

Estudos de Longo Prazo

ELETROMOBILIDADE E BIOCOMBUSTÍVEIS

Documento de Apoio ao PNE 2050

Janeiro de 2019

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso - "double sided")



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE

MINISTRO DE ESTADO
BENTO COSTA LIMA LEITE DE ALBUQUERQUE JUNIOR

PRESIDENTE
REIVE BARROS DOS SANTOS

SECRETÁRIO EXECUTIVO
MARISETE FÁTIMA DADALD PEREIRA

DIRETOR DE ESTUDOS ECONÔMICO-ENERGÉTICOS E AMBIENTAIS
THIAGO VASCONCELLOS BARRAL FERREIRA

SECRETÁRIO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO
EDUARDO AZEVEDO RODRIGUES

DIRETOR DE ESTUDOS DE ENERGIA ELÉTRICA
AMILCAR GONÇALVES GUERREIRO

SECRETÁRIO DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E COMBUSTÍVEIS
JOÃO VICENTE DE CARVALHO VIEIRA

DIRETOR DE ESTUDOS DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS
JOSÉ MAURO FERREIRA COELHO

SECRETÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA
ILDO WILSON GRUDTNER

DIRETOR DE GESTÃO CORPORATIVA
ÁLVARO HENRIQUE MATIAS PEREIRA

SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL
MARIA JOSÉ GAZZI SALUM

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE

ESPLANADA DOS MINISTÉRIOS
BLOCO U – 5º ANDAR
70065-900 – BRASÍLIA – DF
TEL.: (55 61) 3319 5299
FAX: (55 61) 3319 5067

WWW.MME.GOV.BR

ESCRITÓRIO CENTRAL

AV. RIO BRANCO, 01 – 11º ANDAR
20090-003 – RIO DE JANEIRO – RJ
TEL.: (55 21) 3512 3100
FAX : (55 21) 3512 3198

WWW.EPE.GOV.BR

Janeiro 2019

Participantes - EPE

COORDENAÇÃO EXECUTIVA

EMÍLIO HIROSHI MATSUMURA

THIAGO VASCONCELLOS BARRAL FERREIRA

COORDENAÇÃO TÉCNICA

GIOVANI VITORIA MACHADO

LUCIANO BASTO OLIVEIRA

EQUIPE TÉCNICA

ANGELA OLIVEIRA DA COSTA;

BRUNO RODAMILANS LOWE STUKART;

DIEGO PINHEIRO DE ALMEIDA;

FLAVIO RAPOSO DE ALMEIDA;

MARCELO COSTA ALMEIDA;

MARIANA LUCAS BARROSO;

NATALIA GONCALVES DE MORAES;

PATRICIA FEITOSA BONFIM STELLING;

PAULA ISABEL DA COSTA BARBOSA;

RACHEL MARTINS HENRIQUES;

SILVANA ANDREOLI ESPIG;

THIAGO IVANOSKI TEIXEIRA.

1. Introdução

As cadeias energéticas associadas ao setor transporte serão particularmente afetadas pela transição energética que começa a se consolidar no mundo. Nesse processo há determinantes já conhecidos como a busca por segurança energética (garantia de atendimento da demanda) e por sustentabilidade socioambiental, em particular no que tange à prevenção das mudanças climáticas globais (baseado no *princípio da responsabilidade comum, mas diferenciada*) e à redução da poluição local nas metrópoles e grandes cidades. No entanto, há incertezas acerca do ritmo da transição energética, da entrada das inovações e mesmo de definição das rotas tecnológicas que serão hegemônicas no futuro.

O ritmo de entrada da eletromobilidade nos transportes e a predominância das novas rotas tecnológicas veiculares são incertezas críticas que impactam diversas cadeias energéticas e industriais e seus *stakeholders* (incluindo fornecedores de bens e serviços): automotiva, petrolífera, bioenergia, eletricidade, transportes, cidades, consumidores e cidadãos. A magnitude potencial e a complexidade dessas transformações, assim como seus efeitos sobre os *stakeholders*, evidenciam a sensibilidade sociopolítica e econômica das decisões a serem tomadas no planejamento energético de longo

prazo. A eletromobilidade será um inequívoco agente de mudança (*game changer*), mas não é possível definir precisamente o tempo da mudança.

Nesse sentido, mais do que projetar o futuro do mercado de combustíveis automotivos, o objetivo desse documento é abordar oportunidades e desafios para a eletromobilidade no Brasil no horizonte 2050, bem como seus impactos sobre as cadeias energéticas (combustíveis fósseis e biocombustíveis), a fim de prover informações para a tomada de decisão de políticas públicas e de planejamento energético de longo prazo.

Trata-se, em particular, de discutir as perspectivas e barreiras de entrada de veículos híbridos e elétricos nos segmentos de leves e pesados, bem como seus eventuais impactos sobre os mercados de combustíveis automotivos e de eletricidade e sobre a mobilidade das cidades e o meio ambiente.

Em suma, a maior contribuição desse documento é identificar e discutir as incertezas críticas do mercado de combustíveis automotivos para o horizonte 2050, dotando os tomadores de decisão de informações necessárias para realizar escolhas consistentes e racionais.

2. Aspectos Conceituais das Linhas Narrativas dos Cenários

Há um intenso debate internacional sobre as profundas transformações que a indústria automobilística passará nas próximas décadas. Mudanças da plataforma tecnológica de propulsão veicular de combustão interna para híbrida e/ou elétrica, de modelo de negócios de posse de veículos para o de compartilhamento, de preferência de consumidores sobre mobilidade e mesmo sobre obter, ou não, habilitação de direção automotiva (por escolha sociocultural ou por veículo autônomo), entre

outras. Não há muitas dúvidas de que o futuro da **indústria automobilística** será significativamente diferente, mas, apesar do entusiasmo revelado no debate, não é claro quando esse futuro chegará e, sobretudo, como esses novos paradigmas se disseminarão.

Assim, é razoável estabelecer duas linhas narrativas de cenários de eletromobilidade para 2050:

- Cenário Referência – Transição Energética Longa (“Hibridização progressiva”)
- Cenário Alternativo – Transição Energética Curta (“Maior Eletromobilidade”)

Todavia, antes da descrição desses cenários é preciso compreender as definições e categorias de veículos híbridos e elétricos, os processos de substituição tecnológica e as oportunidades e desafios associados à entrada de veículos híbridos e elétricos.

2.1 Definições, Categorias de Veículos Híbridos e Elétricos e Nível de Autonomia

O entendimento de aspectos conceituais das definições de veículos híbridos e elétricos são fundamentais para que os cenários de entrada dos mesmos sejam adequadamente considerados.

Para tal, é útil recorrer ao indicador de grau de hibridização¹ (GH) estabelecido por Lukic et al (2008), que mede a potência relativa do subsistema elétrico como uma fração do sistema total de potência do veículo e varia entre “0” e “1”. Assim, enquanto os veículos a combustão interna (ICE) têm GH = “0”, os veículos alimentados plenamente por eletricidade (EV) têm GH = 1.

Nesse sentido, os veículos híbridos e elétricos têm sido classificados nas seguintes categorias, conforme seu grau de hibridização (GTAI, 2015; Hannan et al., 2014; Lukic et al., 2008):

- Micro-Híbrido (*Micro Hybrid Electric Vehicle – micro-HEV*): veículos que utilizam um gerador de partida integrado para permitir a tecnologia “stop-start” (desligamento e partida automáticas do motor a combustão interna nas paradas e retomadas), incremento de potência assistida elétrica limitada e frenagem regenerativa, sendo suficiente dispor de baterias avançadas de chumbo ou ultracapacitor para sustentar tais funções. Tem grau de hibridização inferior a 0,1. Como destacado por GTAI

(2015), esses veículos não são realmente híbridos, uma vez que não utilizam um motor elétrico para sua propulsão. Pode gerar ganhos de eficiência energética em torno de 10%, quando em áreas urbanas;

- Mini-Híbrido ou “híbrido leve” (*Mild Hybrid Electric Vehicle – mild-HEV*): veículos que, além de incorporar a tecnologia “stop-start”, frenagem regenerativa e incremento de potência assistida elétrica limitada, são capazes de realizar a propulsão elétrica em baixa velocidade, requerendo baterias maiores e mais potentes (chumbo-ácida avançada, NiMH e bateria/Electric Double-Layer Capacitor – EDLC híbrida). Ainda que seja considerado, de fato, um veículo híbrido (GTAI, 2015), o motor elétrico não é potente o suficiente para a propulsão do veículo por si só, à exceção da baixa velocidade para pequenos deslocamentos (para autoestacionamento, por exemplo). Tem grau de hibridização inferior a 0,25. Pode gerar ganhos de eficiência energética em torno de 10%-20%, quando em áreas urbanas;
- Híbrido-Pleno (*Full Hybrid Electric Vehicle - FHEV*): veículos que podem ter propulsão plenamente a combustão interna (ICE) ou elétrica. Têm motores elétricos e baterias maiores que os mini-híbridos para partida elétrica, assistência de aceleração e propulsão elétrica a baixa velocidade. Também se pode incorporar nessa categoria veículos híbridos de potência assistida

¹ Ainda que a denominação “grau de eletrificação” pareça mais adequada, a literatura internacional tem adotado o conceito de grau de hibridização, conforme proposto por Lukic et al (2008).

(*Power-Assisted HEV*) que ofereçam assistência elétrica substancial, ainda que para curtas distâncias, bem como os híbridos *Plug-in* (PHEV), que podem ser carregados na rede elétrica, inclusive residencial. O motor elétrico e a bateria operam usualmente com voltagens acima de 200 V. Tem grau de hibridização superior a 0,25 e inferior a 0,50. Pode gerar ganhos de eficiência energética até 50%, quando em áreas urbanas;

- Elétrico (*Electric Vehicle – EV*): veículos que têm propulsão puramente elétrica alimentados por baterias que são recarregadas na rede elétrica (*Battery Electric Vehicle – BEV*) ou por célula combustível a hidrogênio (*Hydrogen Fuel Cell Vehicle – HFCV*). Atualmente, os BEVs requerem baterias de íon-lítio, sendo mais comum em veículos pequenos com foco urbano (distâncias curtas), inclusive para frotas cativas ou por compartilhamento (*car sharing*). Já os HFCVs estocam hidrogênio a bordo, que pode ser extraído por reforma², tendo ainda alto custo e perspectivas desfavoráveis no mercado (apesar dos investimentos em P&D). Tem grau de hibridização igual a 1.

A partir dessa categorização, pode-se perceber que os micro-híbridos e os mini-híbridos são inovações incrementais dos veículos a combustão interna (ICE) e que as tecnologias disruptivas de fato são os veículos híbridos-pletos (FHEV) e os elétricos (BEV e HFCV). Assim, a inclusão dos veículos micro-híbridos e os mini-híbridos na categoria de combustão interna (ICE) ou na de híbridos (HEV) pode distorcer totalmente a expectativa e as projeções de participação de mercado das tecnologias automotivas nos próximos anos.

Em outras palavras, em função do desentendimento conceitual no mercado e na literatura especializada, a expectativa do ritmo

de entrada de mercado dos veículos híbridos e elétricos para o futuro depende muito da categorização utilizada nas projeções. A transparência conceitual torna-se, então, fundamental para avaliar a razoabilidade das premissas de projeção consideradas.

Por entender que consistem em inovações incrementais dos veículos de combustão interna (ICE), a EPE trata os veículos micro-híbridos e os mini-híbridos em seus estudos de modo agregado aos ICE. Em particular, essa decisão se justifica porque: i) conceitualmente, a potência elétrica não contribui ou contribui em condições muito restritas (autoestacionamento, por exemplo) para a força motriz desses veículos, que permanece diretamente relacionadas ao ICE; ii) estatisticamente, há considerável esforço para a desagregação dessas categorias, sendo o ganho dessa separação bastante questionável.

Ressalte-se que tal categorização é basicamente a mesma que tem sido aplicada a veículos pesados (Somà, 2017;AVL, 2018).

Por fim, em relação aos veículos autônomos é preciso definir o nível de autonomia a que se está referindo, visto que se tratam de complexidades tecnológicas diferentes (assim como custos) e, por conseguinte, têm expectativas distintas de disseminação no mercado.

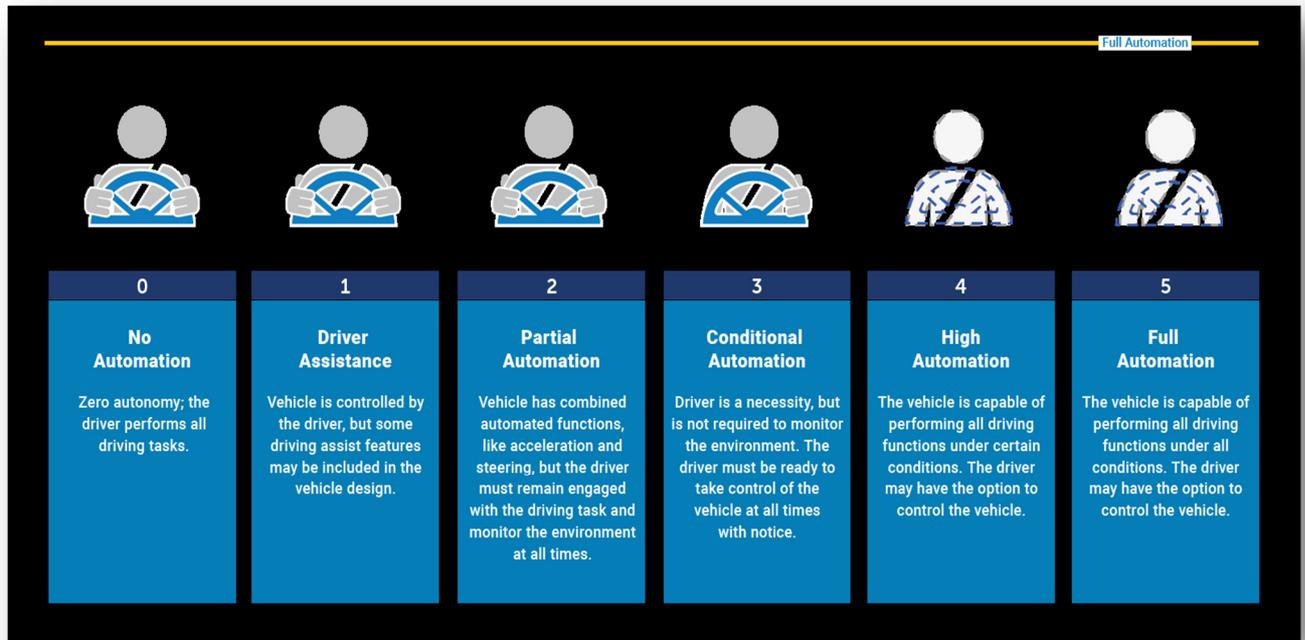
Internacionalmente têm sido utilizadas as seguintes definições de níveis de autonomia de veículos (SAE, 2016; NHTSA, 2018):

- Nível 0 (L0): Sem autonomia – o motorista (humano) faz toda a condução;
- Nível 1 (L1): Assistência ao Condutor – um sistema avançado de assistência ao condutor (*Advanced Driver Assistance System – ADAS*) no veículo eventualmente pode ajudar o condutor humano com a direção ou a

² Processo de reação do combustível com vapor d'água para obtenção de hidrogênio, monóxido e dióxido de carbono.

- frenagem/aceleração, mas não simultaneamente;
- Nível 2 (L2): Autonomia Parcial – um sistema avançado de assistência ao condutor (ADAS) no veículo pode controlar realmente a direção e a travagem/aceleração simultaneamente em algumas circunstâncias. O motorista (humano) deve continuar a prestar atenção total ("monitorar o ambiente de condução") em todos os momentos e realizar as demais tarefas de condução;
 - Nível 3 (L3): Autonomia Condicional – um sistema de condução automatizada (*Automated Driving System - ADS*) no veículo pode por si realizar todos os aspectos da condução sob algumas circunstâncias. Nessas circunstâncias, o motorista (humano) deve estar pronto para tomar de volta o controle a qualquer momento quando o ADS solicitar o motorista (humano). Em todas as outras circunstâncias, o motorista realiza a tarefa de condução;
 - Nível 4 (L4): Alta Autonomia – um sistema de condução automatizada (ADS) no veículo pode realizar todas as tarefas da condução e monitorar o ambiente de condução - essencialmente, realizar toda a condução - em determinadas circunstâncias. O motorista não precisa prestar atenção nessas circunstâncias;
 - Nível 5 (L5): Autonomia Plena – um sistema de condução automatizada (ADS) no veículo pode realizar toda a condução em todas as circunstâncias. Os ocupantes do veículo são apenas passageiros e nunca precisam ser envolvidos na condução.
- A Figura 1 resume classificação de nível de autonomia dos Veículos pela *Society of Automotive Engineers* – SAE.

Figura 1 – Classificação de Nível de Autonomia dos Veículos pela Society of Automotive Engineers – SAE



Fonte: NHTSA (2018)

Ou seja, à semelhança do que ocorre com as previsões de licenciamento de veículos híbridos e elétricos, é fundamental ter claro que nível de autonomia do veículo está-se considerando nas projeções de entrada dos veículos autônomos ao longo do tempo. A expectativa dos especialistas é que quanto maior o nível de autonomia do veículo mais lenta será sua disseminação no mercado, em função dos custos dos sistemas de autonomia alta e plena. Aqui também a transparência conceitual se torna chave para avaliar a razoabilidade das premissas de projeção consideradas.

2.2 Processo de Inovação e Substituição Tecnológica³³

Ainda que não haja muitas dúvidas de que o futuro da indústria automobilística será significativamente diferente, não é claro quando esse futuro chegará e como esses novos paradigmas se disseminarão. A pergunta-chave para a indústria automotiva e para o planejamento energético é: a transição será disruptiva e rápida ou será incremental e longa?

Adner e Kapoor (2016) argumentam que não se pode avaliar apenas a tecnologia per se, mas também o “ecossistema” mais amplo que lhe dá suporte: tecnologias complementares, serviços, padrões, regulação, infraestrutura, etc. Em particular, é preciso entender que pode haver competição entre os “ecossistemas” novo e antigo, mais do que entre as tecnologias. Esses pontos permitiriam aos tomadores de decisão observar em uma perspectiva mais ampla a

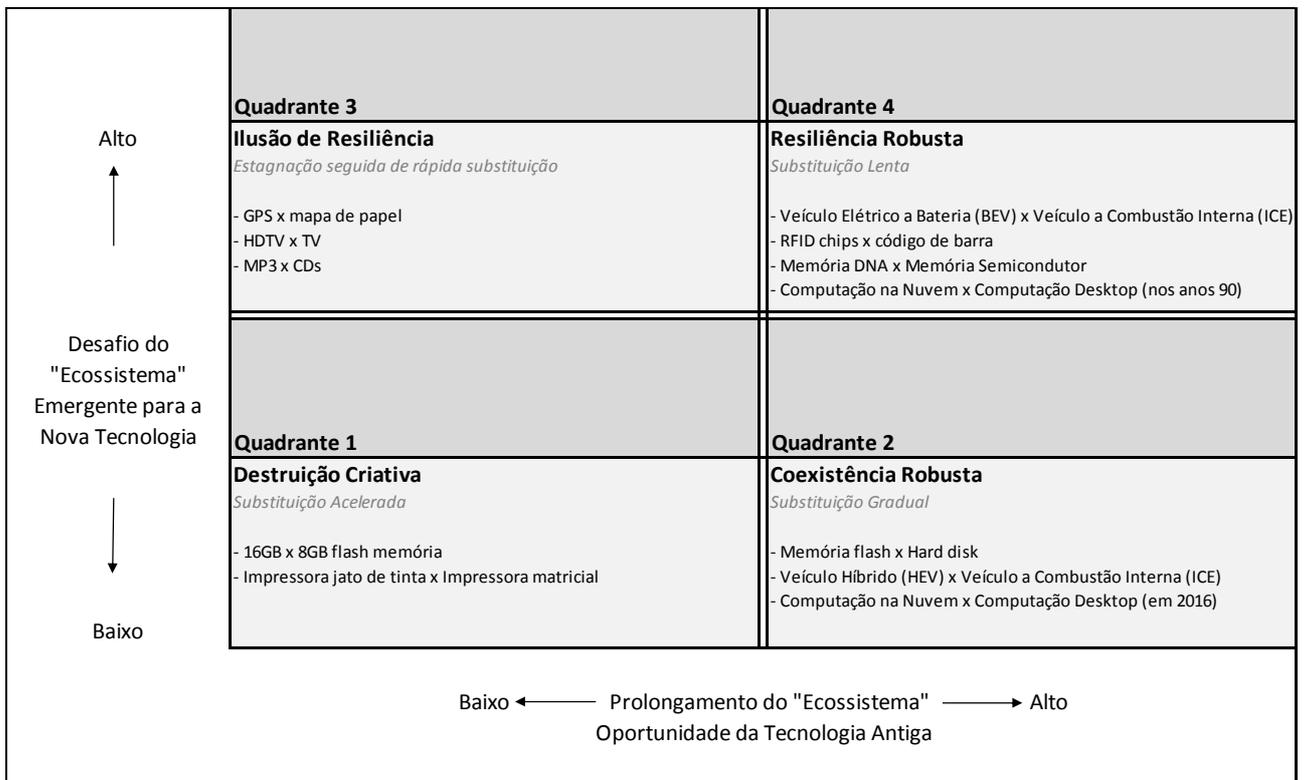
Esse aspecto tecnológico não será tratado diretamente nas projeções de uso de energia por veículos. Todavia, esses aspectos podem ser capturados indiretamente em algumas variáveis projetadas nos estudos (quilometragem percorrida, eficiência energética, etc.). Ainda assim, há incertezas acerca do efeito líquido sobre o uso de energia, uma vez que pode haver efeito rebote (“*rebound effect*”) relacionado ao aumento do número de viagens e da substituição de transporte público de massa por veículos leves no modelo de mobilidade como serviço (Wadud, 2018).

competição das tecnologias e, com isso, prever melhor o *timing* de entrada das novas tecnologias.

A capacidade de inovação remanescente da tecnologia antiga e de seu “ecossistema” poderia alongar o horizonte de manutenção de sua participação no mercado. Assim, o processo de substituição é determinado pelo ritmo que o “ecossistema” da nova tecnologia pode superar seus desafios frente ao ritmo que o “ecossistema” da tecnologia antiga pode explorar suas oportunidades remanescentes mediante inovações incrementais. Nesse sentido, Adner e Kapoor (2016) propõem quatro cenários possíveis: destruição criativa, resiliência robusta, coexistência robusta e ilusão de resiliência (vide Figura 2).

³³ Essa seção é fortemente baseada em Machado, Costa e Stelling (2018), publicado no Rio Oil & Gas 2018.

Figura 2 - Estrutura Analítica do Ritmo de Substituição Tecnológica



Fonte: Adner e Kapoor (2016)

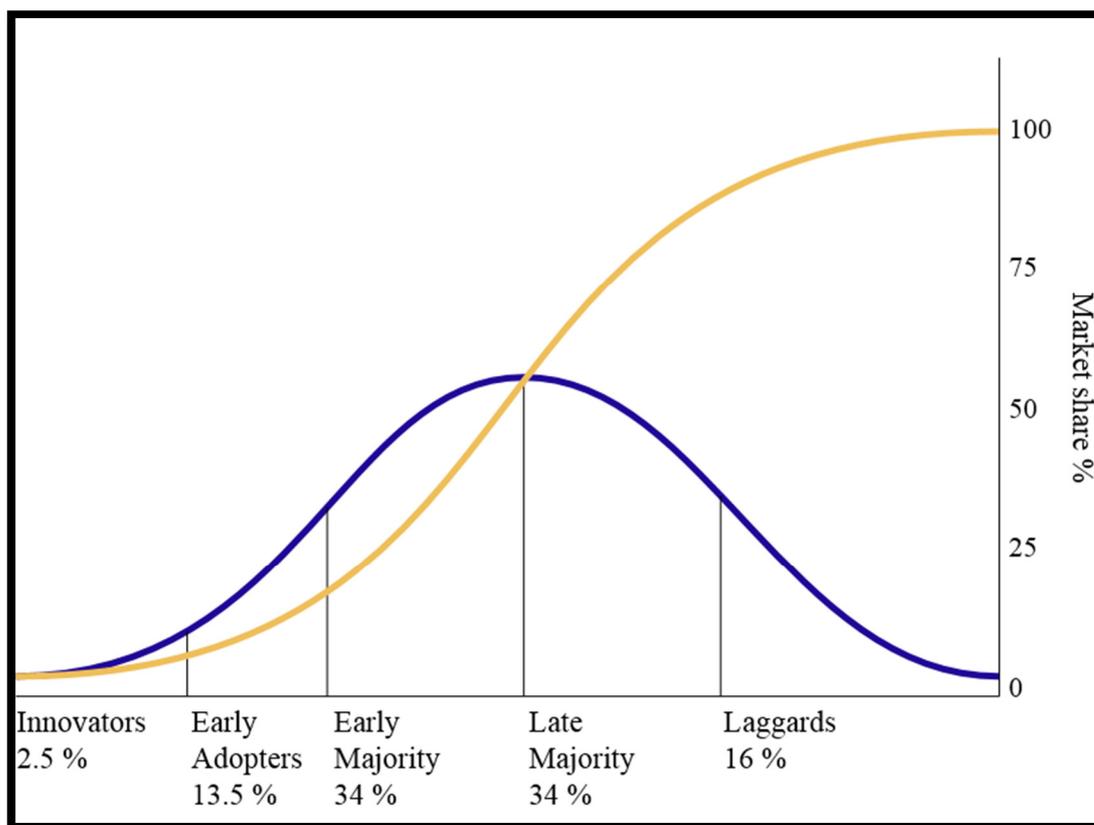
- Destruição criativa: quando o "ecossistema" da nova tecnologia enfrenta baixos desafios de entrada (não há barreiras relevantes) e o "ecossistema" da tecnologia antiga tem poucas oportunidades de inovação, resultando em um processo de substituição acelerado;
- Resiliência robusta: quando o "ecossistema" da nova tecnologia enfrenta significativos desafios de entrada e o "ecossistema" da tecnologia antiga ainda dispõe de relevantes oportunidades de aperfeiçoamento, resultando em um processo de substituição lenta;
- Coexistência robusta: quando o "ecossistema" da nova tecnologia enfrenta poucos desafios de entrada e o "ecossistema" da tecnologia antiga também dispõe de altas oportunidades de aperfeiçoamento, resultando em um processo prolongado de coexistência – i.e., em uma substituição gradual (atrativo para o consumidor final);
- Ilusão de resiliência: quando o "ecossistema" da nova tecnologia enfrenta altos desafios de entrada e o "ecossistema" da tecnologia antiga tem poucas oportunidades de aperfeiçoamento, resultando em um processo de estagnação de inovações da tecnologia antiga e na substituição rápida da mesma tão logo os desafios da nova tecnologia sejam superados.

Outro ponto relevante para a definição de premissa de penetração de novas tecnologias no mercado são as preferências dos consumidores, em particular a predisposição de incorrer no risco e no prêmio (adicional de preço) tecnológicos e o tempo para adoção das inovações.

Como revela a Figura 3, o mercado consumidor pode ser segmentado pela propensão a adotar novas tecnologias no mercado. Essa propensão é afetada por fatores como: nível de renda, nível educacional, idade, aversão ao risco tecnológico, aversão ao prêmio tecnológico (adicional de preço), aversão ao

desembolso inicial (mesmo quando há *pay-back* favorável) e grau de obsolescência da tecnologia anterior para o subgrupo consumidor (bem similar está pouco, ou muito, depreciado), percepção de benefícios/utilidade da adoção, entre outros.

Figura 3 – Lógica de entrada no mercado de novas tecnologias



Fonte: UK Office for Low Emission Vehicles (2015)

Nota: Baseado em Rogers, Everett (1962). *Diffusion of Innovations*, 1st Edition, 1962, Free Press of Glencoe.

Ou seja, a entrada no mercado de novas tecnologias é faseada (dispersa temporalmente) em função das características socioeconômicas e comportamentais que impactam a difusão ou disseminação tecnológica. Dessa forma, mesmo

quando a nova tecnologia se torna competitiva, sua disseminação, em geral, não é imediata, mas sim progressiva, sendo seu ritmo dependente das características socioeconômicas e comportamentais dos consumidores.

3. Oportunidades e Desafios

3.1 Oportunidades

Em um contexto de mudanças climáticas e de políticas ambientais, oscilação de patamar de preços de petróleo, surgimento de novas fontes de energia competitivas, de riscos geopolíticos, de significativas inovações tecnológicas eletroeletrônicas e de alterações de hábitos, o setor transporte certamente sofrerá modificações consideráveis no futuro.

Na busca pela redução de emissões veiculares (locais e globais) e pela segurança energética, por exemplo, diversos países têm buscado estratégias, seja com o aumento da eficiência veicular, com a melhoria das tecnologias existentes ou em casos mais extremos, com a substituição da combustão interna e adoção de novas tecnologias automotivas. Neste cenário, os veículos elétricos e híbridos assumem o papel de alternativas disruptivas às tecnologias convencionais (combustão interna) da indústria automotiva. São oportunidades de novos negócios que se colocam em um novo ciclo tecnológico e de mercado, bem como criam e/ou ampliam cadeias de fornecedores de bens e serviços associados.

A seguir são discutidas as oportunidades relacionadas aos veículos híbridos e elétricos.

3.1.1 Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa e Poluentes Locais

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) apontou em seus últimos relatórios que o setor de transporte foi responsável por 14% das emissões globais de GEE em 2010 (IPCC, 2014), apresentando tendência de crescimento. Quando se foca no uso final de energia, o setor de transporte respondeu por 27% das emissões de GEE no mundo em 2010. As projeções do IPCC apontam que as emissões do transporte podem dobrar até 2050.

Mais recentemente, IEA (2018) apontou que o setor de transportes permanece como um dos grandes responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa que contribuem para as Mudanças Climáticas, respondendo por 24% das emissões globais no setor de energia em 2016. Dentre os esforços para a descarbonização do setor, a eletromobilidade vem ganhando relevância pela sua maior eficiência energética, por reduzir emissões de GEE no ciclo de vida e por não emitir poluentes atmosféricos no escapamento dos veículos.

Entretanto, existem aspectos socioambientais envolvidos que devem ser considerados para viabilizar a inserção da eletromobilidade de maneira responsável e sustentável. Sendo assim, nos próximos tópicos procura-se discutir os principais aspectos socioambientais relacionados à eletromobilidade: mudanças climáticas,

poluição atmosférica e uso de baterias, especialmente íon-lítio. Por fim, na conclusão desse documento são apresentadas as

oportunidades e desafios do desenvolvimento da eletromobilidade sob a ótica socioambiental.

3.1.1.1 Mudanças Climáticas

Para a adequada compreensão do nível de emissão de GEE é fundamental avaliar se a inserção da eletromobilidade está alinhada com os objetivos de mitigação das Mudanças Climáticas. Para tal, é importante considerar todo ciclo de vida dos veículos elétricos: produção, uso e destinação final.

Segundo a literatura, com relação à etapa de produção dos veículos elétricos não existem variações significativas nas emissões quando comparado aos de combustão interna, pois ambos são fabricados com os mesmos materiais, tais como aço, ferros, ligas metálicas, plásticos e borracha, em processos similares de montagem e produção. No entanto, a fabricação de baterias resultam em emissões de GEE adicionais, que no caso das de íon-lítio é estimado em cerca de 15% maior que veículos a gasolina de mesmo porte (Nealer et al, 2015).

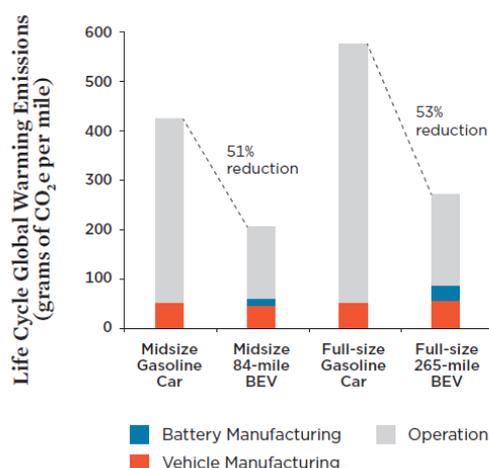
A etapa de utilização dos veículos elétricos é a maior responsável pelas emissões

de GEE do ciclo de vida, pois esta depende da intensidade de emissões da matriz elétrica de abastecimento. Logo, a substituição de veículos movidos a derivados de petróleo por veículos híbridos e elétricos somente representará uma diminuição na emissão de GEE se a geração elétrica utilizar fontes renováveis e/ou de baixo carbono.

Assim como na etapa de produção, ao final da vida útil, as emissões associadas à destinação final dos veículos elétricos também são similares aos de combustão interna. Conforme o estudo de Nealer et al. (2015), as emissões de GEE provenientes das opções de destinação final das baterias não alteram significativamente o valor total do ciclo de vida.

A Figura 4 a seguir representa as estimativas de emissões de GEE no ciclo de vida do veículo elétrico para o caso americano realizado por Nealer et al. (2015).

Figura 4 – Estimativa de emissões de GEE no ciclo de vida de veículos elétricos.



Fonte: Nealer et al (2015)

Sendo assim, observa-se que a principal diferença nas emissões de GEE dos veículos elétricos em relação aos veículos a combustão interna estão relacionados à matriz elétrica de abastecimento e à bateria. Observando a Figura 4, que considerou a matriz elétrica americana, a redução de emissão de GEE do ciclo de vida de veículos elétricos em comparação com veículos a gasolina foi cerca de 50% menor (Nealer et al., 2015). Portanto, o potencial de redução de GEE na matriz elétrica brasileira pode ser muito maior pela elevada participação de renováveis.

Não obstante, há na literatura uma discussão sobre a fronteira do sistema, a matriz de geração elétrica e as premissas consideradas na análise de ciclo de vida, as quais podem alterar significativamente as vantagens dos veículos elétricos para a redução das emissões

globais de GEE (Hawkins et al, 2012; Hawkins et al, 2013; Nordelöf et al, 2014). Por exemplo, incluir ou não os impactos da mineração e da coleta, reciclagem e descarte de baterias, considerações sobre a distância média percorrida e a duração da vida útil dos veículos (que podem incluir novas baterias e suas emissões associadas na avaliação) podem afetar os resultados da análise de ciclo de vida e trazer implicações de políticas públicas.

De qualquer forma, esses são pontos a serem monitorados na literatura especializada nos próximos anos.

3.1.1.2 Poluição atmosférica local e poluição sonora

A poluição atmosférica nos centros urbanos tornou-se um grande problema de saúde pública. Normalmente, os centros urbanos já apresentam qualidade do ar comprometida pela concentração elevada de poluentes atmosféricos derivados de fontes de emissões móveis e fixas. Por isso, diversos países têm criado políticas e regulações específicas de controle de poluição local em metrópoles e grandes cidades.

No Brasil, com o objetivo de reduzir e controlar a poluição atmosférica e a emissão de ruído por fontes móveis (veículos automotores) o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou e implementou os Programas de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores: PROCONVE – com abrangência em automóveis, caminhões, ônibus e máquinas rodoviárias e agrícolas – e PROMOT – com abrangência em motocicletas e similares (IBAMA, 2018).

Um dos maiores benefícios da utilização de veículos híbridos e elétricos é a redução ou ausência de emissão de gases poluentes de escapamento, e também a ausência de ruídos de motor. Sendo assim, o aumento da eletromobilidade e substituição de veículos de combustão interna gera redução dos níveis de emissões de poluentes locais, contribuindo para a melhora da qualidade do ar. Estes benefícios são mais significantes nos centros urbanos por serem áreas densamente ocupadas.

Logo, a utilização de veículos híbridos e elétricos pode contribuir para redução da exposição da população à poluição atmosférica e ruído trazendo impactos positivos para a saúde pública pela redução de mortes, doenças e gastos, e aumento da qualidade de vida da população. Importante destacar que para que esses efeitos positivos aconteçam é preciso observar as circunstâncias concretas das cidades em questão. Isto porque, como destaca Kalghatgi (2018), quando a geração elétrica ocorre perto dos centros urbanos, como Pequim, e as termelétricas permanecem concentradas em carvão, os impactos sobre a qualidade do ar local relacionados a material particulados finos, SO₂ e NO_x podem ser piores em veículos elétricos a bateria (BEV) do que em veículos a combustão interna.

Ademais, há aspectos socioeconômicos que precisam ser observados no processo de progressiva adoção da tecnologia. Isso porque seu custo econômico pode excluir do mercado contingentes populacionais de menores níveis de renda e afetar sua mobilidade e oportunidades econômicas e sociais. Não por acaso, a definição de desenvolvimento sustentável proposta no Relatório *Brundtland* da *World Commission on Environment and Development* (1987) abrange aspectos econômicos, sociais e ambientais.

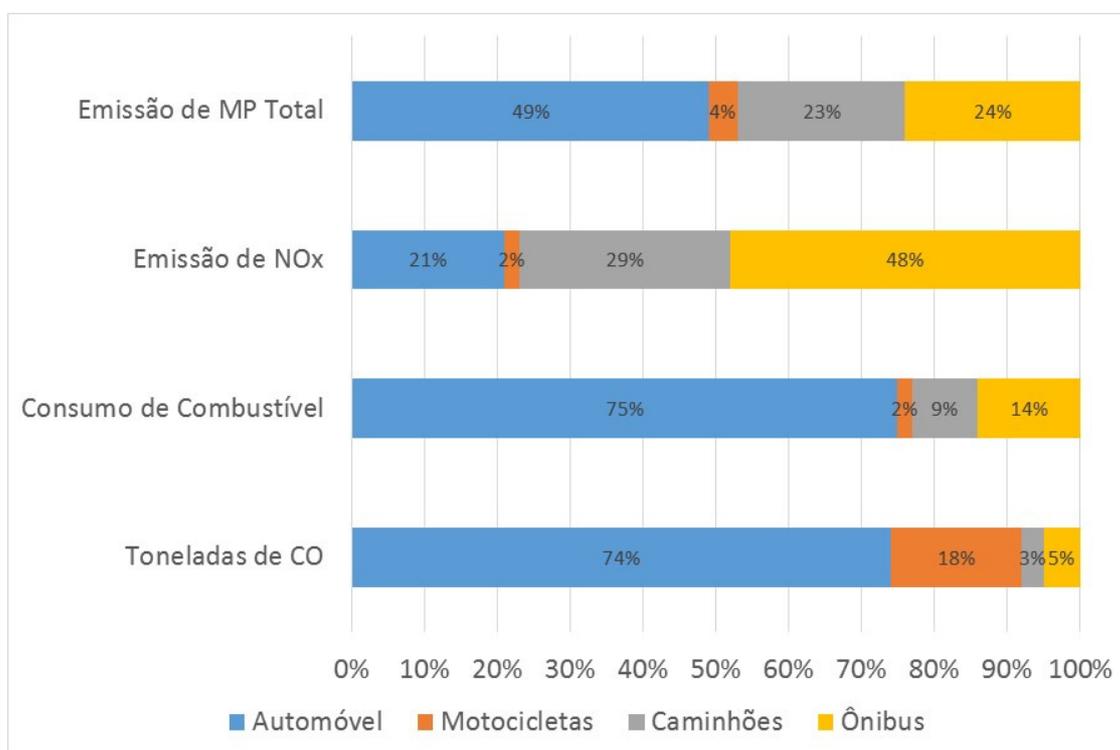
Nesse sentido, é fundamental ter uma abordagem sistêmica, buscar soluções sinérgicas com transporte público de massa

(BRT, VLT/metrô) e estabelecer “políticas públicas sem arrependimento” (“*no regrets policies*”).

De qualquer forma, no caso do Brasil, há nichos relevantes nos quais podem haver ganhos significativos na qualidade do ar em cidades com

bacias aéreas saturadas, como por exemplo, São Paulo. A Figura 5 mostra que quase metade das emissões de material particulado (MP) total advém de caminhões e ônibus (ainda que tenham frotas bem menores do que as de veículos privados), enquanto alcança 77% para emissões de NOx.

Figura 5 - Consumo e emissões por modos de transporte na cidade de São Paulo



Fonte: PlanMob/SP (2015) *apud*. IEMA (2017). *Estudo sobre Faixas Exclusivas em São Paulo/SP*. IEMA: SP.

Cabe mencionar que as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) para concentração de MP10 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) são inferiores, por exemplo, às registradas na Região Metropolitana de São Paulo ($30\text{-}45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - em

2014), de acordo com ICCT (2016). Dessa forma, é crível supor que no horizonte 2050 possam ser estabelecidas restrições adicionais às fontes emissoras desse poluente, as quais possam

favorecer a entrada de tecnologias alternativas de transportes.

Nessa mesma linha, ANTP-Volvo (2016) avaliam os impactos ambientais da substituição de ônibus urbanos por veículos menos poluentes no Brasil, cujos ganhos podem ser significativos. De qualquer forma, os custos de investimentos para substituição em cidades com

mais de mil veículos montam à R\$ 35 bilhões, podendo ser reduzidos para R\$ 25 bilhões se os veículos usados forem revendidos para outras cidades, abatendo-se cerca de R\$ 10 bilhões do valor bruto (valor de revenda).

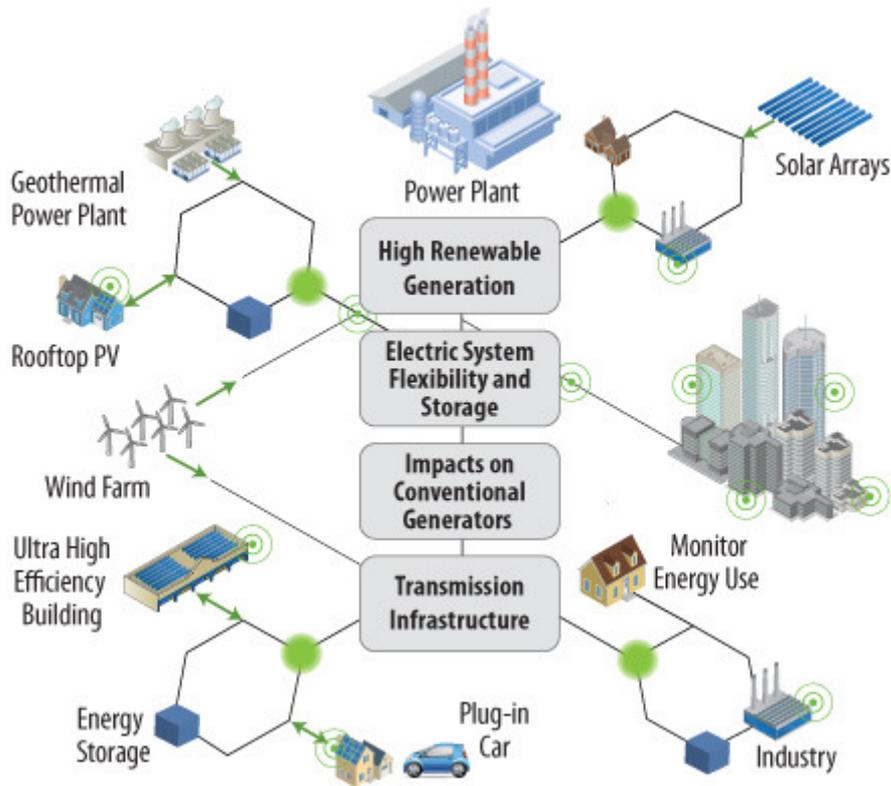
3.1.2 Integração do Setor Elétrico com o Setor Automotivo

Além de contribuir para o equacionamento das mudanças climáticas, da poluição local e da segurança energética (redução da dependência do petróleo), os veículos híbridos *plug-in* e elétricos, em particular, têm sido vistos também como uma oportunidade para o setor elétrico. Isto porque seria uma solução complementar para este setor na questão da intermitência da geração elétrica de empreendimentos de fontes não

despacháveis (como eólicas e solares), por conta da capacidade de armazenar energia em suas baterias.

Alguns especialistas acreditam, inclusive, que o futuro da mobilidade será integrado ao futuro do setor elétrico (Gough et al., 2017; Vazquez et al., 2010), conforme idealiza a Figura 6.

Figura 6 – Integração do Setor Elétrico com o Setor Automotivo



Fonte: NREL (2018)

Ressalte-se, contudo, que não há ainda consenso técnico sobre essa integração, visto

sua complexidade técnica (Wolinetz et al., 2018; Sovacool et al. 2018; Loisel et al., 2014).

3.1.3 Inovação Tecnológica do Setor Automotivo

Outro ponto que vem sendo apontado como motivador para a eletromobilidade é o fato de que as inovações do setor automotivo estejam se concentrando em quatro conceitos: eletrificação, automação, conectividade e segurança.

Lins et al (2018) destacam que os planos de investimento anunciados pelas montadoras em veículos elétricos e tecnologias mais eficientes somam US\$ 168 bilhões, em diferentes horizontes, e que tais valores anualizados representaram 35% do investimento das companhias pesquisadas em 2016 (70% de

participação do mercado). Adicionalmente, McKinsey & Company (2016) estimam que as receitas do setor automotivo poderão crescer mais de 30% no horizonte 2030 devido ao desenvolvimento de serviços de mobilidade e de dados de condução (data-driven services), incrementando cerca de US\$ 1,5 trilhão ao potencial de receita. Para colocar em perspectiva, as vendas tradicionais de veículos geraram em torno de US\$ 5,2 trilhões e o pós-

3.1.4 Cidades Inteligentes

Cidades inteligentes são aquelas que proporcionam melhoria de qualidade de vida para seus habitantes através da interação dos seus diversos recursos, serviços e financiamentos. Esses fluxos de interação são considerados inteligentes por fazerem uso estratégico de infraestrutura e serviços e de informação e comunicação com planejamento e gestão urbana para dar resposta às necessidades sociais e econômicas da sociedade (FGV Projetos, 2014).

A disseminação de soluções inteligentes para as cidades devem torná-las mais produtivas, menos violentas, com menos congestionamentos e emissões de poluentes, dentre outras características que contribuam para melhorar a qualidade de vida das pessoas neste ambiente. Portanto, políticas em prol de avanços na mobilidade urbana, uso eficiente da energia, gestão da demanda de energia, melhor aproveitamento do lixo e do biogás estão em linha com este conceito.

venda US\$ 3,5 trilhões em 2015 (McKinsey & Company, 2016).

Particularmente em mercados maduros e saturados, pode haver um estímulo adicional para as montadoras tentarem acelerar a estratégia de lançamento de novos modelos híbridos e elétricos e ampliar o foco nesses negócios, caso as condições de mercado e as preferências dos consumidores sancionem essas tendências.

Neste contexto, surgem tendências como a mobilidade como serviço e a mobilidade compartilhada. O uso passa a ser mais importante que a posse. Este é o caso do *car sharing* (carros compartilhados), a exemplo do ZIP car e Car2Go, no qual as pessoas podem alugar carros por períodos curtos de tempo, geralmente por hora, através de estações do sistema que estão espalhadas pelas áreas centrais e pelos bairros da cidade, tornando-se acessível como uma forma de transporte coletivo ponto a ponto. O *car sharing* já está presente em mais de 1000 cidades no mundo todo, incluindo países emergentes como China, Índia, Brasil e México e surgem como uma possibilidade de substituição dos veículos privados individuais para muitas famílias. Pesquisas constataram que cada veículo de um sistema de carros compartilhados substitui de 4 a 15 veículos particulares nas ruas (ITDP, 2017).

Outra opção é o serviço de *ride hailing* ou *ride-sharing*, que é o transporte através de veículos leve com propósitos comerciais não licenciados, como o caso do Uber e Lyft. Este tipo de serviço concorre diretamente com os táxis locais, bem como, crescentemente, com o

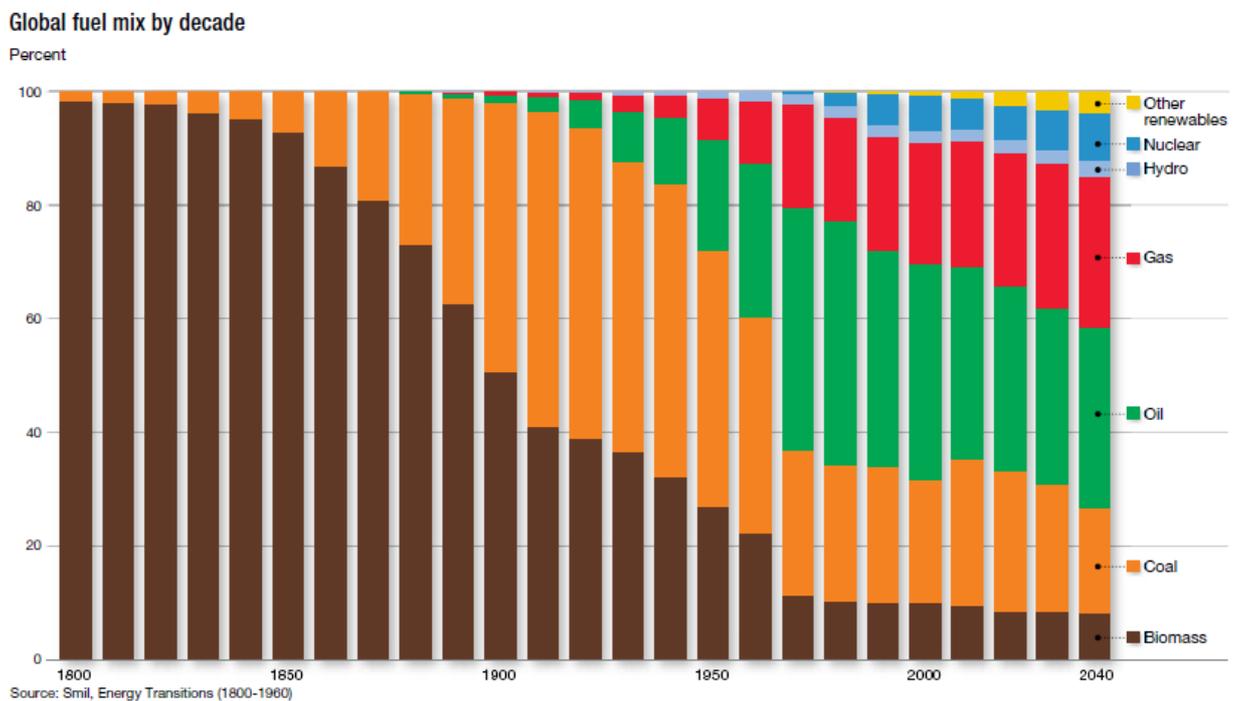
transporte público e o veículo pessoal. Além disso, podem permitir que motoristas possam monetizar seus veículos quando ociosos. Investimentos em *ride hailing* alcançaram mais de 21 bilhões de dólares ao redor do mundo em 2016.

3.2 Desafios

Ainda que haja um movimento global e um grande entusiasmo para a adoção de novas tecnologias veiculares, cabe ressaltar que há grandes desafios e que as transições energéticas

são processos usualmente lentos, como revela a história da indústria de energia (Smil, 2017; Yergin, 2015). A Figura 7 revela o padrão histórico das transições energéticas no mundo.

Figura 7 – Transições energéticas do mundo



Fonte: Exxon (2013)

Além dos desafios iniciais de entrada no mercado e do processo de sucateamento e reposição de veículos, ao longo do processo de disseminação das novas tecnologias surgem questões que não eram tão relevantes no princípio (pressão sobre os preços de insumos e materiais, custos de descarte e reciclagem de baterias, universalização da infraestrutura, limites de orçamento público para introdução e/ou *scale-up* dos incentivos, etc.), as quais podem contrabalançar parte dos ganhos de escala esperados da produção de novas tecnologias (Delgado et al., 2018; Lévy, 2017;

Harrison e Thiel, 2017; Sonoc et al. 2015; Gaines, 2014).

Mesmo que o custo total de propriedade se torne favorável aos veículos híbridos e elétricos, questões relacionadas ao montante de desembolso inicial e à preferência dos consumidores para a alocação de renda também podem afetar o ritmo de entrada (Lin e Wu, 2018; Palmer et. al., 2018; Hangman et al., 2016).

A seguir são discutidos os desafios relacionados aos veículos leves híbridos e elétricos.

3.2.1 Preço do Veículo e Preferência do Consumidor

Os elevados preços de aquisição de veículos híbridos e elétricos são um desafio às suas disseminações. Os modelos comercializados, por exemplo, mesmo com incentivos, têm preços de venda ao consumidor entre R\$ 115 a 250 mil, em média (Carros, 2016). Contudo, a participação de mercado de veículos na faixa de preço superior a R\$ 80 mil no Brasil é de cerca de 6% do licenciamento, sendo o foco em veículos de luxo e esportivos de alta performance (Carros, 2016). Até dezembro de 2017, haviam sido licenciados no total acumulado no país menos de 7 mil veículos híbridos e elétricos. (ANFAVEA, 2018).

Ademais, a preferência revelada pelo consumidor nessa faixa de preços é por veículos de maior porte e luxuosos como SUVs, Pick ups (caminhonetes), furgões e sedans médio de luxo (FENABRAVE, 2018), com características bem distintas daquelas dos veículos híbridos e elétricos - em geral, veículos mais compactos (de menor porte).

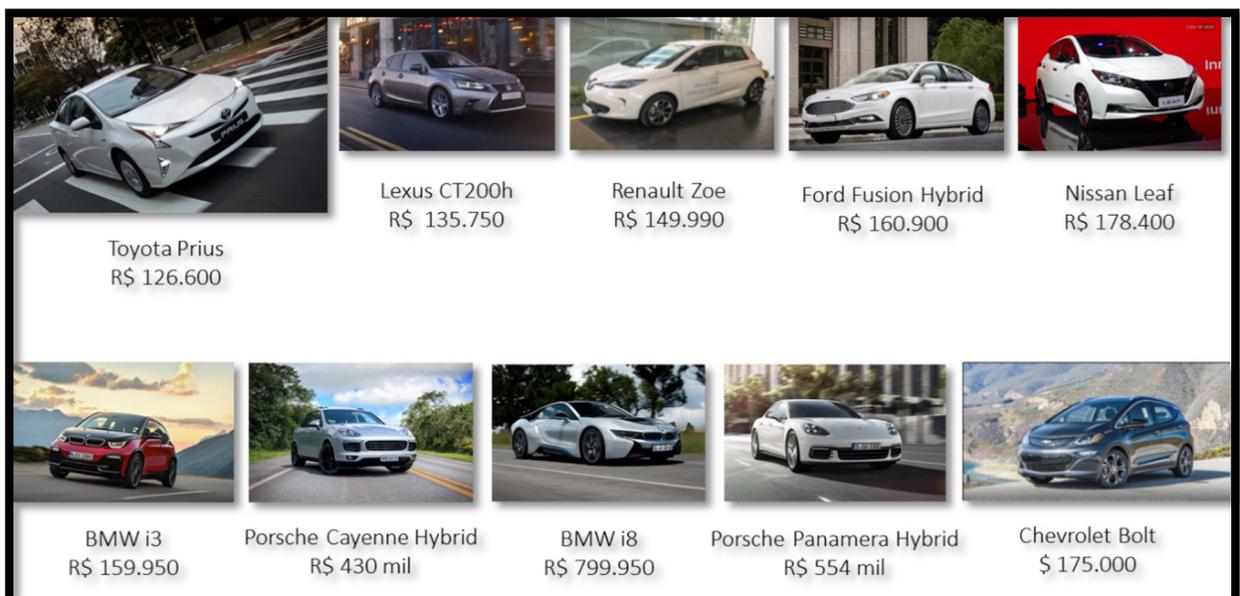
A Figura 8 apresenta comparações de preços de veículos ICE e HEV no Brasil, enquanto a Figura 9 apresenta um levantamento de preços de veículos híbridos e elétricos no Brasil.

Figura 8 – Comparações de preços de veículos ICE e HEV no Brasil



Fonte: Elaboração própria EPE

Figura 9 – Levantamento de preços de veículos híbridos e elétricos no Brasil



Fonte: Elaboração própria EPE

3.2.2 Adaptação da infraestrutura

Para que ocorra a disseminação dos veículos híbridos plug-in e elétricos também é necessário que exista uma infraestrutura de recarga elétrica adequada.

Tais adaptações requerem investimentos significativos em infraestrutura. Por exemplo, em relatório da Agência Internacional de Energia (AIE, 2010), calcula-se um custo médio

para construção da rede de recarga na faixa entre US\$ 1.000 a US\$ 2.000 por veículo.

Na mesma linha, JPMorgan (2018) aponta que para atender as expectativas de penetração

3.2.2.1 Modernização das redes de distribuição

Com o aumento do uso de tecnologias renováveis e veículos elétricos, adequar a oferta à demanda de energia elétrica se torna um assunto muito mais importante e complexo. A rede de distribuição deve ser preparada para interagir com o consumidor e criar estímulos para que este recarregue seu veículo sem sobrecarregar o sistema elétrico, ou seja, no horário fora de ponta.

Para que isto ocorra, são necessárias: i) a criação de tarifas específicas para cada faixa horária e a implantação de redes inteligentes capazes de monitoramento; ii) gestão da rede, a manutenção integrada, infraestruturas avançadas de medição; iii) resposta à demanda, integração de energias renováveis, veículos elétricos, armazenamento de energia.

Devido à complexidade física e institucional dos sistemas elétricos é pouco provável que as redes inteligentes sejam

de veículos híbridos e elétricos Índia, China e Europa teriam que investir um montante de US\$ 1,7 trilhão em infraestrutura.

implementadas apenas pelas forças do mercado. Governos, setor privado, consumidores e órgãos ambientais devem definir conjuntamente as necessidades do sistema elétrico e determinar as soluções de redes inteligentes. Esta constatação é analogamente aplicável ao caso brasileiro.

O aumento da complexidade das redes de distribuição se reflete em termos de maior custo de instalação de infraestrutura.

A título de exercício, estão expostos na Tabela 1 os custos totais de implantação do *smart grid* nos EUA por nível da cadeia (transmissão, distribuição e consumo) para o caso de expectativas de valores baixos ou altos, a depender de aspectos como o desenvolvimento tecnológico e de economias de escala. O custo total per capita considera a população dos EUA (cerca de 307 milhões de habitantes) de acordo com o último censo americano (U.S. Census, 2011).

Tabela 1 – Custo total e per capita de implantação de smart grid nos EUA

Nível da cadeia	Total (US\$ bilhões)		Per capita (US\$/hab.)	
	Baixo	Alto	Baixo	Alto
Transmissão e subestações	82	90	267	294
Distribuição	232	339	755	1106
Consumo	24	46	77	151
Total	338	476	1100	1551

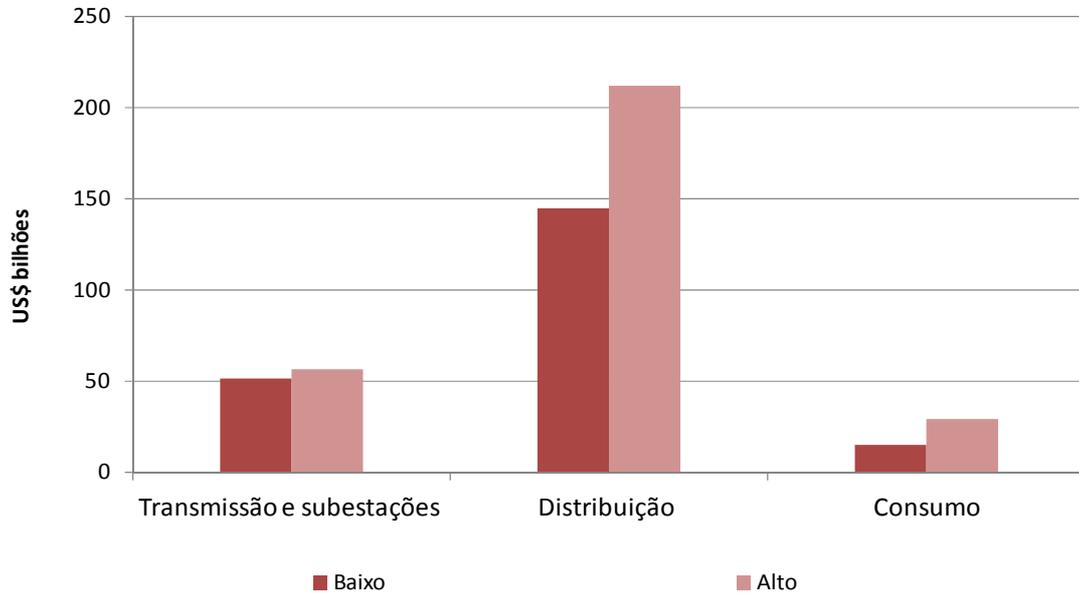
Fonte: EPRI, 2011; U.S. Census Bureau, 2011.

Nota: O custo total deverá ser diluído em um horizonte de 20 anos.

A estimativa de custos de implantação de *smart grid* nos EUA incorpora peculiaridades como: as características do seu sistema elétrico, o custo das tecnologias no país, o perfil de uso da energia nas residências americanas, etc. Portanto, a aplicação direta de tal estimativa no Brasil deve ser feita com cuidado. No entanto,

apenas para fins de cálculo de ordem de grandeza, tomando o custo per capita nos EUA e multiplicando-o pela população atual do Brasil, obteve-se um custo de implantação do *smart grid* no Brasil estaria na faixa de US\$ 210 a US\$ 300 bilhões. A decomposição deste custo por nível da cadeia pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Estimativas de custos de implantação de smart grid no Brasil



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados do EPRI (2011).

No entanto, os custos de implantação do *smart grid* não devem ser debitados somente ao veículo elétrico já que seus benefícios serão compartilhados por todos os usuários do sistema de energia elétrica brasileiro.

3.2.3 Baterias: Matéria-Prima, Manufatura e Destinação Final

Um dos principais componentes diferenciais de veículos híbridos e elétricos para os veículos a combustão interna é a bateria. Desta forma, será dado um destaque a esse componente quanto às questões socioambientais, considerando o ciclo de vida.

3.2.3.1 Matéria prima

As baterias de íon-lítio, como o próprio nome já sugere, possuem como um dos

principais componentes o lítio, além de outros minerais como as terras raras. Quanto às questões socioambientais do processo de mineração e separação desses elementos estão a grande demanda por água e o uso de substâncias químicas com potencial poluidor dos recursos hídricos e edáficos, além de poder estar associada a elementos radioativos.

No Plano Nacional de Mineração 2030, tanto o lítio como as terras raras são considerados minerais estratégicos, pois sua demanda é crescente e deverá se expandir ainda mais nas próximas décadas em função do uso em produtos de alta tecnologia (MME, 2011). Adicionalmente, como o lítio é utilizado no setor nuclear sua exploração é supervisionada pela Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN (DNPM, 2015).

3.2.3.2 Manufatura de baterias

Atualmente, as baterias íon-lítio não são produzidas no Brasil. À medida que se

desenvolva a eletromobilidade no país, bem como o uso de baterias para o armazenamento para as fontes variáveis, o ganho de escala poderá viabilizar essa indústria no país. Neste caso, sob o aspecto socioambiental, deve-se priorizar a construção de plantas industriais mais eficientes na utilização e destinação dos recursos naturais e que apresentem capacidade de reciclagem de baterias recebidas a partir da logística reversa e capacitação de mão de obra especializada.

3.2.3.3 Destinação final

Para a sustentabilidade dos veículos elétricos é importante adotar o modelo de logística reversa para as baterias. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos⁴ (PNRS) define a logística reversa como um "instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada" (MMA, 2018).

Adotando-se a logística reversa esta poderá trazer benefícios para a indústria, no reaproveitamento de materiais e minimizar as contaminações de recursos naturais. Deste modo, a bateria do veículo elétrico poderá seguir pelos processos de destinação final de: reuso, reciclagem ou aterro.

Ao atingir cerca de 80% da sua capacidade nominal as baterias íon-lítio não são mais adequadas para utilização em carros elétricos. Entretanto, ela ainda pode ser utilizada em outras aplicações (uso secundário) tanto móveis quanto estacionárias, como por exemplo,

estacionário – bateria de emergência, gerenciamento de cargas (baterias para armazenamento flexível de energias renováveis) e armazenamento doméstico de energia; e para uso móvel, máquinas agrícolas e de construção, reboques e empilhadeiras. Estudos apontam que dependendo do uso secundário, a vida útil da bateria poderá ser estendida em até 20 anos (Natkunarajah, Scharf e Scharf, 2015).

Ao se esgotarem os usos secundários das baterias, o processo ideal é a recuperação dos materiais por meio da reciclagem, que exige o planejamento integrado com fornecedores e as fábricas de baterias. A reciclagem tem seus próprios impactos ambientais, mas geralmente são menores do que os gerados pela produção primária, com efeitos positivos (Gaines, 2014).

O grande número de componentes diferentes em baterias de íon-lítio faz com que o processo de reciclagem seja complexo. Existem diferentes materiais ativos na forma de pó, envolvidos em lâminas metálicas em cada célula. Cada um dos materiais deve ser separado durante o processo de reciclagem (Gaines, 2014). Os materiais que não forem possíveis reciclar deverão ser descartados adequadamente em aterros sanitários.

Atualmente, poucas empresas no mundo realizam a reciclagem dessas baterias, como exemplo a belga Umicore e a canadense Retrie Technologies (Nealer et al., 2015). É esperado que a tecnologia avance no sentido de recuperação dos componentes que usam elementos críticos. A crescente demanda desses elementos pode modificar o preço de mercado e tornar mais vantajosa economicamente a reciclagem. Os fabricantes garantem que a vida útil da bateria automotiva de íon-lítio é compatível com a vida útil do carro, ou uma

⁴ Criada pela [Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010](#), e regulamentada pelo [Decreto Nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010](#).

rodagem equivalente a 100.000 milhas – aproximadamente 160.000 km (Nealer et al., 2015). Portanto, caso não haja defeitos, um veículo elétrico deve utilizar uma única bateria, sem necessidade de trocas. Atualmente, as baterias estão em uso comercial há cerca de 5 anos, o que significa que levará alguns anos para que haja baterias suficientes para viabilizar a reciclagem em larga escala.

No caso do Brasil, no curto e médio prazo, não foram identificadas ações para o desenvolvimento de tecnologias de baterias para veículos elétricos, tampouco para a viabilidade de mineração dos elementos componentes. Sendo assim, espera-se que as políticas ambientais voltadas para a destinação das baterias evoluam no sentido do planejamento da logística reversa e no descarte adequado das baterias, visando minimizar possíveis impactos ambientais nos solos e nos corpos hídricos.

3.2.3.4 Segurança do Uso de Baterias de íon-lítio

3.2.3.5 Resumo de oportunidades e desafios socioambientais para veículos elétricos e baterias

Quadro 1 a seguir resume oportunidades e desafios socioambientais para veículos elétricos e baterias.

Como o principal componente das baterias de veículos elétricos é o lítio, e este metal tem reatividade e inflamabilidade elevadas, é necessário considerar aspectos de segurança em todos os processos de uso da bateria, da fabricação à destinação final.

É importante manter a integridade das baterias para evitar a exposição do material interno ao contato com ar e água. Acidentes com os veículos elétricos ou no manuseio e transporte das baterias podem ocasionar danos nas barreiras de proteção, gerando riscos de explosão e incêndios. Com relação ao transporte das baterias íon-lítio, a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC desde abril de 2016 proibiu o carregamento como carga em aeronaves de passageiros (ANAC, 2018).

No caso da reciclagem das baterias, é necessário evitar contaminações cruzadas para não ocasionar incêndios e explosões, por isso, a planta de reciclagem deve ser exclusiva para as baterias íon-lítio (Gaines, 2014).

Quadro 1 – Oportunidades e desafios socioambientais para veículos elétricos e baterias

Veículos Elétricos e Baterias	
Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> - Redução de emissão de GEE; - Melhora na qualidade do ar dos centros urbanos gerando co-benefícios para saúde pública; - Redução de ruído; - Minimizar risco de suprimento de lítio e impactos socioambientais da mineração pela reciclagem de baterias; - Desenvolvimento local pela geração de emprego e renda.
Desafios	<ul style="list-style-type: none"> - Construir uma matriz elétrica de baixa emissão de GEE; - Minimizar os impactos ambientais da mineração, especialmente consumo de água e presença de material radioativo; - Implantar logística reversa de baterias com aplicação secundária e reciclagem - legislação; - Garantir escala e segurança para a reciclagem de baterias; - Capacitação da mão de obra (auto-peças, motores elétricos, logística reversa, reciclagem).

Fonte: Elaboração própria EPE

3.2.4 Geopolítica do Lítio/Insumos Baterias

A demanda crescente por veículos elétricos, que utilizam predominantemente a bateria de tecnologia tipo íon-lítio, somada à tendência global de utilização de armazenamento de energia em sistemas renováveis de geração de eletricidade, ao lado de outros mercados como o de bicicletas elétricas e

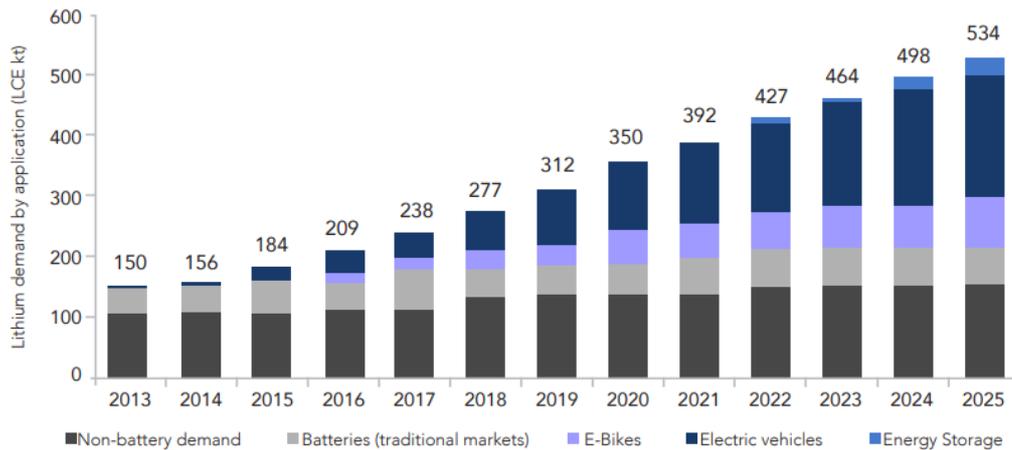
celulares pressionam a demanda mundial por lítio, metal que vem sendo denominado de “petróleo branco” ou “ouro branco”.

De acordo com um relatório do Deutsche Bank, a demanda global por lítio, que foi de 184 quilotoneladas (kt) em 2015, chegará a 534 kt em 2025, com baterias elétricas representando 70% dessa procura, conforme mostra a Figura

11 (FGV, 2018). Por outro lado, a BNEF⁵ projeta que a demanda por baterias de íon-lítio para

novos VEs deverá alcançar 408 GWh em 2025 e 1.293 GWh em 2030 (BNEF, 2017).

Figura 11 - Projeção da Demanda Global por Lítio



Fonte: Deutsche Bank (2016)

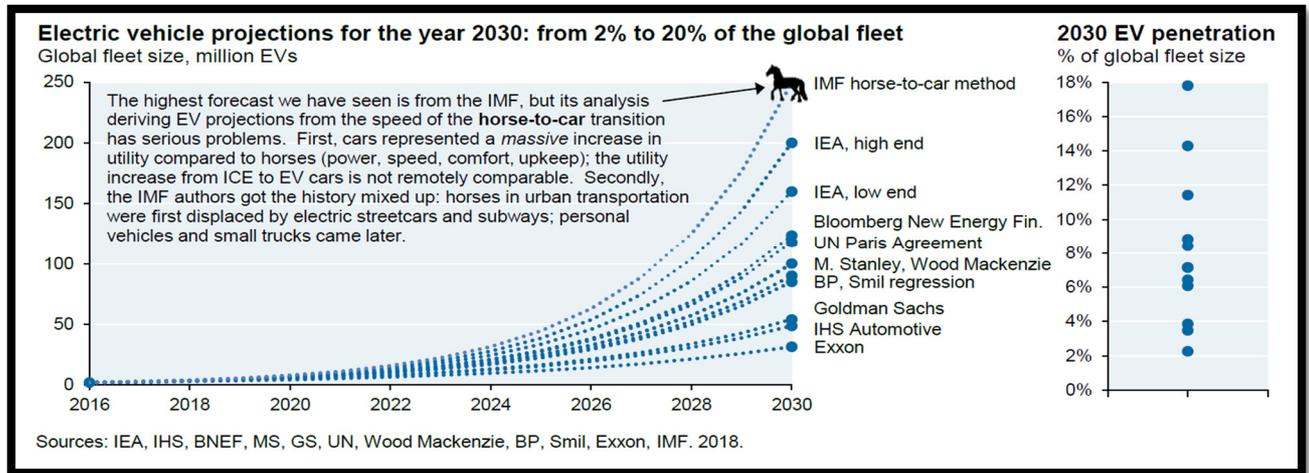
Moores (2018) aponta que a demanda por lítio para baterias deve crescer 8 vezes nos próximos 10 anos, passando dos cerca de 80 kt em 2018 para 650-700kt em 2027. Moores (2018) também analisa a demanda por outros elementos, sendo que em todos os casos a necessidade de expansão da produção é bastante significativa - particularmente, revela preocupações com o cobalto devido à extração ilegal na República Democrática do Congo (RDC). Segundo Moores (2018), a indústria de mineração de lítio levantou US\$ 1 bilhão para investimentos em ampliação de oferta (mineração), mas para atender a nova capacidade e demanda projetada para veículos elétricos será necessário ampliar os investimentos para US\$ 7-10 bilhões até 2030.

Adicionalmente, Moores (2018) aponta que o investimento em expansão de capacidade das plantas de bateria de íon-lítio deverá ser 4 vezes maior até 2025 e 10 vezes maior até 2030 ao que já foi comprometido (US\$ 35 bilhões).

No entanto, todos estes valores estão longe de ser um consenso dentre as projeções internacionais, tendo em vista que envolvem variáveis altamente incertas como: o tamanho do mercado de veículos elétricos e o tipo destes veículos (veículos elétricos a bateria ou veículos híbridos *plug in*, por exemplo), o tamanho e a química específica da bateria, sua construção e seu desempenho nominal, dentre outros. Não por acaso, JP Morgan (2018) ressalta a dispersão das projeções de frota de veículos elétricos até 2030: de 2% a 20% (vide Figura 12).

⁵ Bloomberg New Energy Finance

Figura 12 - Projeções da frota de veículos elétricos no mundo até 2030



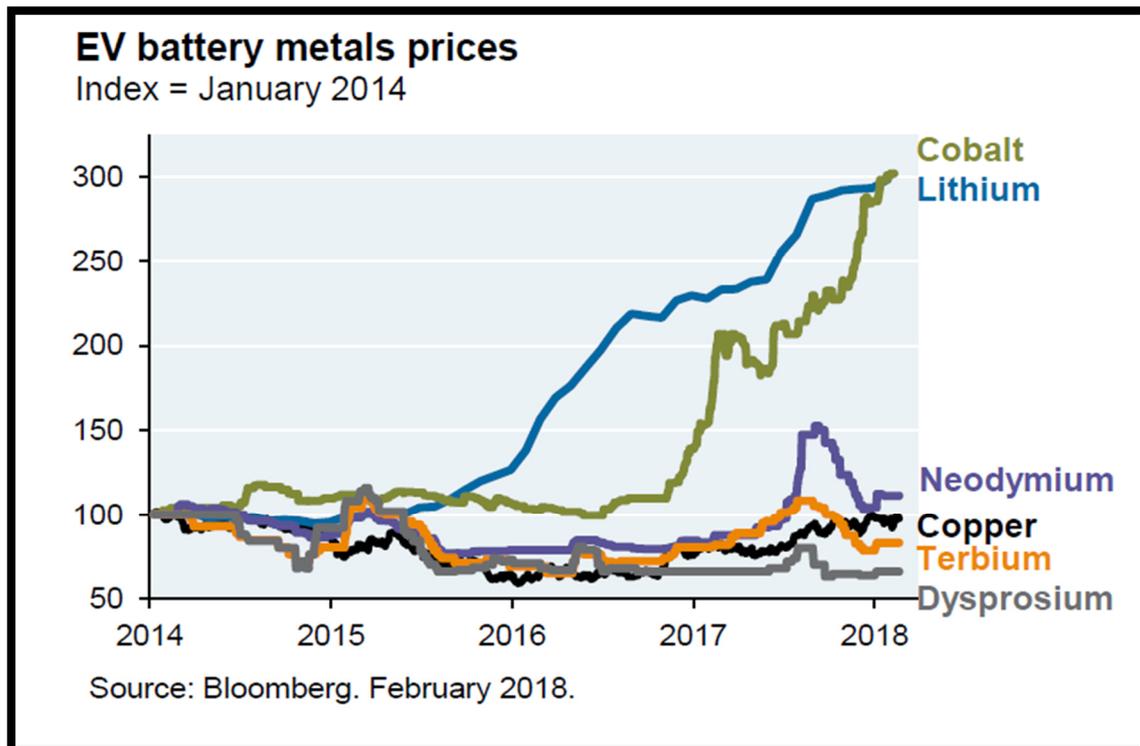
Fonte: JP Morgan (2018)

Particularmente, enquanto veículos elétricos a bateria (BEV) necessitam de baterias de capacidade entre 16 a 35 kWh, dependendo do tamanho e da autonomia, veículos híbridos elétricos (VHE), que permitem armazenar energia gerada a bordo via frenagem regenerativa requerem baterias de capacidade na ordem de 1 a 1,5 kWh. Além disso, a quantidade de lítio (kg) requerida por kWh da bateria, denominada de intensidade de lítio das baterias, é outro fator determinante na demanda total deste mercado. Esta variável depende, por exemplo, da voltagem nominal das baterias (V), a capacidade específica da química da bateria (Ah/g) e a concentração de lítio nos materiais ativos das baterias (wt%). Assim, a composição da frota mundial de veículos por rota tecnológica

e a evolução das mesmas nas próximas décadas são decisivas para se determinar a ordem de grandeza do mercado de lítio no futuro (SPEIRS et al, 2014).

Em meio às incertezas, grandes *players* mundiais no mercado automotivo e de tecnologia como Apple, Tesla e Volkswagen buscam assegurar o suprimento destes minérios através de acordos com produtores de lítio, inclusive que ainda nem começaram a produzir (VALOR, 2018; Moores, 2018). O fato é que o rápido crescimento da demanda aliado a incertezas no seu suprimento vêm pressionando os preços desta *commodity* no mercado internacional (vide Figura 13).

Figura 13 – Evolução dos preços de insumos de baterias para veículos elétricos



Fonte: JP Morgan (2018)

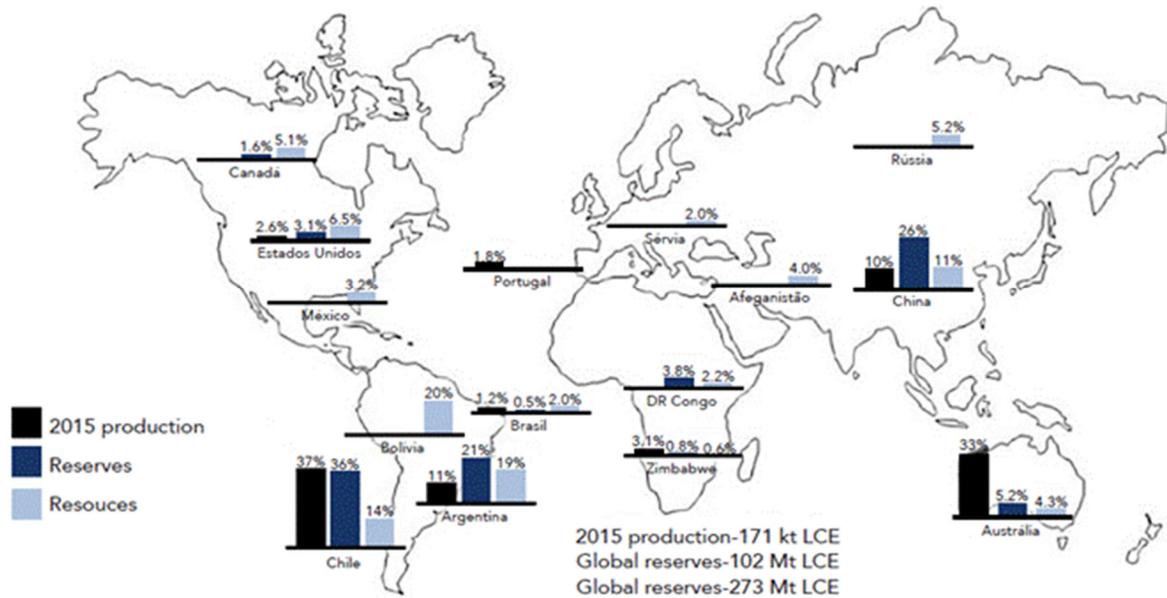
As variáveis que determinam a oferta global de lítio⁶ incluem estimativas de reservas e recursos, produção prevista e capacidade de reciclagem. Os recursos de lítio atualmente conhecidos estão espalhados em diversos países como China (11%), EUA (6,5%), Rússia (5,2%) e Austrália (4,3%). No entanto, há uma concentração destes recursos (54% dos recursos mundiais) em uma região pertencentes ao território da Argentina, da Bolívia e do Chile

formada por salares andinos denominada de ABC do lítio. Dentre os países do ABC do lítio, o Chile se destaca pelos baixos custos de exploração e pela capacidade de produção. Segundo o Deutsche Bank, em 2015, o Chile participou com 37% da produção mundial total deste mineral (171 kt LCE), seguido da Austrália com 33% (Deutsche Bank, 2016) –vide Figura 14.

⁶ O lítio não é produzido em sua forma elementar (metálica), mas como carbonato de lítio, hidróxido de lítio, cloreto de lítio e outras formas. Diferentes formas de lítio são usadas em diferentes

aplicações. O carbonato de lítio é a forma normalmente usada para fabricar baterias de íons de lítio (Science Direct, 2014).

Figura 14 - Produção, reservas e recursos por país



Fonte: Deutsche Bank, 2016.

No Brasil, apesar dos avanços recentes das pesquisas sobre estimativas das reservas de lítio, a exploração deste mineral ainda não apresenta a representatividade que se verifica nos países vizinhos. Estudo produzido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), com objetivo de aprofundar o conhecimento das concentrações de lítio associadas a pegmatito no Brasil apontam para reservas de 48.000 t LiO₂ contido (pegmatitos LCT - Lítio - Césio - Tântalo) e produção de aproximadamente 200 t. O documento ressalta áreas potenciais para a descoberta de novos depósitos de lítio no país, principalmente, na região do Vale do rio Jequitinhonha, no nordeste do estado de Minas Gerais (CPRM, 2017).

De forma geral, observa-se que o desenvolvimento da exploração do lítio no longo prazo, depende, além das características naturais das reservas, que implicam em diferenciais de custos significativos, de fatores políticos e regulatórios que implicam no grau de atratividade de investimentos e na atuação dos diferentes *players* neste mercado. Torna-se

necessário a garantia de um ambiente de negócios minimamente sustentável para a consolidação de parcerias internacionais e o desenvolvimento de novos projetos.

Desafios e Oportunidades

É importante reconhecer que o lítio pode se tornar um elemento-chave na geopolítica energética, podendo favorecer países e *stakeholders* que tenham acesso a custos competitivos a esses recursos utilizados para fabricação de baterias elétricas. Os preços deste mineral no mercado mundial deverão flutuar com as incertezas associadas às projeções de demanda e a expectativa de suprimento nos diversos mercados.

Ganhos de produtividade no setor de mineração, o aumento da escala de produção, aprimoramentos tecnológicos das baterias são elementos que contribuem para a redução dos preços do lítio. Por outro lado, a gradual incorporação de questões ambientais referentes à exploração deste mineral, além das

expectativas de crescimento da demanda acima da capacidade de suprimento são elementos que podem pressionar a elevação do seu preço.

A América do Sul detém atualmente vantagem competitiva no mercado de lítio devido à concentração de reservas nos salares andinos e uma capacidade de produção crescente deste mineral. O desenvolvimento de uma estratégia comum entre estes países, incluindo arcabouços institucionais e políticas públicas para a exploração dos recursos existentes, além do possível desenvolvimento de uma cadeia de suprimentos para a criação de um mercado regional atrelado à manufatura de baterias elétricas poderia agregar valor à comercialização deste mineral e trazer importantes avanços tecnológicos para estes países.

A indústria de baterias elétricas requer escala de produção e novos mercados para garantir *market share* e redução de custos. Por outro lado, a indústria automotiva depende de preços baixos das baterias para tornar seus veículos elétricos competitivos. Assim, cria-se um ambiente favorável para o surgimento de novos nichos de mercado e oportunidades, como o mercado de reposição e reaproveitamento de baterias elétricas usadas e o mercado de baterias elétricas estacionárias.

Dentre os principais riscos referentes à exploração do lítio, assim como é o caso de outros recursos naturais, é que esta atividade ocorra sem as devidas preocupações ambientais, acarretando custos ambientais significativos e, inclusive, irreparáveis nos países em que ocorrem, conforme abordado anteriormente.

4. Perspectivas: Visão EPE sobre eletromobilidade

4.1 Veículos Leves

Diante do exposto no presente documento, dois cenários são identificados pela EPE para o Brasil (vide Figura 15):

- Cenário de Referência – Transição Energética Longa (“Processo de Híbridização”)
- Cenário Alternativo – Transição Energética Curta (“Maior Eletromobilidade”)

Diante dos desafios a serem superados pelas tecnologias veiculares híbridas e elétricas, considera-se que o cenário de referência se caracteriza por uma entrada modesta da eletromobilidade no Brasil. Assim, o cenário de referência apresenta uma dinâmica de coexistência robusta de veículos a ICE e HEV (com vantagem para ICE devido às faixas de preços da maior parte dos modelos) e de resiliência robusta do ICE em relação ao PHEV e ao EV.

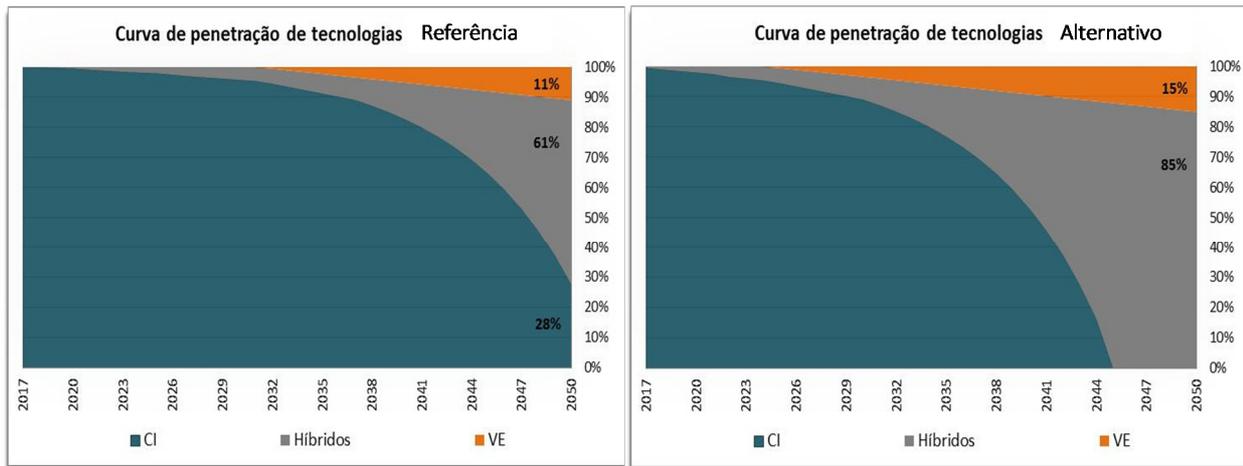
No caso do cenário alternativo, os desafios seriam superados mais rapidamente do que o previsto com as informações disponíveis, havendo uma inequívoca aceleração da entrada da eletromobilidade após 2030 e a substituição plena dos veículos até 2045. Para que esse cenário ocorra, deverá haver arranjos legais e regulatórios robustos (eventualmente, com banimento dos ICE), políticas públicas consistentes e incentivos significativos para a adoção da eletromobilidade, assim como investimentos privados substanciais e redução de custos radicais para viabilizar a massificação do licenciamento de veículos HEV, PHEV e EV. Dessa forma, o cenário alternativo apresenta uma dinâmica de destruição criativa que leva à rápida substituição dos veículos a ICE pelos HEV (com a perda da vantagem de preços dos ICE para os HEV) e de ilusão de resiliência dos ICE em relação aos PHEV e EV (resolvidos os

desafios dos PHEV e EV, os ICE seriam progressiva e firmemente substituídos).

Face aos desafios atuais do Brasil (renda per capita, distribuição de renda, crise fiscal,

prioridades de políticas públicas, etc.), o cenário alternativo não parece ter uma probabilidade de ocorrência relevante.

Figura 15: Cenários de penetração de veículos híbridos, elétricos e a combustão interna no total de licenciamentos de veículos leves no Brasil



Fonte: Elaboração própria EPE

Nota: Veículos a combustão interna (CI) incluem micro e mini-híbridos, pois esses são inovações incrementais de veículos a combustão interna e a eletricidade não é utilizada efetivamente para a propulsão do veículo.

4.2 Veículos Pesados

O transporte de carga e passageiros no Brasil historicamente é realizado em grande parte pelo modo rodoviário, resultado de um modelo de transporte baseado no veículo individual, dado o transporte coletivo precário e no transporte de cargas por caminhão.

Embora ocorram mudanças relevantes no modo de trabalho (teletrabalho - *homeoffice*), na forma de adquirir e vender bens e serviços (comércio *on line* - *e-commerce*) e nas maneiras de obter conhecimento, diversão e cultura (educação à distância, tv a cabo, internet), as pessoas ainda necessitarão se locomover pelas cidades e centros urbanos.

De mesmo modo, no caso do transporte de cargas, o avanço das tecnologias digitais trarão melhorias nos aspectos logísticos, com a disponibilidade e compartilhamento de dados e a gestão da cadeia de suprimentos e de frotas. Porém, em um cenário de ampliação das movimentações de mercadorias ao longo do País, tais progressos não serão suficientes para eliminação dos diversos gargalos logísticos existentes.

Para os próximos anos, com o crescimento econômico do País haverá a necessidade de ampliação e diversificação dos modos de transporte no Brasil. Entretanto, dadas as reduzidas previsões de investimentos em projetos ferroviários, metroviários,

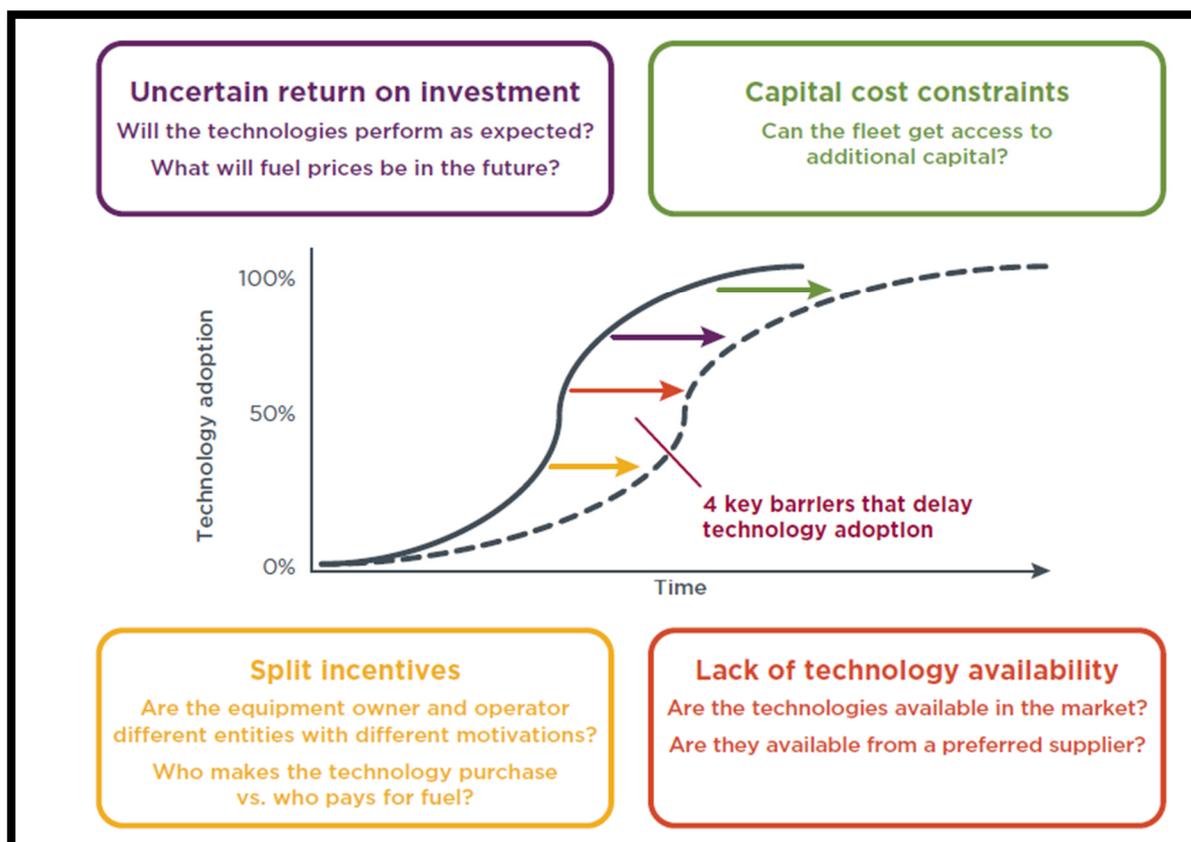
marítimos e fluviais, o principal modo para o transporte de passageiros e cargas continuará sendo o rodoviário. Pois, embora os demais modos apresentem diversas vantagens comparativamente ao rodoviário, os investimentos são vultosos e os prazos necessários para sua implantação maiores.

Neste sentido, entende-se que a matriz de transporte de passageiros e cargas nacional será construída nos próximos anos com base no desenvolvimento do transporte rodoviário de pessoas e mercadorias no Brasil. A busca pelo aumento de eficiência energética e operacional e as questões ambientais serão forças-motrices para modificações. Ganhos de eficiência por melhorias nas tecnologias dos veículos pesados poderão pagar os seus altos custos de capital por meio da economia de combustível. O uso de fontes alternativas de energia em motores

contribuirá para o alcance dos objetivos de política energética e ambiental, como a diversificação da matriz de transporte e a redução dos gases de efeito estufa.

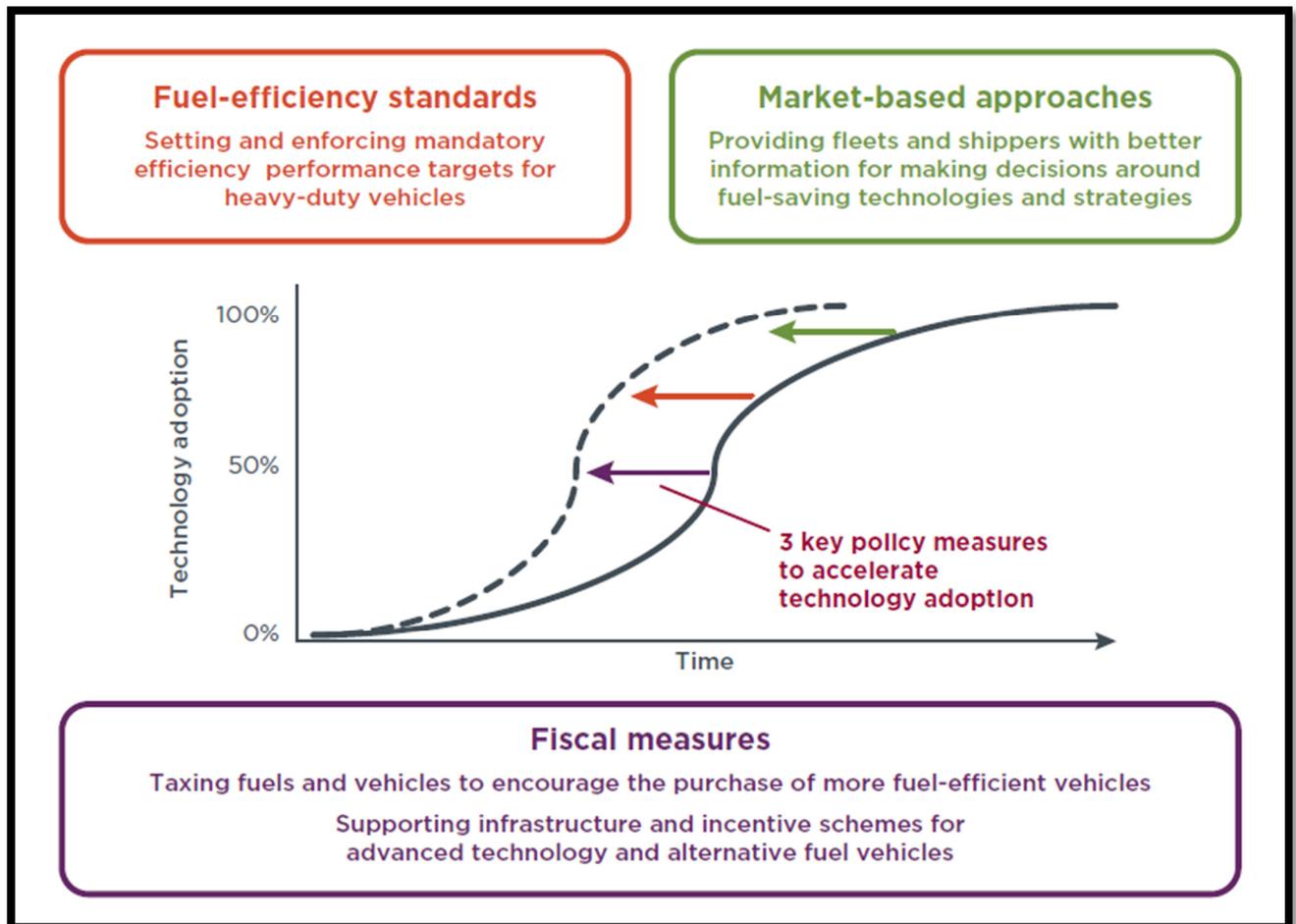
Entretanto, o desenvolvimento de combustíveis alternativos e a adoção de novas tecnologias de motor para veículos pesados ocorrerão se houver atendimento de alguns requisitos como: acesso adequado à infraestrutura, disponibilidade de combustível, facilidade de comercialização e desenvolvimento pleno da tecnologia. Sendo assim, ressalta-se, que mesmo com projeções de crescimento econômico, o Brasil apresentará diversas barreiras à entrada de novas tecnologias veiculares e novos combustíveis. As Figuras 16 e 17 resumem os desafios e as oportunidades para a entrada da eletromobilidade nos veículos pesados.

Figura 16 – Desafios que atrasam a adoção de novas tecnologias em veículos pesados



Fonte: ICCT (2017)

Figura 17 – Oportunidades para acelerar a adoção de novas tecnologias em veículos pesados



Fonte: ICCT (2017)

Tais barreiras à entrada no mercado e restrições a um maior uso de novas tecnologias ocorrerão devido aos preços ainda elevados destas (ANTP, 2014). Outro aspecto será a infraestrutura de abastecimento. Nos próximos anos, haverá a necessidade de elevados investimentos, considerando que a infraestrutura para abastecimento destas novas tecnologias é inexistente, embrionária ou localizada, restringindo o uso somente a determinadas regiões geográficas no Brasil. Além disso, deve-se considerar a dinâmica de revenda dos veículos pesados, que ocorre

facilmente pela baixa especificidade do motor diesel. Novas tecnologias como a híbrida, elétrica e mesmo a GNV/GTL representarão dificuldades de comercialização no mercado de usados.

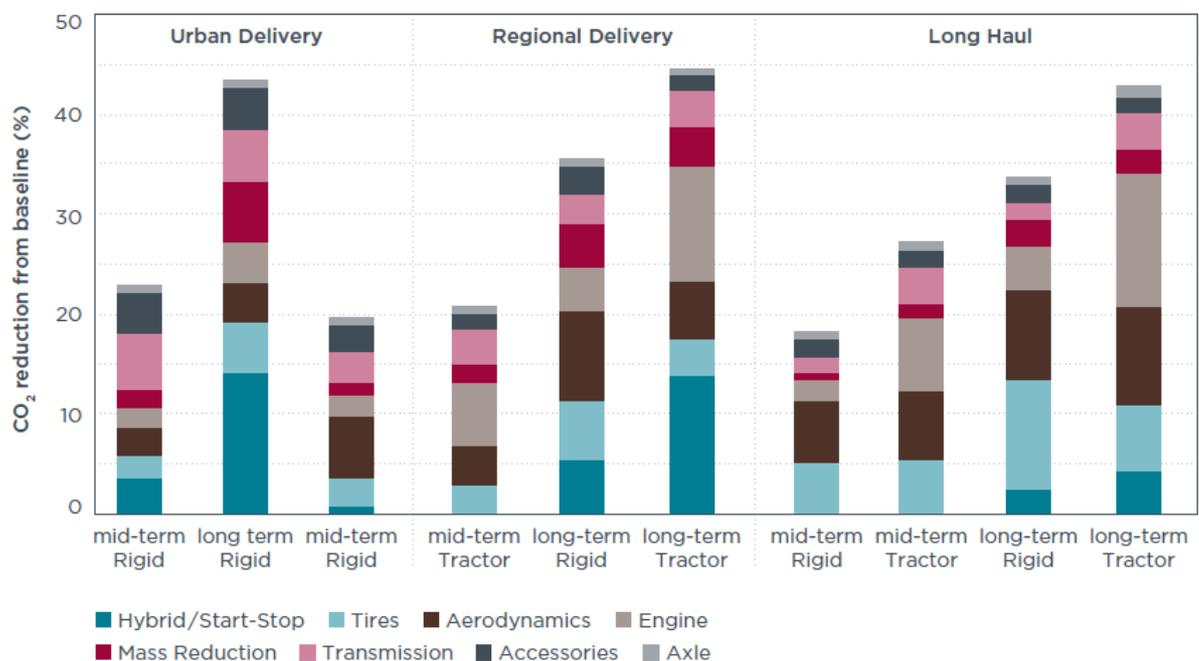
Sendo assim, inovações no motor de combustão interna a diesel serão implantadas no Brasil em etapa posterior ao observado em países como EUA e Europa, principalmente com o avanço das normas PROCONVE. Mudanças de tecnologia de motor/combustíveis para veículos pesados, como a adoção da eletrificação ou ampliação do uso do GNV/GNL serão implementadas no País em nichos de mercado,

como frotas cativas, governamentais, serviços de utilidade pública e representarão parcelas marginais na frota de veículos pesados no Brasil.

Cabe ressaltar que, mesmo em países desenvolvidos, a entrada da eletromobilidade no mercado de veículos pesados não é trivial e tampouco tem sido proposta como política

prioritária para a redução das emissões de GEE nesse segmento. Há diversas ações com características de políticas "sem arrependimento" (*"no regret policies"*) como, por exemplo: redução do peso dos veículos, aperfeiçoamentos aerodinâmicos, na transmissão, eixos, pneus, etc (vide Figura 18).

Figura 18 – Potencial de Redução de Emissões de CO₂ Novos Caminhões na Europa



Fonte: ICCT (2017)

Cabe ressaltar que no âmbito dos veículos pesados, o mercado de ônibus apresenta especificidades em relação ao mercado de caminhões, com motivações diferenciadas de aplicação, modelos de negócio, *stakeholders*, regulações, etc. Além da redução de poluentes globais (GEE), a eletrificação dos ônibus impacta na emissão de poluentes locais e ruídos sonoros com repercussões importantes para a saúde pública dos

habitantes da cidade. Este fato pode justificar aprimoramentos regulatórios e contratuais que incentivem ou internalizem as vantagens deste tipo de tecnologia em relação ao diesel.

No caso de ônibus híbridos ou elétricos, modelos de negócio que considerem o custo operacional ao longo da vida útil dos veículos podem ressaltar vantagens econômicas que modelos tradicionais com ênfase em custo

inicial de capital não conseguem captar. As tecnologias de motores elétricos exigem maiores investimentos para a aquisição de veículos e, no caso dos ônibus elétricos a bateria, infraestrutura de recarga, mas também oferecem o potencial de redução de custos operacionais, como abastecimento e manutenção, tornando-as competitivas em relação aos ônibus a diesel convencionais ao considerarmos a vida útil do ônibus. Portanto, uma questão-chave para a transição para ônibus elétricos é até que ponto a economia operacional compensa os maiores custos de capital associados a essas tecnologias alternativas.

Segundo o estudo “Avaliação Internacional de Políticas Públicas para Eletromobilidade em Frotas Urbanas” lançado em dezembro de 2018, no âmbito do projeto PROMOB-e⁷, os custos do ciclo de vida das tecnologias de ônibus híbridos a diesel e elétricos a bateria são competitivos em relação

aos ônibus a diesel P7 (padrão regulatório para emissões veiculares atualmente vigente no Brasil) para a maioria dos tipos de ônibus da frota de São Paulo.

A avaliação incluiu os custos do ciclo de vida e as emissões de carbono negro e de GEEs dos ônibus convencionais a diesel, biodiesel, híbridos a diesel e elétricos, elétricos a bateria e elétricos movidos a célula de combustível, mostrando que em alguns casos específicos já existem casos viáveis. No horizonte 2050, as perspectivas de redução de custos dos veículos, aliados à capacidade de produção nacional dos ônibus, atualmente avaliada em cerca de 2.500⁸ ônibus elétricos e híbridos por ano, podem permitir a proliferação de arranjos locais na adoção dos ônibus elétricos com possibilidades de aproveitamento das potencialidades dos recursos energéticos distribuídos de cada localidade como forma de abastecimento destes veículos.

5. Recomendações e Implicações de Políticas Públicas

Vem se consolidando na comunidade internacional uma visão de que a consecução da redução das emissões de GEE no mundo passa pela redução da dependência do setor transporte em relação aos combustíveis fósseis, em especial no segmento de veículos leves. Ademais, há argumentos de que tecnologias disruptivas serão necessárias para que a redução dessa dependência dos combustíveis fósseis seja efetiva e em tempo hábil e que novos modelos de negócios na indústria automobilística acelerarão esse processo de transição energética.

Os PHEV e EV, em particular, têm sido vistos também como uma solução complementar pelo setor elétrico para lidar com fontes não despacháveis (como eólicas e solares) por conta da capacidade de armazenar energia em suas baterias.

Não obstante, há barreiras e desafios significativos para a disseminação dessas novas tecnologias veiculares, o que poderá implicar em uma transição energética mais longa. Nesse processo, os HEV, inclusive flex, construirá, progressivamente, a ponte da eletromobilidade.

⁷ Projeto de cooperação técnica executado pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) em parceria com o Ministério Alemão de Cooperação Econômica e para Desenvolvimento (GIZ).

⁸ Segundo o estudo do PROMOB-e (GIZ, 2018), os principais fabricantes são BYD (1.000 chassis por ano), Eletra (1.080 veículos por ano) e Volvo (400 veículos híbridos por ano) em maior ou menor grau de conteúdo nacional, de acordo com a demanda e com possibilidades de expansão em função o desenvolvimento do mercado.

No cenário de referência, a solução “*drop-in*” dos biocombustíveis em veículos flex fuel e a tecnologia stop/start em veículos ICE (por vezes, denominados micro-híbridos e mini-híbridos) terão um papel fundamental na redução das emissões de GEE no setor transporte até 2050 no Brasil, alongando o ciclo de vida de veículos ICE em uma coexistência robusta com as tecnologias veiculares alternativas (HEV e EV).

Mesmo sob a ótica socioambiental há oportunidades e desafios para o desenvolvimento da eletromobilidade no Brasil, conforme discutidos no presente documento.

Políticas públicas para a aceleração da entrada de HEV e EV no país implicarão em incentivos e investimentos significativos para contrabalançar as barreiras e desafios que tais tecnologias ainda precisam superar.

É preciso avaliar detalhadamente, em trabalhos futuros, a efetividade de custos dessas alternativas para os fins pretendidos, visto que o Brasil já dispõe de uma tecnologia competitiva para reduzir as emissões de GEE no setor de transportes leves e que sua NDC é compatível com a adoção dessa solução.

Em suma, as recomendações para políticas públicas são:

- Incrementar estrutura de apoio de CT&I às tecnologias de eletromobilidade com foco nas vantagens comparativas do país e na realidade nacional⁹
 - veículos híbridos flex, nichos de mercado (centros urbanos com

bacias aéreas saturadas), célula combustível a biocombustíveis e gás (gás natural ou biogás/biometano), transporte de massa BRT/VLT/metrô

- Estabelecer “*roadmap*” realista para adoção da eletromobilidade com base no princípio de políticas “sem arrependimentos” (“no regret policies”), monitorando e revisando regularmente as condições de mercado e inovações tecnológicas
 - Priorizar transporte de massa (BRT/VLT/metrô), veículos híbridos flex, veículos elétricos em nichos (frotas cativas e comerciais em centros urbanos com alta emissão de poluentes locais), veículos elétricos a célula combustível com base biocombustíveis e gás (gás natural e biogás/biometano)
- Foco em soluções sinérgicas
 - Transporte de massa (VLT/metrô), frotas cativas (corporativa, Uber, táxi, etc.) e não motorizadas (bicicletas, patinetes, etc.), redução de poluição local em centros urbanos com bacias aéreas saturadas
- Balancear ritmo de entrada, evitando destruição de tributação e soluções difíceis de serem sustentadas e/ou disseminadas
- Evitar políticas que promovam trancamento tecnológico (“*lock-in*”), promovendo a competição entre as rotas tecnológicas

⁹ Vide Plano de Ação para a Promoção da Inovação Tecnológica, lançado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações em 2018:

https://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/arquivos/ASCOM_PUBLICACOES/plano_de_acao_para_promocao_da_inovacao_tecnologica.pdf

6. Referências Bibliográficas

Adner, Ron; Kapoor, Rahul (2016). "Right Tech, Wrong Time", Harvard Business Review. Disponível em: <https://hbr.org/2016/11/right-tech-wrong-time>. Acessado em mar. 2018.

ANAC, 2018. Agência Nacional de Aviação Civil. OACI determina a proibição do transporte de baterias de íon lítio como carga em aeronaves de passageiros. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/noticias/2016/oaci-determina-a-proibicao-do-transporte-de-baterias-de-ion-litio-como-carga-em-aeronaves-de-passageiros> Acesso em: 07/2018

AVL (2018). Future Powertrain Technologies. Apresentação realizada para o MME e a EPE em 27/07/2018, em Brasília.

BNEF – Bloomberg New Energy Finance. Lithium-ion battery costs and market. 2017. Disponível em: <<https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEF-Lithium-ion-battery-costs-and-market.pdf>>.

CPRM, 2017. <http://www.cprm.gov.br/>

DEUTSCHE BANK, Welcome to the Lithium-ion age. Deutsche Bank. AG/Sydney. 2016.

DNPM, 2015. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral 2015. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral> Acesso em: 07/2018

Exxon (2013). The Outlook for Energy: A View to 2040. <https://corporate.exxonmobil.com/en/energy/energy-outlook>

FGV (2018). América do sul no cerne da geopolítica dos renováveis: o caso do lítio. 2018. Disponível em: < https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/coluna_opinioao_-_o_caso_do_litio_-_fernanda_e_klaus.pdf> .

FGV Projetos (2014). "Cidades Inteligentes e mobilidade urbana", *Cadernos FGV Projetos*, Jun-Jul 2014, No 24: ISSN 19844883.

Gaines, L (2014). The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course Sustainable Materials and Technologies 1-2 2-7. http://dx.doi.org/10.1016/j.susmat.2014.10.001_2214-9937/

GIZ (2018). Avaliação Internacional de Políticas Públicas para Eletromobilidade em Frotas Urbanas, Novembro de 2018. Disponível em: <<http://www.promobe.com.br/library/avaliacao-internacional-de-politicas-publicas-para-eletromobilidade-em-frotas-urbanas/>>.

GTAI (2015). Electromobility in Germany: Vision 2020 and Beyond. Berlin: Germany Trade & Investment.

Hannan, M.A.; Azidin, F.A.; Mohamed, A. (2014). "Hybrid electric vehicles and their challenges: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29: 135-150.

Hawkins, T. R., B. Singh, G. Majeau-Bettez, and A. H. Strømman (2012). Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology* DOI: 10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x.

Hawkins, T. R., B. Singh, G. Majeau-Bettez, and A. H. Strømman (2013). Corrigendum to: Hawkins, T. R., B. Singh, G. Majeau-Bettez, and A. H. Strømman. 2012. Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology* DOI: 10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x

IBAMA, 2018. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis Programa de controle de emissões veiculares (Proconve). Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve> Acesso em: 07/2018

ICCT (2016). Deficiencies in the Brazilian Proconve P-7 and the Case for P-8 Standards. International Council on Clean Transportation.

IEA (2018). CO2 Emissions from Fuel Combustion. Paris: OECD/IEA.

IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Core Writing Team: R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland. <http://ar5-syr.ipcc.ch/>.

JP Morgan (2018). Eye on the market • energy outlook 2018: Pascal's Wager. Annual Energy Paper, April 2018 (Preparado por Michael Cembalest). Disponível em: <https://www.jpmorgan.com/jpmpdf/1320745265852.pdf>

Kalghatgi, Gautam (2018). Is it really the end of internal combustion engines?, Forum - The Oxford Institute for Energy Studies, March 2018, Issue 112.

Lins, Clarissa; Morais, Raoni; Ferreira, Guilherme (2018). Revolução elétrica: um cenário possível para a mobilidade no Brasil? Rio de Janeiro: Catavento (paper 10 – jun/2018).

Lukic, S. M.; Jian, C.; Bansal, R. C.; Rodriguez, F.; Emadi, A (2008). "Energy storage systems for automotive applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 55 (6): 2258–2267.

Machado, Giovani; Costa, Angela Oliveira da; Stelling, Patricia Feitosa Bonfim (2018). A estrada à frente: oportunidades e desafios para a eletromobilidade no Brasil (IBP1714_18). Artigo publicado no Rio Oil & Gas 2018. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/rog2018-trabalhos-tecnicos/?lang=en>.

McKinsey & Company (2016). *Automotive revolution – perspective towards 2030. How the convergence of disruptive technology-driven trends could transform the auto industry..* Munich: McKinsey & Company (Advanced Industries January 2016).

MDIC (2018). "Presidente assina MP que cria nova política industrial para o setor automotivo". Disponível em: <http://www.mdic.gov.br//index.php/noticias/3416-presidente-assina-mp-que-cria-nova-politica-industrial-para-o-setor-automotivo>. Acessado em julho de 2018.

MMA, 2018. Ministério de Meio Ambiente. Logística Reversa. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/logistica-reversa>. Acesso em: 07/2018.

MME, 2011. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Plano Nacional de 2030. Brasília, 2011. Disponível em <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/plano-nacional-de-mineracao-2030/pnm-2030>

Natkunarahaj, N.; Scharf, M.; Scharf, P. (2015). Scenarios for the return of lithium-ion batteries out of electric cars for recycling. *Procedia CIRP*, 29, 740–745. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.170>

Nealer, R.; Reichmuth, D.; Anair, D. (2015). Cleaner Cars from Cradle to Grave, 1–54. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4583.3680>

Nordelöf, A.; Messagie, M.; Tillman, AM.; Söderman, M.L.; Van Mierlo, J. (2014). “*Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment?*”, The International Journal of Life Cycle Assessment, Volume 19, Issue 11, pp 1866–1890. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0788-0>.

NREL (2018). <https://www.nrel.gov/analysis/electric-sector-integration.html>

SAE (2016). Surface vehicle recommended practice: (R) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (Superseding J3016 JAN2014, Revision SEP2016) - prepared by the Society of Automotive Engineers-SAE on-road automated vehicle standards committee.

SAE (2016). Surface Vehicle Recommended Practice: J3016™. (R) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. September 2016 (Superseding J3016 JAN2014).

Somà, Aurelio (2017). Trends and Hybridization Factor for Heavy-Duty Working Vehicles. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.68296>.

SPEIRS, J., HOUARI, Y. et al, 2014. The future of lithium availability for electric vehicle batteries. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier. Volume 35, July 2014: 183-193. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114002457>.

UK Office for Low Emission Vehicles (2015). Uptake of Ultra Low Emission Vehicles in the UK: A Rapid Evidence Assessment for the Department for Transport. London: Department for Transport (Prepared by Brook Lyndhurst Ltd).

VALOR. Carro elétrico intensifica busca por lítio e cobalto entre as montadoras. 2018. Disponível em: <https://www.valor.com.br/empresas/5532257/carro-eletrico-intensifica-busca-por-litio-e-cobalto-entre-montadoras>.

Wadud, Zia (2018). Autonomous vehicles: will they reduce energy use?, Forum - The Oxford Institute for Energy Studies, March 2018, Issue 112.

A1 - Anexo sobre o Projeto Brasil-Alemanha de Propulsão Eficiente (PROMOB-e)

O Projeto Brasil-Alemanha de Propulsão Eficiente (PROMOB-e) é uma iniciativa financiada pelo Ministério Federal de Cooperação Econômica e Desenvolvimento alemão (BMZ), operacionalizado pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) e pela *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ).

O projeto objetiva a criação dos pré-requisitos para disseminação de sistemas de propulsão mais eficientes no Brasil com foco em mobilidade elétrica, mais especificamente em soluções no transporte coletivo urbano e de cargas ponto a ponto. Para tal, a lógica de intervenção baseia-se em três pilares: (i) Estratégias e políticas públicas; (ii) Normalização e Regulamentação; e (iii) Modelos de Negócio. Os principais resultados esperados e atividades realizadas podem ser resumidos no Quadro A1 a seguir:

Quadro A1: Ações concretas do PROMOB-e

Estratégias de Políticas Públicas
<p>Resultados esperados</p> <p>Plano de ação para incentivos e normativos para a mobilidade elétrica;</p> <p>Plataforma para facilitar o diálogo multi-stakeholder;</p> <p>Atividades realizadas em 2017</p> <p>Três cursos básicos sobre mobilidade elétrica com mais de 70 participantes;</p> <p>Visita técnica de comissão brasileira (MDIC, MCTIC, MC, MME, ABDI, APEX, EPE) a empresas (DHL), institutos de pesquisa (SWB, RWTH Aachen) e eventos ligados à eletromobilidade (IAA);</p> <p>Atividades em andamento em 2018</p> <p>Acompanhamento das discussões do GT-7 “Veículos híbridos e elétricos” do MDIC;</p> <p>Publicação do “Estudo de Governança e Políticas Públicas para Veículos Elétricos” (LEVE/Unicamp);</p> <p>Realização dos estudos “<i>Technology Roadmap para Mobilidade Elétrica no Brasil</i>”; “<i>Estudo de Análise de Ciclo de Vida da Mobilidade Elétrica</i>”; e “<i>Estudos de Incentivos e co-benefícios da Mobilidade Elétrica</i>”;</p>
Normalização e Regulamentação
<p>Resultados esperados</p> <p>Propostas para a regulamentação ou normalização da mobilidade elétrica (infraestrutura de recarga, plugues, dentre outros);</p> <p>Atividades realizadas em 2017</p>

Junho: Seminário Internacional sobre Recarga de Veículos Elétricos;

Outubro: participação da ANEEL no 1º *e-Mobility Integration Symposium* (Berlim);

Outubro: visita técnica de Normalização e Regulação à Alemanha;

Atividades em andamento em 2018

Articulação com o Inmetro e outros atores relevantes para propostas de regulamentação e normas;

Apoio à estruturação da Rede de Inovação no Setor Elétrico (RISE) no tema de Mobilidade Elétrica;

Apoio à Chamada Estratégica em Mobilidade Elétrica/P&D ANEEL;

Realização de estudos técnicos – em definição com ANEEL e Inmetro;

Modelos de Negócio

Resultados esperados

Integração de modelos de negócio em projetos demonstrativos de mobilidade elétrica (transporte público, frotas públicas ou privadas, serviços de entrega);

Atividades realizadas em 2017

Outubro: *Mobility City Lab* Joinville: 25 propostas de projetos para mobilidade urbana e elétrica;

Outubro: Fórum Brasil-Alemanha de Mobilidade Elétrica (São Paulo);

Atividades em andamento em 2018

Acompanhamento de três estudos de caso da Mobilidade Elétrica (SPTrans, Natura, Correios);

Elaboração de recomendações para Modelos de Negócio em Mobilidade Elétrica;

Desenvolvimento de uma ferramenta de tomada de decisão para implementação da Mobilidade Elétrica;

Realização de três Workshops sobre Mobilidade Elétrica;

Realização de três treinamentos sobre Mobilidade Elétrica;

A2 – Anexo sobre Grupos de Trabalho do Rota 2030

A política pública industrial voltada ao setor automotivo brasileiro encontra-se em fase de transição entre o programa Inovar-Auto e seu substituto, Rota 2030. As principais discussões presentes nos grupos de trabalho do programa do MDIC compreendem temas multidisciplinares e multissetoriais da economia industrial brasileira, divididos em sete grupos de trabalho: (i) Cadeia produtiva; (ii) Pesquisa e Desenvolvimento; (iii) Eficiência Energética; (iv) Segurança Veicular; (v) Eletrônica embarcada; (vi) Aspectos estruturais; e (vii) Elétricos e Híbridos.

O foco das tecnologias de eletromobilidade reside no GT7 – Elétricos e Híbridos, cujo escopo abrange algumas dimensões da discussão sobre a eletrificação por meio de seis subgrupos de trabalho divididos em (SG1) Viabilidade Econômica e Planejamento; (SG2) Acumuladores; (SG3) Infraestrutura de energia e Regulação; (SG4) Regulação de produto; (SG5) Cadeia produtiva e capacidade produtiva; e (SG6) Levíssimos.

Os principais temas envolvidos em cada subgrupo e a situação atual das discussões são identificados no Quadro A2 a seguir.

Quadro A2 - Status dos subgrupos de trabalho do GT7 do Programa Rota 2030

Subgrupo 1 (SG-1): Viabilidade Econômica e Planejamento

Temas envolvidos: financiamento; taxação; incentivos representados pela aquisição, propriedade, circulação, P&D e nacionalização; renovação da frota; incentivos à exportação; compras governamentais; acordos internacionais.

As conclusões principais das discussões do SG1 indicam que a maior parte dos produtores de veículos está investindo na tecnologia e produção de veículos elétricos e híbridos. As principais ações focando na redução de taxas de importação e implementação de metas de eficiência energética tem demonstrado resultados imediatos sobre a venda de veículos elétricos. O que demonstra que é necessário continuar com redução fiscal para o desenvolvimento de um mercado.

A estratégia discutida até então tem se baseado nos seguintes passos: (i) estimativa de um tamanho mínimo viável de mercado de veículos elétricos no Brasil; (ii) esclarecimento de quais taxas e políticas públicas têm maiores impactos no desenvolvimento de um mercado de veículos elétricos em diferentes níveis; e (iii) definição do período para consolidar este mercado no Brasil. Basicamente, os fatores chave para o desenvolvimento de um mercado brasileiro baseado na eletromobilidade passam pelo fornecimento do incentivo adequado para a indústria e os consumidores.

Subgrupo 2 (SG-2): Acumuladores

Temas envolvidos: novas tecnologias e padrões; reciclagem; plano de desenvolvimento industrial; cadeia de produção do lítio (Programa ABDI/MDIC); P&D para baterias; e recursos minerais.

As principais iniciativas em curso do SG2 englobam o programa da ABDI/MDIC da cadeia produtiva do lítio no Brasil; a reavaliação das reservas nacionais de lítio; reuniões envolvendo os principais produtores de baterias nacionais. A estratégia vislumbrada para o adensamento da cadeia passa primeiramente pela produção química do carbonato de lítio (Li_2CO_3) e posteriormente a produção de células de bateria.

Subgrupo 3 (SG-3): Infraestrutura de energia e Regulação

Temas envolvidos: incentivos à infraestrutura; infraestrutura de planejamento de recarga; cenários e previsões; padronização; interoperabilidade; regulação de energia (regulações da ANEEL, legislação etc); sobreposição de concessões; e impasses regulatórios.

As principais atividades em andamento no SG3 são estudos e pesquisas baseadas na experiência de outros países sobre a necessidade de infraestrutura de recarga; análise do incentivo fiscal para recarga de energia; estudos sobre serviços de recarga e tarifas aplicadas; especificação de pontos de recarga públicos; e tipos de plugues.

Subgrupo 4 (SG-4): Regulação de Produto

Temas envolvidos: conceitos e definições sobre tecnologias limpas; medição e desempenho da eficiência energética; segurança veicular; certificação e aprovação de produtos.

Subgrupo 5 (SG-5): Cadeia Produtiva e capacidade produtiva

Temas envolvidos: mapeamento de desafios para a consolidação da cadeia produtiva e capacidade industrial brasileira já instalada; modelos de negócio de transição; planos de treinamento para toda a cadeia e serviços de rede; P&D e inovação; qualificação profissional (universidades e centros de qualificação profissional); e logística reversa.

A3 - Anexo sobre a Publicação do Rota 2030

A Medida Provisória que autoriza a criação do programa Rota 2030 Mobilidade e Logística foi assinada em 5 de Julho de 2018 pelo Presidente Michel Temer, determinando uma nova política industrial para o setor automotivo. O programa visa ao desenvolvimento da indústria automotiva do país ao buscar adequar a produção nacional aos padrões automotivos globais. No que tange a discussão sobre rotas tecnológicas, a meta do programa visa traçar linhas para o futuro da mobilidade e da logística no Brasil e ampliar a inserção global da indústria automotiva brasileira através da expansão das exportações de veículos e autopeças. Os principais pontos de destaque do programa são elencados no Quadro A3 a seguir.

Quadro A3 - Resumo do Programa Rota 2030

Desafios

- Baixa competitividade e integração passiva às cadeias globais de valor;
- Defasagem tecnológica, especialmente em eficiência energética e segurança veicular;
- Risco de transferência dos investimentos em P&D para outros polos, perda de postos de trabalho qualificados;
- Risco de perda de investimentos no país, com a não aprovação de novos projetos pelas matrizes das empresas;
- Ocupação da capacidade ociosa na indústria, com o direcionamento da produção para mercados externos;
- Risco de perda do conhecimento em tecnologias que utilizam biocombustíveis e impactos na cadeia produtiva.

Público-alvo

Montadoras e importadores de veículos, fabricantes de autopeças, trabalhadores do setor, e a sociedade de forma ampla, beneficiada pelo aumento da eficiência energética dos veículos (redução de gasto de combustíveis por quilometro rodado) e também aumento da segurança dos veículos comercializados no país.

Metas

Pesquisa e Desenvolvimento: será concedido crédito de até R\$ 1,5 bilhão. Para fazer jus ao benefício, no entanto, a indústria terá que garantir um aporte mínimo de R\$ 5 bilhões em P&D por ano.

Eficiência Energética: meta obrigatória de incremento de 11% na eficiência energética dos veículos até 2022.

Desempenho Estrutural: até 2027, com a incorporação das chamadas tecnologias assistivas à direção.

Etiquetagem veicular: Os veículos comercializados no Brasil receberão etiquetas, que informarão de maneira mais direta ao consumidor a eficiência energética e os equipamentos de segurança instalados.

Penalidades

O descumprimento de requisitos, compromissos, condições e obrigações acessórias do Rota 2030 poderá acarretar no cancelamento da habilitação com efeitos retroativos, suspensão da habilitação ou multa de até 2% sobre o faturamento apurado no mês anterior à prática da infração.

Híbridos e elétricos

O presidente Michel Temer assinou também um Decreto que altera a Tabela de Incidência do IPI, reduzindo as alíquotas aplicadas sobre os veículos com novas tecnologias de propulsão. A medida visa estimular a comercialização no Brasil de veículos híbridos e elétricos, que são menos poluentes. Essa alteração se alinha às demais iniciativas governamentais de apoio à expansão do uso de novas tecnologias de motorização, a fim de se criar no Brasil uma matriz de transporte verde.

Crédito das montadores *premium*

O governo federal vai mandar para o Congresso Nacional um Projeto de Lei que permite a utilização de saldo crédito presumido de IPI. Durante o Programa Inovar-Auto, as empresas habilitadas na modalidade “projeto de investimento” tiveram de recolher, durante a implementação do projeto, um IPI adicional de 30% incidente sobre os veículos importados. Conforme dispõe o regulamento do Programa, esses valores seriam ressarcidos às empresas, pelo Governo Federal, após o início da fabricação no País, por meio de crédito presumido de IPI para dedução do IPI devido. Devido ao encerramento do Programa, não houve tempo hábil para que esse ressarcimento fosse feito em sua totalidade. A proposta visa garantir a restituição do tributo efetivamente pago pelas empresas e que não puderam ser utilizados durante a vigência do Programa INOVAR-AUTO, encerrado em 31 de dezembro de 2017.

Fonte: MDIC (2018)

