, que requer que as empresas do setor cada vez mais busquem se inovar, investindo em modelos de negócio que incorporem todas essas mudanças que a sociedade está demandando. Mas, por mais complicada que esta transição possa parecer, a escolha por "parar no tempo" pode ser desastrosa.

Os principais impactos diretos e indiretos resultantes da expansão dos VEs

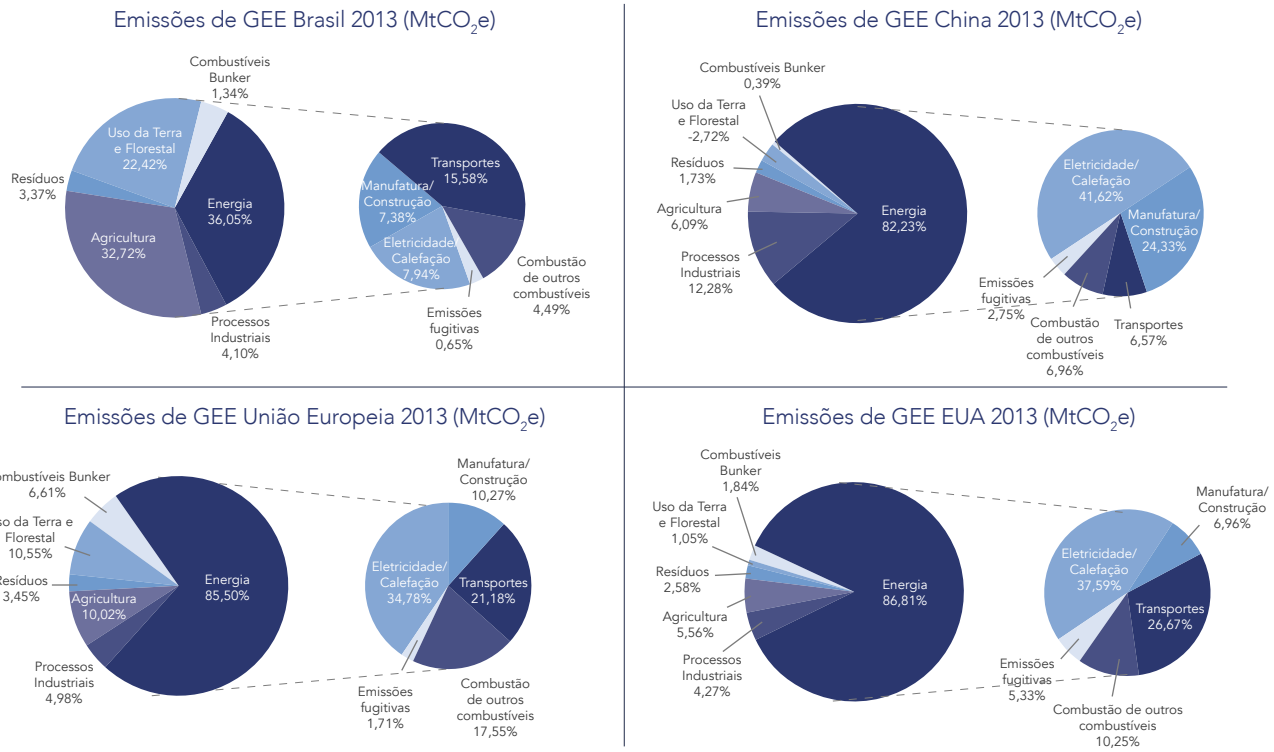
Além do setor automobilístico e de mobilidade como um todo, a inserção dos veículos elétricos nas ruas e estradas do planeta gera vários impactos sobre diferentes setores, como o ambiental e energético – neste último, impactando os setores elétrico e de combustíveis fósseis. Neste capítulo, analisaremos os efeitos diretos e indiretos da entrada e desenvolvimento dos VEs sobre esses setores.

IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE

Os veículos elétricos são vistos como uma maneira de descarbonizar o setor de transportes mundial. Como podemos ver na Figura 19, o setor de transportes[105] é responsável por parte considerável das emissões brasileiras, europeias e americanas – sendo, dentro do setor energético, aquele que mais emite GEE no Brasil. Nos EUA, o setor de transportes ultrapassou o setor elétrico em emissões de GEE no início de 2016 e vem se mantendo na dianteira desde então devido à expansão das

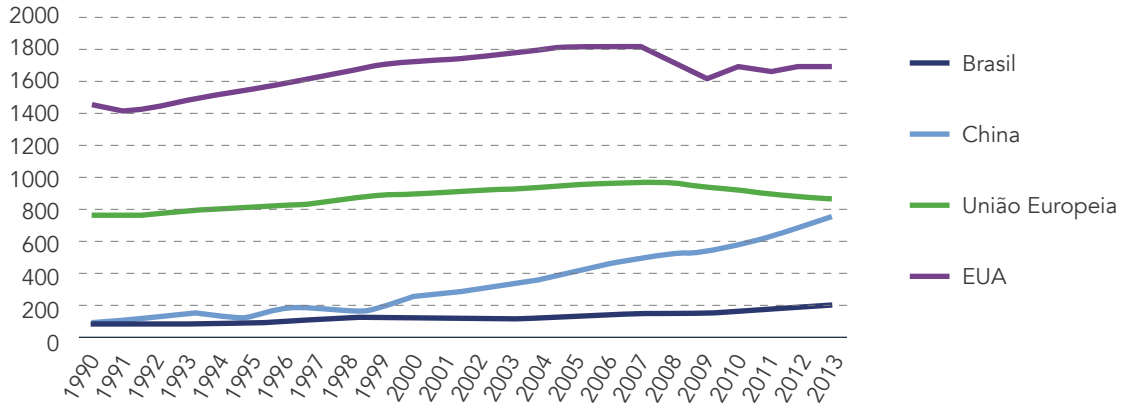
105. Dentro do subsetor de transportes, para todos os países considerados, transporte rodoviário é o que mais emite. Para mais informações, vide IEA, *Energy Balance Flows*: http://www.iea.org/Sankey/#?c=World&s=Final%20consumption.

FIGURA 19: EMISSÕES TOTAIS DE GEE – BRASIL, CHINA, UNIÃO EUROPEIA[106] E EUA, 2013



Fonte: elaboração própria a partir de dados do *World Resources Institute*, CAIT Climate Data Explorer, 2017.

FIGURA 20: EMISSÕES DE GEE NO SETOR DE TRANSPORTES ($MTCO_2$)



Fonte: elaboração própria a partir de dados do *World Resources Institute*, CAIT *Climate Data Explorer*, 2017

106. Inclui os 28 Estados-membro da União Europeia: Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Países Baixos, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Romênia e Suécia.

fontes renováveis na geração elétrica[107]. Na China, embora não seja parte significativa das emissões totais do país, o setor de transportes vem emitindo cada vez mais, como visto na Figura 20. Essa tendência ascendente também é observada no Brasil, enquanto que a União Europeia já vem conseguindo reduzir as emissões ligadas a esse setor.

A expansão da mobilidade elétrica pode auxiliar na redução das emissões de GEE no setor de transportes dado que os veículos elétricos não emitem ou emitem muito menos gases de escape quando comparados aos VCI[108]. Como mencionado no Capítulo 3, em vários países do mundo existem metas de eficiência de combustíveis com vistas à redução de emissões e os VEs muito têm a contribuir para que se atinjam esses objetivos. Uma maneira de mensurar como se daria essa contribuição é por meio de um índice chamado *EV gap*, que se refere às vendas de veículos elétricos necessárias para atingir as metas de eficiência energética para automóveis de passageiros. Sem considerar outras tecnologias que promovem melhoria na eficiência de combustíveis[109], seriam necessários aproximadamente mais 1,4 milhões de VEs na Europa (10% das vendas em 2020), 900 mil nos EUA (11% das vendas em 2020) e 5,3 milhões na China (22% das vendas em 2020) para se cumprir as metas de emissões em cada país/ região até 2020. Assumindo uma demanda constante, as vendas de VEs no mercado europeu, por exemplo, teriam que crescer 60% ao ano no período. A taxa atual anual de crescimento na venda de VEs no EUA é de 40%, por exemplo. Logo, com mais estímulo, como aqueles descritos no Capítulo 3, essa meta de crescimento poderia ser atingida.[110]

A redução da poluição de escape dos veículos impacta positivamente na saúde da população. Em estudo de 2013, foi estimado que a poluição causada pelo setor de transporte rodoviário dos EUA é responsável por aproximadamente 58 mil mortes prematuras por ano. A efeito de comparação, no ano de 2015, acidentes de carro foram responsáveis por 43.500 fatalidades nos EUA[111]. No Reino Unido, estudo semelhante estima que a poluição atmosférica causada pelo transporte rodoviário mata aproximadamente 5 mil pessoas por ano – novamente, ao se comparar, acidentes rodoviários no país mataram 1.850 pessoas em 2010[112]. Dessa forma, veículos de emissão zero potencialmente evitariam todas essas mortes. Entretanto, como já mencionado no Capítulo 3, a geração da eletricidade que abastece os veículos elétricos também deve emitir zero poluentes, ou o mínimo possível, para que o efeito dos VEs sobre a emissão de GEE seja, de fato, significante.

106. Inclui os 28 Estados-membro da União Europeia: Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Países Baixos, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Romênia e Suécia.
107. *U.S. Energy Information Administration, February 2017 Monthly Energy Review.*
108. Vide Capítulo 3.
109. Como melhorias aerodinâmicas e no peso dos veículos e combustíveis alternativos, por exemplo.
110. *World Energy Council*, 2016.
111. Caiazzo et al., 2013.
112. Yim and Barrett, 2012.

Impactos no meio ambiente da exploração de lítio para a fabricação de baterias

Como mencionado no Capítulo 2, devido aos avanços tecnológicos das últimas décadas e às possibilidades de avanço futuro que permitirão menores custos e melhoria de desempenho, as baterias de íons de lítio têm sido as mais indicadas para desenvolvimento dos veículos elétricos leves. Como consequência, o mercado extrativista do lítio tem se desenvolvido rapidamente nos últimos anos. Comparando-se a preços de 2014, o preço *spot* do carbonato de lítio cresceu, em 2015, entre 10% e 15%[113], esperando-se crescimento de 75% no decênio até 2025 (Figura 21). Prevê-se que a demanda pela *commodity* cresça em 20 mil toneladas por ano até 2021[114], com a oferta também crescendo para suprir as necessidades do mercado – que incluem não apenas veículos elétricos, mas também baterias que são utilizadas como recurso energético distribuído por residências e distribuidoras de eletricidade. Atualmente, o mercado extrativista da *commodity* é dominado por quatro empresas[115], se concentrando na Austrália e América do Sul (no chamado "triângulo do lítio", formado por Chile, Bolívia e Argentina – que, devido à remoção de barreiras para extração pelo governo Macri, até 2020, pode vir a suprir metade do lítio utilizado no mundo[116]). As reservas provadas de lítio se concentram nesses países e nos EUA e China (Figura 21).

Dado o crescimento anual projetado para a *commodity*, pode-se perguntar se existe lítio suficiente na natureza para satisfazer toda essa demanda. Estudos indicam que sim, mas mais investimentos em infraestrutura de extração e refino são necessários. A taxas de produção atuais, produtores existentes têm mais de 70 anos de reservas disponíveis,

113. Crabtree, 2016.
114. Em 2014, a demanda por lítio foi de 27 mil toneladas. Fonte: *Goldman Sachs Global Investment Research*, 2015.
115. Sanderson, 2016.
116. Attwood and Gilbert, 2017.

com aproximadamente o triplo desta capacidade disponível em recursos provados que ainda não estão sendo explorados. Semelhante ao petróleo, a extração de lítio se tornará economicamente viável a preços mais altos (ou seja, a curva de custo de exploração é acentuada) para suprir novas demandas. A reciclagem de lítio também é possível no futuro, como veremos a seguir[117].

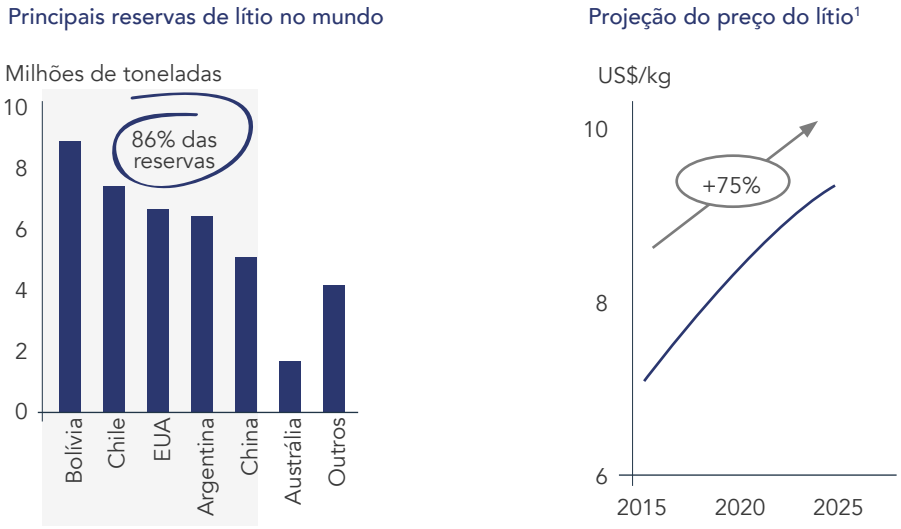
Qual seria o impacto ambiental da exploração de lítio? O lítio é um metal raro, cuja exploração libera toxinas que são danosas à saúde dos mineradores e ao meio ambiente. Sua extração ocorre em pequenas quantidades e em locais de difícil acesso, sendo necessário um grande esforço de mineração para se conseguir pequenas quantidades do metal. Os resíduos da extração são, geralmente, liberados na natureza[118].

A atividade de mineração também possui emissões "escondidas". Quanto mais difícil, maior a possibilidade de a extração requerer equipamentos potentes, que consomem energia nem sempre de fontes renováveis. Como um todo, dependendo do modelo, estima-se que um VE emite entre 15% a 68% mais gases de efeito estufa que um veículo convencional durante sua produção – esta desvantagem, contudo, é superada após a utilização do veículo dentre 6 a 18 meses, dependendo de como a eletricidade que o abastece é gerada, e dura pelo restante da sua vida útil. No final desta, VEs emitem aproximadamente metade da quantidade de GEE que veículos à combustão interna[119].

Por fim, os componentes das baterias podem ser reciclados no final da vida útil dos veículos – atividade que vem, cada vez mais, se desenvolvendo à medida que o mercado de carros elétricos evolui[120] e que ocorra uma maior padronização mundial dos componentes das baterias[121]. Além disso, a bateria como um todo pode ser reutilizada em outros veículos elétricos ou como recurso energético distribuído de armazenamento de energia em residências e na rede elétrica[122] – uma vertente que pode, inclusive, dar desenvolvimento a novas oportunidades de negócios[123].

117. *Goldman Sachs Global Investment Research*, 2015.
118. Wade, 2016.
119. Nealer et al., 2015.
120. Wade, 2016.
121. *Urban Foresight Limited,* 2014.
122. *Ibid.*
123. *Amsterdam Round Tables & McKinsey&Company,* 2014.

FIGURA 21: PRINCIPAIS RESERVAS NO MUNDO E PROJEÇÃO DO PREÇO DO LÍTIO ATÉ 2025



[1]Considerando 99.5% de carbonato de lítio.

Fonte: Lins e Morais, 2016.

IMPACTOS NO SETOR ENERGÉTICO

O desenvolvimento dos veículos elétricos impacta o setor energético de várias formas. Primeiramente, a partir do aumento na demanda de eletricidade e da redução na demanda por combustíveis fósseis para abastecer os veículos. Este último fator, aliado à expansão das energias renováveis, que são geralmente produzidas localmente, tem potencial para reduzir a dependência na importação de combustíveis fósseis, contribuindo para o aumento da segurança energética de um dado país[124].

Além disso, os veículos elétricos podem ser utilizados como recurso energético distribuído

124. Vide: Pressman, 2016.

ao armazenar a eletricidade gerada por fontes externas nas suas baterias e retornar essa energia para o *grid* elétrico – ou seja, carregando o veículo fora do horário de pico e despachando eletricidade do veículo no horário de pico. Dependendo do modelo, os próprios veículos elétricos podem ser fontes de geração distribuída – a energia gerada por VEs híbridos ou a célula de combustível (FCEV ou SOFC) pode ser consumida pelo veículo ou injetada no *grid* elétrico. Combinada à tarifação dinâmica e redes inteligentes, a energia armazenada nas baterias também pode ser utilizada em mecanismos de resposta da demanda[125]. Ademais, a associação dos VEs ao *grid* elétrico pode auxiliar a compensar a variabilidade de fontes renováveis intermitentes. Nesta seção, discutiremos todos esses impactos dos veículos elétricos no setor energético, começando com o setor elétrico e finalizando com o setor de combustíveis fósseis.

SETOR ELÉTRICO

Utilizamos equipamentos que consomem eletricidade constantemente, desde geladeiras até carregadores de celular. Neste sentido, o veículo elétrico é apenas "mais um eletrodoméstico" a consumir eletricidade da rede elétrica. Estudos indicam que, no agregado, os impactos dos VEs no *grid* são administráveis – em 2021, se 10% dos carros nas estradas da Califórnia, Noruega e Japão forem elétricos, o aumento na demanda de eletricidade será de, respectivamente, 8%, 2% e 3,4%[126]. Entretanto, dependendo de onde e como os VEs são recarregados, os impactos podem ser mais expressivos – se vários consumidores em um mesmo bairro instalarem sistemas de recarga rápida em suas residências, por exemplo, a demanda de eletricidade crescerá significativamente naquela região. O sistema elétrico deve, portanto, estar preparado para suprir a demanda destes "*clusters*" de VEs, dimensionando a rede para atender à essa maior potência, sendo este um impacto muito mais significativo do que o crescimento da demanda agregada de eletricidade.

Um gerenciamento adequado da recarga desses veículos tem como variável central uma infraestrutura de redes inteligentes que informem onde os "*clusters*" de VEs estão e que incentivem seus proprietários a recarregarem os veículos em horários fora de ponta – mecanismos de resposta da demanda, utilizando tarifação dinâmica, cumprem esse papel. Distribuidoras da Califórnia[127], por exemplo, já estão atualizando suas redes elétricas para melhor administrar não apenas o aumento no consumo de eletricidade – que pode ser causado pelos VEs ou por

125. Vide Caderno FGV Energia – Recursos Energéticos Distribuídos (2016) para uma discussão detalhada sobre gerenciamento e resposta da demanda.
126. Barnard, 2016.
127. Bullis, 2013b.

outros equipamentos que consomem cada vez mais energia devido à sua maior conectividade – mas também por causa do desenvolvimento de tecnologias que demandam maior interface com a rede, como a geração distribuída.

As redes inteligentes também possibilitarão a utilização dos veículos elétricos em sistemas *vehicle to grid* (V2G), no qual o veículo injeta a energia armazenada nas suas baterias na rede elétrica – contraponto ao sistema *grid to vehicle* (G2V), que consiste no mero carregamento dos veículos a partir da rede elétrica[128]. A injeção de energia na rede pode ocorrer em momentos de pico de demanda, com o VE contribuindo, assim, para suavizar as necessidades energéticas de uma dada residência nos momentos mais críticos do dia[129]. Aliado às redes inteligentes, um sistema mais complexo de gerenciamento da demanda pode ser desenvolvido, no qual as distribuidoras avisem aos consumidores quais são os horários mais vantajosos para injetar energia na rede ou carregar os carros. À medida que mais VEs estiverem disponíveis, o sistema V2G pode se tornar, de fato, um recurso energético distribuído a ser despachado pelo operador do sistema em momentos críticos de demanda[130].

Essa funcionalidade de armazenamento de energia também tem grande utilidade ao ser associada à geração renovável intermitente, com a energia que é gerada nos momentos de maior irradiação solar ou disponibilidade de ventos sendo armazenada para utilização posterior. A utilização frequente das baterias dos carros como armazenamento de energia pode, contudo, impactar seu desempenho[131]. Além disso, para ser utilizada com este fim, se a energia a ser armazenada fosse proveniente de fonte solar, o carro teria que ficar parado durante o dia – o que pode ser desvantajoso para o consumidor. Dessa forma, a utilização das baterias dos VEs ocasionalmente seria mais adequada.

Em suma, se bem administrado, os veículos elétricos trazem mais vantagens que desvantagens para a rede elétrica, especialmente em um cenário no qual diversas mudanças já estão ocorrendo na maneira como os consumidores se relacionam com a eletricidade, administran-

128. GESEL, 2014.
129. Os VEs podem ser utilizados, por exemplo, para suavizar a chamada "curva do pato", que é o desequilíbrio entre a produção por fontes renováveis, como a solar, e o consumo de pico, ocorrendo quando a carga líquida diminui no meio do dia e aumenta à noite, criando uma rampa mais longa e mais íngreme após o pôr do sol, exigindo assim uma resposta rápida dos geradores elétricos. Para maiores detalhes, vide: Trabish, 2016.
130. Uma alternativa ao sistema *vehicle to grid* é o sistema *vehicle to home* (V2H), no qual a energia armazenada nos VEs é utilizada como *backup* local para residências ou condomínios, como em um gerador local de energia (GESEL, 2014).
131. Usos menos intensos em sistemas V2G depreciam a bateria do carro a taxas mais baixas. Para uma discussão mais aprofundada, vide Ribberink et al., 2015.

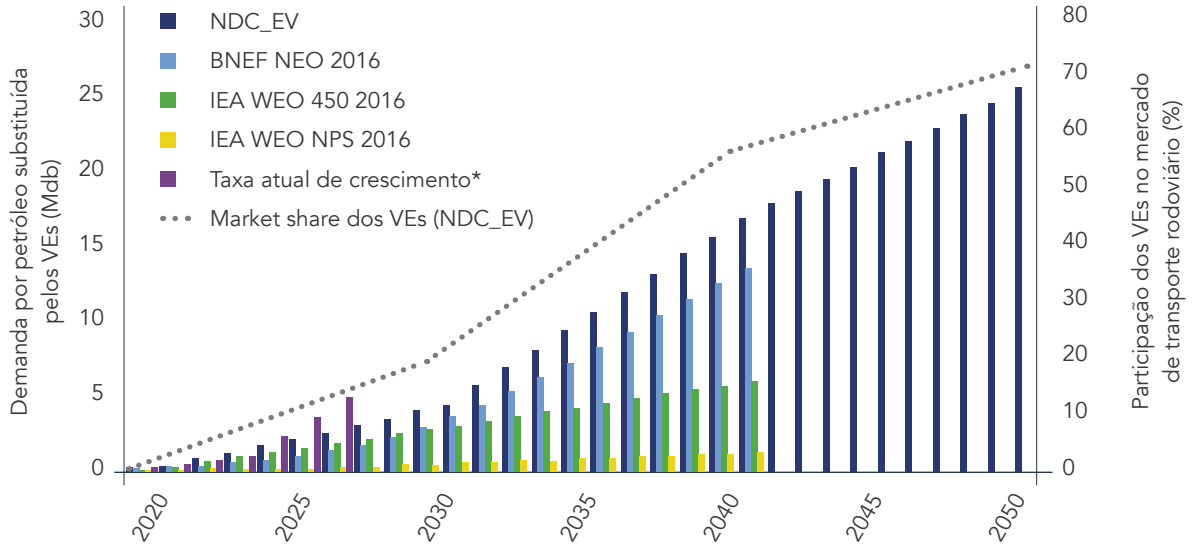
do mais ativamente sua demanda e até gerando sua própria energia. Os VEs se tornam, portanto, mais uma ferramenta a ser utilizada pelo consumidor de eletricidade do futuro.

SETOR DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

A potencial futura utilização da eletricidade no abastecimento de veículos terá um impacto sobre o setor de combustíveis fósseis. Mas qual impacto, exatamente?[132] Por exemplo, a *Bloomberg New Energy Finance* (BNEF) estima que, se o aumento na demanda por VEs continuar a crescer à taxa atual de 60% ao ano, em 2023, aconteceria uma nova "crise do petróleo", com a demanda por este energético sofrendo um impacto equivalente àquele que causou a crise de 2014 – que foi causada por uma sobre oferta de 2Mbd na produção[133]. Numa análise mais conservadora, adotando uma taxa de crescimento de 35% ao ano, este "choque do petróleo" ocorreria em 2028. Outras instituições também realizaram projeções sobre quando a demanda por petróleo seria afetada pelos carros elétricos (Figura 22). A IEA, por exemplo, no seu *"450 Scenario"*[134] do *World Energy Outlook 2016* estima que os carros elétricos serão responsáveis pela substituição de 2Mbd de petróleo por volta de 2027, mas no seu *New Policies Scenario* esse valor não é atingido nem em 2040. Já no cenário projetado pela *Carbon Tracker Initiative* (NDC_EV), este limite é atingido em 2025. No *Energy Outlook 2017* da BP *(British Petroleum)*, 1,2 Mbd serão substituídos pela maior adoção de VEs apenas em 2035[135].

132. A adoção de uma nova tecnologia ao longo do tempo segue uma trajetória chamada "*The S curve*" ("curva do S", Randall, 2016). Ainda não há consenso, contudo, sobre como será a curva do S para a adoção dos carros elétricos, cuja trajetória pode ser influenciada pelo grande número de VCIs ainda em estoque quando os VEs começarem a se tornar *mainstream*.
133. A crise de sobre oferta de 2014, que levou à queda nos preços, foi causada por 2 milhões de barris de óleo por dia (Mdb) extras sendo injetados no mercado. A análise da BNEF prevê que uma substituição na demanda de óleo análoga a 2Mbd, causada pela maior adoção de VEs, acontecerá em 2023, se a adoção continuar à atual taxa de crescimento de 60% ao ano. Fonte: Randall, 2016.
134. Cenários do *World Energy Outlook*, da IEA: *New Policies Scenario* - cenário base da IEA. Leva em consideração os compromissos políticos e os planos gerais anunciados pelos países, incluindo compromissos nacionais para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e planos para eliminar progressivamente os subsídios à energia fóssil, mesmo que as medidas para implementar estes compromissos ainda não tenham sido identificadas ou anunciadas; *Current Policies Scenario* - não pressupõe mudanças nas políticas a partir do ponto médio do ano de publicação (anteriormente denominado Cenário de Referência); *450 Scenario* - apresenta uma trajetória energética coerente com o objetivo de limitar o aumento global da temperatura para 2°C, limitando a concentração de gases do efeito estufa na atmosfera para cerca de 450 partes por milhão de CO_2.
135. *Carbon Tracker Initiative & Grantham Institute*, 2017.

FIGURA 22: COMPARAÇÃO DAS DIFERENTES PROJEÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO DA DEMANDA DE PETRÓLEO DEVIDO À MAIOR ADOÇÃO DE CARROS ELÉTRICOS



*"Taxa atual de crescimento" é estabelecida pelo BNEF e assume crescimento anual de 60% das vendas de VEs. Esta informação pode ser encontrada em: https://www.bloomberg.com/features/2016-ev-oil-crisis/. Projeções da IEA mostradas na figura assumem interpolação linear de dados no WEO 2016. Para mais informações, vide *Carbon Tracker Initiative*, 2017.

Fonte: *Carbon Tracker Initiative*, fevereiro de 2017.

Ainda segundo as projeções da *Carbon Tracker Initiative*, assumindo que atinjam paridade de custo com VCIs em 2020, VEs se tornarão responsáveis por aproximadamente 70% do mercado de transporte rodoviário em 2050[136]. Essa suposição é das mais otimistas apresentadas. Para a BNEF, com a paridade de custos entre VEs e VCIs ocorrendo em 2022, 35% dos carros vendidos em

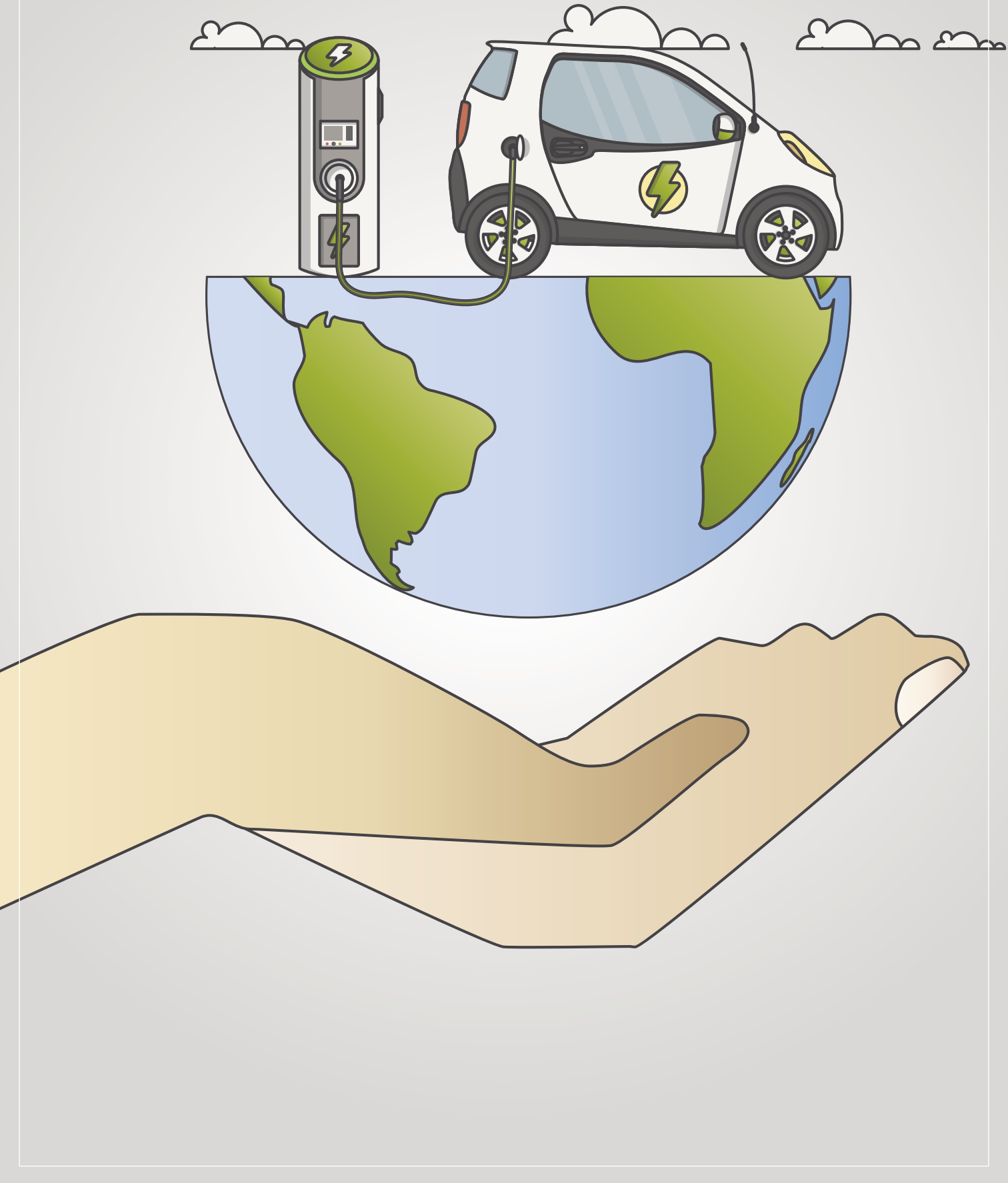
136. A questão da paridade de custos é importante porque os VEs têm maior eficiência energética que os VCIs. Dessa forma, uma vez que os dois tipos de veículos atinjam o mesmo valor, será mais vantajoso para o consumidor comprar um carro elétrico – desde que autonomia e disponibilidade de infraestrutura de recarga também não sejam problemas.

Formuladores de políticas públicas devem analisar todas essas projeções de crescimento dos VEs e seus impactos em todos os setores envolvidos, levando em consideração a evolução não só de custos, mas também de tecnologias e novos modelos de negócios.

2040 terão um *plug*[137]. A IEA prevê que 8% dos veículos de passageiros nas estradas em 2040 serão elétricos no seu *New Policies Scenarios* – este valor no *450 Scenario* é cinco vezes mais alto[138].

Ao ponderar as conclusões desses cenários, contudo, é preciso ser conservador devido a alguns fatores: apesar das estimativas existentes, os fabricantes ainda não conseguiram reduzir os preços das baterias; ainda não existem eletropostos de recarga rápida suficientes para viagens de longa distância; muitos novos consumidores de veículos em países como China e Índia provavelmente ainda optarão por VCIs; e a crescente demanda por petróleo dos países em desenvolvimento pode reduzir o impacto da maior adoção dos carros elétricos, especialmente se os preços do petróleo voltarem a patamares de US$20/barril e permanecerem assim. Por outro lado, o desenvolvimento do mercado de mobilidade como serviço, no qual veículos são utilizados com maior frequência, fazendo com que a utilização de carros elétricos seja mais vantajosa devido a sua maior eficiência, tem potencial para acelerar sua adoção[139]. Em suma, formuladores de políticas públicas devem analisar todas essas projeções de crescimento dos VEs e seus impactos em todos os setores envolvidos, levando em consideração a evolução não só de custos, mas também de tecnologias e novos modelos de negócios.

137. Randall, 2016. Nesta análise, o principal fator listado que ainda não ocorreu para maior adoção dos VEs é a queda no preço das baterias – cujo custo deve cair abaixo de US$ 100/kWh para que ocorra a massificação, como explicado no Capítulo 2.
138. *World Energy Outlook*, IEA, 2016. De acordo com o *Global EV Outlook 2016*, "veículos elétricos" para a IEA são BEVs e PHEVs.
139. *Ibid.*



Mobilidade elétrica no Brasil: oportunidades e desafios

Do mesmo modo que no resto do mundo, preocupações com preço dos combustíveis, eficiência energética e questões ambientais, assim como a busca por novos modelos de negócios, estão presentes no Brasil, levando à procura por veículos mais limpos e eficientes nas últimas décadas. Apesar dos veículos híbridos e elétricos puros no país ainda responderem por uma parcela muito pequena da frota total, algumas políticas públicas de estímulo a essa tecnologia, assim como de incentivos para maior inserção desses veículos, já estão sendo implementadas. Entretanto, desafios técnicos e regulatórios, bem como os impactos da expansão da mobilidade elétrica sobre o setor energético nacional, podem trazer limitações à maior penetração dos VEs na frota brasileira.

Considerando o setor de energia brasileiro, as atividades ligadas ao subsetor de transportes respondiam, em 2014, por 46% das emissões de GEE[140], de modo que a eletrificação da frota teria importante papel para a redução das emissões totais deste setor. E no caso brasileiro, onde a geração hídrica tem grande participação na matriz elétrica, os VEs se mostram ainda mais vantajosos para esse fim do que em países cuja geração elétrica se dá majoritariamente a partir de combustíveis fósseis[141], pois, como visto no Capítulo 3, as emissões *upstream* também devem ser levadas em conta para os VEs.

140. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) e Observatório do Clima, 2016.
141. EPE, 2016a.

Em agosto de 2016 a frota de veículos elétricos puros e híbridos no Brasil era de apenas 2,5 mil unidades[142], ainda extremamente pequena, tendo em vista os mais de 41,5 milhões de veículos em circulação no país. De acordo com projeções realizadas pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE)[143], os híbridos convencionais representarão 2,5% dos licenciamentos em 2026 e 0,4% da frota para este mesmo ano. No caso dos veículos puramente elétricos, a EPE ainda não realizou projeções visto o número esperado muito reduzido de veículos com esta tecnologia nas próximas décadas.

Carros elétricos no mercado brasileiro

Os carros elétricos no mercado brasileiro ainda são produtos ao alcance apenas das classes A e B. Mesmo veículos que, no contexto mundial, não são classificados em categorias *premium*, chegam ao país em uma faixa de preços que não compete com os modelos populares à combustão interna devido aos custos de fabricação ainda elevados e valores associados à logística e importação – embora desde 2015 já existam subsídios para a importação equivalente a 100% de isenção de Imposto de Importação para modelos totalmente elétricos com autonomia de pelo menos 80 quilômetros, além de alíquota de 0% a 7%, de um total de 35%, para os modelos híbridos conforme porte e eficiência. O mercado nacional atual ainda apresenta baixa variedade de modelos dados os volumes praticados. A seguir é apresentado um panorama dos modelos disponíveis no País.

Praticamente todas as montadoras têm trabalhado seus modelos buscando o mercado de massas, como o Nissan Leaf, o Renault Zoe ou o GM Bolt, mas ainda é improvável que um modelo mais competitivo que o Toyota Prius atinja o mercado brasileiro no curto prazo. Várias montadoras anunciaram o lançamento de modelos no mercado brasileiro em 2013 e 2014, com posterior cancelamento, contudo, em função da curva de adoção encontrada, do cenário político internacional e do cenário econômico brasileiro.

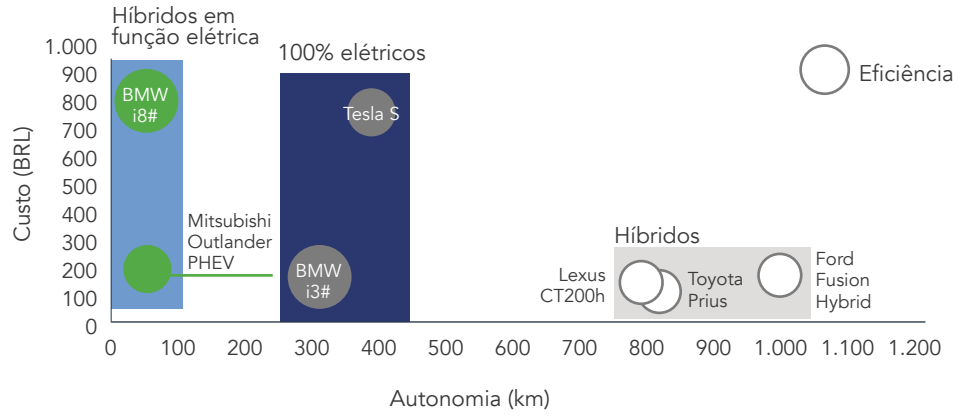
142. Associação Brasileira do Veículo Elétrico - ABVE (http://www.abve.org.br/noticias/brasil-tem-frota-de-so-25-mil-carros-eletricos-e-hibridos)
143. EPE, 2016b.

Sobre o potencial mercado brasileiro para carros elétricos, apenas 2,2 milhões de brasileiros declararam renda bruta superior a 20 salários mínimos (dados da Receita Federal, 2013). Assumindo-se uma média de 1 veículo para cada habitante nesta faixa de renda, com uma taxa de renovação de cinco anos, além de se considerar que um terço destes indivíduos optariam por veículos elétricos, chegaríamos a 150 mil licenciamentos em um ano – aproximadamente 7% dos licenciamentos registrados em 2016, um ano de crise econômica. Dada a baixa probabilidade de redução nos preços, incentivos para carros elétricos são necessários para se imprimir uma taxa de adoção apreciável.

A análise de viabilidade financeira de um carro elétrico, no entanto, deve considerar maior eficiência em termos de custo por quilômetro rodado e possivelmente menor custo de manutenção, não se devendo limitá-la a uma comparação direta entre o valor de aquisição e o custo de renovação das baterias. Com a redução dos custos deste componente e o alinhamento de incentivos, o mercado pode, aos poucos, se tornar mais massificado.

FIGURA 23: OS MODELOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL ESTÃO DISPONÍVEIS EM 3 GRUPOS

Mapas dos veículos ofertados no Brasil



O BRASIL APRESENTA ALGUNS MODELOS DE CARROS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS, MAS AINDA A CUSTOS SUPORTADOS APENAS PELAS CLASSES A E B

CARACTERÍSTICAS DE MODELOS PRESENTES NO MERCADO BRASILEIRO

Toyota Prius – O "popular" do mercado brasileiro

Tecnologia	Híbrido
Comentários Gerais	• Até 50km/h funciona exclusivamente com o motor elétrico • A durabilidade da bateria é estimada em 10 anos e uma nova custa em torno de BRL 10mil

Preço	BRL 120 mil
Autonomia	613 km
Eficiência	6,2 km/BRL

Lexus CT200h – Um pouco mais *premium*

Tecnologia	Híbrido
Comentários Gerais	• Disponível em 2 modelos o de entrada custa BRL 135 mil • Uma versão de maior luxo, mas com uma mecânica muito similar ao Toyota Prius

Preço	BRL 150 mil
Autonomia	790 km
Eficiência	4,8 km/BRL

Ford Fusion Hybrid – O sedã híbrido

Tecnologia	Híbrido
Comentários Gerais	• Modelo é importado do México. Possui disponibilidade apenas na versão mais completa • A bateria possui 8 anos de garantia e a sua troca fora deste prazo custa BRL 36 mil

Preço	BRL 160 mil
Autonomia	1000 km
Eficiência	4,6 km/BRL

BMW i3 – O 100% elétrico mais econômico do país

Tecnologia	100% Elétrico
Comentários Gerais	• O único vendido no Brasil com motor 100% elétrico • Possui pequeno motor de 2 cilindros para recarregar a bateria e um tanque de 9 litros

Preço	BRL 170 mil
Autonomia	312 km
Eficiência	11,8 km/BRL

Mitsubishi Outlander PHEV – O SUV híbrido

Tecnologia	Híbrido
Comentários Gerais	• Versão híbrida do maior SUV da Mitsubishi que possui a opção de utilizar um veículo 100% elétrico • Os dados de autonomia e consumo são apresentados de acordo com o modo 100% elétrico

Preço	BRL 205 mil
Autonomia	62 km
Eficiência	6,4 km/BRL

Tesla S – O pioneiro 100% elétrico

Tecnologia	100% Elétrico
Comentários Gerais	• Vendas iniciadas em 2016 em SP • Os dois motores combinados atingem 100km/h em 4,4 s • Os dados de autonomia e consumo são apresentados de acordo com o modo 100% elétrico

Preço	BRL 750 mil
Autonomia	390 km
Eficiência	7,0 km/BRL

BMW i8 – Um esportivo para finalizar

Tecnologia	Híbrido + Função Elétrica
Comentários Gerais	• Possui a opção de utilizar um veículo 100% elétrico • Os dois motores combinados atingem 100km/h em 4,4 s • Os dados de autonomia e consumo são apresentados de acordo com o modo 100% elétrico

Preço	BRL 800 mil
Autonomia	37 km
Eficiência	10 km/BRL

INCENTIVOS PARA OS CARROS ELÉTRICOS NO BRASIL

Comparando-se ao restante do mundo, incentivos e subsídios para estimular a adoção de VEs no Brasil ainda são incipientes – por exemplo, incentivos à compra oferecidos aos consumidores, que são os maiores responsáveis pelo aumento da penetração dos VEs no restante do mundo, não são oferecidos no país. Das iniciativas existentes, contudo, são destaques políticas públicas de incentivo à tecnologia veicular, como o Inovar-Auto e o Inova Energia, além de reduções do Imposto

sobre Produtos Industrializados (IPI) e Imposto de Importação sobre BEVs e híbridos.

O Inovar-Auto, Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores, "estimula a concorrência e a busca de ganhos sistêmicos de eficiência e aumento de produtividade da cadeia automotiva, das etapas de fabricação até a rede de serviços tecnológicos e de comercialização"[144]. O programa visa, dentre outras iniciativas, estimular a maior eficiência energética de diversas tecnologias veiculares: carros com motor a gasolina, a etanol, *flex fuel* e aqueles com propulsão híbrida e elétrica. Apesar de o IPI para veículos híbridos e elétricos puros continuar alto (25%), a busca por uma maior eficiência energética pode ser vista como um incentivo para que essas tecnologias ganhem participação no mercado nacional.

O programa, iniciado em 2013, continuará em vigor até dezembro de 2017[145] – e, a partir deste último ano, veículos que sejam, no mínimo, 15,46% e 18,84% mais econômicos passaram a ter, respectivamente, um abatimento de IPI de 1 e 2 prontos percentuais[146]. É importante ter em mente que o IPI para veículos a gasolina e *flex* varia entre 7% (cilindrada de até 1.0) a 25% (cilindrada acima de 2.0 movido apenas a gasolina). Portanto, apesar das reduções proporcionadas pelo Inovar-Auto, o IPI para os carros elétricos continua elevado, podendo ser considerado uma barreira à disseminação dos mesmos. Uma sugestão seria uma política que atrelasse a alíquota do IPI às emissões e eficiência energética do automóvel para tornar os veículos elétricos mais atrativos.

O Inova Energia, por sua vez, é "uma iniciativa destinada à coordenação das ações de fomento à inovação e ao aprimoramento da integração dos instrumentos de apoio disponibilizados pela Finep, pelo BNDES e pela ANEEL"[147]. Dentre suas finalidades, está o apoio às iniciativas que promovam o adensamento da cadeia de componentes na produção de veículos elétricos, preferencialmente a etanol, e melhoria de eficiência energética de toda a frota veicular do país. Além disso, uma das linhas de pesquisa do programa é composta por essas tecnologias, assim como por eficiência energética.

144. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC): http://www.mdic.gov.br/competitividade-industrial/principais-acoes-de-desenvolvimento-industrial/brasil-produtivo/acordos-internacionais-3. Acessado em 20 de abril de 2017.
145. Novas políticas automotivas para suceder o Inovar-auto já estão sendo consideradas. Vide Reis, 2017.
146. MDIC (http://www.mdic.gov.br/competitividade-industrial/principais-acoes-de-desenvolvimento-industrial/brasil-produtivo/acordos-internacionais-3). Acessado em 20 de abril de 2017.
147. Finep (http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/programas-inova/inova-energia)

Com relação a incentivos de taxação, em 2015, o Imposto de Importação para veículos movidos unicamente a eletricidade ou hidrogênio passou de 35% para zero. A exigência é que esses carros tenham uma autonomia de pelo menos 80 km, podendo se beneficiar unidades desmontadas ou semidesmontadas. Com relação aos híbridos, a alíquota de importação continua situada entre zero e 7%, a depender das características referentes a cilindradas e eficiência energética de cada modelo.

Após essas mudanças, o BMW i3, que chegava ao país custando quase R$ 220 mil, agora pode ser vendido por R$ 170 mil. Outros BEVs, como o Renault ZOE e o Mitsubishi i-MiEV, também são encontrados no país custando em média R$ 130 mil[148]. Grandes reduções foram alcançadas, mas, a esses valores, ainda é possível comprar 5 carros zero de 1000 cilindradas com a quantia necessária para adquirir um carro elétrico.

Além do Imposto de Importação, BEVs e híbridos se beneficiam de isenção do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) em sete estados (Ceará, Maranhão, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e Sergipe), além de redução parcial em três (Mato Grosso do Sul, São Paulo e Rio de Janeiro). Na cidade de São Paulo, BEVs e híbridos também são favorecidos pela isenção do rodízio municipal, que proíbe a circulação de alguns veículos no centro expandido em determinados horários por 1 dia na semana.

Outro incentivo para veículos elétricos é encontrado no BNDES Finame[149], que, ao reduzir incentivos para aquisição de ônibus e caminhões a diesel por grandes empresas, incentiva indiretamente veículos elétricos. O banco irá reduzir gradualmente a participação em TJLP[150] para aquisição desses veículos, que hoje é de no máximo 50%, para no máximo 40% em 2018 e 30% em 2019. Bens com maior eficiência energética se beneficiarão de participação máxima de 80% de TJLP.

Tendo em vista esses exemplos, podemos concluir que mais incentivos podem ser empregados para o desenvolvimento da frota

148. Martins, 2016.
149. Financiamento de aquisição, comercialização e produção de máquinas e equipamentos.
150. Taxa de Juros de Longo Prazo.

de VEs no Brasil. Entretanto, vale ressaltar que, assim como toda medida de política industrial que inclui subsídios, aqueles para desenvolvimento da frota de VEs no Brasil são necessários enquanto sua tecnologia não for competitiva, seus custos forem elevados e a indústria dos carros elétricos ainda não estiver desenvolvida – tendo data para acabar no momento que esta realidade mudar.

IMPACTOS DIRETOS E INDIRETOS DA EXPANSÃO DA MOBILIDADE ELÉTRICA NO BRASIL

Passada a euforia tecnológica inerente à entrada de qualquer nova tecnologia, os carros elétricos deverão ter um impacto no setor energético nacional, de maneira similar ao que é visto em outros países. A magnitude e estratégias para mitigação desses impactos já estão sendo estudados. Nesta subseção, analisaremos como os carros elétricos impactarão os setores energético, ambiental e automotivo nacionais.

Em relação ao setor automotivo no Brasil, embora ainda seja prematuro julgar a prontidão da indústria brasileira para tal, espera-se efeito semelhante ao que virá a ocorrer em outros países, com a cadeia de produção de automóveis se adaptando àquela dos carros elétricos. A criação de uma nova cadeia de valor ligada aos carros elétricos também deve ocorrer no país – a exemplo do que detalhamos no Capítulo 3. Quando essa mudança ocorrerá, contudo, ainda é incerto, esperando-se que, uma vez que haja demanda suficiente, carros elétricos também sejam montados no Brasil.

Quanto ao setor de combustíveis fósseis nacional, o real impacto da expansão da mobilidade elétrica no Brasil dependerá da tecnologia de veículo elétrico a ser adotada. Se for feita a opção pelo elétrico híbrido *flex* ou à célula de etanol, quando essas tecnologias estiverem disponíveis para produção dos VEs, ainda haverá demanda por biocombustíveis. Quanto ao petróleo, dado que se espera que o carro elétrico só começará a ser adotado no país após 2025, não deve haver efeito imediato sobre a demanda desse energético[151].

E os impactos da inserção dos VEs sobre as emissões do setor de transportes nacional? Novamente, a resposta a essa pergunta depende da tecnologia a ser adotada: PHEVs *flex* potencialmente terão emissões negativas, como explicado anteriormente; se a tecnologia a ser priorizada for a de BEVs, a magnitude das emissões dependerá da fonte

151. EPE, 2016a. Além disso, o Brasil é um caso similar à China e Índia, países nos quais ainda existe uma demanda reprimida por automóveis devido a menor condição socioeconômica de parte da população. Uma vez que essa parcela da sociedade possa vir a comprar um automóvel, este será o mais acessível possível – o que, dado o preço da tecnologia existente hoje, ainda é um veículo à gasolina.

elétrica a abastecer os veículos. Em um cenário de geração elétrica predominantemente renovável, o aumento do número de VEs na frota nacional terá potencial para reduzir as emissões de GEE do setor de transportes. Caso contrário, a adoção de VEs pode aumentar ainda mais essas emissões[152].

IMPACTOS NO SETOR ELÉTRICO NACIONAL

Como visto no Capítulo 4, os VEs devem ser tratados como uma carga adicional no sistema e, portanto, como mais um dispositivo que irá interagir com a rede de distribuição. O principal impacto será ocasionado pela maior potência local requerida por esses veículos, enquanto que o acréscimo de demanda causado pela inserção dos mesmos na rede elétrica tem um impacto agregado menor. De acordo com o Relatório de Mobilidade Elétrica desenvolvido pelo Grupo de Estudos do Setor Elétrico da Universidade Federal do Rio de Janeiro (GESEL), em um cenário onde os VEs representem 20% da frota e percorram 8 mil km por ano, com um consumo de 6kWh/km, a demanda desses veículos equivaleria a menos de 2% de toda eletricidade consumida no país em 2011. Com relação à potência, o acréscimo seria de 10%, caso o abastecimento dos veículos ocorresse após as 18 horas[153].

A Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) também realizou simulações da penetração dos veículos elétricos na sua área de concessão. Considerando uma participação na frota veicular total de 4% a 10% até 2030, o consumo de energia elétrica adicional causado por esses veículos aumentaria de 0,6% a 1,6%, o que seria totalmente administrável pelo sistema elétrico brasileiro, que já está acostumado a lidar com oscilações de carga bem maiores do que as previstas nas simulações. No caso do impacto nas redes, simulações computacionais concluíram que a capacidade atual conseguiria suportar essa entrada dos VEs – seria uma situação semelhante à instalação de um novo shopping ou edifício comercial, por exemplo. Uma solução possível para esses novos *clusters* de eletropostos seria o aumento da potência dos transformadores, que já é possível no cenário atual. No futuro, com utilização da tecnologia das redes inteligentes, essa situação seria melhor administrável.

O maior ou menor impacto da mobilidade elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) depende de como se dará a recarga das ba-

152. Brajterman, 2016, chega a essa conclusão em um modelo que considera que o aumento na demanda por eletricidade associada à maior adoção dos carros elétricos no Brasil é suprida por carvão.
153. GESEL, 2014.

terias dos veículos. No caso de recargas desordenadas, muito provavelmente ocorrerá um aumento da demanda de ponta do sistema. Para evitar essa situação, tarifas diferenciadas ao longo do dia serviriam de incentivo para que as recargas fossem realizadas durante a noite, fora do horário de pico da demanda por energia elétrica.

Tendo em vista esses possíveis cenários, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) abriu uma Consulta Pública[154], em abril de 2016, para avaliar a necessidade de regulamentação dos aspectos relativos ao fornecimento de eletricidade para a recarga dos VEs. O objetivo foi promover a discussão com consumidores, representantes das distribuidoras e da sociedade em geral. A questão principal a ser considerada é que, apesar dos veículos elétricos serem cargas móveis, como aparelhos celulares, a potência requerida para carregá-los é muito superior, predispondo, assim, a comercialização de eletricidade para terceiros – que não pode ser realizada no Brasil. Uma audiência pública para tratar dessas questões deve ser realizada ainda no primeiro semestre de 2017.

Além disso, o Congresso Nacional já vem desenvolvendo, desde 2014, um Projeto de Lei[155] que busca instituir às concessionárias de energia elétrica a obrigatoriedade de instalação de eletropostos para VEs em vias públicas, em ambientes residenciais e comerciais, além de obrigar o poder público a desenvolver mecanismos que promovam a instalação, nos prédios residenciais, de tomadas para recarga de VEs nas vagas de garagens.

Dessa forma, embora os veículos elétricos ainda não estejam plenamente desenvolvidos no país, as distribuidoras já estão estudando como se preparar para o impacto que eles causarão nas suas áreas de concessão, assim como estão considerando as oportunidades de negócios resultantes, enquanto que o regulador vem atuando para reduzir a incerteza regulatória para usuários pioneiros e empreendedores interessados na mobilidade elétrica.

OPORTUNIDADES DA INSERÇÃO DOS CARROS ELÉTRICOS NO MERCADO BRASILEIRO

Assim como no restante do mundo, a inserção dos carros elétricos no mercado brasileiro traz oportunidades e desafios aos setores ligados ao seu desenvolvimento. Como visto até então, ao se comparar a outros países, os incentivos para disseminação dos carros elétricos no Brasil não são tão desenvolvidos. Ainda assim, algumas iniciativas por parte de agentes pri-

154. ANEEL, 2016.
155. Câmara dos Deputados, 2014.

vados já estão ocorrendo no país. Algumas distribuidoras de energia estão utilizando o percentual das suas receitas operacionais líquidas, que deve ser destinado para investimentos em P&D[156], para investir em projetos de demonstração de veículos elétricos. Esses projetos[157] envolvem desde o desenvolvimento da tecnologia até estudo dos impactos dos VEs na rede elétrica, passando também pelo desenvolvimento de novos modelos de negócios, como o *car sharing*, em parcerias com empresas (vide BOX).

Mobilidade pública elétrica no Brasil

O formato do ecossistema urbano de mobilidade que se estabelecerá com a inserção da propulsão elétrica no setor automotivo ainda é incerto. No Brasil, a indústria de transformação, de combustíveis e o próprio setor elétrico deverão passar por mudanças relevantes para se acomodar a esta nova realidade. Dentre as alternativas tecnológicas em competição pela predominância estão os veículos totalmente elétricos (BEVs), os híbridos a eletricidade e combustível fóssil (PHEVs), elétricos a células de combustível (FCEV), entre outros. O mais provável é que gradualmente cada região adote soluções que equilibrem vantagens e restrições impostas por seus contextos culturais, econômicos, de transporte, ambientais e industriais.

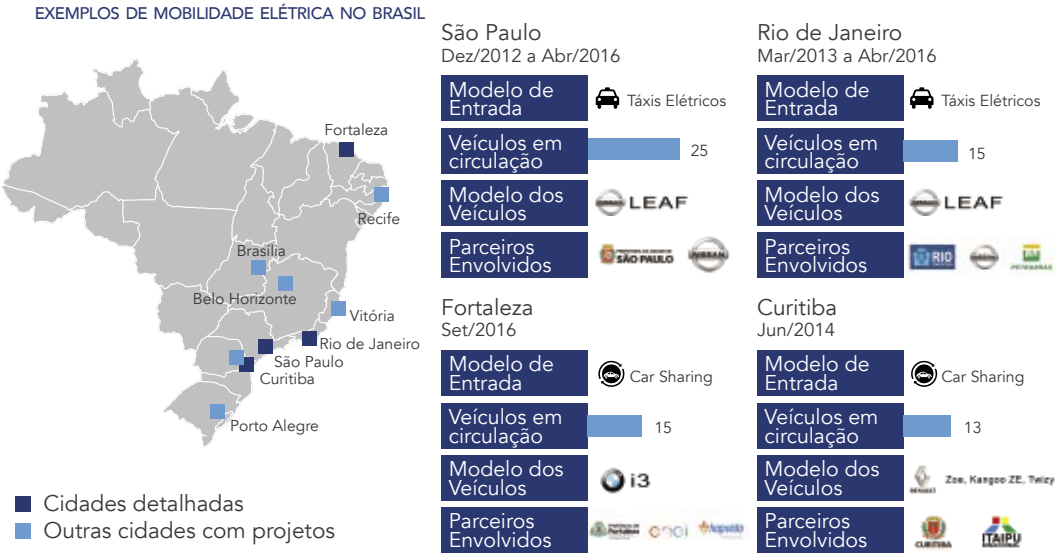
A solução a prevalecer no Brasil deverá se adequar a fatores característicos do país, dentre eles: (1) suas proporções continentais e consequente (2) disparidade entre os mercados de grandes metrópoles *versus* o de pequenas e remotas cidades, (3) a elevada concentração de renda, além de (4) a existência de uma cadeia produtiva de biocombustíveis estabelecida por conta dos veículos *flex* e a etanol.

Modelos de negócio têm sido objeto de testes para avaliar suas viabilidades econômicas, bem como a curva de adoção esperada e potenciais efeitos colaterais sobre as malhas

156. As distribuidoras de eletricidade são obrigadas a destinar 0,75% das suas receitas operacionais líquidas a projetos de P&D.
157. Para acesso à lista de projetos de P&D das distribuidoras de eletricidade, vide a página da ANEEL de Gestão do Programa de P&D: http://www.aneel.gov.br/pt/programa-de-p-d

viária e de eletricidade. As grandes cidades brasileiras precisam se adaptar a este cenário e várias já criaram seus projetos-piloto em parcerias entre prefeituras e iniciativa privada. A seguir são apresentados exemplos de testes realizados ou em andamento no Brasil.

DIVERSAS CAPITAS BRASILEIRAS JÁ APRESENTAM PROJETOS-PILOTO DE ELETRO MOBILIDADE ATRAVÉS DE PARCERIAS ENTRE PREFEITURAS E SETOR PRIVADO



CARROS ELÉTRICOS COMPARTILHADOS DE NORTE A SUL

Separados por 6 meses, os projetos de carros elétricos compartilhados foram iniciados recentemente em Fortaleza e Porto Alegre buscando tanto incentivar o modelo de *car sharing*, uma necessidade crescente nas grandes metrópoles, quanto promover uma maior interação com o veículo elétrico e desmistificar sua utilização.

Tendo sua operação iniciada em setembro de 2016, o projeto Veículos Alternativos para Mobilidade (VAMO) é parte de uma iniciativa viabilizada por uma parceria entre a Prefeitura Municipal, a Enel (antiga COELCE, concessionária de distribuição do estado do Ceará) e uma fornecedora de planos de saúde (Hapvida) com o objetivo de "estimular a lógica do compartilhamento e de integração entre modais", de acordo com o

Secretário de Conservação e Serviços Públicos, Luiz Alberto Sabóia. O VAMO, que teve seu início com cinco estações e oito carros, em cinco meses ampliou seus pontos de recarga para 11 locais e sua frota para 15 veículos de dois lugares – todos 100% elétricos. As tarifas, que são incentivadas para usuários do bilhete único da capital cearense, podem ser competitivas com o uso de táxis, mas exigem a assinatura de um valor mínimo mensal. A assinatura e reserva são realizadas por meio de um aplicativo desenvolvido para o projeto.

Na capital gaúcha, o modelo iniciou-se em março de 2017, de forma paralela ao que ocorre em Fortaleza, utilizando veículos elétricos que possuem autonomia de até 300 quilômetros. A iniciativa partiu de uma parceria entre órgãos da Prefeitura de Porto Alegre, envolvendo transporte público e processamento de dados, e terá duração de 20 dias.

OS TÁXIS ELÉTRICOS EM SÃO PAULO E NO RIO DE JANEIRO

Em 2016, após quatro anos de operação, encerrou-se o programa experimental da Nissan que disponibilizou seus veículos da linha Leaf, com propulsão 100% elétrica, para taxistas em uma parceria com as prefeituras municipais e associações de taxistas no Rio de Janeiro e em São Paulo. Ao longo da campanha, os 40 carros em circulação, sendo 25 carros na capital paulista e 15 na carioca, percorreram cerca de 2,2 milhões de quilômetros, contabilizando, de acordo com a Nissan, a redução de emissão de CO_2 para a atmosfera em 13,6 toneladas para cada veículo do programa.

DO SERVIÇO PÚBLICO PARA A POPULAÇÃO EM CURITIBA

Em Curitiba o incentivo à utilização de carros elétricos está estruturado em fases. O projeto Ecoelétrico compõe a estratégia para atender aos compromissos ambientais assumidos pelo município no âmbito do C40 – uma rede envolvendo grandes cidades interessadas em criar iniciativas para mitigar mudanças climáticas. Na primeira fase, iniciada em 2014, dez carros e três mini ônibus foram fornecidos pela Renault e Itaipu Binacional, em contrato de comodato, bem como foram instalados dez eletropostos em sete locais, para atender a demandas da Guarda Municipal, da Secretaria Municipal de Trânsito e do Instituto Curitiba de Turismo. Na segunda fase, o foco é tornar os eletropostos de recarga multifuncionais. Nas demais etapas, está prevista a implantação de um modelo de *car sharing* para o triênio 2018-2020.

Além disso, uma oportunidade que o Brasil deve considerar ao desenvolver sua indústria de carros elétricos é qual tecnologia elétrica veicular seria mais adequada para o país dado que a indústria de biocombustíveis e a tecnologia *flex fuel* já são bem difundidas nacionalmente.

Uma outra oportunidade de negócio, que pode servir de inspiração para as distribuidoras de eletricidade brasileiras, é aquela desenvolvida pela distribuidora de eletricidade espanhola Endesa, subsidiária da Enel, na Ilha de Mallorca. Por meio do Ecar (Endesa Club de Auto-Recarga), motoristas de carros elétricos têm acesso a eletropostos de recarga rápida ao longo da Ilha, utilizando um cartão pré-pago para pagar pela recarga, além de um aplicativo que informa quando e onde os eletropostos estão disponíveis. A Endesa também oferece diferentes planos para recarga das baterias dos carros elétricos – mecanismo análogo aos planos de operadoras de celular, além de serviço para instalação de pontos de recarga domiciliares[158].

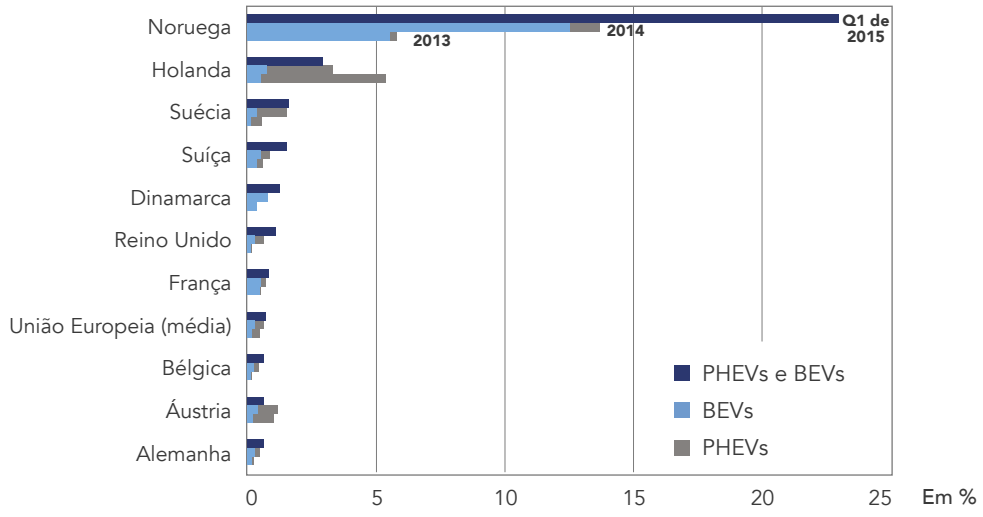
Além disso, uma oportunidade que o Brasil deve considerar ao desenvolver sua indústria de carros elétricos é qual tecnologia elétrica veicular seria mais adequada para o país dado que a indústria de biocombustíveis e a tecnologia *flex fuel* já são bem difundidas nacionalmente. Diversas variáveis influenciam a adoção de diferentes tecnologias de veículo elétrico em vários países (vide BOX). Cabe ao planejador considerar as vantagens comparativas nacionais no desenvolvimento da mobilidade elétrica brasileira.

158. Para maiores informações, vide: https://www.endesavehiculoelectrico.com/

Quais fatores determinam a tecnologia de VE a ser adotada em um país?

As tecnologias de veículos elétricos predominantes variam consideravelmente de país para país. Para o caso da União Europeia, PHEVs e BEVs respondiam por 0,7%[159] dos registros totais de veículos em 2014, mas, considerando cada país separadamente, as proporções dessas tecnologias no *market share* de cada um deles são bem distintas. Na Holanda, por exemplo, em 2014, os PHEVs respondiam por 3,1% da venda de veículos novos, enquanto que os BEVs representavam 0,9% dessas vendas[160]. Já no caso da Noruega, onde os veículos elétricos têm participação de 22,9% no *market share* total, 18% correspondem a registros de BEVs[161].

FIGURA 24: *MARKET SHARE* (NOVOS REGISTROS) DE BEVs E PHEVs EM PAÍSES EUROPEUS SELECIONADOS



Fonte: *The International Council on Clean Transportation* (ICCT), 2014.

159. ICCT, 2014.
160. *Ibid.*
161. *Ibid.*

Dentre os fatores que explicam essa grande diferença entre participações de BEVs e PHEVs no *market share*, destaca-se o direcionamento dos incentivos, que, no caso da Noruega, estiveram mais voltados para os veículos puramente elétricos. Primeiramente, BEVs e veículos à célula de hidrogênio estão isentos da *vehicle registration tax*, o que não se aplica para o caso dos híbridos – apesar destes últimos se beneficiarem de reduções de taxas baseadas em emissões de CO_2 e NOx. Outra vantagem dos BEVs é a isenção do *value added tax* (VAT), que atualmente é de 25% na Noruega. Ambas isenções ajudam a explicar as reduções nos custos desses veículos, assim como o considerável efeito nas vendas dos mesmos. Deve também ser considerado que BEVs e veículos a células de hidrogênio pagam taxas menores de licenciamento, assim como os BEVs estão isentos de pagamentos de pedágios em grande parte do território norueguês, do mesmo modo que usufruem de acesso a faixas exclusivas de ônibus[162].

Para o caso da Holanda, além dos BEVs, os híbridos usufruem de reduções nas taxas de registro (*vehicle registration tax*) assim como de isenção de 50% no pagamento da *ownership tax*, que é zerada para os proprietários de veículos que nada emitem. São esperadas mudanças graduais nesses incentivos até 2020, que, no caso dos híbridos, devem ser reduzidos consideravelmente, igualando suas taxas ao nível daquelas pagas pelos veículos à combustão interna, para que os ZEVs sejam priorizados[163].

O que ainda não se sabe é quais são os fatores que inicialmente levaram esses governos a direcionarem incentivos que favorecem determinadas tecnologias frente a outras. A agenda ambiental é um dos principais condicionantes da adoção da tecnologia dos veículos elétricos, assim como também é necessária para determinar o ritmo com que se dará a adoção dessas tecnologias em cada país. Mas outros fatores, como perfil dos

162. Bjerkan et al., 2016.
163. EAFO – *European Alternative Fuels Observatory* (http://www.eafo.eu/content/netherlands).

consumidores e dos locais onde eles vivem, também podem influenciar a maior disseminação de um tipo de VE em relação a outro.

O caso brasileiro, por exemplo, é bem particular: a tecnologia *flex-fuel* já é uma realidade desde 2003, assim como desde o final dos anos 1990 devem ser respeitados percentuais obrigatórios de etanol anidro a serem misturados na gasolina. O teor de mistura do etanol anidro na gasolina esteve na faixa de 20% a 25% desde 2000 e, em 2015 foi elevado para 27%, um dos maiores possíveis para que não cause danos ao motor[164].

Desse modo, os veículos *flex* já contribuem fortemente para a redução das emissões no setor de transportes brasileiro há quase duas décadas. Diferentemente de outros países, não é necessária tanta "pressa" na adoção dos VEs para que se cumpra a agenda climática de redução de emissões. De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), o uso do etanol combustível reduz o efeito do dióxido de carbono na natureza através do ciclo da lavoura canavieira no Brasil, que compensa a emissão desse gás. Portanto, no caso de veículos híbridos a etanol ou a célula de etanol (SOFC), pode-se dizer que há "emissões negativas"[165], uma vez que ocorre compensação das emissões em duas frentes.

Assim, o Brasil se beneficia desta vantagem comparativa na utilização do veículo elétrico para redução das emissões pois o etanol já é utilizado como combustível renovável e os híbridos *flex* ou a célula de etanol (SOFC) podem vir a ser utilizados como tecnologia de transição rumo à eletrificação da frota[166]. Outra vantagem da maior adoção de veículos híbridos *flex* ou a célula de etanol é o aproveitamento de uma infraestrutura de abastecimento já existente, assim como de uma cadeia de produção dos biocombustíveis.

164. FGV Energia, Março/2017.
165. Este é um termo ainda vago, uma vez que não são levadas em consideração as emissões do processo de produção dos veículos.
166. O gás natural veicular (GNV) também já é utilizado no Brasil como um combustível de transição, emitindo menos que os combustíveis fósseis tradicionais.

Conclusão

O advento recente do carro elétrico está atrelado a políticas de mitigação das emissões de gases do efeito estufa no setor de transportes em vários países do mundo. Entretanto, cabe também considerar que o carro elétrico é parte da evolução natural da tecnologia veicular, que levará a veículos mais eficientes e com melhor performance no futuro. Além disso, com o advento das tecnologias de compartilhamento de informação, o consumidor vem se tornando mais atuante na sua maneira de consumir bens e serviços. Essa evolução do comportamento do consumidor – que já pode ser percebida no setor elétrico, com o crescimento da geração distribuída, utilização mais disseminada da eficiência energética e gerenciamento pelo lado da demanda – também está ocorrendo no setor de mobilidade com o compartilhamento cada vez maior dos serviços que ela proporciona.

Neste cenário de mobilidade como serviço, as características tecnológicas inerentes aos carros elétricos os tornam propícios para atenderem a essas novas exigências. Adicionalmente, vale destacar que além das questões climáticas e das políticas de mitigação, a inserção do carro elétrico cria novos modelos de negócios, novas oportunidades econômicas e, praticamente, toda uma nova cadeia produtiva.

Apesar dessas variáveis transformadoras, o carro elétrico ainda está a alguns anos de distância da massificação – o que deve ocorrer nas próximas décadas. Antes do carro elétrico se tornar comum, ele deve ficar mais barato, com maior autonomia e a resistência inicial ao seu uso precisa ser vencida. Para endereçar as duas primeiras questões, espera-se que as baterias de íons de lítio – as grandes responsáveis pelos preços ainda

167. O início da produção da *Gigafactory*, a super fábrica de baterias da Tesla, será um marco para a queda nos preços das baterias. As baterias produzidas na fábrica levarão a um aumento considerável na oferta mundial e, com isso, espera-se que os preços delas caiam bastante nos próximos anos. (Lee, 2017). Quando as baterias se tornarem mais baratas, os carros elétricos vão se tornar mais vantajosos que os carros à combustão interna em todas as frentes consideradas.

elevados dos carros elétricos – se tornem substancialmente mais baratas e com maior capacidade de armazenar carga nos próximos anos[167]. Enquanto isso não ocorre, incentivos são necessários para que a mobilidade elétrica continue se desenvolvendo. Já a questão da resistência ao uso do veículo elétrico pode ser atacada em duas frentes: primeiro, educando os consumidores em relação aos carros elétricos, desmistificando seus reais custos e benefícios; e segundo, investindo em uma infraestrutura (seja pública ou privada) de estações de recarga. Embora se espere que, no futuro, as baterias dos carros elétricos sejam majoritariamente recarregadas nas residências dos usuários, a disponibilidade de uma infraestrutura pública de eletropostos ainda assim será de grande importância nesta fase de transição da mobilidade à combustão para a elétrica.

Uma outra barreira para o desenvolvimento do carro elétrico é o baixo preço dos combustíveis derivados de petróleo. Por exemplo, estudos para os EUA mostram que, só quando o preço da gasolina ultrapassa US$ 3/galão, é que há uma correlação entre o preço do combustível e a escolha dos veículos pelo consumidor[168]. O cenário atual de preços baixos do óleo cru (algo como US$ 54/bbl quando desta publicação) pode se tornar, então, um desincentivo ao desenvolvimento do carro elétrico – mais um fator a justificar a necessidade de estímulos enquanto seus preços ainda forem maiores que os dos carros convencionais.

Quanto aos setores afetados pelo advento do carro elétrico – ambiental, automotivo e energético – os impactos sentidos são diversos, como mostramos nesta publicação. Para o setor ambiental, o carro elétrico traz a boa nova da descarbonização – se a fonte elétrica que os abastece for renovável, evidentemente. Por outro lado, a exploração do lítio para produção das baterias é uma atividade de mineração que precisa ter seus impactos estudados e mitigados. Para o setor automotivo, o carro elétrico significa toda uma mudança de paradigma, uma real transformação do produto ofertado por essa indústria. De uma forma geral, carros ainda continuarão sendo demandados, sejam à combustão interna, sejam elétricos. Cabe a esse setor, portanto, estudar os sinais da sua base consumidora e aten-

168. Ayre, 2017. O preço da gasolina em 18/04/2017 estava em US$2,406/galão (Fonte: http://gasprices.aaa.com/).
169. Estudo da *McKinsey & Company* (2017) lista 3 horizontes de adoção de VEs, com diferentes perfis de consumidores em cada um deles. Em um primeiro horizonte, consumidores pioneiros (que são os proprietários atuais de carros elétricos) demandam esse produto por ele ser "novo" e "diferente", sendo motivados por questões ambientais ou pelo *status* que o veículo proporciona. Numa segunda onda, estão consumidores que vão demandar o carro elétrico por ele ter melhor performance e menores custos de manutenção. O preço atual dos VEs, contudo, faz com que essa parcela do mercado ainda não seja atendida – o que é um potencial para a indústria automotiva para quando o preço dos VEs cair. No último horizonte de adoção, tem-se consumidores que também querem eficiência e menor custo de manutenção, mas demandam autonomia estendida e maior utilidade dos veículos (consumidores de SUV e *pick-ups*, por exemplo). Quando VEs oferecerem essas opções, essa será mais uma oportunidade para a indústria automotiva. Recentemente, a Tesla anunciou que lançará um *semitruck* ainda em 2017 e deverá lançar uma *pick-up* daqui a alguns meses.

der a suas novas demandas[169]. Já para o setor energético, o carro elétrico significa a utilização da eletricidade como combustível automotivo (com ou sem o auxílio de um combustível alternativo auxiliar como o etanol, no caso dos veículos híbridos flex ou à célula de etanol). A tecnologia de VE a ser adotada por cada país ou região determinará como o setor energético em cada localidade será afetado. Outro impacto do carro elétrico nesse setor é a possibilidade da sua utilização como recurso energético distribuído, que pode influenciar positivamente no planejamento de um setor elétrico cada vez mais vinculado a fontes renováveis intermitentes.

Quanto ao Brasil, o que se estima é que a disseminação do carro elétrico deva acontecer um pouco mais tarde do que em outros países devido a alguns fatores. Primeiramente, o país tem um setor de biocombustíveis bem desenvolvido – a NDC[170] brasileira, inclusive, considera o uso de biocombustíveis para auxiliar na descarbonização da economia brasileira, enquanto que a utilização dos carros elétricos para esse fim não é mencionada. Em segundo lugar, a quantidade de veículos convencionais ainda em estoque quando os VEs começarem a se inserir no mercado pode afetar a velocidade de adoção dessa nova tecnologia veicular. Adicionalmente, há a delicada questão relacionada às preferências do consumidor. Nesse ponto, vale destacar que o consumidor brasileiro ainda considera o carro como um bem, fator que contribui para que a mobilidade como serviço se desenvolva mais lentamente no país. Mas, o que se espera é que, de acordo com o senso comum, quando o carro elétrico for tão barato quanto carros convencionais, eles devem se tornar mais populares no Brasil. Dessa forma, ao invés de entrar na "primeira onda" do carro elétrico, que viu a tecnologia e modelos de negócios inovadores sendo desenvolvidos, espera-se que o Brasil participe de uma "segunda onda" do carro elétrico, de simples adoção[171]. De qualquer modo, o carro elétrico chegará com mais força no país nos próximos anos e cabe ao planejador e à indústria se prepararem para esse momento.

170. *Nationally Determined Contribution*, documento no qual o Brasil estipulou suas metas para cumprimento do Acordo de Paris. O documento pode ser acessado em: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf

171. Algumas iniciativas podem contribuir para que o país ainda participe da "primeira onda". O "primeiro carro elétrico produzido com tecnologia nacional" foi apresentado recentemente pela Serttel, empresa do ramo de mobilidade elétrica, em Recife (Ambiente Energia, 2017). Além disso, infraestrutura de recarga nacional também vem sendo desenvolvida em Santa Catarina (Canal Energia, 2017). E o Programa Veículo Elétrico, da Itaipu Binacional, também vem contribuindo, desde 2006, para o estudo da mobilidade elétrica no país (https://www.itaipu.gov.br/tecnologia/veiculos-eletricos).

Lista de Siglas

ABVE – Associação Brasileira do Veículo Elétrico

AEV – All Electric Vehicle

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

BEV – Battery Electric Vehicle

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

BNEF – Bloomberg New Energy Finance

BOEV – Battery Only Electric Vehicle

BOP – Balance of Plant

BP – British Petroleum

CCS – Combined Charging System

CHAdeMO – "CHArge de MOve"

COELCE – Companhia Energética do Ceará

CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz

EAFO – European Alternative Fuels Observatory

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

E-REV ou REX – Extended Range Electric Vehicle

EUROBAT – Association of European Automotive and Industrial Battery Manufacturers

EV – Electric Vehicle

EVCS – Electric Vehicle Charging Station

EVI – Electric Vehicles Initiative

EVSE – Electric Vehicle Supply Equipment

FCEV – Fuel Cell Electric Vehicle

GEE – Gases de Efeito Estufa

GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico da Universidade Federal do Rio de Janeiro

GM – General Motors

GNV – Gás Natural Veicular

HEV – Hibrid Electric Vehicle

HOV – High-Occupancy Vehicle

ICCT – International Council on Clean Transportation

ICT – Informação, Comunicação e Tecnologia

IEA – International Energy Agency

IEDC – International Economic Development Council

IFA – Institute for Automotive Research

IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados

IPVA – Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores

IVA – Imposto sobre Valor Adicionado

LEZ – Low Emission Zone

MCI – Motor à Combustão Interna

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

NADA – National Automobile Dealers Association

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NDC – Nationally Determined Contribution

NEV – Neighborhood Electric Vehicles

Ni-MH – Nickel–Metal Hydride Battery

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development

OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo

PEM – Proton Exchange Membrane

PEV – Plug-in Electric Vehicle

PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle

RPEV – Road Powered Electric Vehicle

SAE – Society of Automotive Engineers

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa

SIN – Sistema Interligado Nacional

SOFC – Solid Oxid Fuel Cell

TJLP – Taxa de Juros de Longo Prazo

UCSUSA – Union of Concerned Scientists of United States of America

VAMO – Veículos Alternativos para Mobilidade

VAT – Value Added Tax

VCI – Veículo à Combustão Interna

VE – Veículo Elétrico

VLT – Veículo Leve sobre Trilhos

WPT – Wireless Power Transfer

ZEV – Zero Emission Vehicle

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Nota Técnica n° 0050/2016-SRD/ANEEL. 19 de abril de 2016. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/Nota%20T%C3%A9cnica_0050_VE%C3%8DCULOS%20EL%C3%89TRICOS_SRD.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2017.

AMBIENTE ENERGIA. Primeiro carro elétrico produzido com tecnologia nacional é apresentado. 17 de abril de 2017. Disponível em: https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2017/04/primeiro-carro-eletrico-produzido-com-tecnologia-nacional-e-apresentado/31426?utm_campaign=UA-10095781-1&utm_medium=twitter&utm_source=twitter. Acesso em: 20 de abril de 2017.

AMSTERDAM ROUND TABLES & MCKINSEY & COMPANY. EVolution – Electric Vehicles in Europe: gearing up for a new phase? 2014. Disponível em: http://www.mckinsey.com/netherlands/our-insights/electric-vehicles-in-europe-gearing-up-for-a-new-phase. Acesso em: 29 de abril de 2016.

ATTWOOD, James & GILBERT, Jonathan. Argentina Eyeing Lithium Superpower Status Amid Battery Boom. Bloomberg, 06 de março de 2017. Disponível em: https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-03-06/argentina-s-lithium-superpower-ambition-is-good-news-for-tesla. Acesso em: 20 de abril de 2017.

AYRE, James. Gasoline Prices Don't Really Impact Vehicle Choice Till $3/Gallon. CleanTechnica, 24 de janeiro de 2017. Disponível em: https://cleantechnica.com/2017/01/24/gasoline-prices-dont-really-impact-vehicle-choice-till-3gallon/. Acesso em: 20 de abril de 2017.

BARBOSA, Vanessa. Nissan revela o 1° carro do mundo movido a óxido sólido. Exame, 05 de agosto de 2016. Disponível em: http://exame.abril.com.br/tecnologia/nissan-revela-o-1o-carro-do-mundo-movido-a-oxido-solido/. Acesso em: 19 de abril de 2017.

BARNARD, Michael. Will Electric Cars Break The Grid? CleanTechnica, 11 de maio de 2016. Disponível em: https://cleantechnica.com/2016/05/11/will-electric-cars-break-grid/. Acesso em: 20 de abril de 2017.

BECKER, Thomas & SIDHU, Ikhlak. Electric Vehicles in the United States: A New Model with Forecasts to 2030. 2009. Center for Entrepreneurship & Technology, University of California, Disponível em: http://www.ehcar.net/library/rapport/rapport051.pdf. Acesso em: 19 de abril de 2017.

BJERKAN, Kristin, et al. Incentives for promoting Battery Electric Vehicle (BEV) adoption in Norway. Transportation Research Part D: Transport and Environment. Volume 43, pp. 169-180, março de 2016.

BRAJTERMAN, Olivia. Introdução de Veículos Elétricos e Impactos sobre o Setor Elétrico Brasileiro. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Planejamento Energético, COPPE, na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Março de 2016. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/brajterman.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2017.

BULLIS, Kevin. Are Electric Vehicles a Fire Hazard? MIT Technology Review, 26 de novembro de 2013. 2013a. Disponível em: https://www.technologyreview.com/s/521976/are-electric-vehicles-a-fire-hazard/. Acesso em: 19 de abril de 2017.

_____. Could Electric Cars Threaten the Grid? MIT Technology Review, 16 de agosto de 2013. 2013b. Disponível em: https://www.technologyreview.com/s/518066/could-electric-cars-threaten-the-grid/. Acesso em: 20 de abril de 2017.

CARBON TRACKER INITIATIVE & GRANTHAM INSTITUTE. Expect the Unexpected: The Disruptive Power of Low-carbon Technology. Fevereiro de 2017. Disponível em: http://www.carbontracker.org/wp-content/uploads/2017/02/Expect-the-Unexpected_CTI_Imperial.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2017.

CAIAZZO, Fabio; et al. Air pollution and early deaths in the United States. Part I: Quantifying the impact of major sectors in 2005. Atmospheric Environment, Volume 79, pp. 198-208, 2013.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Projeto de Lei da Câmara 65/2014. Disponível em: http://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/118247. Acesso em: 20 de abril de 2017.

CANAL ENERGIA. Celesc e Fundação Certi vão inaugurar dois eletropostos em fevereiro. 30 de janeiro de 2017. Disponível em: http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/PeD_e_Tecnologia.asp?id=115693. Acesso em: 20 de abril de 2017.

CRABTREE, Justina. The New OPEC: Who will supply the lithium needed to run the future's electric cars? CNBC, 30 de dezembro de 2016. Disponível em: http://www.cnbc.com/2016/12/30/the-new-opec-who-will-supply-the-lithium-needed-to-run-the-futures-electric-cars.html. Acesso em: 20 de abril de 2017.

DEIGN, Jason. Which Country Will Become the First to Ban Internal Combustion Cars? Greentech Media, 07 de novembro de 2016. Disponível em: https://www.greentechmedia.com/articles/read/what-country-will-become-the-first-to-ban-internal-combustion-cars. Acesso em: 19 de abril de 2017.

DELUCHI, Mark, et al. An Analysis of the Retail and Life Cycle Cost of Battery-Powered Electric Vehicles. Transportation Research Part D, Volume 6, pp. 371-404, 2001. Disponível em: http://escholarship.org/uc/item/50q9060k. Acesso em: 19 de abril de 2017.

DEMORRO, Christopher. Lighter Batteries May Prove The Tipping Point For Electric Vehicles. CleanTechnica, 17 de março de 2015. Disponível em: https://cleantechnica.com/2015/03/17/lighter-batteries-may-prove-tipping-point-electric-vehicles/. Acesso em: 19 de abril de 2017.

DIEZ, Willi. Mehr Profit durch Kundenbindung. Institut für Automobilwirtschaft, 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Nota Técnica DEA 13/15: Demanda de Energia 2050. Janeiro de 2016. 2016a. Disponível em: http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2017.

_____. Plano Decenal de Energia 2024. Janeiro de 2016. 2016b. Disponível em: http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Plano%20Decenal%20de%20Energia%20%E2%80%93%20PDE/MME.aspx. Acesso em: 20 de abril de 2017.

EUROBAT. E-Mobility Battery R&D Roadmap 2030 - Battery Technology for Vehicle Applications. 2015. Disponível em: https://eurobat.org/sites/default/files/eurobat_emobility_roadmap_lores_1.pdf. Acesso em: 19 de abril de 2017.

FGV ENERGIA. Recursos Energéticos Distribuídos. 2016. Cadernos FGV Energia. Disponível em: http://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/fgvenergia-recursos-energeticos-book-web.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2017.

_____. Boletim de Conjuntura FGV Energia, Biocombustíveis, março de 2017. Disponível em: http://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/boletim_conjuntura-marco-2017_v3_rev1_0.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2017.

FUEL CELLS BULLETIN. Mercedes-Benz GLC F-CELL in 2017 will be plug-in FCEV. News Feature. Fuel Cells Bulletin, Volume 2016, Issue 8, August 2016, pp. 12.

GESEL. Mobilidade Elétrica: Relatório Técnico. 2014. Disponível em: http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/13_reltec4.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2017.

GERMAN, John. Hybrid Vehicles: Technology Development and Cost Reduction. 2015. International Council on Clean Transportation. Disponível em: http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_TechBriefNo1_Hybrids_July2015.pdf. Acesso em: 19 de abril de 2017.

GOLDMAN SACHS GLOBAL INVESTMENT RESEARCH. What if I told you... lithium is the new gasoline. 2015. Disponível em: http://www.goldmansachs.com/our-thinking/pages/macroeconomic-insights-folder/what-if-i-told-you/report.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2016.

HANLEY, Steve. SAE Agrees On New Wireless Charging Standard. Gas2, 30 de janeiro de 2017. Disponível em: http://gas2.org/2017/01/30/sae-agrees-new-wireless-charging-standard/. Acesso em: 19 de abril de 2017.

HIGHWAYS ENGLAND & JONES, Andrew. Off road trials for "electric highways" technology. Gov.UK Press Release, 11 de agosto de 2015. Disponível em: https://www.gov.uk/government/news/off-road-trials-for-electric-highways-technology. Acesso em: 19 de abril de 2017.

INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION. Vehicle Electrification Policy Study: Complementary Policies. 2011. Disponível em: http://www.theicct.org/vehicle-electrification-policy-study-task-4-%E2%80%94-complementary-policies. Acesso em 19 de abril de 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. IEA. Global EV Outlook. OECD, IEA. 2016. Disponível em: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf. Acesso em 19 de abril de 2017.

_____. Global EV Outlook. OECD, IEA. 2013. Disponível em: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook_2013.pdf. Acesso em 19 de abril de 2017.

_____. Technology Roadmap: Electric and plug-in hybrid electric vehicles. OECD, IEA. 2011. Disponível em: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EV_PHEV_Roadmap.pdf. Acesso em: 19 de abril de 2017.

_____. Energy Technology Perspectives. OECD, IEA. 2014. Disponível em: http://www.iea.org/etp/etp2014/. Acesso em: 19 de abril de 2017.

_____. World Energy Outlook. OECD, IEA. 2016.

JONES, Sam. Barcelona to ban old cars from roads to tackle air pollution. The Guardian, 07 de março de 2017. Disponível em: https://www.theguardian.com/world/2017/mar/07/barcelona-to-ban-old-cars-from-the-roads-to-tackle-air-pollution. Acesso em: 19 de abril de 2017.

KNUPFER, Stefan, et al. Electrifying insights: How automakers can drive electrified vehicle sales and profitability. McKinsey & Company. 2017. Disponível em: http://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/electrifying-insights-how-automakers-can-drive-electrified-vehicle-sales-and-profitability. Acesso em 19 de abril de 2017.

KPMG. Global Automotive Executive Survey. 2017. Disponível em: https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2017/01/global-automotive-executive-survey-2017.pdf. Acesso em: 19 de abril de 2017.

LAMBERT, Fred. Electric vehicle battery cost dropped 80% in 6 years down to $227/kWh – Tesla claims to be below $190/kWh. Electrek, 30 de janeiro de 2017. Disponível em: https://electrek.co/2017/01/30/electric-vehicle-battery-cost-dropped-80-6-years-227kwh-tesla-190kwh/. Acesso em: 19 de abril de 2017.

_____. Tesla Model S catches on fire during a test drive in France. Electrek, 15 de agosto de 2016. 2016a. Disponível em: https://electrek.co/2016/08/15/tesla-model-s-catches-fire-test-drive-france/. Acesso em: 19 de abril de 2017.

_____. China is pushing for aggressive new ZEV mandate: 8% of new cars to be electric by 2018, 12% by 2020. Electrek, 31 de outubro de 2016. 2016b. Disponível em: https://electrek.co/guides/zev-mandate/. Acesso em: 19 de abril de 2017.

LEE, Timothy B. Batteries could be Tesla's secret weapon. Vox, 18 de abril de 2017. 2016b. Disponível em: http://www.vox.com/new-money/2017/4/17/15293892/tesla-batteries-gigafactory-bet. Acesso em: 20 de abril de 2017.

LINS, Clarissa & MORAIS, Raoni. Perspectivas de Inserção de Veículos Elétricos. Catavento, Paper 08, outubro de 2016. Disponível em: http://catavento.biz/perspectivas-de-insercao-de-veiculos-eletricos/. Acesso em: 20 de abril de 2017.

LUTSEY, Nicholas. & SPERLING, Daniel. Regulatory adaptation: Accommodating electric vehicles in a petroleum world. Energy Policy, Volume 45, pp. 308-316, 2012.

MARTINS, Raphael. Há dois caminhos para o carro elétrico vingar no Brasil. Exame, 09 de junho de 2016. http://exame.abril.com.br/brasil/ha-dois-caminhos-para-o-carro-eletrico-vingar-no-brasil/. Acesso em: 20 de abril de 2017.

MACAULAY, Thomas. Electric cars that charge in minutes could be on the horizon after breakthrough supercapacitor discovery. Techworld from IDG, 06 de dezembro de 2016. http://www.techworld.com/personal-tech/new-discovery-makes-electric-cars-that-charge-in-minutes-possible-3651281/. Acesso em: 19 de abril de 2017.

MCKINSEY & COMPANY. Automotive revolution - perspective towards 2030. Janeiro de 2016. Disponível em: http://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/high%20tech/our%20insights/disruptive%20trends%20that%20will%20transform%20the%20auto%20industry/auto%202030%20report%20jan%202016.ashx. Acesso em: 19 de abril de 2017.

_____. Electrifying insights: How automakers can drive electrified vehicle sales and profitability. Janeiro de 2017. Disponível em: http://www.

mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20Assembly/Our%20Insights/Electrifying%20insights%20How%20automakers%20can%20drive%20electrified%20vehicle%20sales%20and%20profitability/Electrifying%20insights%20-%20How%20automakers%20can%20drive%20electrified%20vehicle%20sales%20and%20profitability_vF.ashx. Acesso em: 20 de abril de 2017.

NADA Used Car Guide Perspective – Alternative Powertrains: Analysis of Recent Market Trends & Value Retention. 2016. Disponível em: http://img03.en25.com/Web/NADAUCG/%7B49f71c70-31ef-4af9-870b-aeac4c6245bd%7D_201604_Alternative_Powertrains.pdf. Acesso em: 19 de abril de 2017.

NEALER, Rachael et al. Cleaner Cars from Cradle to Grave. Union of Concerned Scientists (UCSUSA). 2015. Disponível em: http://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2015/11/Cleaner-Cars-from-Cradle-to-Grave-full-report.pdf. Acesso em: 19 de abril de 2017.

NEEDELL, Zachary; et al. Potential for widespread electrification of personal vehicle travel in the United States. Nature Energy, Volume 1, 2016.

NOVAIS, Celso. Mobilidade Elétrica: Desafios e Oportunidades. Coluna Opinião FGV Energia. Agosto de 2016. Disponível em: http://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/celso_novais_mobilidade_eletrica.pdf. Acesso em: 19 de abril de 2017.

PRESSMAN, Matt. Could Buying A Tesla EV Help Defund Terrorism? CleanTechnica, 28 de abril de 2016. Disponível em: https://cleantechnica.com/2016/04/28/buying-tesla-ev-help-defund-terrorism/. Acesso em: 20 de abril de 2017.

PYPER, Julia. How to Accelerate the Electric Vehicle Market: Create Allure. Greentech Media, 07 de outubro de 2016. Disponível em: https://www.greentechmedia.com/articles/read/how-to-accelerate-the-electric-vehicle-market. Acesso em: 19 de abril de 2017.

RANDALL, Tom. Here's How Electric Cars Will Cause the Next Oil Crisis. Bloomberg, 25 de fevereiro de 2016. Disponível em: https://www.bloomberg.com/features/2016-ev-oil-crisis/. Acesso em: 20 de abril de 2017.

REIS, Sueli. Governo negocia política automotiva. Automotive Business, 20 de março de 2017. Disponível em: http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/25498/governo-negocia-politica-automotiva. Acesso em: 20 de abril de 2017.

RIBBERINK, Hajo, et al. Battery Life Impact of Vehicle-to-grid Application of Electric Vehicles. 2013. 2015. EVS 28 International Electric Vehicle Symposium and Exhibition. Disponível em: http://www.evs28.org/event_file/event_file/1/pfile/EVS28_Hajo_Ribberink_Battery_Life_Impact_of_V2G.pdf. Acesso em 20 de abril de 2017.

SANDERSON, Henry. Lithium supply predicted to keep up with demand. Financial Times, 28 de novembro de 2016. Disponível em: https://www.ft.com/content/dd1fa1d0-b575-11e6-961e-a1acd97f622d. Acesso em: 20 de abril de 2017.

SCHAAL, Eric. 10 States That May Pay You Big Money to Buy an Electric Car. Autos Cheatsheet, 19 de abril de 2017. Disponível em: http://www.cheatsheet.com/automobiles/10-states-with-the-most-generous-electric-vehicle-incentives.html/?a=viewall. Acesso em: 19 de abril de 2017.

SEEG & OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Análise das emissões de GEE Brasil (1970-2014) e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris. Setembro 2016. Disponível em: http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/09/WIP-16-09-02-RelatoriosSEEG-Sintese-.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2017.

SHAHAN, Zachary. Plugless Power Lowers Price, Gets Big Shoutout From Jon Cryer. CleanTechnica, 21 de agosto de 2015. Disponível em: https://cleantechnica.com/2015/08/21/pluglesss-power-lowers-price-gets-big-shoutout-from-jon-cryer/. Acesso em: 19 de abril de 2017.

_____. Depreciation & Electric Cars — Today, Tomorrow, & In 2020. CleanTechnica, 03 de setembro de 2016. Disponível em: https://cleantechnica.com/2016/09/03/depreciation-electric-cars-today-tomorrow-2020/. Acesso em: 19 de abril de 2017.

STATE OF COLORADO. House Bill 16-1332. 2016. Disponível em: http://www.leg.state.co.us/clics/clics2016a/csl.nsf/fsbillcont3/D29A1044569D6D5987257F2400642E3F?Open&file=1332_enr.pdf. Acesso em: 19 de abril de 2017.

THE DENVER POST. Alternative Fuel Motor Vehicle Income Tax Credits - HB 16-1332. Disponível em: http://extras.denverpost.com/app/bill-tracker/bills/2016a/hb_16-1332/. Acesso em: 19 de abril de 2017.

TODD, Jennifer, et al. Creating the Clean Energy Economy: Analysis of the Electric Vehicle Industry. 2013. International Economic Development Council (IEDC). Disponível em: http://www.iedconline.org/clientuploads/Downloads/edrp/IEDC_Electric_Vehicle_Industry.pdf. Acesso em 19 de abril de 2017.

THE ECONOMIST. Electric cars are set to arrive far more speedily than anticipated. 18 de fevereiro de 2017. Disponível em: http://www.economist.com/news/business/21717070-carmakers-face-short-term-pain-and-long-term-gain-electric-cars-are-set-arrive-far-more. Acesso em 19 de abril de 2017.

THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION (ICCT). European Vehicle Market Statistics - Pocketbook 2014. Disponível em: http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EU_pocketbook_2014.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2017.

TRABISH, Herman. How California utility regulators are turning electric vehicle into grid resources. Utility Dive, 21 de novembro de 2016. Disponível em: http://www.utilitydive.com/news/how-california-utility-regulators-are-turning-electric-vehicles-into-grid-r/430314/. Acesso em: 20 de abril de 2017.

TUITE, Don. Understanding U.S. and European Standards for Electric-Vehicle Charging. Electronic Design, 05 de março de 2012. Disponível em: http://electronicdesign.com/power/understanding-us-and-european-standards-electric-vehicle-charging. Acesso em: 19 de abril de 2017.

URBAN FORESIGHT LIMITED. EV City Casebook – 50 big ideas shaping the future of electric mobility. Outubro de 2014. Disponível em: http://www.cleanenergyministerial.org/Portals/2/pdfs/EVI_2014_EV-City-Casebook.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2017.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Plug-In Electric Vehicle Handbook for Consumers. 2015. Disponível em: http://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/pev_consumer_handbook.pdf. Acesso em: 19 de abril de 2017.

U.S. ENERGY AND INFORMATION ADMINISTRATION. Monthly Energy Review. Fevereiro de 2017. Disponível em: https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/archive/00351702.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2017.

VINCENT, James. BMW is first to deploy an electric 40-ton truck on European roads. The Verge, 10 de julho de 2015. Disponível em: http://www.theverge.com/2015/7/10/8927489/bmw-electric-truck-europe-terberg. Acesso em: 19 de abril de 2017.

VOELCKER, John. Electric car battery warranties compared. Green Car Reports, 20 de dezembro de 2016. Disponível em: http://www.greencarreports.com/news/1107864_electric-car-battery-warranties-compared. Acesso em: 19 de abril de 2017.

WADE, Lizzie. Tesla's electric cars aren't as green as you might think. Wired, 31 de março de 2016. Disponível em: https://www.wired.com/2016/03/teslas-electric-cars-might-not-green-think/. Acesso em: 20 de abril de 2017.

WESOFF, Eric. How Soon Can Tesla Get Battery Cell Costs Below $100 per Kilowatt-Hour? Greentech Media, 15 de março de 2016. Disponível em: https://www.greentechmedia.com/articles/read/How-Soon-Can-Tesla-Get-Battery-Cell-Cost-Below-100-per-Kilowatt-Hour?utm_source=Daily&utm_medium=Newsletter&utm_campaign=GTMDaily. Acesso em: 19 de abril de 2017.

WORLD ENERGY COUNCIL. World Energy Perspective – E-Mobility: Closing the emissions gap. 2016. Disponível em: https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/06/E-Mobility-Closing-the-emissions-gap_full-report_FINAL_2016.06.20.pdf. Acesso em 20 de abril de 2017.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). CAIT Climate Data Explorer: Historical Emissions. Disponível em: http://cait2.wri.org/historical/Country%20GHG%20Emissions?indicator[]=-Total%20GHG%20Emissions%20Excluding%20Land-Use%20Change%20and%20Forestry&indicator[]=Total%20GHG%20Emissions%20Including%20Land-Use%20Change%20and%20Forestry&year[]=2013&sortIdx=NaN&chartType=geo. Acesso em 19 de abril de 2017.

YIM, Steve & BARRETT, Steven. Public Health Impacts of Combustion Emissions in the United Kingdom. Environmental Science and Technology, Volume 46 (8), pp. 4291-4296, 2012.

Mantenedores

Empresas que acreditam e investem em pesquisa para o desenvolvimento do Setor Energético Brasileiro.

A **FGV Energia** agradece a seus **Mantenedores** o apoio dedicado às suas pesquisas e publicações.

Enel Green Power,
por um mundo mais verde.
Presente em
16 países
Gerando
38,1 TWh
de energia anualmente
Mais de
740 plantas
energia eólica
energia solar
energia hidroelétrica
energia geotérmica
energia de biomassa
Evitando a emissão de
22 milhões
de toneladas de CO_2
Dados EGP atualizados em 17.12.2015.
enel
Green Power

NA NATUREZA, NADA SE PERDE.
TUDO SE TRANSFORMA.

ITAIPU GERA MAIS DO QUE A ENERGIA LIMPA QUE VEM DAS ÁGUAS DO RIO PARANÁ. Desenvolve também várias iniciativas na área de energias renováveis, como a utilização do biometano obtido a partir dos dejetos de animais e de resíduos orgânicos das propriedades rurais da região. Com isso, combate as emissões de gases do efeito estufa, protege a natureza ao evitar que dejetos cheguem aos rios e proporciona uma alternativa de renda aos produtores locais, além de desenvolver a tecnologia dos veículos movidos com esse biocombustível. Hoje, Itaipu já conta com 36 deles e, em breve, ampliará ainda mais a sua frota a biometano. Resultado da economia já comprovada e fator de geração de renda e desenvolvimento sustentável, para todo o seu território de atuação.

Para saber mais, acesse www.cibiogas.org

PTI Parque Tecnológico Itaipu

CIBIOGAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

ITAIPU BINACIONAL

Usina Hidrelétrica de Funil
Resende - RJ

Transparência & sustentabilidade

Furnas representa um complexo de 19 Usinas Hidrelétricas, 68 subestações e 43 parques eólicos.

- *40% da Energia do Brasil passa por Furnas.*
- *Energia para mais 60% dos domicílios brasileiros.*
- *24.000 km de linhas de transmissão que interligam o Brasil.*
- *100% na geração de energia limpa para o Brasil.*

Eletrobras Furnas

Ministério de Minas e Energia

GOVERNO FEDERAL BRASIL PÁTRIA EDUCADORA

FURNAS

© 2017 Accenture. Todos os direitos reservados.

accenture
High performance. Delivered.

O NOVO NÃO ESTÁ A CAMINHO. ELE É APLICADO AGORA.

Veja como usamos hoje a inovação
e o profundo conhecimento de indústria
nos reais desafios empresariais.
Acesse accenture.com.br

NEW APPLIED NOW

strategy | consulting | digital | technology | operations

Apoio

Este Caderno contou com o patrocínio das empresas CPFL e Itaipu.

Somos feitos de Energia.

Principalmente daquela que vem das pessoas.

A CPFL é considerada uma das maiores empresas do setor elétrico brasileiro, com negócios em distribuição, geração, comercialização de energia elétrica e serviços. São mais de 9 milhões de clientes atendidos diariamente em mais de 679 municípios. Nesses mais de 100 anos de história no setor elétrico, a CPFL conseguiu liderar o segmento de energias renováveis no Brasil, e está investindo cada dia mais em redes inteligentes, mobilidade urbana elétrica e tecnologias de gestão de cidades, iniciativas que visam ao uso consciente e eficiente da energia elétrica e que acreditamos serem vitais para o futuro da humanidade.

Saiba mais sobre a CPFL e suas iniciativas em www.cpfl.com.br

www.cpfl.com.br

CPFL ENERGIA

Mantenedores Premium (Elite) da FGV Energia:

Mantenedores Master da FGV Energia:

FGV ENERGIA

Patrocinadores

FGV ENERGIA

www. fgv.br/energia