



Avaliação Internacional de Políticas Públicas para Eletromobilidade em Frotas Urbanas



Avaliação Internacional de Políticas Públicas para Eletromobilidade em Frotas Urbanas

Estudo elaborado por International Council on Clean Transportation (ICCT) sob demanda da GIZ (Agência Alemã de Cooperação Internacional) e do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC).

Autores:
Peter Slowik
Carmen Araujo
Tim Dallmann
Cristiano Façanha

MDIC
Brasília, novembro de 2018

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidência da República

Michel Temer

Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços

Marcos Jorge de Lima

Secretário de Desenvolvimento e Competitividade Industrial

Igor Nogueira Calvet

Diretora do Departamento das Indústrias para Mobilidade e Logística - DEMOB

Margarete Gandini

Apoio técnico

Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Diretor Nacional

Michael Rosenauer

Coordenador do Projeto

Jens Giersdorf

COORDENAÇÃO E EXECUÇÃO

Equipe coordenação e operação

Igor Calvet, Margarete Gandini, Ricardo Zomer, Gustavo Victer, Thomas Caldellas (MDIC), Bruno Carvalho, Fernando Fontes, Jens Giersdorf e Marcos Costa (GIZ).

Autores

Peter Slowik, Carmen Araujo, Tim Dallmann e Cristiano Façanha

Coordenação técnica

Cristiano Façanha e Marcos Costa

Revisão técnica

Marcos Costa (GIZ)
Bruno Carvalho (GIZ)
Ricardo Zomer (MDIC)

Revisão texto

Ana Terra

Capa e projeto gráfico

João Neves

Diagramação

Barbara Miranda

PUBLICADO POR

Projeto Sistemas de Propulsão Eficiente - PROMOB-e (Projeto de Cooperação Técnica bilateral entre a Secretaria de Desenvolvimento e Competitividade Industrial - SDIC/MDIC e a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável (GIZ)

CONTATOS

SDCI/Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços

Esplanada dos Ministérios BL J - Zona Cívico-Administrativa,
CEP: 70053-900, Brasília - DF, Brasil.

+55 (61) 2027 - 7293

www.mdic.gov.br

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

SCN Quadra 1 Bloco C Sala 1501 - 15º andar Ed. Brasília
Trade Center, CEP: 70711-902, Brasília-DF, Brasil.

+55 (61) 2101-2170

www.giz.de/brasil

INFORMAÇÕES LEGAIS

É permitida a reprodução parcial ou total desta obra desde que citada como fonte o projeto PROMOB-e e para outros usos comerciais, duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento por escrito do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços e da GIZ.

As ideias e opiniões expressas neste livro são dos autores e não refletem necessariamente a posição do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, ou da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a todos os participantes do workshop de validação por suas importantes contribuições para o documento e pela discussão frutífera incluída no Anexo A.

Informações adicionais:

International Council on Clean Transportation 1225 I Street NW Suite 900
Washington, DC 20005 USA
communications@theicct.org | www.theicct.org | @TheICCT



LISTA DE FIGURAS

Figura ES-1 Vendas globais anuais de VEs de 2010 a 2017.....	9
Figura ES-2 Custo total de propriedade de mais de 10 anos de tecnologia convencional e alternativa de ônibus em São Paulo.....	13
Figura 1-1 Normas de emissões de veículos leves nos Estados Unidos e vendas estimadas de VEs (2015-2030).....	17
Figura 1-2 Valor do incentivo para BEVs e PHEVs e participação nas vendas em 2016 nos principais mercados de VE (Hall et al., 2017a).....	20
Figura 1-3 Preço final de um Nissan Leaf em comparação com um veículo Nissan convencional após a aplicação do imposto de importação e do IVA.....	21
Figura 1-4 Infraestrutura de recarga pública e registros de VEs por milhão de habitantes por área metropolitana.....	25
Figura 2-1 Licenciamento de veículos novos no Brasil.....	37
Figura 2-2 Consumo do setor de transporte rodoviário por combustível no Brasil.....	38
Figura 2-3 Participação de combustíveis fósseis e renováveis no transporte rodoviário.....	39
Figura 2-4 Emissões de GEEs pela queima de combustíveis em 2016 no Brasil (OC, 2017).....	39
Figura 2-5 Participação de produtos da cana e do biodiesel na matriz energética brasileira.....	40
Figura 2-6 Estimativa de emissões de GEEs para o setor de transportes baseadas nas premissas adotadas no PDE 2026.....	41
Figura 2-7 Projeção do balanço nacional de petróleo em 2017-2026 (PDE 2026).....	41
Figura 2-8 Balanço nacional de gasolina A (esquerda) e diesel A (direita).....	41
Figura 2-9 Emissões relativas por tipo de fonte na Região Metropolitana de São Paulo (Cetesb, 2018).....	43
Figura 2-10 Oferta interna de energia elétrica por fonte (Aneel, 2018).....	45
Figura 2-11 Fator de emissão de CO ₂ da geração de energia elétrica (IGES, 2018).....	46
Figura 2-12 Evolução da capacidade instalada por fonte de geração de energia elétrica para a expansão de referência (MME, 2017).....	46
Figura 3-1 Sistema de governança da eletromobilidade no Brasil.....	47
Figura 4-1 Fontes de recursos para o sistema de transporte público de São Paulo (SPTrans, 2017).....	59
Figura 4-2 Adoção de BEBs no Brasil.....	60
Figura 4-3 Efeito do crescimento dos BEBs nas emissões anuais de CO ₂ poço à roda (WTW) no Brasil.....	60
Figura 4-4 Market share de ônibus a diesel.....	62
Figura 5-1 Preço de compra de ônibus de transporte elétrico em comparação com ônibus convencionais a diesel.....	66
Figura 5-2 Consumo de energia de ônibus de transporte elétricos em comparação com ônibus convencionais a diesel.....	67
Figura 5-3 Custos operacionais para ônibus com tecnologia alternativa em comparação com ônibus convencionais a diesel.....	68
Figura 5-4 Custos de manutenção de veículos regulares para ônibus de transporte elétricos em comparação com ônibus convencionais a diesel.....	68
Figura 5-5 Estimativa do TCO ao longo de 10 anos para tecnologia convencional e alternativa para ônibus tipo Padron LE em São Paulo.....	69
Figura 5-6 Análise de sensibilidade para o TCO de um ônibus tipo Padron LE.....	72
Figura 5-7 Sensibilidade do TCO para um BEB Padron LE durante o período de propriedade.....	74
Figura 5-8 Sensibilidade do TCO para um ônibus tipo Padron LE para a atividade anual.....	74
Figura 5-9 Custo total de substituição da frota de ônibus urbanos de São Paulo para ônibus a diesel, HEBs a diesel e BEBs com carregamento na garagem com cronogramas de substituição de 10 e 5 anos.....	75
Figura 5-10 Emissões de poluentes climáticos da frota de ônibus urbanos de São Paulo ao longo da vida útil em três cenários de aquisição da frota substituída.....	76
Figura 5-11 Custos diretos e sociais totais ao longo da vida útil para a substituição da frota de ônibus urbanos de São Paulo em três cenários de aquisição.....	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-1	Ações de promoção governamental para VEs	11
Quadro 1-2	Regulamentos internacionais sobre veículos e combustíveis limpos.....	15
Quadro 1-3	Incentivos internacionais ao consumidor para VEs	18
Quadro 1-4	Programas internacionais de infraestrutura de recarga para VEs	24
Quadro 1-5	Iniciativas de compartilhamento de carros elétricos, aplicativos de transporte, táxi, entrega urbana e frota de ônibus	28
Quadro 1-6	Planejamento internacional, política e outras promoções de VEs.....	31
Quadro 1-7	Ações governamentais de promoção de VEs em áreas selecionadas	33
Quadro 1-8	Ações inovadoras de apoio a VEs e exemplos de cidades.....	34
Quadro 3-1	Incentivos ao consumidor no Brasil.....	35
Quadro 3-2	Referências governamentais para a eletromobilidade	54
Quadro 4-1	Metas de redução de poluentes estabelecidas na Lei do Clima de São Paulo	57
Quadro 4-2	Capacidade instalada atual e futura de ônibus elétricos e híbridos no país	58
Quadro 5-1	Componentes do TCO (Miller et al., 2017)	62
Quadro 5-2	Composição prevista e atividade programada da frota de ônibus urbanos de São Paulo após a reorganização do sistema (Prefeitura de São Paulo Mobilidade e Transportes, 2017).....	64
Quadro 5-3	Dados de entrada para a modelagem do TCO para ônibus movidos a diesel P7 equipados com ar-condicionado (SPTrans, 2018).....	65
Quadro 5-4	Comparação de estimativas de TCO entre tipos e tecnologias de ônibus	70
Quadro 5-5	Visão geral da análise de sensibilidade.....	71
Quadro A-1	Ações e políticas para a eletromobilidade	80
Quadro A-2	Participantes do workshop de validação	82

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
Abeifa	Associação Brasileira das Empresas Importadoras e Fabricantes de Veículos Automotores
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
AEA	Associação Brasileira de Engenharia Automotiva
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANTP	Associação Nacional para o Transporte Público
BEB	Ônibus elétrico a bateria
BEV	Veículo elétrico a bateria
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
Camex	Câmara de Comércio Exterior
CARB	California Air Resources Board
Cetesb	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
Denatran	Departamento Nacional de Trânsito
EMTU	Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo
EPE	Empresa de Pesquisa em Energia
VE	Veículo elétrico
EVSE	Equipamento de recarga de veículos elétricos
FCEB	Ônibus elétrico a célula de combustível
GHG	Gases de efeito estufa
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
HC	Hidrocarbonetos
HEB	Ônibus híbrido elétrico
HOV	Veículo de alta ocupação
Ibama	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICCT	Conselho Internacional de Transporte Limpo
IEA	International Energy Agency
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional
IGES	Institute for Global Environmental Strategies
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INTD	Contribuição proposta determinada nacionalmente
IPI	Imposto sobre Produto Industrializado
ISO	Organização Internacional de Normalização
IVA	Imposto sobre Valor Agregado
LCFS	Norma de combustíveis de baixo carbono
Mcid	Ministério das Cidades
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MP	Material particulado
MWh	Megawatt hora
NDC	Contribuição determinada nacionalmente
NMHC	Hidrocarboneto não metano
NOx	Óxidos de nitrogênio
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos

O3	Ozônio troposférico
OMS	Organização Mundial da Saúde
PDE	Plano Decenal de Energia
Petrobras	Petróleo Brasileiro S.A.
PHEV	Veículos elétricos híbridos <i>plug-in</i>
Proconve	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
P&D	Pesquisa e desenvolvimento
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SAE	Sociedade de Engenheiros da Mobilidade
SIN	Sistema Nacional Integrado
Sindipeças	Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores
SP	Trans São Paulo Transporte S.A.
TCO	Custo total de propriedade
tep	Tonelada equivalente de petróleo
U.S. EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
USD	Dólar dos Estados Unidos
V2G	Vehicle to grid
VKT	Veículo quilômetros percorridos
WTW	Well-to-wheel (poço à roda)
ZeEUS	Sistema de Ônibus Urbanos com Emissão Zero
ZEV	Veículos com emissão zero
VEH	Veículo elétrico híbrido



SUMÁRIO

SUMÁRIO EXECUTIVO	9
1 AVALIAÇÃO INTERNACIONAL DAS POLÍTICAS DE ELETROMOBILIDADE	15
Políticas regulatórias para veículos e combustíveis limpos	16
Incentivos ao consumidor	19
Infraestrutura de recarga	24
Planejamento, política e outras promoções	28
Resumo da avaliação internacional	34
2 FATORES QUE IMPULSIONAM A ELETRIFICAÇÃO VEICULAR NO BRASIL	37
Panorama do mercado brasileiro de veículos elétricos	37
Consumo de combustível e emissões de CO ₂ no setor de transportes	38
Segurança energética e balança comercial	41
Eficiência energética	42
Qualidade do ar e ruído	42
Mix da geração de eletricidade no Brasil	45
3 CONTEXTUALIZAÇÃO DE POLÍTICAS DE ELETROMOBILIDADE PARA O BRASIL	47
Mapeamento de atores-chave	47
Políticas regulatórias para veículos e combustíveis limpos	52
Incentivos ao consumidor	53
Infraestrutura de recarga	55
Políticas de planejamento e outras promoções	56
4 DEEP-DIVE NO TRANSPORTE PÚBLICO NO BRASIL	58
Lei municipal de mudanças climáticas: o caso de São Paulo	58
Benefícios ambientais de ônibus elétricos	59
Frotas cativas de transporte público e novos modelos de negócio	60
Capacidade produtiva para ônibus elétricos no Brasil	61
5 AVALIAÇÃO DO CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE DA ELETRIFICAÇÃO DE ÔNIBUS DE TRANSPORTE PÚBLICO	63
Abordagem do custo total de propriedade	63
Visão geral da frota e fontes de dados	64
Incertezas e análise de sensibilidade	71
Custos do ciclo de vida para substituição da frota	74
Benefícios para as emissões climáticas da eletrificação da frota e avaliação do custo social	76
Resumo	77
6 DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A ELETROMOBILIDADE NO BRASIL	79
ANEXO A. SEMINÁRIO DE VALIDAÇÃO – CONTRIBUIÇÕES PARA O TEMA DA ELETROMOBILIDADE NO TRANSPORTE COLETIVO	80
REFERÊNCIAS	83

SUMÁRIO EXECUTIVO

A eletrificação do transporte é considerada comumente uma medida fundamental para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e mitigar as mudanças climáticas. Muitos ambientes urbanos também estão enfrentando uma grave poluição do ar e as ameaças à saúde pública resultantes, por isso as cidades estão cada vez mais avaliando e implementando políticas sólidas para estimular a adoção de veículos elétricos (VEs). Os governos também estão interessados nos benefícios econômicos, industriais e de geração de empregos advindos do desenvolvimento local e da fabricação de tecnologias emergentes, como os VEs e sua infraestrutura de apoio. As pesquisas mostram que os países que adotam normas ambientais rigorosas e uma estratégia coordenada de eletromobidade garantem a vantagem da adoção inicial para suas empresas, gerando condições que permitem a competitividade industrial nos mercados internacionais.

AS VENDAS DE VES AUMENTAM SUBSTANCIALMENTE NOS PRINCIPAIS MERCADOS AUTOMOTIVOS

São cada vez maiores os esforços para apoiar o mercado de VEs, que cresce a cada ano. A Figura ES-1 ilustra o dramático aumento anual das vendas globais de VEs leves desde 2010, com dez mercados representando mais de 90% do total de vendas globais. Em 2017, as vendas de VEs superaram a marca de 1,2 milhão de unidades, com a China representando aproximadamente a metade desse valor. As vendas globais acumuladas desde 2010 ultrapassaram 3 milhões em novembro de 2017 (ZEV Alliance, 2017). O mercado de veículos *plug-in* e elétricos no Brasil é, até agora, praticamente inexistente, com menos de 200 VEs novos acumulados de 2010 a 2017.

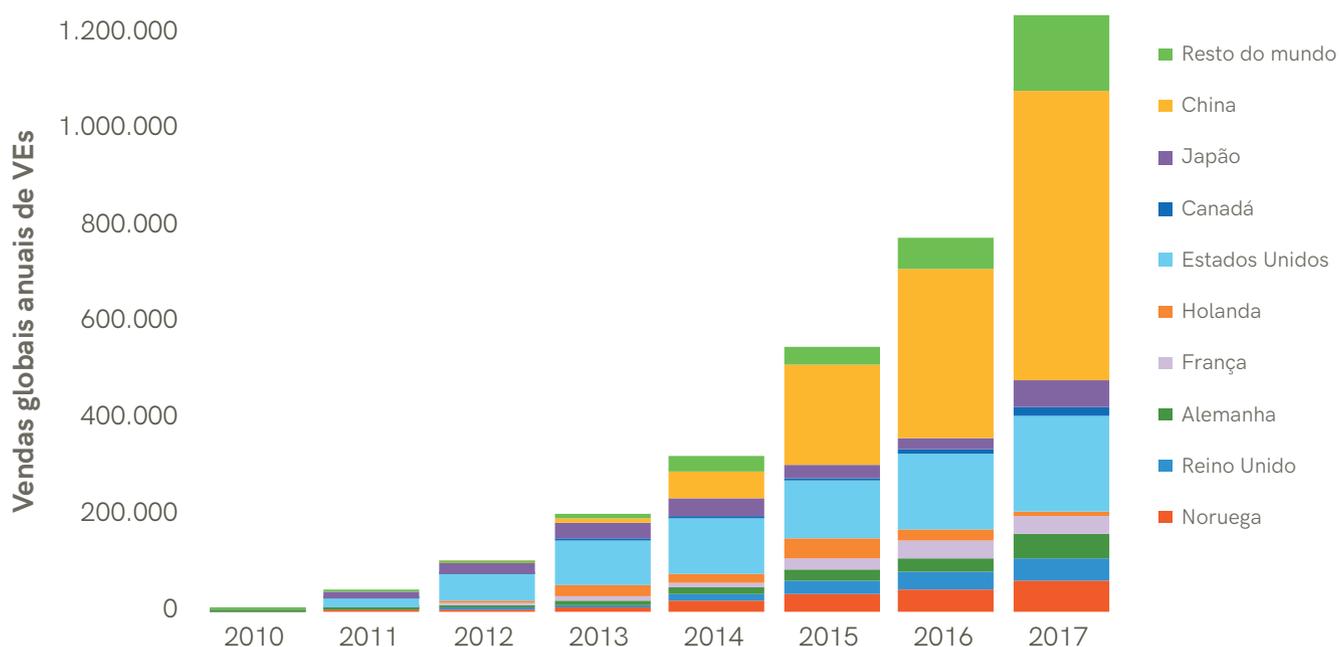


Figura ES-1 | Vendas globais anuais de VEs de 2010 a 2017¹

¹ Os números incluem veículos híbridos *plug-in*, elétricos movidos a bateria e de célula de combustível.

Os ônibus elétricos, embora menores em volume, também registraram altas taxas de crescimento. A frota global de ônibus elétricos dobrou de 170.000 em 2015 para 345.000 em 2016 (IEA, 2017). Mais de 99% desta frota está localizada na China, com compras rápidas impulsionadas principalmente pela poluição urbana e apoiadas por fortes incentivos financeiros do governo e pela política de infraestrutura e industrial. Os ônibus elétricos nos Estados Unidos e na Europa estão alcançando uma adoção comercial rapidamente. No Brasil, há cerca de 296 trólebus em circulação.

O CRESCIMENTO DOS VES SEQUE EM GRANDE PARTE O NÍVEL DE AÇÃO E APOIO DO GOVERNO

Pesquisas sobre as experiências internacionais mostram que a ação governamental – regulamentação de veículos e combustíveis, incentivos ao consumidor, programas de infraestrutura de recarga, planejamento, e políticas e iniciativas locais – ajudam a superar barreiras relacionadas à disponibilidade de modelos, a custos iniciais mais altos, à autonomia elétrica e à ansiedade da autonomia, além das associadas a uma falta geral de conscientização e entendimento. Consequentemente, a aceitação dos VEs varia substancialmente e, em grande parte, em paralelo com o nível de ação dos governos e as políticas de apoio nos âmbitos nacional, provincial e local. Nos primeiros anos, quando a produção de VEs é baixa, as montadoras tendem a focar seus esforços de marketing e implementação de VEs nas regiões com as políticas mais favoráveis (Lutsey, 2015). O Quadro ES-1 resume as ações de promoção de VEs consideradas nesta avaliação e sua execução nos principais mercados, que respondem por mais de 90% das vendas globais acumuladas de VEs.

Embora os dados do quadro sejam específicos para veículos leves, as políticas são aplicáveis às frotas urbanas públicas e privadas, foco deste estudo. Muitas

das políticas em vigor internacionalmente estão apoiando a eletrificação de veículos de passageiros, veículos comerciais e ônibus. No entanto, a depender das decisões governamentais, algumas políticas destinam-se a um tipo específico de veículo. Os programas que atualmente limitam a elegibilidade de veículos poderiam ser modificados ou estendidos para incluir o mercado de veículos mais amplo.

As políticas de apoio local nas principais cidades são cuidadosamente adequadas aos contextos locais. Por exemplo, as principais cidades da China, que sofrem com o congestionamento pesado e a poluição do ar, implementaram cotas rígidas de registro de veículos. Consequentemente, isentar os VEs dessas cotas torna-os muito atraentes para os residentes e envia um forte sinal de que a mobilidade elétrica representa o futuro. Além disso, algumas dessas cidades na China permitem que os carros elétricos sejam dirigidos mesmo nos dias em que os veículos de combustão interna são proibidos de circular. Na Califórnia, o congestionamento nas principais cidades torna o acesso do VE às pistas para veículos de alta ocupação nas vias expressas um benefício valioso.

Similarmente, ônibus elétricos estão sendo introduzidos em mercados com políticas governamentais de apoio à tecnologia. Cerca de 99% da frota global de ônibus elétricos nas estradas atualmente encontra-se na China. Impulsionados pela necessidade urgente de ar limpo, os governos central e local apoiaram a transição para os ônibus elétricos com uma forte visão política e com metas de compras, incentivos financeiros significativos para as aquisições, apoio à infraestrutura de recarga e políticas industriais que estimulam a fabricação local de ônibus. Entre 2009 e 2017, Shenzhen converteu toda a sua frota de 16.000 ônibus convencionais em elétricos, uma história de sucesso que está disponível para avaliação e o entendimento das principais lições aprendidas e estratégias de implementação das melhores práticas, que podem ser compartilhadas de forma mais ampla.

Quadro ES-1. Ações de promoção pública de VEs em áreas selecionadas

Área	Vendas aproximadas e participação em vendas em 2017		Políticas regulatórias para veículos e combustíveis limpos			Incentivos ao consumidor							Infraestrutura de recarga			Planejamento, políticas e outras promoções					
			Cotas de veículos limpos	Normas de eficiência de combustível	Normas de combustível limpo com créditos aos VEs	Subsídios para a compra de VEs	Isenções fiscais para a compra de VEs	Isenções de taxas anuais	Acesso preferencial às faixas de rodagem	Acesso preferencial a estacionamentos	Carga com desconto/gratuita	Programas de financiamento	Protocolos-padrão para equipamento de recarga de veículos elétricos (EVSE)	Incentivos ou financiamento de EVSEs	Implementação direta	Códigos de construção prontos para VEs	Metas de compra	Estratégia de mobilidade elétrica	Alcance e conscientização	Projetos de demonstração	Iniciativas de frotas
Canadá	19.000	0,9%	/	X	/	/				/			X	/	/	X	/	/	/	/	
China	600.200	2,1%	X	X		X	X	X	/	/			X	/	/	X	X	/	X	X	/
França	36.900	1,8%		X		X	X	X	/				X	X	X	X	/	/	/	X	/
Alemanha	53.500	1,6%		X		X	X	X	/	/	X	/	X	X		X	X	X	X	X	
Japão	55.900	1,1%		X		X	X	X			X		X	X	/	X	X	/	/	X	
Holanda	9.200	2,2%		X		/	X	X	X	/	X		X	X	X	X	X	X	X	X	/
Noruega	62.200	39,2%		X			X	X	X	/	X		X	X	/	X	X	X	/	X	/
Reino Unido	48.400	1,9%		X		X	X	X		/	/	X		X	X	/	X	X	X	X	/
Estado Unidos (exceto Califórnia)	96.000	0,7%	/	X		X	/	/	/	/	/		/	X	/	/	X	X	/	/	/
Califórnia	96.500	4,9%	X	X	X	X			X	/	X	X	X	X	X	/	X	X	X	X	X

x denota programa nacional e / indica programa local ou regional menor.

Fonte: Hall e Lutsey (2017a, 2017b), Hall et al. (2017a, 2017b), Jin e Slowik (2017), Lutsey (2015), Slowik e Lutsey (2017), Tietge et al. (2016), Yang et al. (2016). Vendas de 2017 e ações de vendas baseadas em CNCDA (2018) e EAFO (2018).

A EXPERIÊNCIA NACIONAL DE INCENTIVAR A ELETROMOBILIDADE TEM SIDO INSUFICIENTE QUANDO COMPARADA ÀS MELHORES PRÁTICAS INTERNACIONAIS

O Brasil ainda não adotou as políticas robustas de promoção de VEs que estão sendo implementadas nos mercados elétricos líderes incluídos na Figura ES-1 e no Quadro ES-1. Os alvos para a eficiência de VEs leves no Brasil são insuficientes para estimular a maior disponibilidade de modelos que alavanquem o mercado de VEs. Não existem incentivos substanciais para promover as vendas de VEs ao consumidor. As políticas regulatórias e os incentivos na China, na Europa e nos

Estados Unidos fizeram com que estes se tornassem os mercados dominantes de VEs no mundo. Além disso, não existe uma infraestrutura de recarga no Brasil que assegure a recarga nos domicílios ou que inspire confiança em um ecossistema de recarga público. Finalmente, o Brasil não conta com políticas de planejamento e promoção, ou medidas de conscientização similares aos mercados internacionais de VEs.

Para adotar as melhores práticas internacionais, o Brasil deveria aproveitar projetos existentes e desenvolver políticas para superar as barreiras aos VEs. O foco em ônibus urbanos faz sentido no curto e médio prazo devido à dependência do diesel, o que combinaria os benefícios

da eletrificação com investimentos em mobilidade urbana. Primeiro, o país deveria implementar alvos mais rigorosos de eficiência energética e expandi-los para ônibus e caminhões, estimulando modelos de VEs no território nacional até atingirem a paridade de custos, em torno de 2025. Segundo, com relação à diferença nos custos iniciais entre veículos elétricos e a combustão, o Brasil poderia modificar os impostos de importação e registro para isentar ou incentivar os veículos *plug-in* e a bateria. No caso de ônibus urbanos, deveriam ser avaliados novos modelos de financiamento, que incluíssem o *leasing* da bateria e possivelmente infraestrutura de recarga (por exemplo, painéis fotovoltaicos). Terceiro, para infraestrutura de recarga, poderiam ser oferecidas isenções de impostos ou esquemas de compartilhamento de custos. Finalmente, para incentivar a conscientização e compreensão do consumidor, o Brasil poderia investir em campanhas públicas que enfatizassem os benefícios da eletrificação, especialmente para ônibus públicos.

Esse conjunto de ações se beneficiaria de uma ação coordenada para superar as barreiras técnicas, econômicas e de infraestrutura. Porém, o Brasil tem focado em iniciativas isoladas, envolvendo principalmente projetos de demonstração, pesquisas e incentivos fiscais, ainda com resultados modestos ou pouco claros. Não há políticas ou iniciativas coordenadas para promover a eletromobilidade no país. Os planos nacionais de energia de curto e longo prazos sinalizariam melhor a eletrificação de veículos como uma alternativa viável às metas de eficiência energética e de descarbonização. Esses planos também podem fornecer uma base para uma melhor articulação entre iniciativas de pesquisa e desenvolvimento (P&D) da tecnologia. O Rota 2030, nova política brasileira de competitividade industrial, poderá representar uma oportunidade para impulsionar o ritmo da eletrificação, incentivando ações coordenadas de P&D e investimentos no setor e aproveitando ações complementares, como os investimentos em infraestrutura de recarga.

O Brasil precisa articular claramente suas motivações para a eletromobilidade de maneira que elas sejam traduzidas em políticas públicas e implementadas como ações e programas que se complementam. Uma das principais lições aprendidas é que, sem motivações claras, como ocorre atualmente no Brasil, essa integração de esforços raramente acontece. Para contribuir com esse debate, este estudo avaliou as principais motivações para a eletromobilidade no Brasil, considerando as fontes de energia nos transportes e o setor de energia elétrica do país. A eletrificação do transporte traria reduções significativas nas emissões de GEEs e poluentes atmosféricos locais, reduziria o consumo de energia, em

razão da maior eficiência dos motores, e promoveria a segurança energética, entre outros benefícios. Mesmo considerando uma maior participação dos biocombustíveis em comparação com outros países, as projeções nacionais de energia ainda indicam um predomínio dos combustíveis fósseis utilizados no transporte a curto e longo prazos. Além disso, a geração de energia é e continuará sendo composta por mais de 80% de fontes renováveis, o que aumenta os benefícios ambientais com a eletrificação. Nas grandes cidades, as frotas de automóveis crescerão 44% até 2030, e a qualidade do ar, que já está acima das diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS) para a maioria das cidades brasileiras, piorará.

AS TECNOLOGIAS DE MOTORES ELÉTRICOS PODEM SER MAIS ECONÔMICAS

Uma das considerações mais importantes ao avaliar o potencial de transição para motores elétricos é o custo dessas tecnologias alternativas em relação aos motores de combustão convencionais. As tecnologias de motores elétricos, como os veículos híbridos elétricos ou elétricos movidos a bateria, exigem maiores investimentos no momento da aquisição e, no caso de veículos elétricos a bateria, na infraestrutura de recarga. No entanto, essas tecnologias também oferecem o potencial de redução de custos operacionais – por exemplo, a redução dos custos de abastecimento e manutenção, que pode torná-las competitivas em relação aos veículos com motores a combustão ao considerarmos os custos incorridos durante a vida útil do veículo. Portanto, uma questão-chave para transições para motores elétricos é até que ponto a economia operacional compensaria os maiores custos de capital associados a essas tecnologias alternativas.

Neste estudo, comparou-se o custo total de propriedade das tecnologias de motores elétricos e a combustão convencional, utilizando como caso a frota municipal de São Paulo, para explorar os custos das transições para ônibus elétricos no Brasil. 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. A análise revelou que os custos do ciclo de vida das tecnologias de ônibus híbridos a diesel e elétricos 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 Figura ES-2 ilustra as diferenças no custo total de propriedade de um ônibus Padron LE, uma das configurações de ônibus mais comuns em São Paulo.

Além dos custos mais baixos, a transição para os ônibus elétricos em São Paulo resultaria em uma redução significativa das emissões de GEEs e de carbono negro. Ao contabilizarmos os danos climáticos e para a saúde em termos monetários (não incluídos nos resultados da Figura ES-2), os ônibus híbridos a diesel e elétricos e elétricos a bateria reduziram o custo total de propriedade em 10% e 27%, respectivamente. É importante enfatizar que estes resultados refletem os custos atuais da tecnologia elétrica, que serão reduzidos substancialmente em anos futuros quando a tecnologia amadurecer e os volumes de produção aumentarem. Por outro lado, a transição para uma frota de ônibus a biodiesel é estimada como um pouco mais cara que as convencionais, além de também poder aumentar significativamente as emissões atmosféricas poço à roda (WTW, do inglês *well-to-wheel*), dadas as emissões relativamente elevadas decorrentes do uso intensivo do solo assumidas nesta análise para o biodiesel à base de soja.

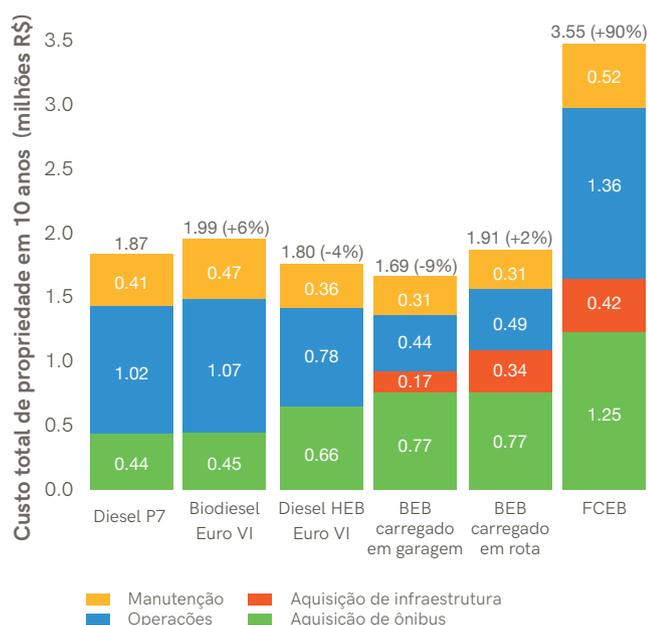


Figura ES-2 | Custo total de propriedade de mais de 10 anos de tecnologia convencional e alternativa de ônibus em São Paulo²

A ELETRIFICAÇÃO DOS ÔNIBUS URBANOS É UMA PRIORIDADE DE CURTO PRAZO

Enquanto a mídia internacional se concentra na eletrificação de veículos de passageiro, um foco mais adequado para o Brasil no curto prazo são os ônibus urbanos, que combinariam os benefícios da eletrificação com investimentos na mobilidade urbana.

Os ônibus elétricos trariam uma série de benefícios ambientais, incluindo a melhor qualidade do ar e da saúde pública, menos ruído e menos emissões de poluentes climáticos. A maioria dos ônibus urbanos depende do diesel, responsável por vasta parte das emissões de material particulado e óxidos de nitrogênio, dois dos mais importantes poluentes do ar que impactam a saúde pública. A troca dos ônibus a diesel pelos elétricos eliminaria as emissões de escapamento e reduziria o ruído. Além disso, a troca do diesel pela eletricidade, cuja contribuição de fontes renováveis é de cerca de 80%, traria grandes benefícios climáticos.

Além dos benefícios ambientais, investimentos em ônibus urbanos elétricos se alinham com incentivos do governo à mobilidade urbana e à promoção do transporte público sobre a motorização individual. A mobilidade urbana tem trazido à tona problemas cada vez mais complexos, proporcionais ao crescimento desordenado das cidades, e a tecnologia veicular não deveria estar desassociada dos princípios de mobilidade. Pelas diretrizes estabelecidas na Política Nacional de Mobilidade Urbana, além da prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado, devem ser incentivados o desenvolvimento científico-tecnológico e o uso de energias renováveis e menos poluentes.

As análises comparativas de custos de tecnologias de ônibus apresentadas neste estudo, com vantagens para ônibus elétricos, reforçam as oportunidades para a eletrificação. Estando o país já em condições de iniciar de forma mais imediata a migração para a eletromobilidade para esse nicho, considerando as vantagens apresentadas em termos de custo total e da capacidade produtiva instalada, o direcionamento de esforços para superar as barreiras dessa migração traria inúmeras vantagens. Custos operacionais e totais mais baixos podem impactar a redução de tarifas, além de alavancar a posição competitiva industrial do país quanto a novas tecnologias.

² Os títulos de dados indicam contribuições de componentes de custo individuais para as estimativas de custo total de propriedade (TCO). As porcentagens mostram a variação no TCO em relação à tecnologia a diesel P7 de referência. Os custos de aquisição incluem adiantamentos e pagamentos de empréstimos, deduzidos de qualquer valor de revenda de ônibus no final do período de propriedade.

O Brasil poderia impulsionar o compromisso de São Paulo com ônibus com emissão zero. Com mais de 14.000 ônibus transportando 9,5 milhões de passageiros por dia, a experiência de São Paulo poderá ser replicada em outras cidades, especialmente com o apoio à superação de barreiras por meio de políticas públicas mais bem coordenadas. Outras cidades brasileiras poderiam adotar alvos de redução de emissões para seus contratos de concessão para serviços de transporte público, assim aumentando a demanda por ônibus elétricos.

O BRASIL PODE FAZER PARTE DE UMA TRANSIÇÃO GLOBAL PARA A ELETROMOBILIDADE

As regiões da América do Norte, Europa, China e outros países estão desenvolvendo políticas regulatórias de longo prazo, implementando incentivos e uma infraestrutura de recarga para apoiar o mercado de VEs. Os mercados na Europa e na China estão pondo em prática políticas similares e ainda mais ousadas, que promovem os VEs de forma explícita. Todas as regiões, incluindo o Brasil, podem aprender com essas experiências no que tange à definição de quais medidas são mais adequadas a cada situação e quais podem ser melhoradas. A expansão da aplicação de políticas de promoção que representam as melhores práticas continuará acelerando a transição para uma frota global de VEs.

Um grande desafio à eletrificação no Brasil é ir além das soluções atuais para a mitigação de GEEs e segurança energética, atualmente centradas em biocombustíveis, e avançar em alternativas complementares. Apesar de ser uma solução louvável para o país, considerando sua vocação agrícola, os biocombustíveis não resolvem a questão da qualidade do ar, ou tampouco reduzem as emissões de GEEs no longo prazo, considerando o potencial de crescimento da frota. No caso do biodiesel, as limitações são ainda maiores devido às mudanças no uso indireto da terra, que podem neutralizar seus benefícios climáticos, e às potenciais restrições na capacidade de produção. Na rota para a descarbonização do transporte, a eletrificação veicular complementar os biocombustíveis, acrescentando um ganho de eficiência energética que dificilmente será obtido com as tecnologias convencionais. A matriz energética brasileira, fortemente calcada em energia renovável mesmo nas projeções futuras, potencializaria a vantagem da eletromobilidade.

É importante adotar políticas que removam barreiras relacionadas à falta de consciência e à disponibilidade de modelos, aos custos iniciais altos, à autonomia elétrica e à ansiedade da autonomia. Um sistema de regulações

para veículos e combustíveis, incentivos ao consumidor, programas de infraestrutura de recarga e outras políticas de promoção é um caminho comprovado para superar barreiras de adoção. Isso trará benefícios em termos não apenas de eficiência energética e emissões, mas também de competitividade industrial. Mais de 75% das vendas globais de VEs ocorrem na mesma região em que os veículos são comercializados. O Brasil tem uma oportunidade de aprender com os exemplos internacionais e liderar o mercado sul-americano crescente. O estabelecimento de metas claras de volume e o fornecimento de incentivos financeiros, em última análise, prepararam os governos e as empresas para desenvolver um mercado de VEs e uma base de produção nacional (Lutsey et al., 2018).

O primeiro desafio é o posicionamento da eletrificação veicular, em especial para o transporte público, e sua internalização como política pública, o que traria uma natural coordenação de esforços para acelerar sua introdução. Os diversos atores-chave teriam um entendimento único e caminhariam na mesma direção. O desenvolvimento do conhecimento, hoje disperso em centros de pesquisa e universidades, seria canalizado para um esforço comum, com ganhos dessa integração para os resultados finais. Investimentos adicionais seriam feitos pelo setor privado a partir de uma sinalização de políticas públicas mais firme, ganhos em escala seriam atingidos, e barreiras de custo seriam reduzidas. A política industrial do setor automobilístico, atualmente em discussão, incorporaria de forma clara esse direcionamento, ampliando as vantagens competitivas para o país perante oportunidades em mercados internacionais. Os planos de energia incorporariam estimativas coerentes com direcionamento para eletrificação. Os esforços de aperfeiçoamento tecnológico na operação de ônibus elétricos se intensificariam com a sinalização positiva. A exemplo de São Paulo, outras cidades poderiam adotar metas de redução de emissões incorporadas em seus contratos de concessão de serviço de transporte público, seguras do respaldo que teriam em termos de políticas públicas e do amadurecimento tecnológico, consequência natural do esforço.

As experiências internacionais trazidas em estímulo à eletromobilidade apontam para um enorme leque de alternativas a serem consideradas no contexto e na conjuntura nacional. Novamente, essas experiências podem servir de inspiração para ações a ser adotadas uma vez que se tenha a clareza da direção a seguir. As etapas subsequentes surgirão naturalmente a partir desse esforço coordenado, e mecanismos de acompanhamento e avaliação de resultados poderão demandar ajustes às rotas adotadas como um processo evolutivo de políticas públicas.

AVALIAÇÃO INTERNACIONAL DAS POLÍTICAS DE ELETROMOBILIDADE

Esta avaliação das políticas públicas internacionais de mobilidade elétrica está centrada em veículos leves de passageiros, incluindo frotas públicas e privadas, ônibus e veículos urbanos de entrega. O escopo geográfico inclui os principais mercados da América do Norte, Europa e Ásia, e a análise destaca os últimos acontecimentos na Índia, quando relevantes. Apesar de algumas políticas para ônibus elétricos públicos estarem sendo discutidas em

mercados selecionados da América do Sul, incluindo Chile e Colômbia, estas se encontram em fases relativamente iniciais de desenvolvimento e, portanto, não são incluídas nesta avaliação. Este capítulo oferece um exame detalhado das várias políticas públicas e iniciativas que estão apoiando o desenvolvimento da mobilidade elétrica, conforme as quatro categorias indicadas no Quadro 1-1.

Quadro 1-1 | **Ações de promoção governamental para VEs**

Categoria	Ação
Políticas regulatórias para veículos e combustíveis limpos	<ul style="list-style-type: none"> • Cotas de veículos limpos • Normas de eficiência de combustível • Normas de combustível limpo que dão crédito aos VEs
Incentivos ao consumidor	<ul style="list-style-type: none"> • Incentivos para a compra de veículos (subsídios e isenções fiscais) • Isenções de taxas anuais • Acesso preferencial às faixas de rodagem • Acesso preferencial a estacionamentos • Carga com desconto/gratuita • Programas de financiamento
Infraestrutura de recarga	<ul style="list-style-type: none"> • Protocolos-padrão para equipamentos de recarga de veículos elétricos (EVSE) • Incentivos ou financiamento de EVSEs • Implementação direta • Códigos de construção prontos para VEs
Planejamento, política e outras promoções	<ul style="list-style-type: none"> • Metas de compras • Estratégia de mobilidade elétrica • Alcance e conscientização • Projetos de demonstração • Iniciativas de frotas • Zonas de veículos de baixa emissão

Algumas das políticas e ações públicas incluídas nesta avaliação são projetadas para incentivar a adoção de VEs de passageiros de propriedade privada. No entanto, elas frequentemente são também aplicáveis a outros modelos de propriedade (frotas públicas de propriedade privada, frotas particulares) e a outros tipos de veículos (comerciais leves, ônibus). Em teoria, essas políticas poderiam ser modificadas ou ampliadas para abranger um mercado mais amplo.

As seções a seguir analisam as diversas ações e seus possíveis impactos na adoção de VEs, conforme as quatro categorias indicadas no Quadro 1-1, ou seja, políticas regulatórias para veículos e combustíveis limpos; incentivos ao consumidor; infraestrutura de recarga; e planejamento, política e outras promoções. A última seção deste capítulo resume os resultados dessa análise e fornece vários exemplos. A avaliação inclui uma discussão dos principais fatores de sucesso, elementos que

representam as melhores práticas e desafios potenciais, quando aplicáveis.

POLÍTICAS REGULATÓRIAS PARA VEÍCULOS E COMBUSTÍVEIS LIMPOS

Esta seção resume os regulamentos sobre veículos e combustíveis limpos que estão estimulando a adoção de VEs em todo o mundo. As ações avaliadas neste documento incluem exigência de cotas para veículos limpos, padrões de eficiência veicular e normas de combustíveis limpos.

COTAS DE VEÍCULOS LIMPOS

Os principais mercados da Califórnia e da China introduziram cotas de vendas para VEs. Os programas exigem maiores vendas de VEs incrementalmente ao longo do tempo, estabelecendo requisitos obrigatórios de vendas anuais de VEs para os fabricantes de automóveis. Os programas impulsionam significativamente os mercados de VEs e os fabricantes de automóveis a oferecerem uma maior disponibilidade de modelos de VEs e maiores esforços de marketing (NESCAUM, 2016, 2017). As preferências de marcas e modelos de veículos dos consumidores variam muito. Dessa forma, a disponibilidade de vários modelos de VEs é um fator fundamental para a adoção mais ampla de VEs (consulte, por exemplo, a NRC 2015).

O regulamento de veículos com emissão zero (ZEV, na sigla em inglês) da Califórnia exige que 8% dos veículos novos vendidos sejam elétricos em 2025 (CARB, 2017a). O estado representa metade das vendas de VEs dos Estados Unidos, destacando o grande impacto das exigências diretas para VEs (Lutsey, 2017). A política de Veículos Elétricos Novos de 2017 da China é semelhante ao programa da Califórnia e exige que aproximadamente 4% das vendas de veículos novos sejam de VEs em 2020 (Cui, 2018). Os programas são globalmente únicos, obrigando a implementação de VEs pela aplicação de multas no caso de descumprimento (Lutsey, 2015). Sendo a China o maior mercado automobilístico do mundo, a política de Veículos Elétricos Novos é um marco global que certamente acelerará a eletrificação do transporte mundialmente. Programas similares, porém menores, incluem a norma de ZEV de Québec, que entrou em vigor em janeiro de 2018 (MDDELCC, 2018).

Apenas veículos leves de passageiros estão incluídos nos programas estabelecidos na China, na Califórnia e no Québec. No entanto, a política em teoria poderá

se estender a outros tipos de veículos. Por exemplo, a Califórnia propôs a regra do Trânsito Limpo Inovador, que implementará os requisitos de aquisição de ônibus de emissão zero para as agências de transporte municipal no estado (CARB, 2017b). Conforme sua versão atual, a regra exigirá que todas as compras de ônibus sejam de emissão zero até 2029 (CARB, 2017b). Espera-se que essas políticas contribuam significativamente para a redução da poluição atmosférica urbana, estimulando o investimento econômico, a inovação e o crescimento de empregos na tecnologia de veículos limpos na Califórnia. Políticas similares poderão ser introduzidas ou estendidas para incluir requisitos para frotas públicas ou privadas, veículos de entrega urbana ou outros tipos de veículos.

No âmbito local, Londres introduziu requisitos de licenciamento para novos táxis a partir de 2018. Todos os táxis que solicitam o licenciamento inicial devem ter a possibilidade de emissão zero (ou seja, elétrico híbrido *plug-in* ou totalmente elétrico). Requisitos similares que se estendem a outras frotas de veículos de aluguel iniciam em 2020 (Transport for London, 2018). As políticas criam grandes desincentivos para as frotas que não cumprem as normas de emissões estabelecendo uma cobrança diária. Os requisitos provocaram reações do setor privado de veículos de aluguel. A Uber, por exemplo, está explorando caminhos para integrar totalmente os VEs na sua plataforma, citando as regulamentações futuras relativas às emissões como uma das principais motivações (Lewis-Jones & Roberts, 2017).

NORMAS DE EFICIÊNCIA DE COMBUSTÍVEL

A maioria dos principais mercados de veículos estabeleceu padrões de eficiência veicular ou de emissões de GEEs para veículos de passageiros e comerciais leves. Essas regulamentações refletem o compromisso dos governos de melhorar a saúde ambiental global, garantir a segurança energética, mitigar as mudanças climáticas, proteger os interesses econômicos dos consumidores e impulsionar a inovação tecnológica (Yang; Bandivadekar, 2017). Os Estados Unidos estão entre os principais mercados no que tange ao rigor das normas de emissões adotadas. Até certo ponto, os regulamentos dos Estados Unidos estão promovendo uma maior aceitação de VEs.

Por exemplo, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, na sigla em inglês) estima que apenas cerca de 5% das vendas nacionais de veículos leves novos precisarão ser do tipo elétrico *plug-in* para atender à meta de 54,5 milhas/galão (163g CO₂-e /mi) em 2025 (U.S. Environmental Protection Agency, 2016). A Figura 1-1 mostra a meta de CO₂ dos Estados Unidos para toda

a frota (eixo y à esquerda) por ano (eixo x), e a participação estimada de VEs nas vendas como resultado das normas (eixo y à direita). A estimativa da EPA (5% até 2025) é apresentada com uma extensão hipotética das normas

em 2030 de 4-6% menos CO₂/ano. Conforme mostrado, a participação de VEs aumenta como consequência das normas de emissões mais rigorosas.

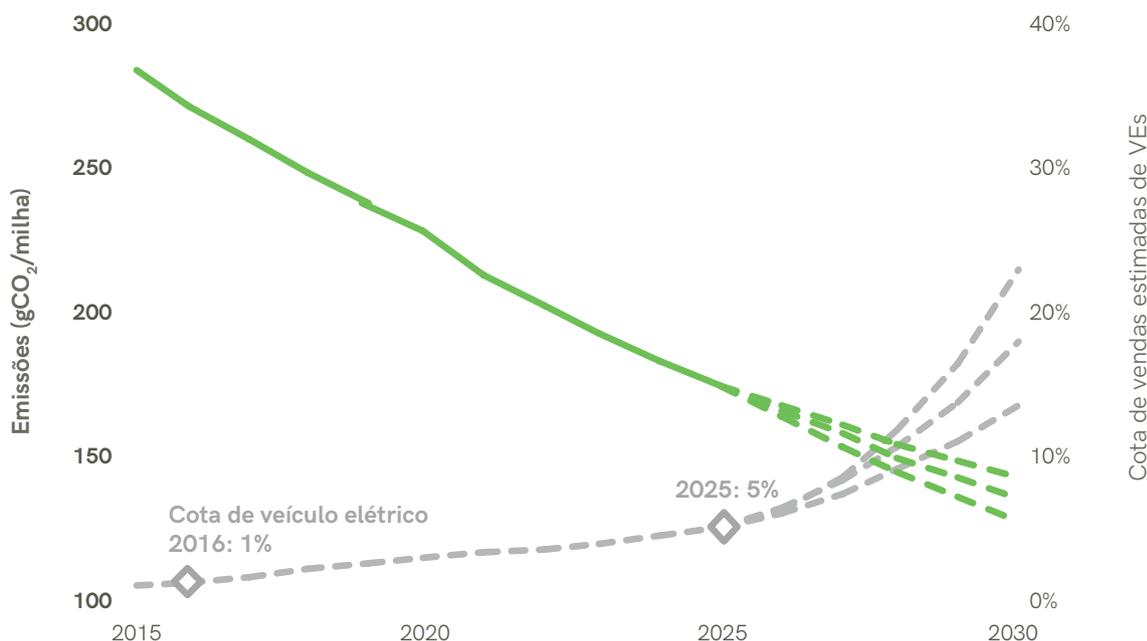


Figura 1-1 | Normas de emissões de veículos leves nos Estados Unidos e vendas estimadas de VEs (2015-2030)³

Certamente, normas menos rigorosas promoveriam os VEs em menor medida, colocando mais pressão sobre as políticas não regulatórias para desenvolver o mercado (Lutsey, 2017). Em seu site, o ICCT (2018) disponibiliza uma comparação global da economia de combustível ou das normas de emissões de GEEs para veículos de passeio e comerciais leves.

A União Europeia introduziu as normas obrigatórias de emissões de CO₂ para carros novos de passageiros em 2009. Atualmente, os regulamentos foram finalizados para 2020, definindo-se a meta da frota em 95gCO₂/km (Mock, 2014). Análises anteriores mostram que as metas podem ser atingidas aumentando a eficiência dos veículos de combustão convencional, exigindo, assim, uma participação de mercado de VEs muito baixa ou mesmo não exigindo VEs (Mock, 2017). No entanto, a regulamentação inclui incentivos para VEs, ou seja, desconsidera as emissões poço a tanque e permite supercréditos (em outras palavras, conta cada veículo como se fosse múltiplos veículos). Apesar destes

incentivos no âmbito da UE, o mercado de VEs varia amplamente entre os Estados-membros; Os VEs tiveram uma participação de 9,7% dos veículos novos na Holanda, mas de apenas 0,7% na Alemanha em 2015 (Mock, 2016). Isso ilustra o importante papel de incentivos fiscais e outros incentivos não regulatórios no âmbito nacional e local (Tietge et al., 2016).

Em 2017, a Comissão Europeia publicou a sua proposta de regulamento para as metas de CO₂ pós-2020 para carros e vans comerciais leves. A proposta inclui os seguintes incentivos e metas para a participação nas vendas totais de ZEVs e baixa de veículos e vans comerciais leves: 15% para 2025-2029 e 30% para 2030 (Dornoff et al., 2018). Atualmente, não há penalidades pelo descumprimento das metas.

Continuar aumentando o rigor das normas de eficiência de combustível e de emissões de CO₂ promoverá progressivamente as tecnologias de veículos mais avançadas na frota, incluindo os VEs. Nos casos em que

³ Com base na tecnologia de eficiência e avaliação de custos para veículos leves de 2025-2030 dos Estados Unidos (Lutsey et al., 2016).

os VEs recebem incentivos via fatores multiplicadores (por exemplo, na China, na Europa, na Índia e nos Estados Unidos), incentivos artificiais podem minar parcialmente os benefícios de curto prazo das normas. Por exemplo, a aplicação de supercréditos permite que o restante da frota de veículos emita níveis mais altos de emissões ou permaneça com menor eficiência energética, corroendo o rigor das normas de consumo de combustível. Esse é o caso dos Estados Unidos, da Europa e da China. Medidas preventivas e políticas poderiam ser implementadas para minimizar a degradação das normas pelo resultado de disposições de incentivo para VEs (Cui, 2018; Lutsey, 2017).

NORMAS DE COMBUSTÍVEL LIMPO QUE DÃO CRÉDITO AOS VES

A Colúmbia Britânica (Canadá) e a Califórnia adotaram políticas de combustível de baixo carbono que incentivam o uso de combustíveis de transporte de baixo carbono, incluindo a eletricidade, e impondo penalidades para combustíveis de alto carbono. Na Califórnia, a Norma de Combustíveis de Baixo Carbono (LCFS, na sigla em inglês) exige a descarbonização dos combustíveis no transporte, estabelecendo limites de emissões de GEEs e incluindo dispositivos para incentivar a eletricidade para o transporte. O programa oferece um mecanismo de financiamento, permitindo que os fornecedores de combustível de baixo carbono gerem créditos, auxiliando assim os fornecedores de recarga de VEs. Os créditos da LCFS ajudam a promover o transporte de baixo carbono em muitos tipos de veículos, combustíveis e faixas de renda (CARB, 2018a).

No programa LCFS, as concessionárias de energia elétrica são obrigadas a repassar créditos de incentivo para

clientes de VEs atuais ou futuros. Várias concessionárias (PG&E, LADWP, SMUD, SDG&E) ofereceram descontos ao consumidor (avaliados em cerca de USD 500-600) em 2017 para os VEs ou sua infraestrutura. O programa também fornece créditos separados para agências de trânsito locais que estão integrando ônibus elétricos, ferrovias e outras opções de trânsito de baixo carbono (CARB, 2018a).

As regulamentações de combustíveis limpos fornecem fortes sinais de longo prazo para a descarbonização incremental dos combustíveis de transporte. O programa da Califórnia oferece o duplo benefício de gerar incentivos financeiros diretos para a eletrificação do transporte e, dessa forma, ajuda a superar as principais barreiras de mercado relacionadas à acessibilidade econômica e à implementação da infraestrutura de recarga.

Outras normas de combustível limpo atualmente promovem os VEs em menor grau. Por exemplo, a Diretriz de Qualidade de Combustíveis da União Europeia estabeleceu uma meta obrigatória para os fornecedores de combustível reduzirem as emissões de GEEs no ciclo de vida em 6% para a energia fornecida para transporte em 2020. A eletricidade pode contribuir para essa meta (Official Journal of the European Union, 2015). No entanto, espera-se que a meta seja atendida em grande parte com os biocombustíveis de primeira geração, juntamente com as reduções de emissões poço a tanque (Bitnere & Searle, 2017). Continuar aumentando o rigor da norma ajudaria mais a promover a eletrificação como combustível de transporte.

O Quadro 1-2 resume os regulamentos internacionais sobre veículos e combustíveis limpos.

Quadro 1-2 | Regulamentos internacionais sobre veículos e combustíveis limpos

Regulamento	Descrição	Fundamento	Parte interessada típica	Implicações para a adoção de VEs
Cotas de veículos limpos	Exige que os fabricantes produzam mais ZEVs	Comercializar tecnologias avançadas e reduzir as emissões no longo prazo	Governo nacional ou provincial	Geram impacto importante no mercado em função dos requisitos de vendas diretas e maior disponibilidade de modelos de VEs
Normas de eficiência de combustível	Visam melhorar gradualmente a economia média de combustível dos veículos	Limitar as emissões de CO ₂ e reduzir o consumo de petróleo	Governo nacional ou provincial	Atualmente colocam poucos VEs na frota
Normas de combustível limpo que dão crédito aos VEs	Visam reduzir a intensidade de carbono dos combustíveis de transporte	Reduzir as emissões e o consumo de petróleo	Governo nacional ou provincial	Incentivam a eletricidade como um combustível de baixo carbono que ajuda na implementação de VEs e EVSE

INCENTIVOS AO CONSUMIDOR

Incentivos fiscais ao consumidor para promover a adoção de VEs estão em vigor em muitas nações e incluem incentivos para a compra de veículos, isenções de taxas anuais, acesso preferencial a faixas de rodagem e estacionamentos, carga com desconto ou gratuita e financiamento de veículos. Esses incentivos ajudam os consumidores a superar as principais barreiras de custo e conveniência, impulsionando assim o início do mercado de VEs, enquanto os custos com tecnologia caem e os consumidores se familiarizam com ela (Slowik & Lutsey, 2016). Diversos estudos mostraram que a compra e outros incentivos ao consumidor estão associados à aceitação de VEs (Hall & Lutsey, 2017a; Jin et al., 2014; Lutsey et al., 2015, 2016; Mock & Yang, 2014; Slowik & Lutsey, 2017; Tal & Nicholas, 2016; Vergis & Chen, 2014; Vergis et al., 2014; Yang et al., 2016; Zhou et al., 2016, 2017). Muitos governos nacionais e subnacionais oferecem um ou mais incentivos ao consumidor. Esta seção resume sua implementação em vários mercados.

INCENTIVOS PARA A COMPRA DE VEÍCULOS (SUBSÍDIOS E ISENÇÕES FISCAIS)

Muitos governos oferecem incentivos fiscais que reduzem o preço de compra dos VEs. Esses incentivos estão divididos em duas grandes categorias: subsídios e reduções de impostos sobre veículos. Os subsídios tendem a ser relativamente transparentes e diretos, com um valor monetário atrelado específico do veículo. As reduções de impostos podem ser muito mais variáveis e vagas e dependem do sistema tributário e das especificações do veículo (Yang et al., 2016).

Os subsídios de compra de VEs são implementados no âmbito nacional e provincial e estão disponíveis em muitas regiões: províncias canadenses (British Columbia, Ontário e Québec), Governo Central da China, regiões da China (por exemplo, Pequim, Shenzhen, Xangai, Hefe e Hangzhou), França, Alemanha, Governo Central da Índia e alguns governos estaduais (por exemplo, Délhi), Japão, Coreia, Suécia, Reino Unido, muitos estados dos Estados Unidos (incluindo a Califórnia) e o governo federal dos Estados Unidos (Yang et al., 2016). O sistema *feebate* Bonus-Malus da França oferece um subsídio para a compra de VEs, juntamente com um sistema de taxas para veículos de maior emissão, e dessa forma ajuda a garantir a durabilidade da fonte de receita.

As reduções de impostos sobre compras de veículos são mais comumente implementadas no âmbito nacional e aplicadas em uma única ocasião. Muitas regiões optaram por isentar totalmente ou parcialmente os VEs elegíveis de pelo menos um tipo de imposto sobre compras. Por exemplo, a Noruega cobra altos impostos sobre o valor agregado (IVA) e taxas de registro de veículos. Os veículos elétricos a bateria (BEVs) estão totalmente isentos de ambos, enquanto os veículos elétricos híbridos *plug-in* (PHEVs) desfrutam de uma isenção parcial (Slowik & Lutsey, 2016). Outras regiões com redução de impostos sobre compras de veículos incluem China, Dinamarca, França, Japão, Holanda e Reino Unido (Yang et al., 2016).

As áreas urbanas se beneficiam e são limitadas por políticas no âmbito regional e nacional, especialmente para incentivos financeiros (Hall et al., 2017a). A Figura 1-2 mostra o valor dos incentivos para BEVs e PHEVs (barras, eixo esquerdo) em várias cidades do mundo, além das suas respectivas vendas em 2016. Conforme mostrado, os principais mercados em termos de participações de venda de VEs tendem a oferecer incentivos fiscais substanciais.

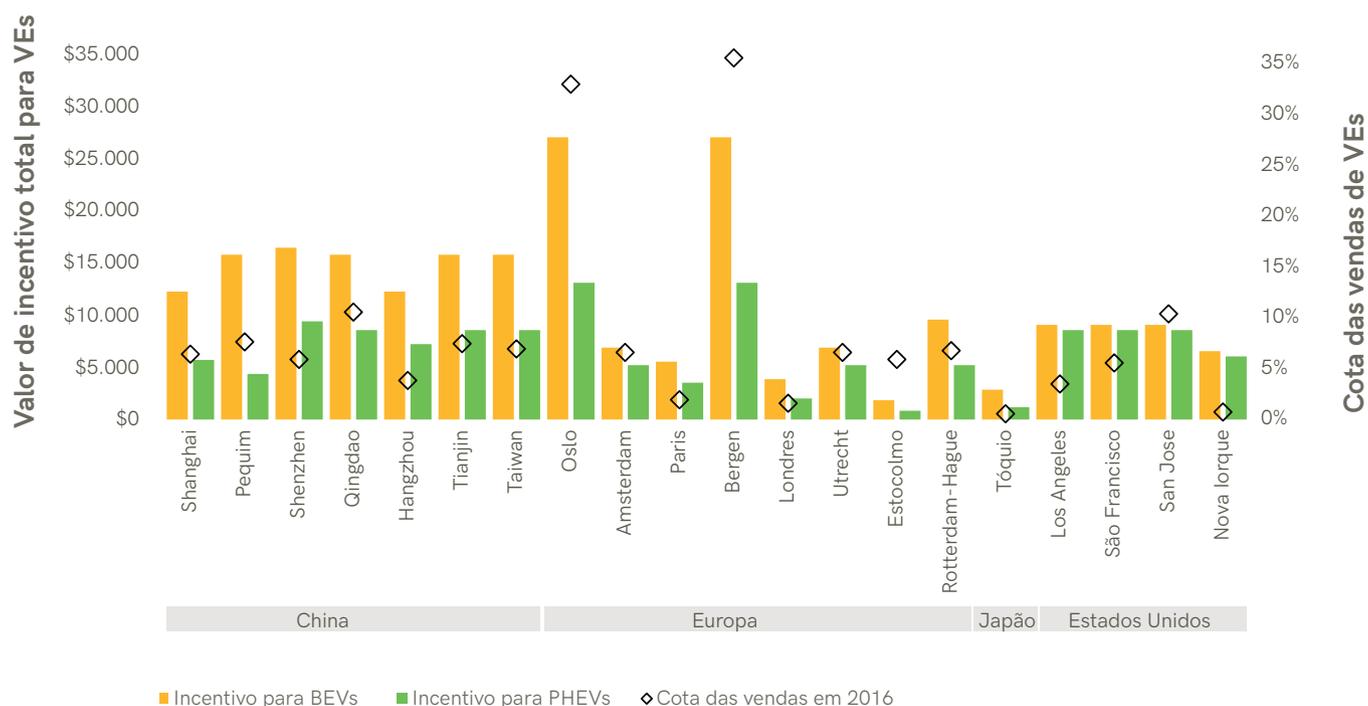


Figura 1-2 | Valor do incentivo para BEVs e PHEVs e participação nas vendas em 2016 nos principais mercados de VE (Hall et al., 2017a)

Os pesquisadores estudaram a relação entre incentivos fiscais e adoção de VEs em mais detalhes. Uma análise de regressão linear multivariada recente de 350 áreas metropolitanas em todo o mundo identificou incentivos financeiros ao consumidor estatisticamente ligados a uma maior adoção de VEs (Hall & Lutsey, 2017a). Uma análise separada de 200 áreas metropolitanas nos Estados Unidos também revelou uma forte relação (Slowik & Lutsey, 2017). Pesquisas mostram que os incentivos podem ser otimizados para incentivar os VEs. De maneira geral, os incentivos financeiros ao consumidor que são substanciais em valor, que estão disponíveis no ponto de venda, para vários tipos de veículos e de propriedade, cujo valor é transparente e que estão em vigor há vários anos tendem a ser eficazes (Yang et al., 2016).

Diversos fatos ilustram a importância dos incentivos. Nos Estados Unidos, o estado da Geórgia ofereceu um incentivo de USD 5.000 e, em 2014, os VEs representaram 3,5% das vendas de veículos novos (mais de quatro vezes a média nacional). O incentivo expirou em 2015 e os emplacamentos caíram mais de 80%, para cerca de 0,7% em 2016 (Slowik & Lutsey, 2017). As principais reduções nos incentivos fiscais tiveram impactos de mercado igualmente negativos na Holanda e na Dinamarca em 2015 e 2016 (Tal & Brown, 2017). No futuro, os governos vão preferir idealmente reduzir os incentivos fiscais de

forma gradativa, enquanto continuam com políticas complementares e regulatórias (Slowik & Lutsey, 2016).

Várias jurisdições fornecem incentivos especificamente para aquisição de frotas. Nos Estados Unidos, 12 estados ofereceram incentivos de compra para frotas públicas ou privadas, incluindo agências municipais ou estaduais, operadoras de transporte público, universidades, organizações sem fins lucrativos ou empresas com fins lucrativos (Slowik & Lutsey, 2017). A Califórnia opera programas de incentivo separados para carros elétricos e caminhões e ônibus elétricos, e recentemente alocou USD 9,5 milhões na Porterville Transit para 10 ônibus elétricos a bateria (CARB, 2018a). Na Holanda, Amsterdã oferece € 5.000 para táxis elétricos, veículos de empresas e pequenos veículos de entrega. Ônibus elétricos, caminhonetes e veículos comerciais leves são elegíveis para incentivos substanciais na China (Cui et al., 2017). O governo da Índia está disponibilizando USD 67 milhões para a compra de ônibus, táxis e automóveis. Até USD 150.000 por ônibus estão disponíveis, e cerca de 400 ônibus elétricos devem ser adquiridos em 11 cidades como resultado dos incentivos (UITP, 2018). A lógica por trás dos incentivos de compra é a mesma, independentemente do modelo de propriedade (frota privada, pública e particular) ou tipo de veículo (carro, veículo de entrega, ônibus). Em teoria, os programas de incentivo poderão ampliar sua elegibilidade para incluir todos os tipos de propriedade e de veículos.

Muitas jurisdições cobram um ou mais impostos sobre as compras de veículos, e isentar os VEs dos impostos de valor agregado ou de outros impostos é outra estratégia para reduzir o diferencial de custo com alternativas de combustão e encorajar seu uso. Por exemplo, os VEs na Índia normalmente têm a menor alíquota de IVA (por exemplo, 5% em Délhi comparados com 12,5% para veículos convencionais) e estão isentos de impostos estaduais em muitas regiões (Rokadiya & Bandivadekar, 2016). A Figura 1-3 mostra o impacto do imposto de importação e do IVA nos preços finais do Nissan Leaf totalmente elétrico em comparação com um modelo similar a gasolina em quatro mercados (Grant & Lutsey, no prelo). Conforme mostrado na figura, a Noruega isenta completamente os VEs de todos os impostos e, conseqüentemente, o preço final de compra do Nissan Leaf é competitivo com o modelo de combustão interna em termos de custos. No Brasil, os VEs estão isentos do

imposto de importação, mas não do IVA de 25% (barra amarela). Isentar os VEs desses impostos, ou reduzi-los significativamente, diminui o diferencial de custo inicial entre modelos de combustão interna e similares, incentivando a adoção dos VEs. Para reduzir ainda mais o diferencial de custo inicial entre os modelos elétricos e a combustão, o Brasil poderia considerar a isenção do IVA estadual e local dos VEs (um incentivo avaliado em aproximadamente USD 7.500 para o Nissan Leaf). Este exemplo é específico para veículos leves, mas as políticas se aplicam a todos os tipos de veículos, como veículos comerciais leves ou ônibus. Embora não seja mostrado na Figura 1-3, alguns países têm impostos adicionais e isenções de impostos para VEs que podem inclinar ainda mais a proposta de valor em favor dos modelos elétricos, tais como os impostos anuais de registro ou de circulação (Yang et al., 2016).

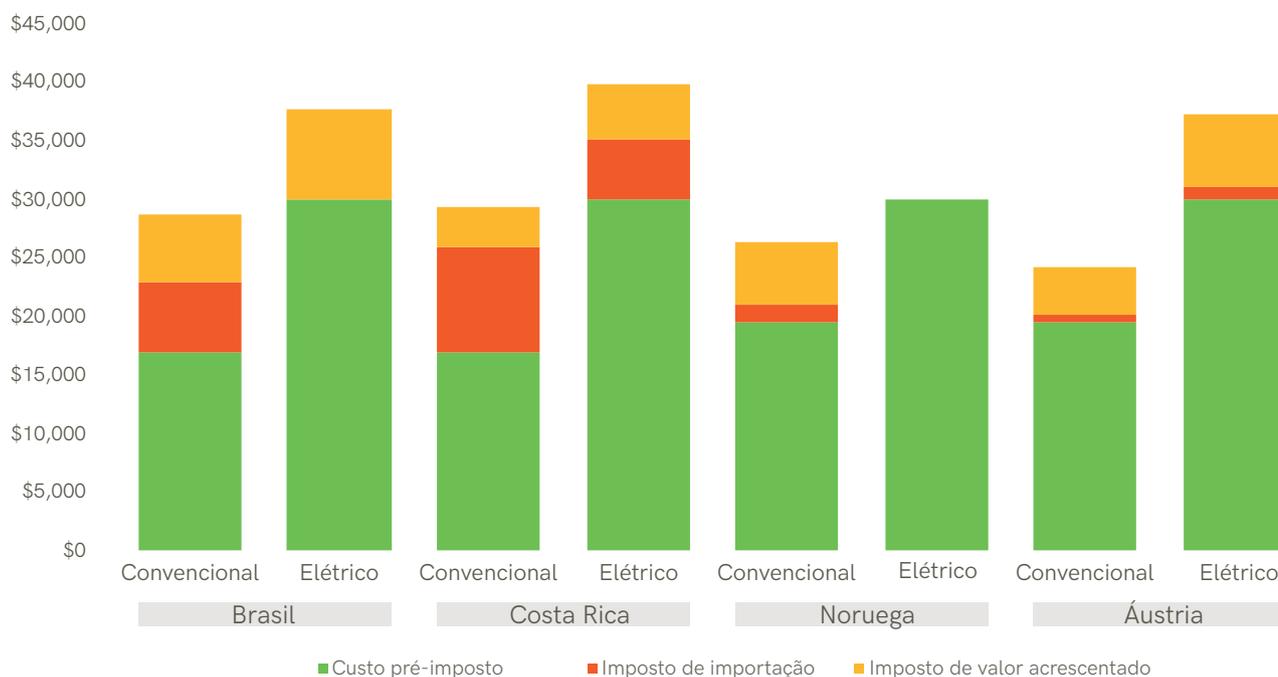


Figura 1-3 | Preço final de um Nissan Leaf em comparação com um veículo Nissan convencional após a aplicação do imposto de importação e do IVA⁴

ISENÇÕES DE TAXAS ANUAIS

Incentivos fiscais recorrentes para VEs encorajam seu uso além da venda ou *leasing* inicial e estão disponíveis em muitos mercados. Por exemplo, a Alemanha e a Holanda isentam os VEs dos impostos de circulação anuais (Yang et al., 2016). Nos Estados Unidos, 18 estados isentam os VEs de licenças e taxas de registro ou testes de inspeções

de emissões (Slowik & Lutsey, 2017). Outras regiões que isentam os VEs de taxas ou impostos anuais incluem China, França, Japão, Suécia e Reino Unido (Yang et al., 2016), além de Telangana e Maharashtra, na Índia. O valor monetário das isenções anuais costuma ser relativamente modesto em comparação com o valor dos incentivos de compra, e esses incentivos recorrentes geralmente são percebidos pelo consumidor como menos valiosos do

⁴ O modelo a gasolina de comparação mais representativo foi selecionado com base na disponibilidade nos quatro mercados: Nissan Sentra no Brasil e na Costa Rica, e Nissan Pulsar na Noruega e na Áustria.

que os disponíveis no ponto de venda (Yang et al., 2016). No entanto, há algumas exceções: os ônibus públicos elétricos em Xangai receberam um subsídio operacional de CNY 165.000 (cerca de USD 26.000) a cada ano entre 2013 e 2015 (Hall et al., 2017b).

ACESSO PREFERENCIAL

Vários programas governamentais concedem acesso preferencial a VEs, oferecendo benefícios adicionais aos motoristas deste tipo de veículo. Tais benefícios geralmente incluem estacionamento gratuito ou preferencial e acesso a faixas de ônibus, vias com pedágio ou faixas de veículos de alta ocupação. Esses incentivos são geralmente implementados no âmbito provincial ou local e são medidas relativamente comuns e eficazes para aumentar a conscientização sobre a mobilidade elétrica e promover sua adoção.

Por exemplo, a Alemanha permite que os municípios concedam privilégios especiais a modelos de VEs que atendam a determinados critérios, e Stuttgart declarou que os VEs são elegíveis para estacionamento gratuito em estacionamentos públicos (Tietge et al., 2016). Nos Estados Unidos, 10 grandes áreas metropolitanas tiveram alguma forma de incentivo de estacionamento em vigor em 2016, incluindo estacionamento gratuito em locais com parquímetro e algumas garagens (Slowik & Lutsey, 2017). Em Telangana, na Índia, os VEs estão isentos de taxas de pedágio e estacionamento por 7 anos após a compra. Em Amsterdã, os VEs obtêm pontos públicos gratuitos e licenças prioritárias. Cidades com vantagens semelhantes de estacionamento incluem Copenhague, Oslo, San Jose, Xangai, Shenzhen e Utrecht (Hall et al., 2017a).

Outros exemplos de apoio de estacionamentos locais incluem políticas que fornecem novas vagas designadas para VEs diretamente ou políticas que aumentam seu número ao longo do tempo. Por exemplo, a política de 2014 da cidade de Nova York exige que 25% dos novos estacionamentos fora das ruas estejam prontos para VEs. Em Londres, 20% dos novos estacionamentos devem ter um ponto de recarga para VEs. Esses tipos de política geralmente significam que os estacionamentos futuros estarão equipados com a fiação adequada e a capacidade de painéis para realizar a recarga de VEs. Como um cobenefício para a promoção de VEs, essas políticas prospectivas provavelmente fornecerão benefícios financeiros adicionais, evitando reformas oportunas e caras (CARB, 2015). Cidades com ações semelhantes incluem São Francisco, Los Angeles, Shenzhen, Hangzhou, Pequim, Xangai e Qingdao (Hall et al., 2017a).

Diversos governos locais e provincial nos Estados Unidos permitem que os VEs de um único ocupante usem as faixas de veículos de alta ocupação, um privilégio mencionado por muitos compradores de VEs como principal fator na sua decisão de compra (Tal & Nicholas, 2014). Pesquisas anteriores estimam que o valor do acesso às faixas de alta ocupação é de cerca de USD 2.000 a USD 3.350 durante um período de 6 anos (Slowik & Lutsey, 2017). Várias áreas oferecem acesso a estradas ou vias especiais, como São Francisco, Los Angeles, San Jose, Oslo, Shenzhen, Bergen, Pequim, Xangai, Tianjin, Hangzhou e Taiyuan (Hall et al., 2017a).

Embora os incentivos relacionados ao acesso preferencial sejam geralmente implementados no nível provincial ou local, a Noruega tem incentivos em todo o país, incluindo acesso gratuito a rodovias com pedágio, taxas reduzidas de balsas, acesso a corredores de ônibus e estacionamento público gratuito (Tietge et al., 2016), fatores que motivam os motoristas de VEs (Haugneland & Kvisle, 2013). As taxas reduzidas de balsas estão gradualmente sendo eliminadas devido aos altos volumes de carros elétricos. Esses incentivos representam um benefício significativo, estimado em cerca de 16.000 coroas (aproximadamente USD 2.500) por ano para um proprietário de VE (Assum, Kolbenstvedt, & Figenbaum, 2014).

As políticas de acesso preferencial são cuidadosamente adaptadas aos contextos locais. Por exemplo, a geografia acidentada da Noruega aumenta o valor da isenção de VEs para pedágios em túneis e balsas (uma política que desde então foi reduzida devido ao volume de carros elétricos nas estradas). Em Amsterdã, os motoristas de VEs têm prioridade nas licenças de estacionamento, enquanto a lista de espera para outros veículos pode durar anos. O congestionamento nas principais cidades da Califórnia torna o acesso às pistas de veículos de alta ocupação nas vias expressas um benefício valioso (Hall et al., 2017a).

CARGA COM DESCONTO OU GRATUITA

Diminuir o custo total de propriedade, incluindo os custos de manutenção e abastecimento, é um dos principais fatores para as vendas de VEs, e garantir que dirigir carros elétricos seja mais barato do que dirigir veículos a gasolina é crucial para promover uma adoção mais ampla dos VEs (Slowik & Nicholas, 2017). Permitir e encorajar os fornecedores de eletricidade a estabelecer tarifas de energia preferenciais menores para a recarga de VEs em casa, no local de trabalho e em vias públicas pode ser uma abordagem importante nesse sentido.

A pesquisa mostrou que a reestruturação dos preços da eletricidade pode influenciar o comportamento de recarga do consumidor e reduzir os custos de abastecimento de VEs. As tarifas de tempo de uso, que oferecem preços de eletricidade mais baixos fora do horário de pico, já foram implementadas com sucesso em muitas jurisdições, incluindo Califórnia, Nova York e Maryland, nos Estados Unidos, e Alemanha, Reino Unido e Japão (Hall & Lutsey, 2017b). Ao vincular a recarga de veículos a períodos fora do horário de pico, as tarifas de tempo de uso tendem a ter vantagens tanto para as concessionárias de energia quanto para os consumidores (Hall & Lutsey, 2017b; Ryan & Lavin, 2015). Os clientes podem obter economias significativas nessas tarifas: as estimativas nos Estados Unidos variam de USD 200 a USD 450 em economias anuais (Salisbury & Toor, 2015). De maneira geral, as áreas com preços de eletricidade relativamente baixos e preços de combustível convencionais relativamente altos tendem a oferecer motivações financeiras adicionais para a compra e o uso de VEs.

Outros programas em todo o mundo estão em andamento para garantir que dirigir carros elétricos seja mais barato do que dirigir veículos a gasolina. A Dinamarca restitui impostos sobre a eletricidade usada para carregar VEs. A Noruega isenta a eletricidade dos impostos sobre combustíveis e oferece eletricidade gratuita para recarga normal (3,6 kW). Empresas como Nissan, BMW e Tesla oferecem recarga rápida e gratuita por um período após a compra inicial do veículo. Embora esses incentivos sejam programas setoriais, qualquer entidade poderá subsidiar uma atribuição de recarga por meio de um crédito em conta ou uma oferta de recarga gratuita por um período (Slowik & Nicholas, 2017). Esses programas idealmente vinculariam a recarga de veículos aos horários de menor movimento, oferecendo benefícios aos motoristas e às concessionárias de energia.

PROGRAMAS DE FINANCIAMENTO

Os incentivos para a compra de veículos, disponíveis para vários tipos de veículos em diversos mercados, estão ajudando a superar o diferencial de custo de aquisição entre VEs e suas contrapartes com motores a combustão. Os esquemas de financiamento também podem ser necessários para permitir a adoção em larga escala de ônibus elétricos, em razão do seu maior investimento inicial em comparação com os veículos de passageiros. Os programas de financiamento de ônibus elétricos permitem que as agências de transporte público ou outras operadoras de ônibus comprem veículos que estão fora do seu alcance financeiro imediato. Além disso, programas de financiamento federal fornecem condições mais atraentes para os ônibus híbridos e elétricos. As compras de ônibus híbridos e elétricos são elegíveis para taxas de juros mais baixas (1-4,6%) e prazos de empréstimo mais longos (12 anos) em comparação com os ônibus a diesel (7,3%, 6-9 anos, respectivamente) (BNDES, 2018). Esquemas de financiamento para ônibus elétricos podem ajudar a derrubar a proposta de valor do custo total de propriedade em favor do modelo elétrico. Uma análise do ICCT de 2017 explora as oportunidades para facilitar a transição para ônibus urbanos de baixas emissões (incluindo elétricos) e as barreiras ao financiamento em 20 cidades do mundo (Miller et al., 2017).

Os programas de financiamento têm aplicabilidade além dos ônibus. Um programa de USD 2 milhões na Califórnia oferece financiamento atraente para empresas que fornecem estações de recarga de VEs em seus locais (California Pollution Control Financing Authority, 2018). No Reino Unido, o governo escocês oferece empréstimos de até £35.000 para compras de VEs com prazos de pagamento de 6 anos (Energy Savings Trust, 2018).

O Quadro 1-3 resume os incentivos internacionais ao consumidor para VEs.

Quadro 1-3 | Incentivos internacionais ao consumidor para VEs

Incentivo	Descrição	Fundamentação	Parte interessada típica	Implicações para a adoção de VEs
Subsídios para a compra de veículos	Um subsídio fiscal para compra ou <i>leasing</i> de um VE	Diminuir o diferencial de custo entre os modelos elétricos e os de combustão interna	Governo nacional ou provincial	Têm forte relação com alta adoção de VEs
Isonção fiscal para a compra de veículos	Uma isonção fiscal para compra ou <i>leasing</i> de um VE	Diminuir o diferencial de custo entre os modelos elétricos e os de combustão interna	Governo nacional ou provincial	Têm forte relação com alta adoção de VEs
Isonção de taxas anuais	Incentivos recorrentes disponíveis após a compra inicial ou o <i>leasing</i>	Reduzir os custos operacionais de VEs por meio de isonções anuais	Governo nacional ou provincial	Aumenta modestamente a proposta de valor financeiro
Acesso preferencial às faixas de rodagem	Acesso especial ou gratuito a estradas com pedágio, vias com alto índice de ocupação, faixas de ônibus, balsas	Aumentar a atratividade dos VEs e a conscientização pública	Governo provincial ou local	É uma motivação de compra importante para clientes em alguns mercados
Acesso preferencial a estacionamentos	Acesso especial ou gratuito a estacionamentos	Aumentar a atratividade dos VEs	Governo provincial ou local	Fornecer vantagens adicionais aos veículos elétricos
Carga com desconto ou gratuita	Eletricidade barata ou gratuita para recarga de VEs	Incentiva o uso de VEs, diminuindo os custos operacionais	Governo nacional ou provincial, concessionárias de energia ou setor privado	Custos operacionais baixos são atraentes para compradores potenciais
Programas de financiamento	Fornecer capital inicial para empresas ou consumidores para apoiar a compra de VEs	Reduzir o capital para a compra de veículos e permitir pagamentos menores ao longo do tempo, idealmente com taxas de juros baixas	Governo nacional ou provincial, setor privado	Reduz diretamente a barreira do custo inicial. Importante para veículos de alto valor, como os ônibus elétricos

INFRAESTRUTURA DE RECARGA

A disponibilidade de EVSE apoia a adoção de VEs, ajudando a superar as barreiras de autonomia e inconveniência. Uma rede maior de infraestrutura de recarga pode aumentar a confiança do motorista na autonomia do veículo e ampliar a sua funcionalidade operacional (NRC, 2015). Vários estudos destacam a importância da recarga na residência e no local de trabalho para proprietários de carros particulares (Bailey et al., 2015; Lin & Greene, 2011; Lutsey et al., 2016; NRC, 2015; Zhou et al., 2017). Da mesma forma, a disponibilidade de infraestrutura de recarga pública é amplamente considerada um fator-chave para incentivar a adoção de VEs (Hall & Lutsey, 2017a; Lutsey et al., 2015, 2016;

Slowik & Lutsey, 2017; Tietge et al., 2016). Um estudo do ICCT de 2017 descreve as melhores práticas globais emergentes para EVSE (Hall & Lutsey, 2017a).

A Figura 1-4 mostra a infraestrutura pública de recarga (Nível 2 e carga CC rápida) e as vendas de VEs em grandes áreas metropolitanas globalmente. As estações públicas de recarga por milhão de habitantes são mostradas no eixo x. As vendas acumuladas de VEs por milhão de habitantes são mostradas no eixo y. O tamanho da bolha reflete o número de VEs vendidos em 2016. Os dados estão separados por cor de acordo com o país, e vários mercados com vendas elevadas de VEs são mostrados.

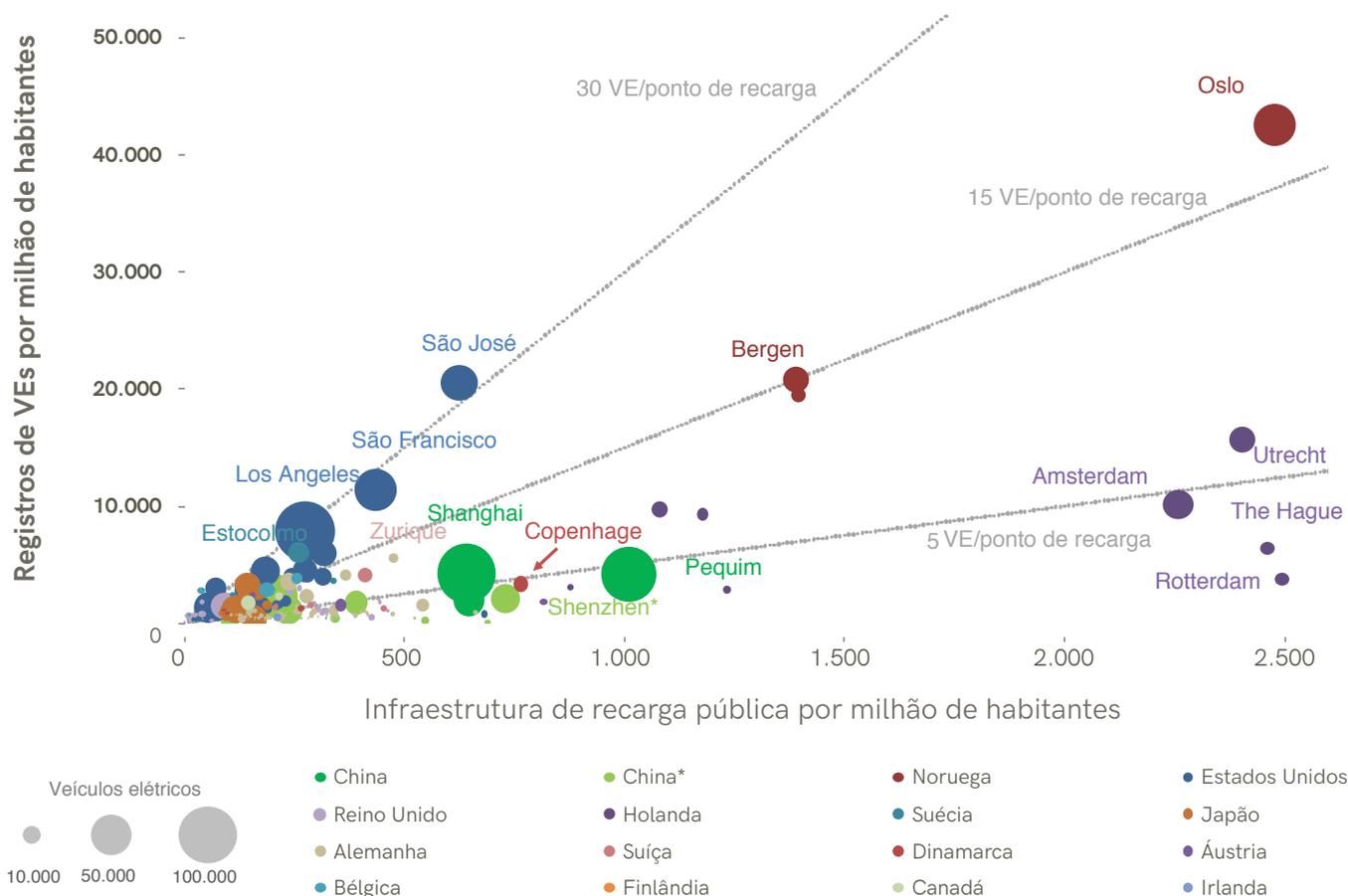


Figura 1-4 | Infraestrutura de recarga pública e registros de VEs por milhão de habitantes por área metropolitana⁵

A figura mostra que muitos dos mercados com altas vendas acumuladas de VEs, altas vendas anuais em 2016 ou altas participações nas vendas tendem a ter uma implementação de infraestrutura de recarga pública relativamente alta. O agrupamento de dados no canto inferior esquerdo reflete a atual fase incipiente de desenvolvimento do mercado de VEs. Na maioria dos mercados com menos de 5.000 VEs por milhão de habitantes e menos de 400 pontos de recarga por milhão de habitantes, menos de 1% das vendas de veículos novos são elétricos (Hall & Lutsey, 2017a). Muitos fatores locais, como a prevalência de residências com garagens particulares (e, portanto, com acesso à recarga residencial), têm implicações sobre a necessidade de carregadores públicos. Por exemplo, há um número relativamente pequeno de garagens particulares na Holanda, e essas cidades têm uma alta proporção de carregadores públicos para VEs.

As ações dos governos, das concessionárias de energia e da indústria estão levando a um aumento substancial

no tamanho da rede de infraestrutura de recarga global. Os diversos programas de infraestrutura de recarga avaliados a seguir incluem protocolos padrão para EVSEs, incentivos para EVSEs, implementação direta e códigos de construção prontos para VEs.

PROTÓCOLOS-PADRÃO PARA EVSEs

A implementação inicial dos EVSEs foi desenvolvida de maneira relativamente fragmentada, com diversas partes interessadas implementando vários tipos de recarga sem uma visão compartilhada de longo prazo. Atualmente, as normas para plugues físicos são amplamente aceitas. No entanto, as normas de comunicações de back-end, pagamento e fornecimento de energia são menos padronizadas (Hall & Lutsey, 2017a). Isso exige que os motoristas tenham várias contas de associação e cartões de acesso para usar as infraestruturas, reduzindo a viabilidade e a praticidade da recarga.

⁵ Baseado nas melhores práticas emergentes para infraestrutura de recarga para VEs (Hall & Lutsey, 2017a).

Para superar esse desafio, a Holanda regula todas as estações públicas de recarga do país, exigindo que todas as operadoras de rede adotem padrões comuns. Essa padronização garante que os motoristas possam carregar seus carros em qualquer estação com um único método de identificação ou pagamento, e que todas as estações possam se comunicar igualmente com os VEs. Consequentemente, dirigir e carregar VEs na Holanda é muito mais fácil, acessível e prático. Outras partes interessadas também estão trabalhando para promover a interoperabilidade de EVSEs por meio da padronização, como Alemanha, Califórnia, estado de Washington, Massachusetts e vários grupos da indústria, incluindo BMW, Bosch, Siemens, EnBW, Nissan, ChargePoint e EVgo (Hall & Lutsey, 2017a). Esses esforços são importantes para apoiar o crescimento de longo prazo das redes de EVSEs e superar as barreiras relacionadas à praticidade da recarga de VEs.

A adoção de protocolos-padrão também pode fornecer benefícios no setor de ônibus elétricos. A padronização e a interoperabilidade das tecnologias de recarga em toda a indústria podem ajudar a aliviar os riscos de “ficar preso” a um determinado fabricante ao adquirir ônibus (Miller et al., 2017). Os grupos da indústria, incluindo a Associação Europeia de Fabricantes de Automóveis, oferecem recomendações para apoiar a interoperabilidade da infraestrutura de recarga entre os fabricantes.

INCENTIVOS OU FINANCIAMENTO DE EVSES

Muitos governos e concessionárias de energia elétrica ajudam a viabilizar a mobilidade elétrica, oferecendo incentivos financeiros para a infraestrutura de recarga para residências e/ou empresas comerciais, ou financiando a sua implementação. Estudos recentes do ICCT mostram vários programas globais de infraestrutura de recarga no âmbito nacional e provincial, seus orçamentos e os diversos mecanismos de apoio (Hall & Lutsey, 2017a; Hall et al., 2017b; Slowik & Lutsey, 2017).

A França e a Dinamarca dão incentivos fiscais para a instalação de estações de recarga, e alguns governos locais, como Paris e Copenhague, oferecem subsídios adicionais. A Holanda forneceu € 16 milhões em 2011 para apoiar a implementação inicial da infraestrutura, e a iniciativa Green Deal visa aumentar a recarga pública, disponibilizando € 5,7 milhões para instalações de EVSEs. Os governos estaduais na Índia, incluindo Karnataka, Telangana e Maharashtra, geralmente concedem um subsídio de capital de 25% para um número limitado de estações públicas de recarga. Subsídios adicionais para pontos privados e semiprivados de recarga estão disponíveis em municípios como Amsterdã e Utrecht.

Outros governos, como Califórnia, Canadá, Alemanha, Shenzhen e Reino Unido, oferecem algum tipo de incentivo privado e/ou público para a infraestrutura de recarga.

A concessionária de energia elétrica Austin Energy, nos Estados Unidos, propicia incentivos para EVSEs residenciais e comerciais avaliados em até USD 1.500 para estações residenciais particulares de Nível 2, USD 4.000 para estações semipúblicas e até USD 10.000 para estações rápidas de CC disponíveis para o público (Slowik & Nicholas, 2017). Algumas concessionárias de energia elétrica dos Estados Unidos oferecem incentivos financeiros para a compra e instalação de EVSEs (Slowik & Lutsey, 2017).

Vários governos têm dedicado financiamento público para apoiar o crescimento da rede de recarga pública. O financiamento federal nos Estados Unidos apoiou a implementação de mais de 20.000 pontos de recarga em 8.000 estações (Lutsey, 2015). O Japão tem um programa similar, com financiamento dedicado até 2018. O governo central da China subsidia a construção de estações de recarga e apoia o seu lançamento com diretrizes documentadas. Os governos do Reino Unido e da Noruega estão financiando estações públicas a cada 30-50 quilômetros nas principais rodovias.

IMPLEMENTAÇÃO DIRETA

Cada vez mais, as concessionárias de energia elétrica estão implementando diretamente a infraestrutura de recarga disponível ao público. Na Califórnia, a Public Utilities Commissions do estado aprovou planos de implementação de EVSEs para veículos leves baseados em tarifas que disponibilizarão mais de 12.500 estações de recarga nos principais territórios de serviços (CPUC, 2016; Edison International, 2016; SDG&E, 2016). Várias aplicações adicionais de eletrificação de transporte estão sendo consideradas na Califórnia, que alocarão recursos significativos para a infraestrutura de recarga, com cerca de USD 780 milhões para veículos médios e pesados, incluindo VEs, USD 230 para EVSEs residenciais, USD 13 milhões para a infraestrutura off-road e USD 30 milhões para carregadores rápidos públicos (CARB, 2018b).

Como parte do acordo da Volkswagen nos Estados Unidos, a empresa investirá USD 2 bilhões em 10 anos, majoritariamente na implementação de EVSEs. O primeiro ciclo de 2,5 anos trará vários milhares de pontos de recarga em 900 locais nos Estados Unidos, incluindo corredores de recarga e recarga rápida nas comunidades locais, capazes de fornecer 350kW (várias vezes mais rápido do que muitos carregadores rápidos de CC existentes, que normalmente fornecem 50kW-100kW). Esforços

semelhantes estão em andamento no Japão, liderados por Toyota, Nissan, Honda e Mitsubishi (Toyota, 2014), e na Europa, onde quatro grupos industriais (BMW, Daimler, Ford e Volkswagen) estão colaborando para construir 400 estações de recarga de alta potência (350kW) em 18 países europeus até 2020 (Ionity, 2018).

CÓDIGOS DE CONSTRUÇÃO PRONTOS PARA VES

Governos de vários níveis implementaram regulamentações para promover a infraestrutura de recarga, exigindo especialmente a infraestrutura EV-ready (ou seja, preparada para VEs) nos novos edifícios. Essas iniciativas aumentam a viabilidade da adoção de VEs, enquanto ajudam a evitar adaptações dispendiosas, estimadas em até USD 6.975 por estação de recarga na Califórnia (CARB, 2015). Por exemplo, o Código de Normas de Edifícios Ecológicos da Califórnia exige que 3% das vagas de estacionamento em prédios comerciais incluam painéis e capacidade de circuitos dedicados em 2015, sendo, portanto, EV-ready (CARB, 2015). A regulamentação exige que uma maior porcentagem de vagas de estacionamento esteja pronta para os VEs e tenha uma maior capacidade de potência elétrica com o passar do tempo. Alguns governos municipais da Califórnia adotaram leis que vão além das exigências estaduais. São Francisco e cidades vizinhas exigem que pelo menos 10% dos estacionamentos em residências multifamiliares e novos edifícios comerciais estejam prontos para VEs, enquanto Los Angeles exige que todas as residências unifamiliares tenham uma tomada de 240V dedicada e capacidade de circuitos para um carregador de Nível 2, com requisitos adicionais para outros tipos de construção (Hall & Lutsey, 2017a; Slowik & Lutsey, 2017).

Fora dos Estados Unidos, a União Europeia elaborou regulamentações que exigirão EVSEs em residências novas ou reformadas a partir de 2019. Políticas similares estão sendo analisadas na Alemanha. No âmbito local, Londres exige um ponto de recarga para VEs em 20% das vagas de estacionamento em novos empreendimentos, além de uma infraestrutura pronta para mais 20% (Greater London Authority, 2016). Vancouver implementou requisitos semelhantes. Esses tipos de políticas ajudam a garantir uma infraestrutura futura suficiente para apoiar a mobilidade elétrica.

IMPACTO DOS VES NO DESCARTE DE BATERIAS E NAS REDES ELÉTRICAS

Embora a eletrificação do transporte seja vista comumente como uma medida fundamental para reduzir as emissões de poluentes e GEEs, pode haver outras questões a serem

abordadas, como o eventual descarte de baterias dos VEs e os impactos negativos desses veículos na rede elétrica. No entanto, a indústria de VEs está desenvolvendo soluções para esses desafios rapidamente, com aplicações de segunda vida da bateria e processos avançados de reciclagem (Hall & Lutsey, 2018). Além disso, projetos de pesquisa e demonstração estão mostrando como os VEs podem não apenas mitigar os possíveis impactos na rede elétrica, como também oferecer benefícios econômicos e sociais substanciais, tanto para as concessionárias de energia quanto para os contribuintes (E3, 2016).

Muitas partes interessadas no setor de energia elétrica hesitam em apoiar a eletromobilidade de uma maneira proativa, principalmente em razão dos potenciais desafios técnicos e logísticos para atender a um grande número de VEs simultaneamente. Especificamente, a recarga simultânea e descontrolada de um número muito grande de VEs apresenta riscos de sobrecarga da rede e maiores fatores de pico de carga quando a eletricidade geralmente é mais cara e intensiva em carbono. Um estudo na Califórnia estima que a recarga descontrolada de VEs durante os horários de pico pode exigir despesas de modernização da rede de cerca de USD 150 por veículo (Berkheimer et al., 2014). No entanto, com um planejamento adequado, esses custos podem ser reduzidos substancialmente, e as concessionárias de energia elétrica podem se beneficiar enormemente do aumento da eletrificação do transporte nos próximos anos (E3, 2015).

As vendas de eletricidade nos Estados Unidos e na Europa devem se estabilizar ou diminuir nas próximas décadas, devido a programas de eficiência energética e geração de energia distribuída. A eletrificação do transporte representa uma fonte de nova demanda de eletricidade que provavelmente aumentará por décadas, representando uma grande oportunidade para o crescimento da carga e para as empresas de energia elétrica. Esse crescimento da carga aumenta as vendas de serviços de energia e oferece benefícios a todos os contribuintes, reduzindo o custo médio do serviço (E3, 2016). Os VEs também podem fornecer benefícios significativos de estabilidade da rede devido a sua flexibilidade e capacidade de armazenamento de energia. Os programas de recarga controlada que incentivam as recargas fora do horário de pico (ou desencorajam as recargas nesse horário) podem ajudar a minimizar os riscos de sobrecarga da rede.

Vários programas de recarga controlada das concessionárias têm sido eficazes na mudança da recarga de VEs, oferecendo assim benefícios à rede. Além disso, vários ensaios estão em andamento para estudar e comercializar aplicações de recarga de VEs tecnologicamente mais avançadas, como resposta à

demanda de veículos, fornecimento de energia do veículo para a rede e reutilização de baterias além da vida útil do veículo (Hall & Lutsey, 2017b). Essas capacidades futuras prometem flexibilidade e benefícios ainda maiores. Pesquisas recentes do ICCT sobre as melhores práticas globais de concessionárias de energia elétrica referentes a VEs resumem as principais oportunidades e desafios e destacam vários programas emergentes de concessionárias de energia que estão promovendo a eletromobilidade (Hall & Lutsey, 2017b). Essas questões

certamente exigem maior investigação, incluindo um melhor entendimento das rotas de fim de uso dos veículos de combustão interna atuais e seus componentes, como baterias de chumbo-ácido, além das externalidades de suprimento de petróleo poço à roda (WTW) e sua volatilidade global de preços.

O Quadro 1-4 resume os programas internacionais de infraestrutura de recarga para VEs.

Quadro 1-4 | Programas internacionais de infraestrutura de recarga para VEs

Infraestrutura de recarga	Descrição	Fundamentação	Parte interessada típica	Implicações para a adoção de VEs
Protocolos-padrão para EVSEs	Exigência de que o setor adote um conjunto de requisitos definidos de EVSEs	Assegurar a comunicação de EVSE-VE e permitir que os motoristas de VEs carreguem seus carros em qualquer lugar com um único método de pagamento	Governo internacional, nacional ou provincial	Aumento da viabilidade e praticidade de dirigir carros elétricos
Incentivos ou financiamento de EVSEs	Incentivos financeiros para a compra de EVSEs	Reduzir o custo de instalação de EVSEs e ampliar a rede de recarga	Governo nacional ou provincial, concessionária de energia elétrica	A infraestrutura de recarga é considerada um fator-chave para incentivar a adoção de VEs
Implementação direta	Instalação de infraestrutura de recarga	Aumentar a autonomia elétrica funcional do veículo, reduzir a ansiedade da autonomia e ampliar a conscientização pública	Governo nacional, concessionária de energia elétrica ou indústria	A infraestrutura de recarga é considerada um fator-chave para incentivar a adoção de VEs
Códigos de construção prontos para VEs	Requisitos de painéis elétricos e capacidade de conduítes para edifícios	Aumentar a disponibilidade de EVSEs no longo prazo e evitar custos de reformas	Governo provincial ou local	Ajuda a garantir uma infraestrutura suficiente para apoiar a adoção de VEs no longo prazo

PLANEJAMENTO, POLÍTICA E OUTRAS PROMOÇÕES

Os governos implementaram diversas políticas e ações de planejamento adicionais, além das regulamentações de veículos e combustíveis limpos, incentivos ao consumidor e ações de infraestrutura de recarga descritas acima. Essas políticas e atividades geralmente incluem estratégias de mobilidade elétrica, programas de extensão e conscientização, projetos de demonstração, metas de compras e iniciativas de frotas. Esta seção avalia como as diversas ações de planejamento, políticas e promoção estão apoiando a adoção de VEs em todo o mundo.

METAS DE COMPRA

Estabelecer metas de implementação de VEs é muitas vezes um primeiro passo fundamental para definir uma visão comum de longo prazo para a adoção de VEs. Essas metas enviam sinais claros sobre o ritmo de desenvolvimento e a quantidade de recursos que serão necessários. O

estabelecimento de metas pode levar à criação de uma força-tarefa ou grupo de trabalho para traçar um caminho para atingi-las, incluindo o desenvolvimento de uma estratégia oficial de mobilidade elétrica e as principais políticas e ações de apoio de mercado.

Muitos governos nacionais, provincial e locais definiram metas de compras de VEs de curto e longo prazos abrangendo diversos veículos. Com base em vários anúncios de governos nacionais e provincial até 2015 (Califórnia, China, Dinamarca, França, Alemanha, Índia, Japão, Holanda, Noruega, Ontário, Coreia do Sul, Espanha, Suécia, Reino Unido e Estados Unidos), as metas globais acumuladas de vendas totalizam pelo menos 15 milhões de veículos leves até 2020, e mais de 25 milhões no período de 2025-2030 (Lutsey, 2015). Uma colaboração de 14 governos que compõem a Aliança Internacional de Veículos de Emissão Zero anunciou

publicamente o seu compromisso de envidar esforços para que 100% das vendas de veículos de passageiros tenham emissão zero até 2050 (ZEV Alliance, 2018). A empresa de serviços energéticos EESL, do governo da Índia, publicou uma licitação para a aquisição de 10.000 VEs para a sua frota (EESL, 2017), e a empresa deve oferecer licitações para compras adicionais para substituir a frota do governo central de até 500.000 veículos. Os objetivos do governo são atualizados com frequência para refletir o desenvolvimento do mercado e o progresso das metas climáticas e de ar limpo. Por exemplo, em 2018 a Califórnia estabeleceu uma nova meta de 5 milhões de veículos com emissão zero até 2030, com base na meta anterior de 1,5 milhão até 2025 (Estado da Califórnia, 2018).

Os governos locais também estabeleceram metas sólidas de compras de VEs. Oslo, Los Angeles, Estocolmo, Pequim, Londres e São Francisco anunciaram suas ambições de se tornarem capitais ou líderes de VEs (Hall et al., 2017a). Amsterdã e Oslo anunciaram metas para o transporte com 100% de emissão zero até 2025 e 2030, respectivamente. Londres e Shenzhen estão envidando esforços para atingir 70.000 e 120.000 VEs até 2020, respectivamente. Los Angeles busca que 25% do estoque de veículos seja elétrico até 2035, enquanto a cidade de Nova York está buscando 20% de participação nas vendas de VEs até 2025.

As metas de compras podem se destinar a tipos e serviços de veículos específicos. Los Angeles tem uma meta de que metade da frota municipal de veículos seja elétrica até 2017, e programas semelhantes estão em andamento em Oslo, Amsterdã, San Jose, Nova York, Shenzhen e outros locais. Pequim está substituindo toda a sua frota de táxis por VEs, e há programas similares em Londres, Amsterdã, Hangzhou, Tianjin e outros locais. Shenzhen converteu toda a sua frota de 16.000 ônibus públicos em elétricos, uma iniciativa que começou em 2009, impulsionada pela poluição urbana e apoiada por fortes incentivos financeiros do governo, infraestrutura e política industrial. Várias ações ajudaram a acelerar a transição para ônibus elétricos em Shenzhen, incluindo subsídios nacionais e locais, opções de *leasing*, recarga otimizada para obter baixos preços de combustíveis e garantia vitalícia das baterias dos fabricantes de ônibus (Xue & Zhou, 2018). Los Angeles, a segunda maior frota de ônibus dos Estados Unidos, está comprometida com uma frota totalmente elétrica (cerca de 2.200 ônibus) até 2030, e iniciativas similares existem em Paris, Amsterdã, Londres, Xangai, Pequim, Tianjin, Hangzhou, Qingdao e Taiyuan. No Chile, a agência de transporte Transantiago vai adquirir pelo menos 90 ônibus BYD elétricos em seis operadores privados por meio de um processo de licitação do governo (Global Mass Transit, 2017). Essas metas de

compras estão resumidas em Hall et al., 2017a.

ESTRATÉGIAS DE MOBILIDADE ELÉTRICA

Muitas áreas metropolitanas têm algum tipo de estratégia de VEs elaborada para contextos locais ou regionais. Elas são comumente chamadas de planos de “ação” ou de “preparação”, podendo abranger muitos modos e serviços de veículos: carros particulares, táxis, frotas públicas, veículos comerciais ou ônibus. Essas estratégias desempenham um papel importante ao criar um fórum e uma rede de governos municipais e estaduais, empresas de energia, provedores de recarga, concessionárias de automóveis e outras organizações para discutir questões comuns sobre mobilidade elétrica. Esses planos de ação ajudam a identificar e moldar as ações locais para superar as barreiras de adoção de VEs (por exemplo, custo, conveniência, infraestrutura, conscientização) e preparar a infraestrutura local e as concessionárias de energia para apoiar a recarga de muitos VEs nas estradas locais. Os planos de mobilidade elétrica normalmente levam à implementação de políticas locais adicionais e apoiam ações para promover a mobilidade elétrica. Muitas áreas urbanas com alta adoção de VEs publicaram um ou mais planos (Hall et al., 2017b). Um plano especificamente abrangente nos Estados Unidos é a Estratégia de Veículos Elétricos da Cidade de Portland (2017).

Vários governos ativos no nível provincial e nacional também implementaram planos de preparação. O plano Made in China 2025, da China, inclui metas de adoção de VEs, direção da P&D, implementação de infraestrutura, incentivos financeiros e uma visão para várias cidades “piloto” regionais (MIIT, 2015). Telangana, na Índia, publicou uma proposta de política de VEs em 2017 descrevendo vários objetivos, estratégias e medidas políticas, como cotas, incentivos de fabricação, incentivos financeiros para veículos e infraestrutura, vantagens locais e muito mais (Política de Veículos Elétricos de Telangana, 2017). O governo do Reino Unido lançou um plano de 500 milhões de libras que inclui P&D, incentivos ao consumidor, infraestrutura de recarga e ações de apoio local (OLEV, 2014). Nos Estados Unidos, oito estados estão colaborando em um plano de ação denominado Multi-State ZEV para priorizar e promulgar ações complementares para apoiar a implantação e o uso de VEs (NESCAUM, 2014). A Califórnia implementou um dos mais abrangentes planos de apoio a VEs (Governor’s Interagency Working Group on Zero-Emission Vehicles, 2016).

PROGRAMAS DE DIVULGAÇÃO E CONSCIENTIZAÇÃO

A conscientização e a educação do consumidor são fundamentais para a adoção generalizada de VEs. No

entanto, apesar das ações até o momento, o público ainda não tem os conhecimentos básicos relacionados a VEs (Kurani et al., 2016; NRC, 2015; Singer, 2015). Várias ações podem ser tomadas para aumentar a familiaridade com os VEs e o entendimento sobre suas principais características. Pesquisas recentes do ICCT resumem essas ações e sua implementação em todo o mundo (Jin & Slowik, 2017).

Os eventos de divulgação são uma maneira eficaz de aumentar a conscientização e a familiaridade. Eles incluem demonstrações de VEs, cerimônias de inauguração de estações públicas de recarga, brindes nas estações e eventos de teste do tipo *ride-and-drive*. A National Drive Electric Week é um dos maiores programas de divulgação na América do Norte, com 235 eventos em 212 cidades. Muitos governos locais, grupos setoriais e organizações participam ou apoiam os eventos, que incluem pronunciamentos de autoridades locais, inaugurações de estações públicas de recarga, brindes para estações de recarga e testes *ride-and-drive*, entre outros (Plug In America, 2016). A fabricante de ônibus Blue Bird também realizou um evento *ride-and-drive* em várias cidades dos Estados Unidos em seus ônibus escolares 100% elétricos.

O Reino Unido lançou uma campanha de divulgação colaborativa multimilionária com o setor em 2013 para aumentar a conscientização do público em relação aos benefícios, à redução de custos e às capacidades dos VEs. A campanha Go Ultra Low reúne o Escritório do Governo para Veículos de Baixa Emissão, a Sociedade de Fabricantes e Comerciantes de Automóveis e os fabricantes de automóveis em uma campanha independente de marcas que visa incentivar os motoristas a adotar VEs. A campanha inclui imprensa nacional, rádio e publicidade digital, eventos em primeira mão com o consumidor, programas concentrados nas comunidades, imprensa focada nas frotas e divulgação nas mídias sociais (Jin & Slowik, 2017).

Embora seja difícil quantificar a eficácia dos eventos de divulgação para estimular a aceitação dos VEs, há evidências aparentes de sucesso. Experiências em primeira mão com a tecnologia tendem a aumentar a probabilidade de adoção futura (Slowik & Nicholas, 2017). Por exemplo, 9% dos entrevistados da pesquisa compraram ou alugaram um VE em um período de 3 meses após participarem de um evento de experimentação na Califórnia (PEVC, 2017). Muitos outros relataram visitas a concessionárias, conversas com proprietários de VEs, pesquisas on-line sobre VEs ou o compartilhamento de experiências com amigos, familiares e colegas de trabalho, aprimorando o maior efeito de rede da comunidade e aumentando a conscientização geral. Quase todos os principais mercados

de VEs na América do Norte, Europa e Ásia lançaram programas de conscientização, educação e divulgação (Jin & Slowik, 2017).

PROJETOS DE DEMONSTRAÇÃO

A execução de projetos de demonstração tecnológica de alta visibilidade é uma ótima maneira de testar novas tecnologias, ao mesmo tempo que aumenta a conscientização e a exposição do público e promove a adoção pelo mercado. A maioria dos principais mercados de veículos suporta algum tipo de projeto de demonstração de VEs.

A China declarou Xangai uma Cidade Internacional de Demonstração de VEs, e um elemento importante dessa designação foi a criação da Zona de Demonstração de VEs. A zona é um centro de eletromobilidade que oferece um conjunto de serviços, incluindo vendas, test-drives públicos, inovação no modo de negócio (compartilhamento de veículos, locações), coleta de dados, serviço e manutenção, suporte à infraestrutura e marketing. Mais de 50 organizações do setor tornaram-se parceiras da zona, que também tem cerca de 10.000 membros (Jin & Slowik, 2017). O crescimento da Zona de Demonstração de VEs de Xangai ocorreu com a ampliação do mercado de VEs. Xangai é um importante mercado nacional e global para vendas de VEs (Hall et al., 2017a, 2017b). Os diversos elementos na Zona de Demonstração de VEs ajudam a garantir que o público esteja bem informado sobre a tecnologia de VEs e apoie a sua adoção (Jin & Slowik, 2017).

Esforços similares foram lançados na Alemanha em 2011, quando o governo federal implementou vários projetos de demonstração por meio de programas de Regiões Modelo de Eletromobilidade e Regiões de Demonstração da Mobilidade Elétrica. Os projetos apoiam a pesquisa e o desenvolvimento de mais de 100 projetos e mais de 300 atividades para superar as principais barreiras tecnológicas e sociais e possibilitar a mobilidade elétrica diária (Jin & Slowik, 2017). As regiões de demonstração incluem testes de ônibus elétricos em ambientes urbanos para avaliar sua aplicabilidade no mundo real, sua redução de emissões, seu custo-benefício e sua aceitação pública.

A Califórnia tem um programa exclusivo dedicado à aceleração de veículos com tecnologia avançada ainda não comercializados. Intitulado Projetos de Demonstração Tecnológica Avançada, o programa disponibiliza milhões de dólares anualmente para financiar projetos executados por distritos aéreos locais elegíveis, órgãos públicos e organizações sem fins lucrativos (CARB, 2018c). Os projetos recentes relevantes envolvem demonstração

on-road e *off-road*, incluindo ônibus escolares elétricos, caminhões multiclasse pesados com emissão zero, caminhões de transporte com emissão zero e caminhões de pátio elétricos. Por meio da divulgação, educação e experiência positiva, o programa aumenta a aceitação do público e do setor da tecnologia de VEs.

O Sistema de Ônibus Urbanos com Emissão Zero (ZeEUS, na sigla em inglês), na União Europeia, fornece uma plataforma para as cidades que buscam a eletrificação de ônibus compartilharem suas experiências de projetos de demonstração. O projeto, financiado pela Comissão Europeia, estabeleceu um observatório das atividades do sistema de ônibus elétricos, incluindo o acompanhamento de projetos de demonstração, o desenvolvimento de um relatório de avaliação anual e uma plataforma de internet. Dez cidades em nove países europeus foram designadas como as principais cidades de demonstração de ônibus urbanos de emissão zero, incluindo Barcelona, Bonn, Cagliari, Eindhoven, Londres, Münster, Paris, Plzen, Estocolmo e Varsóvia (ZeEUS, 2014). A plataforma

fornece conhecimento e materiais aos órgãos de trânsito para apoiar a adoção mais ampla de ônibus de emissão zero (ZeEUS, 2017).

INICIATIVAS DE FROTAS

A integração de VEs às frotas aumenta o seu uso diretamente, ajudando a superar as barreiras à sua adoção mais ampla e aumentando a visibilidade e a exposição globais (Jin & Slowik, 2017; NRC, 2015). Integrar VEs a uma frota também pode reduzir os custos totais, diminuir as emissões e melhorar a conscientização, as relações públicas e a imagem da marca. Um estudo descobriu que o custo total de propriedade de veículos de entrega a bateria elétrica é mais barato do que o de veículos a diesel em vários países ao considerar as políticas fiscais (Kleiner et al., 2015). Há muitas iniciativas baseadas na frota envolvendo compartilhamento de VEs leves, aplicativos de transporte e de táxi, e VEs de entrega urbana. Alguns exemplos estão resumidos no Quadro 1 4.

Quadro 1-5 | Iniciativas de compartilhamento de carros elétricos, aplicativos de transporte, táxi, entrega urbana e frota de ônibus

Tipo de frota	Organização principal	Local	Período	Descrição	Fonte
Compartilhamento de VEs	Car2go	Amsterdã, Madri, Stuttgart	2012-hoje	Serviço de compartilhamento de VEs utilizando mais de 13.500 veículos Smart ForTwo em várias cidades europeias	Daimler, 2018
Compartilhamento de VEs	BlueIndy	Indianápolis, Estados Unidos	2015-hoje	Serviço de compartilhamento de VEs usando 500 veículos Bolloré Bluecar	BlueIndy, 2018
Aplicativos de transporte de VEs	Uber, Energy Savings Trust	Londres	2016-2017	Testes de VEs na plataforma Uber durante 6 meses com 50 motoristas parceiros, que avaliaram os desafios e as oportunidades para o aumento da escala	Lewis-Jones & Roberts, 2017
Táxis elétricos	BBF Schipholtaxi, BIOS-groep, Nissan	Amsterdã	2014-hoje	Frota de táxis totalmente elétrica atendendo o aeroporto de Schiphol com 167 modelos Tesla Model S e 170 veículos Nissan Leaf	Joseph, 2014; Nissan, 2015
Táxis elétricos	Governo de Pequim e indústria de táxis local	Pequim	2017-hoje	Meta de substituir cerca de 70.000 táxis com motores a combustão por VEs para melhorar a qualidade do ar local	King, 2017
VEs de logística urbana	Iniciativa Europeia de Veículos Verdes	Oito cidades da Europa	2013	Teste feito por operadores logísticos com 80 VEs de carga para operações diárias de entrega em oito cidades europeias, constatando que essa é uma alternativa tecnicamente confiável	EGVI, 2013
VEs de distribuição urbana	CW, boco, UPS, Smith Electric Vehicles, EFA-S	Renânia do Norte-Vestfália, Alemanha	2011-2015	Projeto de demonstração de dois anos que utilizou dados de 107.402 km dirigidos por caminhões elétricos movidos a bateria para distribuição urbana	Moultak et al., 2017
Caminhões de entrega elétricos	Renault Trucks	Paris	2015	Teste da linha D totalmente elétrica em rodadas de entrega de mais de 200 km com vários tempos de recarga da bateria durante um ciclo de funcionamento de 24 horas	Moultak et al., 2017

Tipo de frota	Organização principal	Local	Período	Descrição	Fonte
Caminhões elétricos de entrega de encomendas e cartas	German Post AG, StreetScooter GmbH, Langmatz GmbH, BMUB	Bonn	2012-2016	Busca da CO ₂ GoGreen por melhorar a tecnologia de veículos, a tecnologia de infraestrutura, o fornecimento de energia e o projeto de processos para usar VEs na entrega de encomendas e cartas	Moultak et al., 2017
Caminhões de entrega elétricos	SJVUAPCD, Motiv Power Systems, AmeriPride Services, CALSTART	Central Valley, Califórnia	2016	Implementação de 20 vans elétricas de passeio e sua infraestrutura de recarga para entregas. Financiamento com verbas de USD 7,1 milhões da CARB e USD 5,8 milhões de parceiros	Moultak et al., 2017
Caminhões elétricos de entrega de encomendas	SJVAPCD, USPS, EDI, CALSTART, SunEdison	Stockton e Fresno, Califórnia	2016	Implementação de 15 peruas elétricas da USPS e infraestrutura de recarga para formar a base de um USPS Advanced Vehicle Cluster. O projeto recebeu USD 4,5 milhões em recursos da Califórnia	Moultak et al., 2017
VEs de entrega	Gnewt Cargo	Southwark, Reino Unido	2017	Locação de 33 VEs para logística de última milha	Moultak et al., 2017
Caminhões de entrega elétricos	Nordresa, Purolator	Québec	2017	Testes que mostram caminhões elétricos economizando uma média de CAN 0,60 por quilômetro, resultando em uma operação rentável em dois anos	Moultak et al., 2017
Caminhões de entrega elétricos	UPS	Amsterdã	2013	Implementação de seis caminhões elétricos de entrega de encomendas em Amsterdã	Moultak et al., 2017
Veículos leves e caminhões utilitários elétricos	Pacific Gas & Electric	Norte da Califórnia	2015-2020	Investimento, pela concessionária de energia, de 33% do orçamento anual da frota (~USD 100 milhões em 5 anos) em veículos leves e caminhões elétricos. A eletrificação reduz os custos operacionais, aumenta a vida útil do veículo, reduz as emissões e permite que a concessionária forneça eletricidade durante emergências	PG&E, 2015
Ônibus elétricos	King County Metro	Washington	2017-2033	Estudo de viabilidade de ônibus elétricos que recomenda que todas as compras futuras sejam de emissão zero. A tecnologia atual de ônibus elétricos foi considerada capaz de atender 70% das necessidades de serviço, crescendo para 100% com avanços tecnológicos contínuos. A aquisição de 1.400 ônibus elétricos pode reduzir as emissões em 80%, promover a igualdade social e, ao mesmo tempo, aumentar os custos em 6%	King County Metro, 2017
Ônibus elétricos	Cidade de Shenzhen	Shenzhen	2009-2018	Conversão de toda a frota de 16.000 ônibus públicos em elétricos, uma iniciativa que começou em 2009, impulsionada pela poluição urbana e apoiada por fortes incentivos financeiros do governo, infraestrutura e política industrial	Bullard, 2017
Ônibus elétricos	Governo da Índia	11 cidades, incluindo Délhi	2017	Emissão, pelo governo da Índia, de USD 67 milhões para a aquisição de cerca de 400 ônibus elétricos em 11 cidades. Délhi iniciou um plano separado para adquirir 700 ônibus elétricos usando seu orçamento estatal	UITP, 2018

Veículos em operação de entrega urbana que ofereçam um raio mais curto a partir de sua localização da base, menores distâncias diárias, menos volume e restrições de massa para cargas, e recarga em apenas um ou dois locais são adequados para caminhões elétricos *plug-in*. Muitos desses veículos estão nas operações locais do governo da cidade, na entrega de cargas urbanas de curta distância, nos veículos de serviço de concessionárias de energia elétrica e em outras aplicações nas grandes cidades. Várias montadoras importantes estão adaptando sua tecnologia de carros elétricos para vans comerciais leves. A Deutsche Post StreetScooter é um exemplo recente da comercialização da tecnologia de caminhões elétricos para ambientes urbanos (Moultak et al., 2017).

Iniciativas regionais e internacionais estão promovendo a eletrificação de ônibus como parte de um conjunto mais amplo de soluções de mitigação da poluição por meio da tecnologia de transporte, como a Declaração de Ônibus Limpos C40 ou o projeto ZeEUS, da Union Internationale des Transports Publics (UITP) (Cidades C40, 2014; UITP, 2014). O projeto ZeEUS apoia a adoção de ônibus elétricos urbanos no mercado por meio da demonstração e avaliação da tecnologia, fornecendo diretrizes e ferramentas aos legisladores para apoiar a introdução de ônibus elétricos. O relatório anual do projeto ZeEUS de 2017 fornece uma atualização sobre as dinâmicas e tendências observadas do mercado mundial de ônibus elétricos e discute várias iniciativas globais nesse tema (ZeEUS, 2017).

ZONAS DE VEÍCULOS DE BAIXA EMISSÃO

Zonas de veículos de baixa emissão também podem promover VEs em alguma medida. Londres implementou uma zona de baixa emissão em 2008, exigindo que veículos comerciais leves, ônibus e outros veículos pesados que rodam no centro da cidade emitissem menos poluentes ou pagassem uma taxa diária. Portanto, há um incentivo direto para que os operadores adotem tecnologias veiculares menos poluentes, incluindo os VEs. Londres anunciou que uma segunda “zona de emissão ultrabaixa” entrará em vigor em 2019. A política abrangerá outros tipos de veículos, incluindo carros de passageiros, exigindo que eles cumpram normas rígidas de emissões ou paguem uma multa diária.

Na Holanda, a cidade de Utrecht implementou uma zona de baixa emissão que se aplica a veículos de passageiros e de entrega urbanos. Paris, Oslo e Pequim, entre outros, anunciaram restrições aos veículos mais poluentes para melhorar a qualidade do ar. O aumento das exigências de emissões dessas zonas e a expansão de sua abrangência para cobrir todos os tipos de veículos promoverão progressivamente tecnologias de veículos mais avançadas, incluindo VEs. Essas restrições tornam os VEs uma opção de longo prazo muito atraente para os moradores e as empresas.

O Quadro 1-6 resume ações de planejamento internacional, política e outras promoções de VEs.

Quadro 1-6 | Planejamento internacional, política e outras promoções de VEs

Infraestrutura de recarga	Descrição	Fundamentação	Parte interessada típica	Implicações para a adoção de VEs
Meta de compras	Uma meta ou objetivo estabelecendo as ambições de adoção de VEs	Enviar sinais claros sobre o ritmo de desenvolvimento e os recursos necessários para atingir as metas de VEs, qualidade do ar e mudança climática	Governo nacional, provincial ou local	Muitas vezes, esse é um primeiro passo para traçar uma estratégia de VEs e a implementação das políticas
Estratégia de mobilidade elétrica	Um plano de ação ou de preparação entre uma rede de partes interessadas	Identificar e modelar ações para superar as principais barreiras aos VEs e preparar sua adoção	Governo nacional, provincial ou local	Muitas vezes, esse é um primeiro passo para o lançamento de programas e iniciativas de apoio a VEs
Alcance e conscientização	Programas que educam o público sobre os benefícios dos VEs e aumentam a sua conscientização	Superar uma barreira importante, aumentando a familiaridade e o entendimento do público	Governo provincial ou local	Um maior conhecimento e experiência em primeira mão podem aumentar a probabilidade de adoção de VEs
Projetos de demonstração	Teste e divulgação das tecnologias emergentes	Testar a preparação do mercado para as novas tecnologias, aumentar a conscientização e aceitação do público e da indústria	Governo nacional ou provincial	Esse é um primeiro passo para a comercialização, pois a exposição pode aumentar a probabilidade de adoção
Iniciativas de frotas	Programas que trabalham para integrar os VEs nas frotas	Reduzir custos totais, diminuir as emissões e aumentar a conscientização, as relações públicas e a imagem da marca	Governo nacional, provincial ou local, concessionária de energia ou setor	Aumenta diretamente o uso de VEs, a visibilidade e a exposição
Zonas de veículos de baixa emissão	Área onde o acesso de veículos é restrito ou desencorajado com base nas emissões	Restringir veículos altamente poluentes do núcleo urbano para melhorar a qualidade do ar	Governo local	Cria um incentivo econômico direto para adotar tecnologias avançadas, incluindo VEs

RESUMO DA AVALIAÇÃO INTERNACIONAL

Várias ações estão apoiando a adoção de VEs, aumentando sua acessibilidade, praticidade e conscientização. Muitas ações de diversas partes interessadas da política e do setor são fundamentais para reduzir as barreiras de aceitação de VEs pelo consumidor, com políticas de apoio, incentivos, infraestrutura e conscientização. Os governos nacionais e provincial desenvolvem políticas, implementam programas de incentivo e apoiam o lançamento da infraestrutura, enquanto as cidades se concentram mais nas políticas locais e nos programas não financeiros para consumidores, e as empresas e os grupos industriais estão cada vez mais engajados na implementação da infraestrutura e educação do consumidor.

A análise anterior do ICCT resumiu as principais conclusões da literatura relacionadas à eficácia da política de VEs (Lutsey, 2015). Os estudos geralmente indicam que

muitas ações dos governos nacionais, provincial e locais, bem como de outras partes interessadas (fabricantes de veículos, fornecedores de recarga, concessionárias de energia elétrica e outras organizações), serão necessárias até 2025 para apoiar a transição para a mobilidade elétrica.

O Quadro 1-6 resume as ações de promoção de VEs consideradas nesta avaliação e sua implementação nos principais mercados. O lado esquerdo do quadro mostra as vendas e a participação nas vendas de veículos leves de várias regiões. Conforme mostrado, muitas das principais ações de apoio estão em vigor em vários desses mercados, representando cerca de 91% das vendas globais acumuladas de VEs. A maioria das áreas com alta adoção de VEs engloba aquelas nas quais muitas ações estão em vigor, incluindo regulamentações, múltiplos incentivos e programas de infraestrutura, e estão ativamente envolvidas no planejamento, nas políticas e em outras promoções.

Quadro 1-7 | Ações governamentais de promoção de VEs em áreas selecionadas

Área	Vendas aproximadas e participação em vendas em 2017		Políticas regulatórias para veículos e combustíveis limpos			Incentivos ao consumidor						Infraestrutura de recarga			Planejamento, políticas e outras promoções						
			Cotas de veículos limpos	Normas de eficiência de combustível	Normas de combustível limpo com créditos aos VEs	Subsídios para a compra de VEs	Isenções fiscais para a compra de VEs	Isenções de taxas anuais	Acesso preferencial às faixas de rodagem	Acesso preferencial a estacionamentos	Carga com desconto/gratuita	Programas de financiamento	Protocolos-padrão para equipamento de recarga de veículos elétricos (EVSE)	Incentivos ou financiamento de EVSEs	Implementação direta	Códigos de construção prontos para VEs	Metas de compra	Estratégia de mobilidade elétrica	Alcance e conscientização	Projetos de demonstração	Iniciativas de frotas
Canadá	19.000	0,9%	/	X	/	/				/			X	/	/	X	/	/	/	/	
China	600.200	2,1%	X	X		X	X	X		/	/		X	/	/	X	X	/	X	X	/
França	36.900	1,8%		X		X	X	X		/			X	X	X	X	/	/	/	X	/
Alemanha	53.500	1,6%		X		X	X	X	/	/	X	/	X	X		X	X	X	X	X	
Japão	55.900	1,1%		X		X	X	X			X		X	X	/	X	X	/	/	X	
Holanda	9.200	2,2%		X		/	X	X	X	/	X		X	X		X	X	X	X	X	/
Noruega	62.200	39,2%		X			X	X	X	/	X		X	X	/	X	X	X	/	X	/
Reino Unido	48.400	1,9%		X		X	X	X		/	/	X		X	X	/	X	X	X	X	/
Estado Unidos (exceto Califórnia)	96.000	0,7%	/	X		X	/	/	/	/	/		/	X	/	/	X	X	/	/	/
Califórnia	96.500	4,9%	X	X	X	X				X	/	X	X	X	/	X	X	X	X	X	

x denota programa nacional e / indica programa local ou regional menor.

Fonte: Hall e Lutsey (2017a, 2017b), Hall et al. (2017a, 2017b), Jin e Slowik (2017), Lutsey (2015), Slowik e Lutsey (2017), Tietge et al. (2016), Yang et al. (2016). Vendas de 2017 e ações de vendas baseadas em CNCDA (2018) e EAFO (2018).

Embora os dados do quadro sejam específicos para veículos leves, as políticas são aplicáveis a todos os tipos de veículos, como veículos da frota, veículos de entrega urbana, ônibus ou outros veículos pesados. Muitas das políticas em vigor estão apoiando a eletrificação de veículos de passageiros, veículos comerciais e ônibus. No entanto, a depender das decisões governamentais, algumas visam a um tipo específico de veículo. Os programas que atualmente limitam a elegibilidade de veículos poderiam ser modificados ou estendidos para incluir o mercado de veículos mais amplo.

O quadro mostra como as áreas com maior número de políticas e ações de apoio tendem a registrar a maior resposta do mercado. Este resultado é consistente com

análises anteriores que identificam um pacote abrangente de políticas e ações de promoção das partes interessadas privadas no âmbito provincial ou local, bem como de concessionárias de energia, como fundamental para o desenvolvimento do mercado de VEs (Lutsey et al., 2015, 2016; Slowik & Lutsey, 2017). As ações em andamento nos principais mercados de VEs ajudam a fornecer um modelo que poderia ser implementado mais amplamente pelos governos nacionais, provincial e locais. Existem muitos programas locais ou regionais que apoiam a mobilidade elétrica em ambientes urbanos ao redor do mundo (indicados no quadro por /). O Quadro 1-8 destaca ações no âmbito local discutidas nesta avaliação internacional e fornece exemplos da sua implementação bem-sucedida.

Quadro 1-8 | Ações inovadoras de apoio a VEs e exemplos de cidades

Política ou programa	Cidade-modelo	Detalhes	Cidades com ações similares
Meta de frota da cidade	Los Angeles	Metade da frota da cidade elétrica em 2017	Oslo, Amsterdã, San Jose, Nova York, San Diego, Shenzhen, Tianjin
Eletrificação de táxis	Pequim	Substituição dos 69.000 táxis da cidade por VEs por meio de subsídios do governo	Taiyuan, Londres, Amsterdã, Hangzhou, Tianjin, Shenzhen, Qingdao, Pune, Hyderabad, Chennai, Bengaluru, Cidade do México
Programa de compartilhamento de carros elétricos	Paris	4.000 carros e 6.000 pontos de recarga	Xangai, Los Angeles, Amsterdã, Londres, Hangzhou, Pequim, Shenzhen, Tianjin, Qingdao, Taiyuan
Programa de aluguel de carros elétricos	Bengaluru	Plano, da marca "rydS" do Grupo Mahindra & Baghirathi, de lançar 1.000 VEs para serviços corporativos	Shenzhen, São Francisco
Eletrificação de ônibus públicos	Shenzhen	Todos os ônibus com emissão zero em outubro de 2017	Bengaluru, Hyderabad, Délhi, Santiago, Los Angeles, Londres, Xangai, Pequim, Tianjin, Hangzhou, Qingdao, Taiyuan
Carga pública gratuita	Oslo	Carga gratuita com energia renovável em todos os pontos de recarga de Nível 2	Estocolmo, Bergen
Códigos de construção e estacionamento favoráveis a VEs	Londres	Presença de 1 ponto de recarga de VEs em cada 5 novas vagas	São Francisco, Los Angeles, Nova York, Shenzhen, Hangzhou, Pequim, Xangai, Qingdao
Acesso especial a estradas ou faixas de rodagem	São Francisco	Uso de faixas reservadas e tarifas de pedágio reduzidas para VEs	Los Angeles, San José, Oslo, Shenzhen, Bergen, San Diego, Pequim, Xangai, Tianjin, Hangzhou, Taiyuan
Áreas de VEs designadas	Hyderabad	Circulação exclusiva de VEs em áreas de tráfego intenso, áreas tombadas, zonas econômicas especiais e zonas de VEs	Londres, Utrecht
Benefícios de licenciamento de veículos	Xangai	Dispensa dos VEs do caro sistema de leilão de placas	Pequim, Shenzhen, Tianjin, Hangzhou
Benefícios de estacionamento	Amsterdã	Vagas de estacionamento público gratuitas e prioridade nas licenças para VEs	Xangai, Utrecht, Oslo, San José, Shenzhen, Taiyuan
Incentivos locais de compra	Qingdao	Subsídios locais de USD 5.000 a USD 9.000 por VE	Pequim, Xangai, Haia, Hangzhou, Tianjin, Shenzhen, Taiyuan

Fonte: adaptado de Hall et al. (2017a)

As políticas de apoio local nas principais cidades são cuidadosamente adaptadas aos contextos locais. Por exemplo, a geografia acidentada da Noruega aumenta o valor da isenção de VEs para pedágios em túneis e balsas (uma política que desde então foi reduzida devido ao volume de carros elétricos nas estradas). As principais cidades da China, que sofrem com o congestionamento pesado e a poluição, implementaram cotas rígidas de licenciamento de veículos; dessa forma, isentar os VEs dessas cotas torna-os muito atraentes para os residentes e envia um forte sinal de que a mobilidade elétrica representa o futuro. Além disso, algumas dessas cidades na China permitem que os carros elétricos sejam dirigidos mesmo nos dias em que os VEs de combustão interna são proibidos de circular. Na Califórnia, o congestionamento nas principais cidades torna o acesso dos VEs às pistas para veículos de alta ocupação nas vias expressas um benefício valioso. Em Amsterdã, os motoristas de VEs têm prioridade nas licenças de estacionamento, enquanto a lista de espera para outros veículos pode durar anos (Hall et al., 2017a).

Cerca de 99% da frota global de ônibus elétricos nas estradas atualmente encontra-se na China. Impulsionados pela necessidade urgente de ar limpo, os governos central e local apoiaram a transição para os ônibus elétricos com uma forte visão política e com metas de compras,

incentivos financeiros significativos para as aquisições, apoio à infraestrutura de recarga e políticas industriais que encorajam a fabricação local de ônibus. Entre 2009 e 2017, Shenzhen converteu toda a sua frota de 16.000 ônibus convencionais em elétricos, uma história de sucesso que está disponível para uma avaliação e o entendimento das principais lições aprendidas e estratégias de implementação das melhores práticas, que podem ser compartilhadas de forma mais ampla.

As regiões da América do Norte, Europa, China e outros países estão desenvolvendo políticas regulatórias de longo prazo, implementando incentivos e uma infraestrutura de recarga para apoiar o mercado de VEs. Os mercados na Europa e na China estão pondo em prática políticas similares e ainda mais ousadas, que promovem os VEs de forma explícita. Governos de todo o mundo podem ganhar, aprendendo com as políticas e experiências de mercado uns dos outros. A adoção coletiva de ações similares para ajudar a superar barreiras e desenvolver os mercados de VEs ajudará todas as regiões ao redor do mundo a obter benefícios em termos de poluição do ar, clima e economia de combustível. Quanto mais mercados adotarem as principais políticas de promoção dos VEs, mais rápida será a transição para uma frota global desses veículos.

FATORES QUE IMPULSIONAM A ELETRIFICAÇÃO VEICULAR NO BRASIL

A análise dos fatores impulsionadores, considerando as peculiaridades e o contexto brasileiro, é relevante para o desenho de políticas públicas para a eletromobilidade. No mundo, governos estão implementando um portfólio robusto de políticas e atividades para promover VEs, ajudar a reforçar a segurança energética e ambiental, reduzir o consumo de petróleo, as emissões climáticas e a poluição atmosférica local, e estabelecer uma posição de liderança industrial em tecnologias avançadas. Muitas áreas urbanas estão lutando contra a poluição severa e as ameaças à saúde pública associadas à poluição causada por veículos automotores. A eletrificação do transporte é comumente vista como uma peça central para solucionar a poluição urbana. Além dos benefícios sociais e ambientais da eletromobilidade, muitos governos buscam benefícios econômicos, industriais e de emprego como resultado da pesquisa, do desenvolvimento e da fabricação de VEs e de sua infraestrutura.

Este capítulo apresenta um panorama do ainda incipiente mercado brasileiro de VEs antes de abordar os fatores impulsionadores nesse contexto. Esses fatores incluem consumo de combustível e emissões de CO₂, segurança energética e balança comercial, eficiência energética, qualidade do ar e ruído, e mix da geração de eletricidade.

PANORAMA DO MERCADO BRASILEIRO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

O mercado de veículos elétricos e híbridos no Brasil é ainda incipiente, com menos de 200 VEs novos licenciados entre 2010 e 2017 (Anfavea, 2018). Quando se compara esse número com o total de vendas de VEs no mundo, superior a 1,2 milhão em 2017, percebe-se o atraso no avanço dessas tecnologias no país. Em contraste à pequena frota de VEs, toda importada, o mercado nacional é atendido prioritariamente por indústrias instaladas no país, sendo que os veículos importados representaram 11% dos licenciamentos em 2017.

Apesar da crise econômica desde 2014 (Figura 2-1), o Brasil ainda se encontra entre os principais mercados de veículos do mundo, além de representar mais da metade das vendas da América Latina (Posada & Façanha, 2015). Em 2017, foram licenciados no país 2,24 milhões de veículos e a frota estimada atingiu 43,6 milhões de unidades (Anfavea, 2018). Segundo projeções, chegará a 54,7 milhões o número de veículos no Brasil em 2026 (MME, 2017). Em outras palavras, estima-se que essa frota aumentará 25,4% nos próximos nove anos no Brasil, propiciando assim um mercado-chave para o crescimento dos VEs.

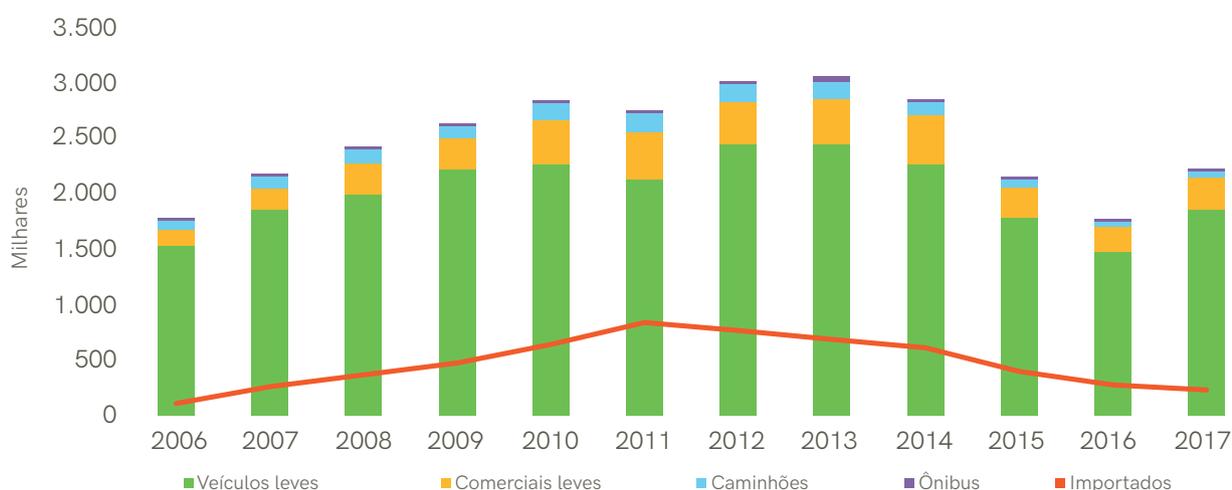


Figura 2-1 | Licenciamento de veículos novos no Brasil

No caso de ônibus, foco deste estudo, apesar de haver experiências incluindo ônibus elétricos, estas também são incipientes perante a frota estimada de 382.260 ônibus que circulam no país (Sindipeças, 2018). Entre essas experiências em pequena escala, destacam-se os ônibus elétricos em teste em algumas cidades, produzidos pela Eletra e, mais recentemente, pela chinesa BYD. Mas são experiências pontuais, limitadas particularmente pelas barreiras de custo e infraestrutura. A tecnologia passa também por um processo evolutivo acelerado, especialmente as baterias.

As experiências de estímulo a VEs no Brasil têm se mostrado insuficientes quando comparadas às melhores práticas internacionais (Consoni, 2017; Marx, 2014). São identificadas ações pontuais, em geral voltadas à demonstração, a estudos e pesquisa ou à redução de taxas e tributos, ainda com poucos resultados efetivos.

Esse panorama tem dado alguns sinais de mudança e a eletromobilidade tem entrado na pauta do governo. Mas, apesar de iniciativas pontuais em prol da ampliação da frota de veículos elétricos e híbridos, não têm sido percebidas ações e políticas coordenadas para esse avanço no país.

CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E EMISSÕES DE CO₂ NO SETOR DE TRANSPORTES

O consumo de combustível e as emissões de poluentes e GEEs por veículos automotores são significativos. A Figura 2-2 apresenta o consumo do setor de transporte rodoviário no país por tipo de combustível nos últimos 10 anos (EPE, 2017b) e a projeção do consumo até 2026 (MME, 2017).

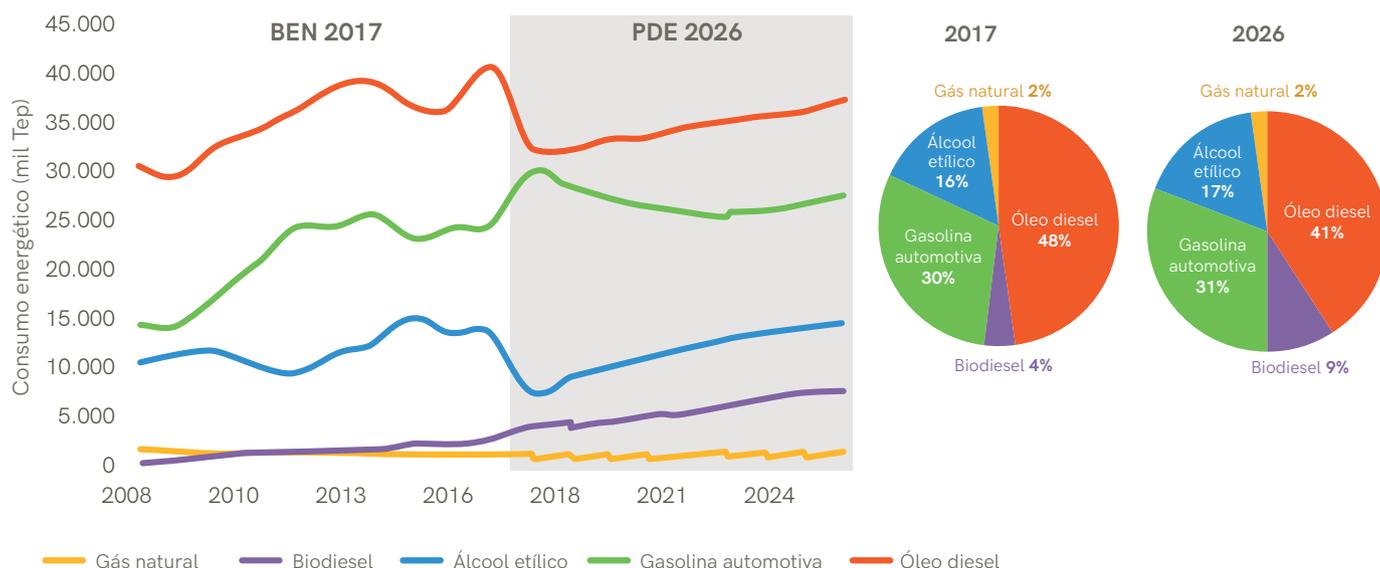


Figura 2-2 | Consumo do setor de transporte rodoviário por combustível no Brasil

Apesar de o mercado de combustível renovável ser relativamente desenvolvido no país em comparação com outros países, as projeções do Plano Decenal de Energia (PDE) 2026 indicam que a maior parcela do consumo de combustível rodoviário continuará sendo de origem fóssil. Em 2017, 80% do combustível consumido pelo transporte rodoviário – em toneladas equivalentes de petróleo (tep) – foi não renovável, e esse tipo de combustível se manterá predominante até 2026. Está projetada uma redução dessas fontes fósseis no período, que passarão a representar 71% do total consumido no segmento

rodoviário em 2026 (Figura 2-3). O incremento estimado de 9% na participação de combustíveis renováveis em 2026 em relação ao total do setor rodoviário será principalmente devido à maior utilização do etanol em detrimento da gasolina nos veículos flex. No cenário de referência do PDE 2026, admitiu-se ainda um incremento na eficiência energética, mas não há previsão de VEs além de uma pequena parcela de veículos importados a gasolina híbridos. Em valores absolutos, no entanto, projeta-se um decréscimo de combustível fóssil no decênio de apenas 3,8% em tep.



Figura 2-3 | Participação de combustíveis fósseis e renováveis no transporte rodoviário⁶

Como consequência da alta dependência de combustíveis fósseis, o setor de transportes contribuiu, em 2016, com 51% das emissões de GEEs pela queima de combustível (Figura 2-4). A quase totalidade dessas emissões foi gerada

pelos transportes rodoviários, reflexo da predominância desse modal no país e da alta intensidade de carbono para esse subsetor. Os veículos pesados contribuíram com a maior parte das emissões (66,2%) do setor rodoviário.

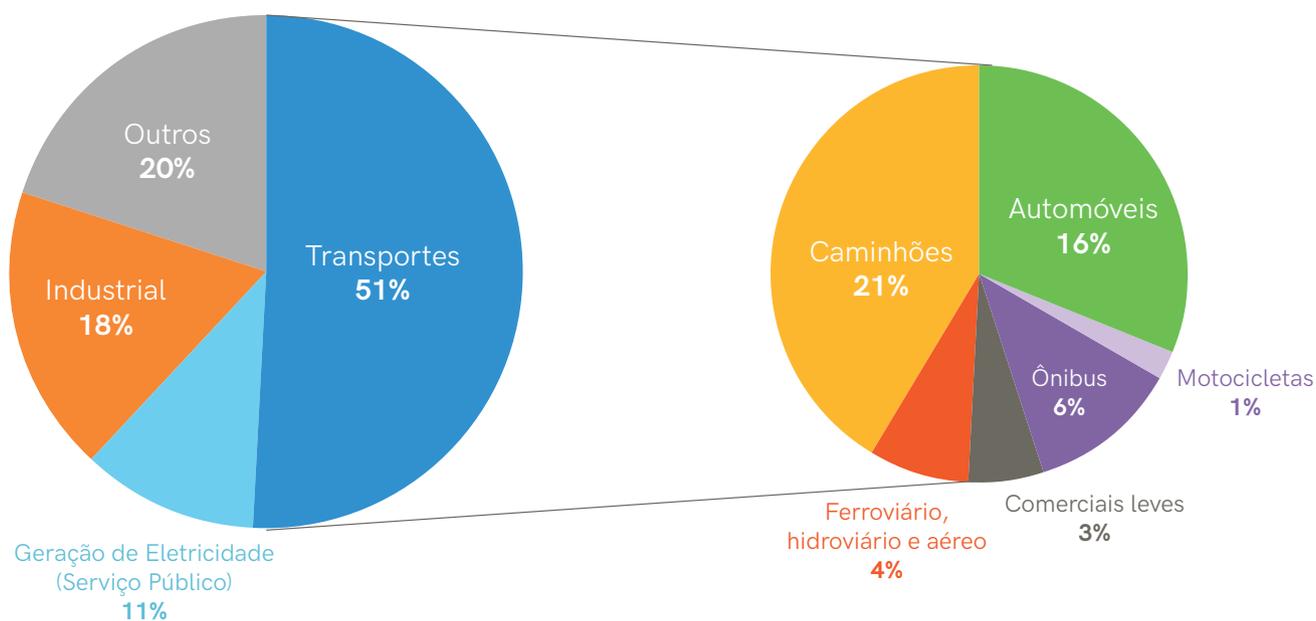


Figura 2-4 | Emissões de GEEs pela queima de combustíveis em 2016 no Brasil (OC, 2017)

⁶ Elaboração própria a partir de séries históricas completas do Balanço Energético Nacional (BEN) e do PDE 2026 (MME, 2017).

O governo brasileiro assumiu o compromisso internacional de contribuir com a mitigação de GEEs pela adesão ao acordo de Paris, celebrado na 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), em dezembro de 2015. Para o alcance do objetivo final desse acordo, o país propôs em sua Nationally Determined Contribution (NDC, na sigla em inglês) uma redução, em 2025, de suas emissões de GEEs em 37% abaixo dos níveis de 2005. Além disso, apresentou uma contribuição indicativa subsequente de redução de 43% abaixo dos níveis de emissão de 2005, a ser atingida em 2030. Deve-se destacar que a NDC não associa as metas a setores específicos para que o país aloque seus esforços nas medidas de melhor custo-benefício. Há, no entanto, uma referência a estimativas de emissões em 2025 e 2030 no documento Fundamentos para a Elaboração da Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (INDC, na sigla em inglês) do Brasil no Contexto do Acordo de Paris, segmentada por setor ou atividade econômica (MMA, 2016).⁷

Entre as diretrizes que embasaram a NDC no que se refere aos transportes, está o aumento da participação de bioenergia sustentável, contribuindo com a descarbonização do setor:

(...) aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030, expandindo o consumo de biocombustíveis, aumentando a oferta de etanol, inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração), e aumentando a parcela de biodiesel na mistura do diesel.

A NDC inclui ainda recomendações para a promoção de medidas de eficiência energética e a melhoria na infraestrutura de transportes e no transporte público em áreas urbanas. Embora não seja mencionada explicitamente nas diretrizes desse documento, a eletromobilidade pode ser considerada parte das medidas de eficiência energética.

Em 2016, o país atendeu às diretrizes da NDC referentes à participação do biocombustível, representando 18,4% da matriz energética (Figura 2-5). Segundo o Plano Nacional de Energia 2026 (MME, 2017), com a intensificação do uso, os biocombustíveis corresponderão a 21,4% em 2026, considerando o etanol e o biodiesel. O aumento relativo do consumo de biocombustíveis é devido principalmente à maior utilização de etanol no veículo flex, substituindo parcialmente o consumo da gasolina. Também se projeta um incremento da participação do biodiesel para cumprir exigências legais da mistura do B100 no diesel.¹⁰



Figura 2-5 | Participação de produtos da cana e do biodiesel na matriz energética brasileira

Apesar de coerente com as diretrizes da NDC brasileira, o resultado dessas estimativas, com a descarbonização pela maior utilização de biocombustíveis nos transportes, levaria a um incremento de 43% das emissões de GEEs no setor de transportes em 2026 em relação ao ano-referência de 2005 (Figura 2-6). Isto porque as projeções de aumento da demanda pelos combustíveis superam o incremento no percentual do combustível renovável, resultando, em termos absolutos, no aumento do consumo de fósseis. Em um cenário de maior crescimento econômico, esse incremento de emissões seria de 53,6% em 2026 em relação a 2005, segundo o PDE 2026.

⁷ Para o setor de energia, no qual o transporte está contido, projetou-se um incremento de emissões em 80% e 113% em 2020 e 2025, respectivamente, em relação a 2005.

⁸ Considerou-se bioenergia sustentável os produtos da cana e o biodiesel.

⁹ Embora tenham caráter orientativo, os PDEs são um importante instrumento de planejamento para diversos setores.

¹⁰ A Lei nº 13.623, de 23 de março de 2016, estabeleceu o cronograma de aumento do teor de biodiesel no diesel: 8% até março de 2017; 9% até março de 2018; e 10% até março de 2019. A lei previu ainda a possibilidade de incrementar esses percentuais em até 15%, após realização de testes e ensaios em motores. Em 2017, a Resolução CNPE nº 23, de 9 de novembro, antecipou o percentual obrigatório de 10% para março de 2018.

SEGURANÇA ENERGÉTICA E BALANÇA COMERCIAL

Outro fator que tem sido considerado indutor da eletromobilidade é a segurança energética. Entende-se por segurança energética a disponibilização de recursos energéticos suficientes para satisfazer às necessidades atuais e futuras dos cidadãos, incluindo os serviços oferecidos a eles e os processos industriais. Essa definição abrange a garantia do suprimento de fontes energéticas domésticas para evitar a dependência externa. Nesse aspecto, há dois tipos de combustíveis na oferta de energia para o transporte: os fósseis e os renováveis.

No que se refere ao combustível de origem fóssil, o Brasil tem um saldo positivo na balança comercial do petróleo, tendo exportado 38% de sua produção em 2017 (Figura 2-7). A produção estimada de petróleo mais que dobrará em 2026, principalmente pela contribuição do pré-sal. De acordo com o PDE 2026, o percentual de petróleo exportado aumentará para 65% do total produzido em 2026, tornando-o um importante *player* na comercialização desse produto no mundo. No entanto, há limitações na capacidade de processamento do petróleo, e o país importa parte do diesel e da gasolina que consome, projetando-se um déficit ainda para 2026 (Figura 2-8).

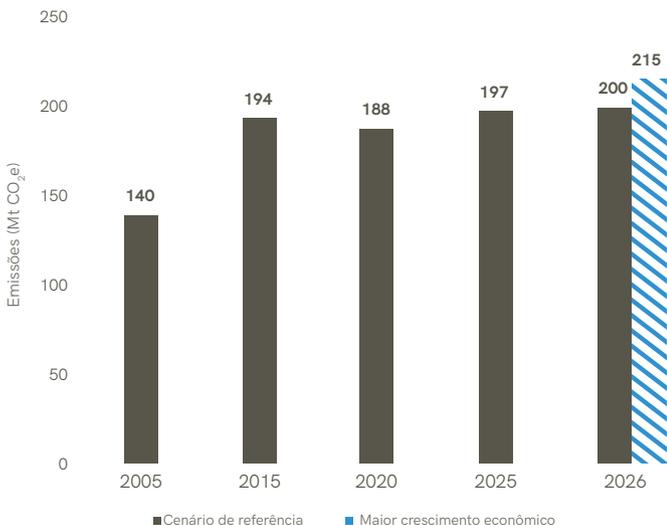


Figura 2-6 | Estimativa de emissões de GEEs para o setor de transportes baseadas nas premissas adotadas no PDE 2026

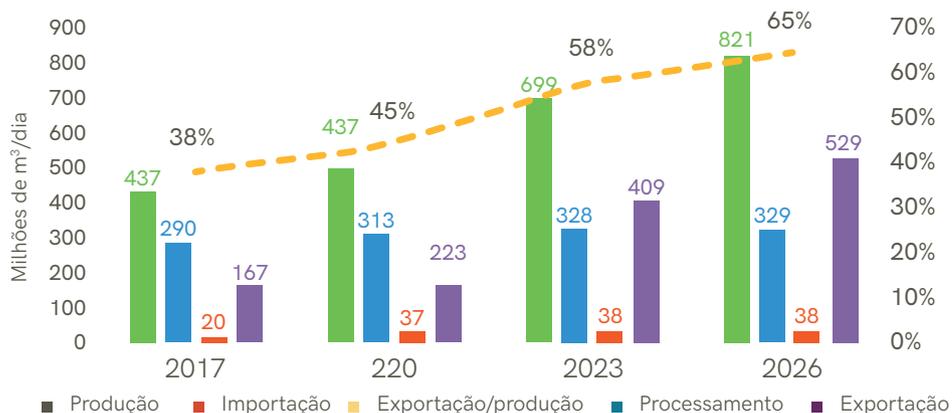


Figura 2-7 | Projeção do balanço nacional de petróleo em 2017-2026 (PDE 2026)

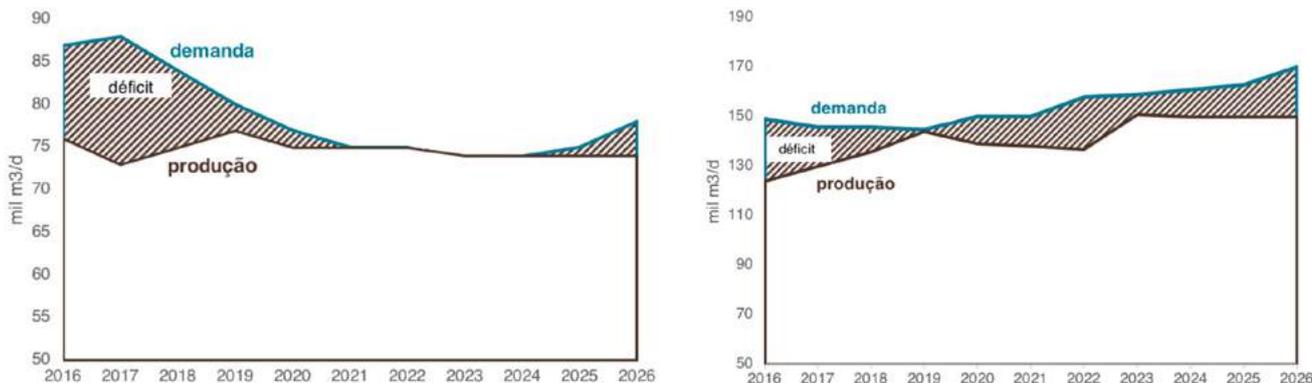


Figura 2-8 | Balanço nacional de gasolina A (esquerda) e diesel A (direita)

No caso da parcela renovável (biodiesel e etanol), o PDE 2026 também apresenta projeções baseadas na ampliação da demanda e da oferta. As incertezas dessas projeções são maiores para esses combustíveis, pois estão mais sujeitos a condições climáticas e ao preço de commodities agrícolas, como a soja e o açúcar.

O PDE 2026 projeta um déficit para o biodiesel de 18,5% em 2026 considerando as projeções de demanda baseadas na utilização da mistura B100 no diesel, de acordo com as possibilidades previstas na lei. Esse déficit pode ser ainda maior se for considerado um incremento no percentual de adição de biodiesel, um aumento na demanda por fatores macroeconômicos ou ainda fatores diversos que reduzam a oferta.¹¹

No caso do etanol, para atender às metas da NDC, é prevista uma ampliação da demanda de 57% no decênio 2016-2026. Para tanto, são assumidas premissas de aumento da oferta baseada em investimentos e ganhos de produtividade para o setor sucroalcooleiro, produção do etanol de milho e estágio tecnológico de etanol de segunda geração. Em 2017, houve importação de etanol para atender à demanda interna.¹²

A importação do etanol anidro, de acordo com o PND 2026, não será significativa no período 2018-2026. No entanto, caso não se concretizem os investimentos previstos, haverá uma redução na oferta estimada de 11%. Assim, entre as alternativas para atender à demanda de veículos leves estão a maior utilização de gasolina ou eventual importação do etanol. A primeira alternativa impactaria negativamente as metas de GEEs. A segunda também poderia impactar negativamente as metas de GEEs caso o insumo do etanol seja de milho, devido ao seu maior conteúdo de carbono relativo ao etanol de cana-de-açúcar.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Os VEs têm um rendimento energético de 3 a 5 vezes maior do que o dos veículos a combustão interna (Lutsey, 2012). Ou seja, independente da fonte de energia utilizada, a eletrificação veicular representa por si só ganhos no consumo de energia. Devem ser consideradas, no entanto, as fontes energéticas que estão sendo substituídas, sob

a ótica de emissões de GEEs. Esse ganho em eficiência e seus respectivos efeitos nas emissões de GEEs são potencializados em situações em que a matriz de geração de energia é predominantemente renovável, como no Brasil (mais de 80%), e em que o combustível substituído é de origem fóssil, como o diesel e a gasolina.

QUALIDADE DO AR E RUÍDO

Ao lado dos efeitos positivos relacionados ao clima e à segurança energética, outro fator indutor da eletromobilidade é a qualidade do ar em centros urbanos e seu impacto sobre a saúde pública. As emissões de poluentes gerados na queima de combustíveis nos motores a combustão são, em geral, o principal motivo da má qualidade do ar nas metrópoles (Cetesb, 2018). Os principais poluentes resultantes da combustão interna de combustíveis nos veículos são:

- **Material particulado (MP):** de maneira simplificada, pode ser definido como partículas sólidas ou líquidas em suspensão no ar cujo diâmetro aerodinâmico varia de 2,5 µm, fração fina (MP_{2,5}), a 10 µm (MP₁₀). Dependendo da distribuição de tamanho, as partículas podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório ou penetrar mais profundamente, alcançando os alvéolos pulmonares. Os efeitos nocivos à saúde incluem câncer respiratório, arteriosclerose, inflamação de pulmão, agravamento de sintomas de asma e de doenças cardiovasculares, prejuízo ao sistema imunológico e aumento de internações hospitalares, podendo levar à morte;
- **Hidrocarbonetos (HC):** resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros componentes orgânicos voláteis, participam das reações da formação do ozônio troposférico e apresentam potencial causador de efeito estufa (metano).
- **Óxidos de nitrogênio (NOx):** são o óxido de nitrogênio (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂) e têm um importante papel na formação do ozônio troposférico. Em altas concentrações, levam a sérios problemas respiratórios.
- **Monóxido de carbono (CO):** é um gás inodoro e incolor formado no processo de queima de

¹¹ No PDE 2026, o risco de desabastecimento é considerado baixo, pois o setor produtor de biodiesel tem se mostrado dinâmico, podendo se adequar à demanda projetada.

¹² Segundo a Empresa de Pesquisa em Energia (EPE), diversos fatores levaram a essa importação de etanol, como a perda de competitividade do etanol brasileiro com o fim do crédito presumido de PIS/Cofins a partir de janeiro de 2017 e a queda dos preços domésticos no mercado norte-americano, com a sobreoferta de etanol naquela região.

combustíveis. Esse gás tem alta afinidade com a hemoglobina no sangue, substituindo o oxigênio e reduzindo a alimentação deste ao cérebro, coração e resto do corpo durante o processo de respiração. Em baixa concentração, causa fadiga e dor no peito; em alta concentração, pode levar a asfixia e morte.

- **Dióxido de Enxofre (SO₂):** é um gás tóxico e incolor, que pode ser emitido por fontes naturais ou por fontes antropogênicas e reagir com outros compostos na atmosfera, formando material particulado de diâmetro reduzido. A emissão antropogênica é causada pela queima de combustíveis fósseis que contêm enxofre em sua composição. Entre os efeitos à saúde está o agravamento dos sintomas da asma e o aumento de internações hospitalares decorrentes de problemas respiratórios.

Alguns estudos têm buscado identificar a contribuição das principais fontes de emissão na qualidade do ar. Saldiva e André (2009) investigaram a contribuição de fontes específicas para o MP_{2,5} em seis cidades brasileiras: São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba, Belo Horizonte, Recife e Porto Alegre. A parcela atribuída a fontes veiculares é variável, tendo uma média de 40% e podendo chegar a 55%, como em Curitiba.

A contribuição relativa das fontes de emissão varia de acordo com o poluente. Por exemplo, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com frota de 11,5 milhões de veículos em 2016, os veículos leves e pesados são as principais fontes de poluentes precursoras do ozônio, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e material particulado (Figura 2-9).¹³ Essas emissões veiculares impactam negativamente a qualidade do ar com efeito direto sobre a saúde pública.

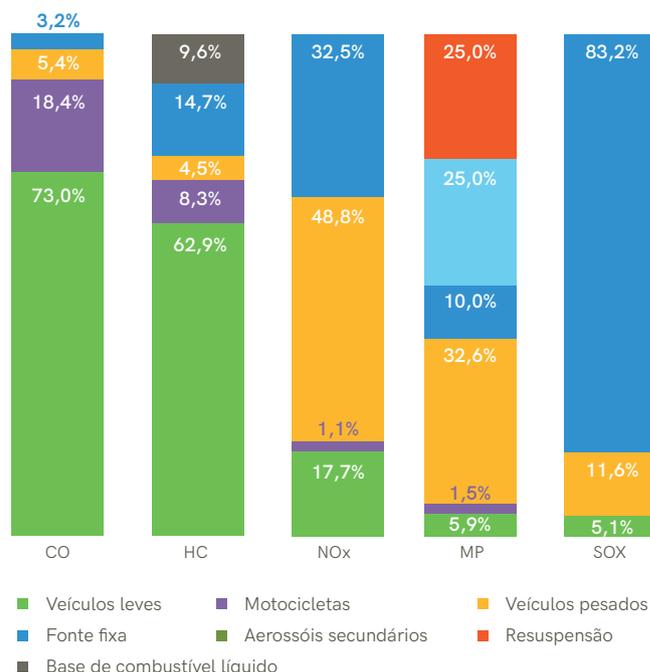


Figura 2-9 | Emissões relativas por tipo de fonte na Região Metropolitana de São Paulo (Cetesb, 2018)

Considerando os padrões da qualidade do ar recomendados pela OMS, para a RMSP a situação observada em 2015 era (Saldiva & Vormitagg, 2017):¹⁴

- **Ozônio troposférico:** o padrão OMS (100 µg/m³) foi ultrapassado em 1.034 dias. Há estações com mais de 70 ultrapassagens, e o nível de emergência (160 µg/m³) foi ultrapassado 61 vezes.¹⁵
- **Material particulado:** em partículas inaláveis (MP₁₀), houve ultrapassagem dos padrões recomendados pela OMS em 48 estações automáticas (92% das estações), totalizando 872 dias de ultrapassagem em todas as estações. Em partículas inaláveis finas (MP_{2,5}), o padrão anual de 10µg/m³ foi excedido em todas as estações automáticas da RMSP. O padrão diário foi extrapolado em diversas estações, algumas em quase 100 ultrapassagens em 2015.

¹³ O ozônio é um poluente secundário, ou seja, se forma a partir de outros poluentes atmosféricos, como o dióxido de nitrogênio e os compostos orgânicos voláteis, na presença de radiação solar. É altamente oxidante na troposfera, e seus efeitos à saúde são o agravamento de sintomas de doenças respiratórias e cardiovasculares.

¹⁴ Os padrões de qualidade do ar apresentados recomendados pela OMS (WHO, 2006) indicam o limiar do risco à saúde baseados com base num esforço mundial e em estudos extensos, embora, segundo a organização, não haja níveis seguros de concentração de poluentes para a saúde humana. Os padrões recomendados são mais rigorosos do que os atualmente adotados no Brasil, estabelecidos pela Resolução Conama 03/1990. Os padrões paulistas já são mais rigorosos do que os padrões nacionais, mas ainda estão aquém dos recomendados pela OMS.

¹⁵ O ozônio é um poluente secundário, ou seja, se forma a partir de outros poluentes atmosféricos como o dióxido de nitrogênio e os compostos orgânicos voláteis, na presença de radiação solar. Altamente oxidante na troposfera, seus efeitos a saúde são o agravamento de sintomas de doenças respiratórias e cardiovasculares.

Portanto, os dados da rede de monitoramento da RMSP indicam que os padrões diários e anuais para os poluentes MP_{10} , $MP_{2,5}$ e ozônio foram frequentemente superados em relação ao recomendado pela OMS na maior metrópole do Brasil, onde vivem mais de 21 milhões de habitantes. E esses poluentes são os mais deletérios à saúde, apresentando em 2015 níveis de ultrapassagem que alcançam dois terços ou a quase totalidade dos dias.

Essa situação não ocorre apenas na maior região metropolitana do país. Segundo dados extraídos da OMS, das 45 cidades brasileiras cobertas por seu banco de dados (Air Pollution Database), em 38 os limites recomendados de material particulado fino ($MP_{2,5}$) são excedidos (WHO, 2016a). O ozônio troposférico (O_3) também tem sido um problema nas principais regiões metropolitanas do país.

Diversos estudos têm buscado quantificar os impactos da poluição do ar na saúde, estimando os custos associados à morbidade e mortalidade, em especial com relação a emissões veiculares (Anenberg et al., 2017; Blumberg et al., 2018; Chambliss et al., 2013; Façanha & Miller, 2016). Esses estudos avaliam o impacto de diversas políticas e ações para a redução de emissões veiculares e apontam os ganhos em termos de mortes precoces evitadas, indicando de forma inequívoca que os benefícios superam em muitas vezes os custos da introdução dessas medidas quando monetizadas.¹⁶

Com relação ao transporte público na cidade de São Paulo, um estudo recente quantificou os impactos à saúde da introdução de alternativas tecnológicas para a frota de ônibus do município considerando três cenários: (i) cenário limite, ou pior cenário, onde será mantida a tendência atual com predominância a diesel (B7);¹⁷ (ii) cenário 100% renováveis, compondo a transição para ônibus elétricos com híbridos (B100+ elétrico) e biodiesel (B100) e elétricos; (iii) cenário otimista, com substituição de toda a frota por ônibus elétricos até 2020 (André et al., 2017).

O resultado desse estudo indicou que, até 2050, caso seja mantida a tendência atual da frota a diesel, a poluição

do ar por material particulado no município de São Paulo será responsável por mais de 178 mil mortes precoces e 189.298 internações¹⁸ por agravamento à saúde, o que em termos monetários significaria uma perda de R\$ 54 bilhões em produtividade. No caso de serem incorporadas tecnologias de baixas emissões, como no cenário 100% renováveis, estima-se que 12.191 mil mortes prematuras seriam evitadas e, no cenário otimista, com substituição da frota a diesel pela 100% elétrica, seriam 12.789 mortes evitadas. O benefício em produtividade com a eletrificação em relação ao cenário tendencial considerando as mortes precoces evitadas é de R\$ 3,8 bilhões, acumulado até 2050. Portanto, é significativo o impacto à saúde pela má qualidade do ar e são mais que justificados os ganhos com a adoção de tecnologias mais limpas.

Para atuar na melhoria da qualidade do ar, é necessário ter ações específicas sobre os veículos. No caso de motores a combustão interna, embora as tecnologias de controle tenham evoluído de forma expressiva, o aumento da frota de veículos vem suplantando esses ganhos, que não estão sendo suficientes para equacionar a questão da qualidade do ar (Cetesb, 2017). O crescimento da frota, estimado em 25,4% nos próximos 9 anos (MME, 2017), tende a piorar a situação do ar nas cidades.

Os VEs surgem como uma das soluções em alguns países para os graves problemas de qualidade do ar, especialmente em cidades populosas, pois suas emissões são eliminadas no ponto de consumo, ao lado de incentivos à utilização do transporte coletivo em detrimento do individual, por exemplo.¹⁹

Além da poluição atmosférica, os veículos são fonte de ruído. Em grandes cidades, as pessoas são expostas a intensidades sonoras cada vez maiores e contínuas, afetando a qualidade de vida e a saúde pública. Esta é mais uma vantagem dos VEs: são extremamente silenciosos. Isso permite que novas soluções para o transporte de cargas sejam facilitadas, como entregas noturnas para aliviar o congestionamento.

¹⁶ Como exemplo para o caso brasileiro, Façanha e Miller (2016) concluíram que a introdução de novos limites para veículos pesados no país, compatíveis com o Euro VI (Proconve P-8), é altamente custo-efetiva para reduzir os impactos ambientais e os efeitos à saúde causados por veículos pesados a diesel. Em um período de 30 anos a partir de 2018, a regulamentação do P-8 resultaria em benefícios à saúde avaliados em USD 74 bilhões, a um custo de USD 7 bilhões, com uma relação benefício-custo de 11:1.

¹⁷ Apesar de a legislação atual já exigir B10, o estudo precedeu essa exigência, anteriormente prevista para 2019.

¹⁸ Segundo o estudo, esse valor está conservador e, portanto, subestimado.

¹⁹ As emissões seriam resultantes do processo de geração de energia, e não do motor elétrico do veículo. Mesmo que haja emissões em função da fonte utilizada para a geração de energia, como termelétricas, essas emissões em geral ocorrem em pontos mais distantes dos centros urbanos e são de mais fácil controle com as tecnologias disponíveis do que as das fontes móveis. Também a maior eficiência energética dos motores elétricos em relação aos de combustão interna reforça esses ganhos.

MIX DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE NO BRASIL

As vantagens da eletrificação veicular em substituição ao combustível fóssil são amplificadas quando as fontes de geração da energia elétrica são de origem não fóssil. Esta é uma característica do Brasil, onde as fontes renováveis foram responsáveis pela geração de 80,9% da energia

elétrica ofertada em 2016 (Figura 2-10). Como resultado dessa matriz, o Brasil tem um dos fatores de emissão de CO₂ por MWh mais baixos quando comparado a outros países (Figura 2-11).

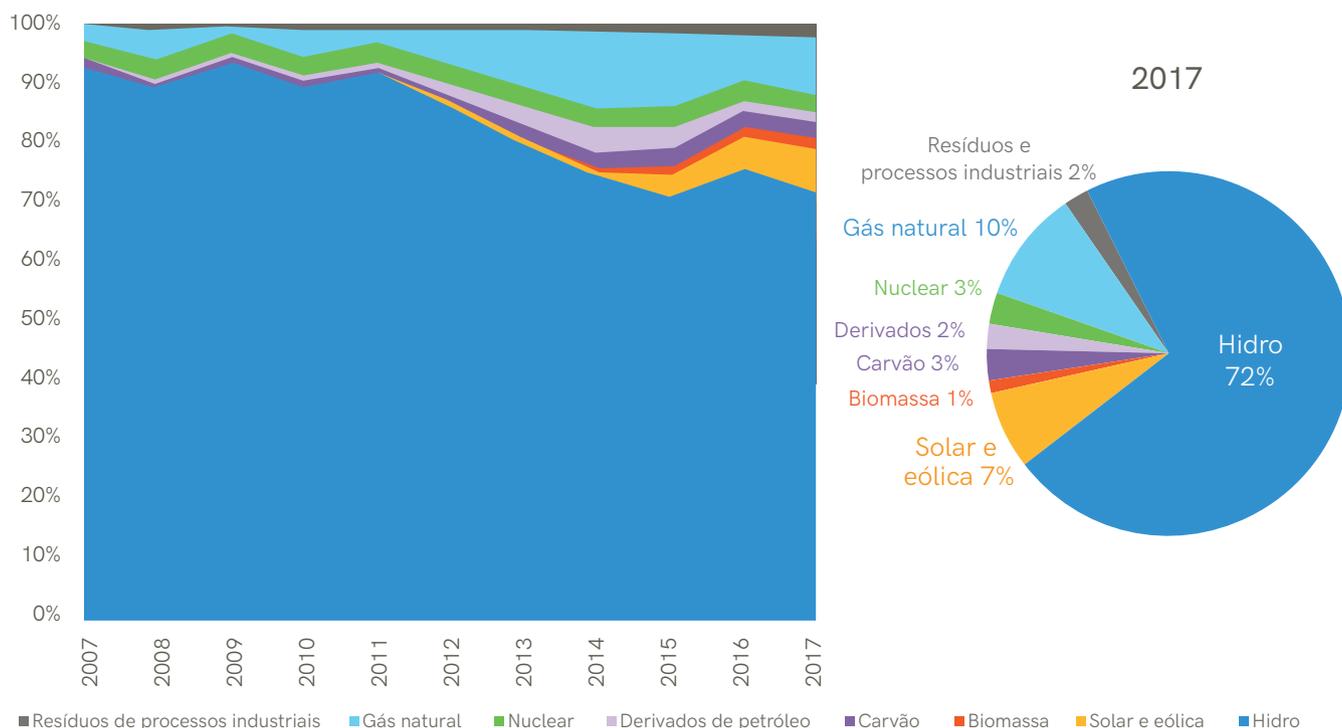


Figura 2-10 | Oferta interna de energia elétrica por fonte (Aneel, 2018)²⁰

²⁰ Considera-se o volume de carga de energia despachada pelas usinas geradoras de forma centralizada, pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), e energia elétrica produzida pelas geradoras ainda não integradas ao SIN.

²¹ O SIN é formado por empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. O sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários.

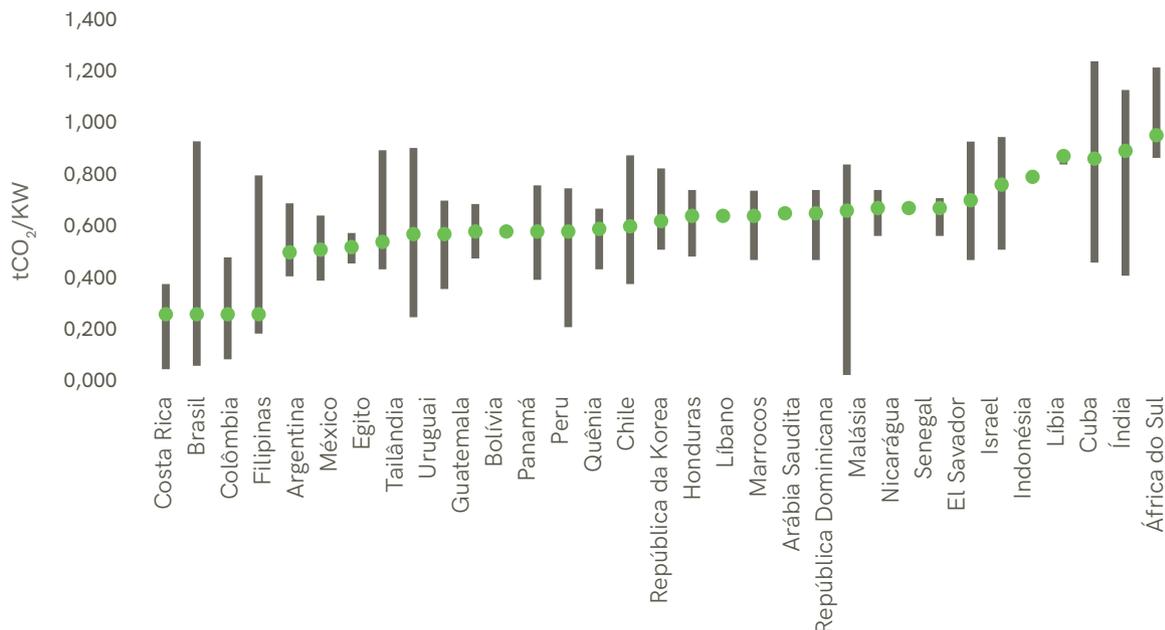


Figura 2-11 | Fator de emissão de CO₂ da geração de energia elétrica (IGES, 2018)

Apesar de o crescimento da geração hidrelétrica estar dando sinais de desaceleração nos últimos anos, há indicações de que o incremento da participação de outras fontes renováveis, como eólica e fotovoltaica, deve contribuir com a manutenção de uma matriz limpa no país. Segundo o PDE 2026, a participação das fontes renováveis continuará alta, mantendo-se superior a 80% da capacidade instalada total do Sistema Integrado Nacional (SIN) no período (Figura 2-12).²¹

No cenário de referência adotado no PDE 2026, no entanto, foi considerada uma penetração marginal de VEs no país (menos de 1% de híbridos e praticamente zero de elétricos até 2026). Para essa demanda, seria desprezível o impacto no abastecimento de energia elétrica no SIN.

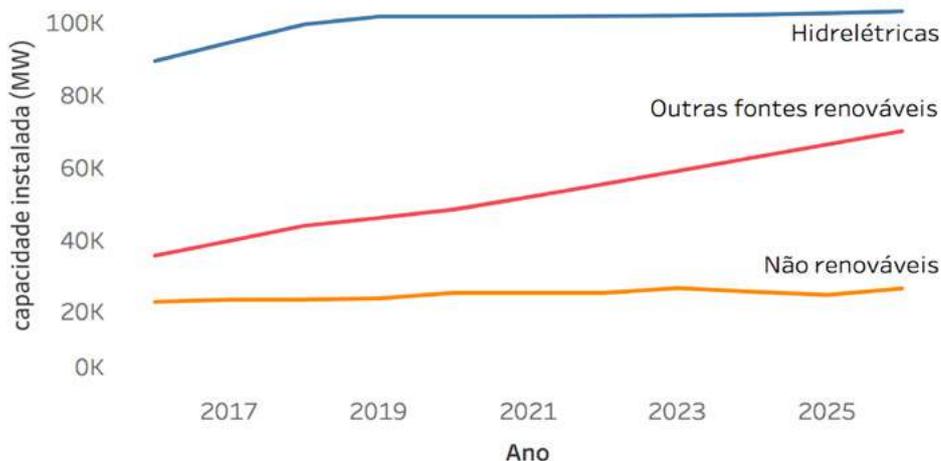


Figura 2-12 | Evolução da capacidade instalada por fonte de geração de energia elétrica para a expansão de referência (MME, 2017)

CONTEXTUALIZAÇÃO DE POLÍTICAS DE ELETROMOBILIDADE PARA O BRASIL

As experiências de sucesso para a eletromobilidade apontam para a necessidade de esforços coordenados para superar as barreiras técnicas, econômicas e de infraestrutura. Nessas experiências, os fatores motivadores da eletrificação veicular, quando traduzidos em políticas públicas e desdobrados em ações e programas que se complementam, induzem o alinhamento de distintos atores. Uma primeira lição aprendida é que, sem a clareza da motivação, situação-problema ou oportunidade identificada, dificilmente essa integração de esforços acontece (Consoni, 2018; Marx & Mello, 2014).

Este capítulo começa com um resumo dos atores-chave na promoção da eletromobilidade no Brasil e continua com uma descrição das políticas existentes com um efeito direto ou indireto sobre a eletromobilidade. Segue-se a mesma estrutura da avaliação internacional de políticas abordada no Capítulo 1, com seções para

políticas regulatórias para veículos e combustíveis limpos, incentivos ao consumidor, infraestrutura de recarga, e planejamento, política e outras promoções.

MAPEAMENTO DE ATORES-CHAVE

O mapeamento dos atores-chave envolvidos direta ou indiretamente com a eletromobilidade dá uma ideia da dimensão e complexidade do tema (Figura 3-1). O sistema de governança para os VEs no Brasil parte de uma caracterização de cinco esferas: a indústria automobilística, o setor elétrico, a educação e pesquisa, o ambiente político (governo) e o ambiente de inovação, que permeia todas as esferas (Consoni, 2018). No caso da eletrificação de ônibus, acrescentam-se a essas esferas os prestadores de serviço de transporte público urbano, contratados pelo poder público.



Figura 3-1 | Sistema de governança da eletromobilidade no Brasil

INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA E ASSOCIAÇÕES

A indústria automobilística, como importante ator, tem assumido uma posição institucional conservadora quanto à eletrificação, sugerindo passos tímidos num primeiro momento na direção da hibridização. No que se refere a veículos leves, o setor tem se posicionado ainda em defesa do biocombustível como solução única nacional para a mitigação de GEEs, e nem sempre considerando a eventual complementariedade de outras soluções. Porém, não há unanimidade no setor industrial quanto a essa posição, sendo percebidas iniciativas pioneiras por alguns fabricantes em prol da eletrificação, embora ainda incipientes, como Toyota, BMW e Ford, com produtos já no mercado. No caso de ônibus, percebe-se um campo mais promissor, com destaque para três fabricantes: BYD, Eletrabus e Volvo.

O setor de autopeças tem se envolvido nas discussões sobre o assunto de forma mais incisiva por meio dos fabricantes de baterias e motores elétricos, que naturalmente percebem uma janela de oportunidades e se movimentam em prol da eletrificação.

Também é relevante nessa governança o papel das associações de classe, como a Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea), a Associação Brasileira das Empresas Importadoras e Fabricantes de Veículos Automotores (Abeifa), a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE) e o Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (Sindipeças). Considerando a importância histórica do setor automobilístico para a economia no Brasil, essas associações mantêm um diálogo constante com o governo, atuando como influenciadores de políticas públicas.

Como representação coletiva mais abrangente, destaca-se também a Associação Nacional para o Transporte Público (ANTP), uma entidade civil sem fins lucrativos voltada ao setor de transporte público e do trânsito do Brasil que tem por objetivo desenvolver e difundir conhecimentos visando ao contínuo aprimoramento desse setor. Entre seus associados, estão órgãos públicos – gestores de transporte público e de trânsito –, empresas operadoras públicas e privadas, sindicatos patronais e de empregados, fabricantes e prestadores de serviço, consultores e universidades.

PRESTADORES DE SERVIÇOS DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

A responsabilidade primária pelo transporte público urbano é do poder público municipal, conforme estabelecido pelo inciso V do artigo 30 da Constituição Federal. Os municípios, no entanto, em geral contratam empresas para prestar esse serviço sob regime de concessão ou permissão, ficando com a responsabilidade de fiscalizá-lo e controlá-lo. As condições dessa contratação são definidas pelo poder concedente. No que se refere à tecnologia veicular e às emissões, os contratos têm usado parâmetros de idades máxima e média da frota para traçar, de forma indireta, o perfil de fases do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve), associados a limites de emissão de poluentes de efeito local. Vale destacar ainda a iniciativa recente, no município de São Paulo, de exigir o cumprimento de legislação relacionada a metas de redução de emissões de GEEs e de poluentes de efeito local.

Assim, na questão da eletrificação de ônibus, os concessionários e permissionários são envolvidos na escolha de tecnologias de melhor custo-benefício e viáveis dentro das restrições impostas por condições contratuais e legislações.

De forma coletiva, as empresas de transporte público coletivo são representadas por associações, federações e sindicatos regionais que defendem seus interesses. Cabe citar ainda a Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU), que congrega diversas representações regionais.

SETOR ELÉTRICO

O setor de serviços, especificamente as concessionárias de energia elétrica, será diretamente afetado pela eletrificação dos veículos, tanto devido ao aumento da demanda quanto devido à infraestrutura necessária para a recarga. Considerando as peculiaridades da comercialização de energia no país, com mercado livre e regulado convivendo harmonicamente, a entrada do VE poderá exigir o desenho de novos modelos de negócio, e as concessionárias devem se interessar em abrir novas frentes de negócio. Percebe-se também algumas concessionárias investindo a parcela obrigatória de suas receitas operacionais líquidas (0,75%) em projetos associados à eletromobilidade.²²

²² A Lei nº 12.212, de 10 de dezembro de 2010, que altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, estabeleceu a obrigatoriedade de investimento anual de determinada porcentagem da Receita Operacional Líquida (ROL) das empresas concessionárias de energia em projetos de P&D.

EDUCAÇÃO E PESQUISA

Por ser um assunto que envolve inovação tecnológica, inclusive tecnologias disruptivas, especialmente no que se refere a baterias e células a combustível, também é relevante o papel de instituições de ensino e pesquisa. Algumas instituições têm se destacado em termos de publicações geradas, como a Universidade de São Paulo e a Universidade Estadual de Campinas, que também oferecem programas de ensino relacionados a tecnologia veicular (Consoni, 2018). Além de universidades, os centros de pesquisas associados à indústria merecem destaque. Segundo Barassa et al. (2017), embora existam no país instituições de ciência e tecnologia que desenvolvem pesquisas relacionadas à mobilidade elétrica, tais pesquisas têm se mostrado isoladas ou sem alinhamento geral. Os órgãos de fomento e financiamento à pesquisa e ao desenvolvimento (P&D) são importantes nesse contexto, incluindo CNPq, Fapesp e BNDES.

Complementares aos centros de pesquisa, estão os organismos nacionais e internacionais de normalização. Normas e padrões fazem parte do processo de desenvolvimento e consolidação da nova tecnologia. Incluem-se aqui entidades como o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), no Brasil, e organismos internacionais como a Organização Internacional de Padronização (ISO), a Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) e a Sociedade de Engenheiros da Mobilidade (SAE) (Barassa, Moraes & Consoni, 2016).

Há ainda a Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA), uma entidade de cunho predominantemente técnico onde a dinâmica de funcionamento baseia-se na formação de grupos de trabalho para embasar a formulação de políticas para o setor. Seus membros são, em sua maioria, ligados à indústria de automóveis, autopeças e combustíveis.

GOVERNO FEDERAL

Nas esferas governamentais, há atores-chave em diversas áreas. Por motivações distintas, acabam tratando de assuntos que, direta ou indiretamente, se relacionam com a eletromobilidade. A seguir, são elencados os principais.

Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC): exerce o papel de formulador, executor e avaliador de políticas públicas para a promoção da competitividade, do comércio exterior, do investimento e da inovação nas empresas e do bem-estar do consumidor. Com o mote de

estímulo à competitividade da indústria, tem promovido discussões sobre o tema eletromobilidade no escopo da nova política industrial para o setor automobilístico, Rota 2030.

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI): ligada ao MDIC, foi criada em 2004 para promover a execução da política industrial, alinhada às políticas de ciência, tecnologia e comércio exterior. Tem participado do desenho de políticas públicas através de estudos conjunturais, estratégicos e tecnológicos sobre vários setores. No que se refere à eletromobilidade, realizou estudos específicos relacionado a tecnologia, suas cadeias de valor e outros temas conexos, como *smart grid*.

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro): é uma autarquia federal vinculada ao MDIC que atua como Secretaria Executiva do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro), colegiado interministerial que é o órgão normativo do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro). Está envolvido na normalização de produtos e componentes – conectores, por exemplo – associados a VEs.

Câmara de Comércio Exterior (Camex): é órgão integrante do Conselho de Governo da Presidência da República e tem por objetivo a formulação, adoção, implementação e coordenação de políticas e atividades relativas ao comércio exterior de bens e serviços, incluindo o turismo. É composta pelo ministro de Estado do Desenvolvimento, Indústria e Serviços, a quem cabe a presidência da Camex, e pelos ministros de Estado Chefe da Casa Civil; das Relações Exteriores; da Fazenda; da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; do Planejamento, Orçamento e Gestão; e do Desenvolvimento Agrário. Entre suas atribuições, está a definição de alíquotas de imposto de importação de VEs. Em 2015, por exemplo, isentou o imposto de importação desses veículos (Resolução Camex nº 97), que até então adicionava 35% ao valor total de veículo. Reduziu ainda o imposto para veículos híbridos. Segundo informações obtidas no website do órgão, a decisão quanto à redução desse imposto foi tomada para promover a inserção do Brasil em novas rotas tecnológicas, disponibilizando ao consumidor veículos com alta eficiência energética, baixo consumo de combustível e reduzida emissão de poluentes. Tais medidas estão alinhadas à política de fomento a novas tecnologias de propulsão e atração de investimentos para a produção nacional desses veículos.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES): é uma companhia pública federal associada ao

MDIC, cujo objetivo principal é financiar iniciativas que contribuam para o desenvolvimento nacional. O BNDES abriu uma linha de financiamento para pesquisa em eletromobilidade, além de fazer a gestão dos recursos do Fundo Clima, que disponibiliza linhas de financiamentos com juros diferenciados para a aquisição de ônibus com tecnologia limpa e capacidade produtiva para a fabricação desses veículos. Disponibiliza, também, uma ferramenta desenvolvida em parceria com a Fundação Getúlio Vargas para estimar os resultados da atuação do banco no Programa Fundo Clima e calcular a redução de emissões de GEEs vinculada a projetos financiados pela instituição.²³ Entre as simulações possíveis por essa ferramenta, está a aquisição de ônibus elétricos, híbridos, outros modelos com tração elétrica ou movidos a biocombustíveis.

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC): estabelece, entre outros temas, a política nacional de pesquisa científica, tecnologia e inovação. Em sua Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016/2019, inclui iniciativas tecnológicas a partir de fontes renováveis, *smart grids*, VEs, novas baterias, biocombustíveis e reatores nucleares modulares intrinsecamente seguros. Portanto, tem forte interface com o desenvolvimento de competências e tecnologias para o VE. Esse ministério conta ainda com agências financiadoras de estudos e projetos. Outra interface com o tema no MCTI refere-se a sua coordenação do Projeto Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil, com recursos do Global Environment Facility (GEF) e em parceria com a ONU Meio Ambiente. Esse projeto tem por finalidade apoiar a tomada de decisão sobre ações que potencialmente reduzam as emissões de GEEs nos setores-chave da economia. A interface com a eletromobilidade, neste caso, se dá pela possibilidade de modelar cenários de mitigação com a eletrificação veicular, acrescentando, ainda, análises de custo-benefício.

Ministério do Meio Ambiente (MMA): tem como missão formular e implementar políticas públicas ambientais nacionais de forma articulada e pactuada com os atores públicos e a sociedade para o desenvolvimento sustentável. Dentro de suas atribuições, destaca-se seu papel na governança do Plano Nacional sobre Mudança do Clima e no Plano Nacional de Qualidade do Ar (PNQA). Um dos instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima é o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima. É

com esse recurso que são oferecidas, por exemplo, taxas de financiamento diferenciadas para os ônibus elétricos e híbridos, um programa operacionalizado pelo BNDES.

O MMA tem ainda outra interface com a eletromobilidade de forma indireta, no que se refere ao fator motivador qualidade do ar. O ministério formula políticas de apoio e fortalecimento institucional dos demais órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), responsáveis pela execução das ações locais de gestão da qualidade do ar.²⁴

Através da sua Gerência da Qualidade do Ar, cabe ao MMA propor, apoiar e avaliar estudos e projetos relacionados com a preservação e a melhoria da qualidade do ar, implementar programas e projetos na sua área de atuação, assistir tecnicamente aos órgãos colegiados de assuntos afeitos a essa temática (Conama e Contran), e elaborar pareceres e notas técnicas sobre os assuntos de sua competência. Destacam-se ainda programas dessa gerência para fontes específicas, tais como o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (Pronar), o Proconve, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (Promot) e o apoio aos estados para a elaboração dos Planos de Controle da Poluição Veicular (PCPVs) e dos Programas de Inspeção e Manutenção Veicular (I/M), conforme a Resolução Conama nº 418/2009.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama): é um órgão vinculado ao MMA que tem entre suas atribuições a execução de políticas nacionais de meio ambiente, destacando-se a coordenação do Proconve. É através desse programa que são exigidos limites máximos de emissões veiculares, além da homologação de veículos.

Ministério de Minas e Energia (MME): é o formulador de políticas públicas relacionadas a energia. Coordena o Programa Brasileiro de Tecnologias e Emissões, programa interministerial que tem o objetivo de promover a realização de estudos científicos relativos à influência dos combustíveis e das tecnologias veiculares nas emissões automotivas. Visa ainda obter o mapeamento e a modelagem da qualidade do ar que possam auxiliar a indústria e os entes públicos na elaboração de políticas públicas e na tomada de decisões sobre qualidade dos combustíveis e do ar, saúde pública e mobilidade nos centros urbanos. Por suas atribuições, esse programa teria

²³ Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima/ferramenta-calculo-reducao/>

²⁴ O Sisnama, instituído pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990, é constituído pelos órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos municípios e pelas fundações instituídas pelo poder público responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental.

uma interface com a eletromobilidade, mas, segundo as atas de reuniões, está focado em biocombustíveis. Além do MME, participam desse programa o MMA, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o Ibama, a Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) e a AEA. O MME também coordena o recém-lançado RenovaBio, política de Estado que objetiva traçar uma estratégia conjunta para reconhecer o papel de todos os tipos de biocombustíveis na matriz energética brasileira. O programa visa tanto à segurança energética quanto à mitigação de GEEs, tendo, portanto, interface indireta com a eletrificação.

Com o objetivo de cumprir as metas estabelecidas no Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), através de um esforço coletivo com diversos órgãos coordenados pelo MME, foi elaborado o Plano Nacional de Eficiência Energética, PNEF (MME, 2012).²⁵ Entre as linhas de ação propostas diretamente relacionadas ao tema eletromobilidade, destaca-se estudar incentivos, como subsídios ou benefícios tarifários, para a entrada de VEs individuais, incluindo estudos de questões referentes à regulação no setor elétrico.

No papel de formulador da Política Energética Nacional, o MME tem buscado ampliar o debate em torno do plano de longo prazo PNE 2050 com diferentes órgãos de governo para harmonizar as políticas e os planos setoriais. Nesse horizonte, as questões referentes à eletromobilidade devem ser abordadas pelo impacto na matriz energética, de acordo com as premissas a serem adotadas.

Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel): autarquia em regime especial vinculada ao MME, foi criada para regular o setor elétrico brasileiro. Está estruturada para garantir a segurança no suprimento, incentivar a expansão da geração, diversificar a matriz energética e atender à demanda dos consumidores ao menor custo. Em 2016 e 2017, lançou consultas públicas com o objetivo de obter subsídios para aperfeiçoamentos na estrutura tarifária e avaliar os impactos associados à carga de VEs. Uma das premissas apresentadas pela agência é estimular a criação de infraestrutura de recarga sem que haja subsídios cruzados com o consumidor de

energia atual, portanto não onerando a tarifa de energia com investimentos eventualmente necessários para a infraestrutura de recarga do VE. Os resultados finais ainda não foram divulgados, mas a regulação permitirá a criação de um mercado competitivo para o serviço de recarga, convivendo com o atual mercado regulado de energia elétrica. Outra iniciativa recente da Aneel que pode estimular a eletrificação veicular com o barateamento da energia é a adoção de tarifas diferenciadas de acordo com o horário e dia da semana, tendo valores mais caros nos horários em que a demanda de energia é normalmente mais alta. Trata-se da criação da tarifa branca, em vigor desde janeiro de 2018, um indicativo do início do desenvolvimento do *smart grid*.²⁶

Empresa de Pesquisa em Energia (EPE): empresa pública federal, tem por finalidade prestar serviços ao MME na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, incluindo energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados e biocombustíveis. Em suas publicações, planos e apresentações, tem se posicionado de maneira não favorável à eletrificação acelerada de veículos no país e destacado o papel dos biocombustíveis como solução energética veicular para a descarbonização.

Conselho Nacional de Política Energética (CNPE): presidido pelo Ministro de Estado de Minas e Energia, é órgão de assessoramento do presidente da República para a formulação de políticas e diretrizes de energia. Tem a atribuição de propor ao presidente da República políticas nacionais e medidas específicas destinadas a promover o aproveitamento racional dos recursos energéticos do país.

Ministério das Cidades (MCid): foi criado com o objetivo de combater as desigualdades sociais, transformar as cidades em espaços mais humanizados e ampliar o acesso da população a moradia, saneamento e transporte. Traça diretrizes para a implementação da Política Nacional de Mobilidade, orienta a execução dos planos de mobilidade nas cidades e fornece linhas de financiamento para infraestrutura ou equipamentos que podem estar atreladas a condicionantes, como o estímulo a tecnologias de baixo carbono.

²⁵ Participaram da elaboração desse documento: Inmetro, Empresa de Pesquisa em Energia (EPE), Petrobras (Conpet), Eletrobras (Procel) e Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), entre outros, além da participação direta de quase cem profissionais, tendo sido o documento submetido a um processo de consulta pública.

²⁶ A tarifa branca foi estabelecida pela Resolução Normativa no 733, de 6 de setembro de 2016, e entrou em vigência em janeiro de 2018. Ela é oferecida para as unidades consumidoras que são atendidas em baixa tensão (127, 220, 380 ou 440 Volts), denominadas de grupo B. O consumidor opta pela tarifa branca ou pela convencional de acordo com seu perfil de consumo. Essa iniciativa não pode ser confundida com as bandeiras tarifárias, aplicadas de forma compulsória aos consumidores conforme as condições envolvidas na geração de energia (Resolução Normativa nº 547, de 16 de abril de 2013). Nessa outra situação, através do estabelecimento de bandeiras verde, amarela e vermelha, é indicada ao consumidor a variação na tarifa do mês em função dos custos variáveis de geração de energia. Assim, quando há uma crise hídrica e a entrada em operação de usinas termelétricas, por exemplo, é aplicada uma tarifa maior, indicada pelas cores amarela ou vermelha. A menor tarifa corresponde à bandeira verde.

Departamento Nacional de Trânsito (Denatran): é órgão máximo executivo de trânsito da União, responsável pela coordenação do Sistema Nacional do Trânsito. Vinculado ao MCid, está em processo de estabelecimento da regulamentação sobre VEs com o objetivo de avaliar a segurança estrutural e elétrica desses veículos. A Resolução Contran nº 717, de novembro de 2017, estabelece um prazo de 6 meses, a vencer em meados de 2018, para a realização de estudos técnicos e para essa regulamentação.

GOVERNO ESTADUAL

Como os estados são responsáveis pelo transporte intermunicipal, os órgãos competentes estaduais tomam a dianteira na avaliação e demonstração de iniciativas para estímulo a tecnologias de baixo carbono. Por exemplo, a Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo (EMTU) testa o ônibus elétrico Eletra desde 2013, em um percurso de 11,5 km. Esse ônibus possui baterias de íons de lítio recarregáveis, e a operação foi planejada com recargas rápidas no terminal de Diadema, além de cargas lentas à noite na garagem. A frota da EMTU também tem 14 veículos híbridos (13 tipo padron e um articulado), tendo iniciado com esses veículos em 2003, e 80 trólebus que percorrem 4,5 milhões de quilômetros por ano (Sistran, 2014).

A legislação ambiental estadual, em especial a relacionada a mudanças climáticas, também pode induzir à eletrificação da frota de ônibus.

Algumas linhas de financiamento no âmbito estadual são disponibilizadas para a substituição de combustíveis fósseis. Por exemplo, a Desenvolve SP, instituição financeira do estado de São Paulo, oferece financiamento como a Linha Economia Verde, vinculada a práticas sustentáveis, como a substituição de combustíveis fósseis por renováveis.

Alguns tributos e taxas estaduais podem ser diferenciados de acordo com a tecnologia, sendo também exemplos de atribuição estadual. Um exemplo disto é o imposto estadual sobre a propriedade de veículos automotores (IPVA). Em sete estados brasileiros (Rio Grande do Sul, Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Sergipe e Pernambuco), há isenção total do imposto para VEs, e em 3 (São Paulo, Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro) a alíquota é diferenciada (ABVE, 2018).

GOVERNO MUNICIPAL

No Brasil, há 5.570 municípios, sendo 42 acima de 500.000 habitantes (IBGE, 2018), dos quais 3.313 contam com sistema organizado de ônibus (NTU, 2018). O responsável

primário pela gestão do transporte público urbano no país é o poder público municipal, que contrata, via processo licitatório, empresas prestadoras de serviços de transporte em regime de concessão ou permissão. O detalhamento desses serviços é feito pelo órgão municipal competente, que também os fiscalizará, investirá em infraestrutura e planejará a mobilidade urbana.

Alguns municípios estabelecem legislações específicas sobre mitigação dos efeitos da mudança climática, em alguns casos definindo metas de redução de emissões totais, ou ainda detalhando as metas de redução para o transporte coletivo. Nesses casos, mesmo não determinando a tecnologia veicular para atendimento dessas metas, a solução pode incluir a eletromobilidade. Esse é o caso de São Paulo (Lei nº 14.933, de 2009, alterada pela Lei nº 16.802, de 2018) e Belo Horizonte (Lei nº 10.175, de 2011).

Outras ações a nível municipal incluem o acompanhamento pelas prefeituras, geralmente por intermédio de suas Secretarias de Transportes, de testes ou demonstrações de tecnologias de baixas emissões, ou ainda o lançamento programas para o desenvolvimento ou a promoção dessas tecnologias.

POLÍTICAS REGULATÓRIAS PARA VEÍCULOS E COMBUSTÍVEIS LIMPOS

As principais regulações relacionadas a veículos e combustíveis limpos são estabelecidas a nível federal, destacando-se, para este estudo, o Proconve, com foco em meio ambiente, e o Inovar Auto e Rota 2030, sob a égide de competitividade industrial.

PROGRAMA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR POR VEÍCULOS AUTOMOTORES (PROCONVE)

No Brasil, à semelhança de práticas internacionais, foi criado em 1986 o Proconve, que vem induzindo a transição tecnológica em veículos no país com o objetivo de reduzir as emissões de poluentes atmosféricos e o ruído. Coordenado pelo Ibama, o programa tem atuado para controlar as emissões veiculares de CO, NMHC, NOx e MP, poluentes de efeito local. Tem como premissa o estabelecimento de limites mais restritivos de emissão, ficando a cargo dos fabricantes ou importadores a escolha da solução tecnológica de melhor custo-benefício para atender a esses limites. Em suas fases atuais, esse programa não estabelece limites para as emissões de CO₂ e, portanto, não induziria à eletrificação. No entanto, está em consulta pública uma proposta de inclusão desse poluente nas regulamentações do Proconve que, embora ainda em estágios iniciais,

poderia ser um importante passo na direção de veículos com emissão zero de escapamento.

INOVAR AUTO E ROTA 2030

Para incentivar setores específicos da economia e setores gerais ligados à indústria de transformação, o governo estabelece um conjunto de instrumentos sob o arcabouço de uma política industrial. No âmbito de políticas industriais recentes, como o Inovar Auto, lançado em 2012 e encerrado em 2017, o MDIC buscou ampliar a competitividade através instrumentos que induziriam fabricantes a produzir veículos mais eficientes, seguros e tecnologicamente mais avançados, além de atrair investimentos. Nessa política, foram estabelecidas metas para eficiência energética para veículos leves e definidos investimentos mínimos em P&D, engenharia e tecnologia industrial básica. Ao final do período, cumpridos os objetivos e as metas do programa, o fabricante ou importador teria direito a créditos presumidos de imposto sobre produto industrializado (IPI) de até 30% sobre os veículos produzidos no período, além de crédito presumido de IPI referente a gastos em P&D e a investimentos em tecnologia industrial básica, engenharia de produção e capacitação de fornecedores.

Nas regras do programa, com o intuito de estimular a fabricação de veículos híbridos e elétricos, foram estabelecidos créditos adicionais para essas tecnologias, ou supercréditos, computados nos cálculos da eficiência energética corporativa, à semelhança de políticas internacionais.²⁷ Apesar dos supercréditos, os alvos de eficiência energética do Inovar Auto não foram rigorosos o suficiente para estimular a comercialização de VEs no país.

Considerando a elevada participação da indústria automotiva brasileira na economia, representando 22% do Produto Interno Bruto (PIB) industrial em 2015, o Inovar Auto tinha como objetivo aumentar o nível tecnológico de produtos e processos da indústria automotiva nacional por meio de incentivos à P&D. No entanto, o programa

foi encerrado em 2017, e pouco se conhece de seus resultados efetivos. Alguns estudos apontam o insucesso no atendimento a seus objetivos principais (Consoni et al., 2018; Pascoal et al., 2017). O objetivo específico de induzir a fabricação de produtos tecnologicamente mais avançados não foi atingido, segundo os estudos, não tendo sido notados avanços significativos nessa direção. Os veículos híbridos e elétricos, por exemplo, representaram apenas 0,15% do total de licenciamentos de veículos novos no país em 2017, e todos esses veículos foram importados (de Japão, México, Alemanha, Eslováquia, China e Estados Unidos). Somente a BMW série i é elétrica, evidenciando a baixa oferta de tais produtos no mercado brasileiro.

Com o término do Inovar Auto em 2017, discute-se a nova política industrial Rota 2030, onde são traçadas diretrizes de longo prazo para o setor automobilístico. Para esse novo ciclo, a incorporação de estratégias específicas para a eletromobilidade tem sido rediscutida. Essa política poderia representar uma oportunidade que ditaria o ritmo da eletrificação no país, desencadeando ações coordenadas de P&D e investimentos na indústria e alavancando ações complementares, associadas à infraestrutura para recarga, por exemplo.

Na eficiência energética, o Programa Inovar Auto estava focado em veículos leves, portanto, não teve nenhuma ação direta que induzisse à eletrificação de ônibus. O Rota 2030 provavelmente ainda não induzirá a eletrificação de veículos pesados no curto prazo.

INCENTIVOS AO CONSUMIDOR

Pela experiência internacional, os incentivos ao consumidor têm se mostrado importantes para a introdução da tecnologia, reduzindo as barreiras associadas ao seu custo de aquisição. Algumas ações pontuais têm sido notadas no país nesse sentido. O Quadro 3-1 resume algumas dessas iniciativas.

²³ A Portaria MDIC nº 74, de 26 de março de 2015, estabeleceu um fator de ponderação como multiplicador dos emplacements realizados que, de forma simplificada, dá maior peso a veículos com consumo energético abaixo de 1,35 MJ/km. Esse fator varia de 2,75 a 1,75 de acordo com a faixa de eficiência energética de 2015 a 2017, e de 2,5 a 1,5 entre 2018 e 2020.

Quadro 3-1 | Incentivos ao consumidor no Brasil

Iniciativa	Órgão	Abrangência	Comentários
Isenção ou redução do IPVA de veículos elétricos e híbridos	Governos estaduais ²⁸	Isenção total: Rio Grande do Sul, Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Sergipe e Pernambuco	Muitas vezes, esse é um primeiro passo para traçar uma estratégia de VEs e a implementação das políticas
Alíquota diferenciada: São Paulo, Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro	O valor da isenção ou redução do IPVA para veículos elétricos e híbridos em relação ao preço do veículo representa de 1% a 4% do valor venal	Identificar e modelar ações para superar as principais barreiras aos VEs e preparar sua adoção	Muitas vezes, esse é um primeiro passo para o lançamento de programas e iniciativas de apoio a VEs
Isenção ou redução de alíquotas do Imposto de Importação – veículos elétricos e híbridos ²⁹	Camex	Produtos importados	Veículos elétricos e híbridos são isentos de tarifas de importação (antes, eram tributados em 35%)
Redução de alíquotas do Imposto de Importação de peças e equipamentos destinados à produção de ônibus elétricos e híbridos ³⁰	Camex	Produtos e peças importadas	Redução em regime ex-tarifário (temporário), alterando para 2% as alíquotas do Imposto de Importação com o objetivo de estimular investimentos em inovação
Isenção do rodízio municipal ³¹	Prefeitura de São Paulo	Veículos que trafegam no município de São Paulo	Isenção do rodízio municipal para veículos motorizados elétricos e de combustíveis híbridos, que podem, com a medida, circular em qualquer dia da semana, independentemente do final da placa
Condições de financiamento mais convenientes	BNDES – Fundo Clima	Ônibus fabricados no Brasil	No caso de ônibus elétrico ou híbrido ou a etanol, há uma linha de financiamento para veículos novos nacionais com taxas mais baixas e prazos mais dilatados do que os disponíveis para ônibus tradicionais. As taxas oferecidas pelo BNDES-Fundo Clima estão entre 1,0% e 4,8%

Algumas das iniciativas identificadas no Brasil de incentivo ao consumidor de veículos elétricos ou híbridos têm um efeito ainda simbólico, considerando seu impacto para a real redução do custo total da propriedade. É o caso da diminuição ou isenção do IPVA, taxa anual cobrada sobre o valor venal dos veículos. O desconto de 1% a 4% sobre o valor venal dos veículos pouco interfere no custo total do veículo, superior à tecnologia convencional de motor a combustão. É o caso, ainda, do rodízio municipal. Essas medidas, no entanto, abrem a discussão para mais incentivos.

No caso do Imposto de Importação, a redução da alíquota de veículos elétricos e híbridos é impactante, correspondendo a 35% sobre o valor do veículo. No entanto, essa medida deve ser analisada em conjunto com outras simultâneas relacionadas à política industrial vigente até 2017, o InovarAuto.³² Nessa política, o IPI teve um acréscimo de 30%, com a possibilidade de redução nesta proporção caso a empresa habilitada cumprisse uma série de requisitos. Ou seja, a efetiva vantagem da redução do Imposto de Importação esteve condicionada

²⁸ Embora o IPVA seja um tributo estadual, 50% são destinados ao município onde o veículo está registrado. Portanto, a decisão de isenção ou redução envolve estado e município, podendo haver isenção de somente uma das parcelas.

²⁹ Resoluções Camex nº 86, de 2014; nº 97, de 2015; nº 27, de 2016, e nº 125, de 2016. Trata-se de regime ex-tarifário, ou seja, de redução temporária da alíquota do imposto de importação.

³⁰ Resolução Camex nº 34, de 20 de abril de 2016.

³¹ Iniciado em outubro de 1997, o Programa de Restrição ao Trânsito de Veículos Automotores no Município de São Paulo foi criado pela Lei nº 12.490 e regulamentado pelo Decreto nº 37.085. O rodízio proíbe veículos de trafegar em ruas e avenidas do chamado minianel viário em determinados dias da semana, de acordo com o número final da placa, das 7h às 10h e das 17h às 20h.

³² Essas regras foram condenadas pela Organização Mundial do Comércio.

às regras do InovarAuto e à redução concomitante do IPI, que impunha algumas restrições à importação.

Atualmente, em clima de incertezas quanto à nova política industrial, pode-se afirmar que as alíquotas do imposto sobre produtos industrializados (IPI) atuam como um desestímulo à tecnologia híbrida ou elétrica. Isso porque os veículos leves com essas características têm IPI de 25% sobre o valor de venda veículo, similar a veículos de maior cilindrada. A atual Tabela de Incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados apresenta valores para esse tributo entre 7% e 25% para veículos leves, de acordo com a cilindrada do motor. Embora tenha sido anunciada recentemente uma redução do IPI para os veículos elétricos e híbridos, até o momento não há notícias disso.³³

Além dessa iniciativa, tramita no Senado Federal desde 2012 um projeto de lei que concede isenção do IPI às operações com VEs, extensivo às matérias-primas, peças e embalagens utilizadas no processo produtivo, bem como à importação de carros elétricos dos países do Mercosul (PLS 415/2012 Mercosul).

No que se refere ao transporte público, a situação quanto a tributos é diferente. Os ônibus já têm isenção de IPI, e a importação é em geral desestimulada pelas condições de financiamento ofertadas. As taxas de financiamento mais convenientes, oferecidas pelo BNDES, por exemplo, são aplicadas a veículos novos nacionais. Mas, mesmo ainda não se enquadrando nas condições do financiamento do BNDES, a redução do Imposto de Importação definida pela Resolução Camex nº 34, de 20 de abril de 2016, beneficiou o início da operação da empresa chinesa BYD no Brasil, que pode trazer, a um custo menor, peças e componentes para montagem do veículo no país. Para a Eletra, que já tinha altos níveis de nacionalização, no entanto, essa redução do Imposto de Importação foi praticamente inócua. Para a Volvo, o impacto foi pequeno, pois a empresa já produzia ônibus híbridos no país com a maior parte dos componentes nacionais.

Outro estímulo importante no caso de ônibus são as linhas de financiamento com condições mais convenientes para elétricos e híbridos, com taxas de juros menores e prazos mais dilatados. Nessa linha, enquadra-se o financiamento do BNDES utilizando recursos do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima. Esse financiamento é voltado à aquisição de ônibus elétricos, híbridos e outros com tração

elétrica, novos e nacionais, além dos movidos a etanol. As taxas são bem menores do que as disponíveis para financiamentos de ônibus a diesel (Finame BK Aquisição e Comercialização), por exemplo.

Embora com potencial impactante, vale destacar que essa medida por si só pode não induzir à efetiva eletrificação, pois outros fatores, como conhecimento da tecnologia tradicional, incertezas relacionadas ao desempenho operacional das novas tecnologias e infraestrutura para recarga, exigem coordenação de outras medidas.

INFRAESTRUTURA DE RECARGA

Como apontado pelas experiências internacionais, a infraestrutura de carregamento é um fator-chave para o avanço da eletromobilidade. As ações necessárias podem estar relacionadas à criação de infraestrutura privada ou pública, de carga lenta ou rápida.

Os primeiros passos para criar essa infraestrutura, embora ainda tímidos, já podem ser notados e incluem medidas relacionadas a projetos-piloto, à legislação para definir um modelo de negócio, a discussões técnicas e a padronizações, entre outras.

No que se refere a projetos-piloto e iniciativas de instalação de eletropostos no país, alguns exemplos são:

- Projeto Emotive – Programa de Mobilidade Elétrica da CPFL Energia, uma das maiores empresas do setor elétrico brasileiro.³⁴ Entre as iniciativas desse projeto, está a parceria com a rede Graal, maior empresa de postos de serviço em rodovias no país, o que viabilizou a instalação de eletropostos no sistema rodoviário entre Campinas e Jundiaí, primeiro corredor intermunicipal para VEs no Brasil.
- Oferecimento, pela montadora alemã BMW, de pontos de recarga gratuita de VEs em seis cidades brasileiras (Belo Horizonte, Brasília, Curitiba, Joinville, Rio de Janeiro e São Paulo). A maioria desses eletropostos está instalada em estacionamentos de *shopping centers* e lojas de rede de supermercado. A partir do ano que vem, está prevista a construção de um corredor de eletropostos na via Dutra, entre São Paulo e Rio de Janeiro. O projeto ocorre em parceria com a EDP Brasil, empresa do setor de energia.

³³ As distorções no IPI não afetam ônibus, que são isentos desse imposto.

³⁴ Projeto de P&D, tem como objetivo a constituição de um Laboratório Real de Mobilidade Elétrica na Região Metropolitana de Campinas para permitir a coleta de dados sobre as aplicações e implicações da tecnologia, possibilitando o estudo e aprofundamento dos impactos dos VEs para o setor elétrico, além de proporcionar a criação de uma cultura em mobilidade elétrica para a Região Metropolitana de Campinas, assim como para o país.

- Parceria da Nissan com Petrobras e Eletropaulo para abastecimento e recarga, viabilizando o serviço de táxi com o Nissan Leaf em São Paulo e no Rio de Janeiro desde 2012.
- Projeto da Fundação CERTI e Celesc Distribuição S.A, dentro do programa de P&D da Aneel: eletropostos estrategicamente instalados entre Florianópolis e Joinville para garantir mobilidade elétrica entre as principais cidades do estado, formando o primeiro corredor elétrico do sul do país.

Um aspecto importante para a ampliação do número de eletropostos é a regulação. O modelo de cobrança da recarga está em processo de definição pela Aneel. Após consulta pública, a agência deve divulgar em breve as condições para esse serviço, tendo como premissa a criação de infraestrutura sem impacto para o consumidor de energia atual. Ou seja, os investimentos e custos da energia para recarga devem ser cobertos totalmente por essa nova atividade, sem subsídios cruzados.

Outra iniciativa para a criação de infraestrutura é o Projeto de Lei da Câmara nº 65, de 2014, já aprovado pela Comissão de Serviços de Infraestrutura do Senado e aguardando deliberação do plenário da Câmara. Esse PL institui a obrigatoriedade de instalação de pontos de recarga para VEs em vias públicas e em ambientes residenciais e comerciais. O texto prevê que a instalação de eletropostos seria realizada somente a pedido dos proprietários em edifícios (comerciais e residenciais) ou em vias públicas, com a devida autorização do poder público local. Os custos, entretanto, seriam arcados pelos clientes.

Outro tema relacionado a eletropostos é a padronização de plugues, ainda sem sinal de acontecer no país.

No caso da infraestrutura de recarga para ônibus, há questões técnicas, financeiras e institucionais a serem equacionadas. Uma grande vantagem desses veículos em relação aos leves no que se refere à recarga é o fato de terem rotas fixas, com fluxos e demandas conhecidos, facilitando muito o planejamento da infraestrutura necessária. As questões técnicas incluem desenvolvimentos e decisões sobre recarga em garagens, com equipamentos de carga normal, ou de oportunidade, com equipamentos de carga super-rápida, que podem ser instalados no percurso dos ônibus. Essas soluções devem ser compatibilizadas com a operação para que não haja impacto negativo no nível de serviço de transporte. O tempo de carga em cada situação dependerá da capacidade das baterias e do equipamento de recarga, variando de minutos a horas.

O financiamento dos pontos de recarga deve ser equacionado no modelo de negócios que viabiliza o ônibus elétrico ou híbrido *plug-in*. Pode fazer parte da solução a oferta de

financiamentos dessa infraestrutura a taxas reduzidas, ou a disponibilização, pelo poder público, de infraestrutura de recarga pública em terminais ou ao longo das linhas.

POLÍTICAS DE PLANEJAMENTO E OUTRAS PROMOÇÕES

ACORDO COMERCIAL ENTRE MERCOSUL E UNIÃO EUROPEIA

Concomitante com as discussões de política industrial que visam estimular a posição competitiva do Brasil, estão em curso negociações de um acordo comercial entre o Mercosul e a União Europeia. Essas negociações são complexas e vêm se desenvolvendo há décadas. Entre os temas, discute-se o grau de proteção a ser colocado para a indústria nacional nos setores abrangidos nesse acordo, em especial a indústria automobilística. Vale lembrar que as tensões comerciais recentes entre a China e os Estados Unidos acrescentam incertezas ao cenário mundial. Novamente, deve ser avaliado o tema da eletrificação como impulsionador de oportunidades para o país ou, no mínimo, como algo relevante para evitar a ampliação das desvantagens de uma introdução tardia dessa tecnologia. A Europa, um mercado importante, tem adotado metas agressivas para a redução de emissões veiculares, induzindo à eletrificação. Alguns países europeus, como França e Reino Unido, reforçam essa rota com o banimento do motor a combustão em um futuro próximo. Têm surgido ainda na Europa sinais para a redução ou restrição de biocombustíveis de primeira geração na matriz energética. Cabe ao Brasil avaliar com atenção suas vantagens competitivas perante as mudanças no cenário internacional, numa ótica de curto, médio e longo prazos.

Adotar políticas de incentivo ao desenvolvimento tecnológico do setor e reforçar a competitividade das autopeças locais é fator crítico para que o país não perca as oportunidades em mercados internacionais.

OUTRAS POLÍTICAS PÚBLICAS

A eletromobilidade tem permeado discussões em diversos órgãos federais nos últimos anos, refletidas em documentos de referência. Não se pretende apresentar um levantamento exaustivo desses documentos, mas revisará-los em uma sequência cronológica para fomentar novas análises e acompanhamentos. São documentos de naturezas distintas, elaborados em momentos diferentes e com objetivos diversos, como estudos exploratórios, consolidação de análises e proposições setoriais, diretrizes governamentais e planos energéticos. O Quadro 3-2 sintetiza alguns deles.

Quadro 3-2 | Referências governamentais para a eletromobilidade

Órgão	Documento	Síntese
ABDI	Estudo prospectivo setorial-automotivo Relatório final (2009)	Documento elaborado com a colaboração de diversas entidades, incluindo órgãos governamentais e representantes da indústria automobilística e de setores associados. O objetivo foi traçar uma visão de futuro num horizonte de 25 anos para o setor automobilístico. Aborda temas como mercado, tecnologia, políticas públicas, competências e talentos. No que se refere a veículos elétricos e híbridos, apresenta um mapa tecnológico e estratégico que embasa a proposição de ações.
MME	Plano Nacional de Eficiência Energética – premissas e diretrizes básicas (Portaria nº 594, de 2011)	Apresenta diretrizes para atingir metas de energia no contexto do Plano Energético Nacional para 2010-2030. São propostas as seguintes linhas de ação relacionadas com eletromobilidade: <ul style="list-style-type: none"> • promover desenvolvimento tecnológico para a melhoria dos motores de veículos, incluindo opções de motores híbridos e elétricos; • estudar uma redistribuição tributária para desonerar o IPI e IPVA de veículos energeticamente mais eficientes e/ou com menor emissão de poluentes; • examinar incentivos, como subsídios ou benefícios tarifários, para a entrada de VEs individuais, incluindo estudos sobre a regulação no setor elétrico.
BNDES	O papel do BNDES no desenvolvimento do setor automotivo brasileiro (2012)	Traz uma análise histórica da atuação do BNDES nas políticas para o setor automobilístico e apresenta trajetórias de incentivos nos últimos anos voltadas à inovação tecnológica. Quanto a VEs, os autores entendem que, anteriormente à disseminação de sua tecnologia, deveria haver uma passagem pela hibridização ou a produção de veículos híbridos, que combinam as tecnologias a combustão e elétrica.
BNDES	Boletim Setorial 41 Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento (2015)	Apresenta uma síntese de incentivos globais e nacionais, bem como possíveis políticas públicas específicas por segmento do setor automobilístico. Classifica essas propostas quanto à esfera administrativa, à abrangência, aos custos fiscais e à complexidade.
Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)	Texto para Discussão Impactos ambientais e econômicos dos veículos elétricos e híbridos <i>plug-in</i> : uma revisão da literatura (2015)	Faz uma breve revisão da literatura sobre custos e benefícios de VEs e veículos híbridos do tipo <i>plug-in</i> , com ênfase em seus benefícios em termos de redução da emissão de GEEs e de poluentes de efeito local. Conclui que os veículos híbridos, ainda que tenham de superar barreiras tecnológicas e culturais, apresentam um grande potencial não apenas de elevar a eficiência energética do setor de transporte, mas também de contribuir para aumentar a eficiência e reduzir os custos relacionados à produção de energia elétrica. Esses veículos, segundo o autor, podem servir de ponte entre os veículos convencionais e os elétricos quanto ao desenvolvimento tecnológico.
MME	PDE 2026 (2017)	Aponta que as transições para novas tecnologias em eletromobilidade são usualmente lentas e que, além dos desafios iniciais de entrada no mercado, surgem barreiras que podem se contrapor aos ganhos de escala esperados. Projeta uma participação de menos que 1% de veículos híbridos flex na frota nacional em 2026.

Questões como desenvolvimento tecnológico e incentivos governamentais de diversas naturezas são recorrentes nesses documentos, o que é esperado em se tratando de tecnologia disruptiva. Embora muitos temas tenham sido levantados e discutidos, poucas ações concretas se desenvolveram a partir deles no que se refere à eletromobilidade. Outra questão a observar nesses documentos é a variação nas projeções quanto à participação de híbridos e elétricos na frota: numa das

primeiras projeções apresentadas no documento da ABDI (2009), construído em colaboração com diversos atores, estimou-se uma penetração brasileira de 15% em 2034. No documento mais recente apresentado pela EPE, o PDE 2026, essa participação é projetada para menos de 1% em 2026. É de fato difícil precisar a participação futura desses veículos na frota, especialmente na ausência de um direcionamento mais claro quanto a isso.

DEEP-DIVE NO TRANSPORTE PÚBLICO NO BRASIL

Há consenso entre os atores relevantes de que a prioridade de curto prazo para a eletromobilidade no Brasil deve ser a eletrificação dos ônibus. Isso traria uma série de benefícios ambientais, incluindo melhor qualidade do ar e da saúde pública, menos ruído e menos emissões de GEEs. Além dos benefícios ambientais, investimentos em ônibus urbanos elétricos se alinham com incentivos do governo à mobilidade urbana e à promoção do transporte público sobre a motorização individual.

Este capítulo apresenta a Lei do Clima, de São Paulo, que levou ao compromisso da cidade com ônibus com emissão zero. Apresenta, também, estimativas iniciais dos benefícios ambientais da eletrificação dos ônibus, uma avaliação de novos modelos de negócio para frotas cativas de transporte público e uma análise preliminar da capacidade produtiva de ônibus elétricos no Brasil.

LEI MUNICIPAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS: O CASO DE SÃO PAULO

Numa iniciativa pioneira no Brasil e na América Latina, foi sancionada a Lei nº 14.933, de 5 de junho de 2009, que instituiu a Política de Mudança do Clima no Município de São Paulo. Com diretrizes abrangentes, essa lei estabeleceu metas de redução de emissões antrópicas de GEEs geradas no município em relação ao patamar expresso no inventário em 2005 pela Prefeitura Municipal de São Paulo.³⁵ Estabeleceu, ainda, uma série de medidas para atingir essas metas.

Em seu artigo 50, essa lei define reduções progressivas do uso de combustíveis fósseis de 10% ao ano, sendo que, em 2018, todos os ônibus do sistema de transporte público do município deveriam utilizar combustível renovável. No entanto, em 2017, da frota de mais de 14.000 ônibus que fazem parte do sistema paulistano de transporte público, apenas 1,5% atendia às exigências previstas na

lei. Ficou evidente a impossibilidade de atendimento e, por consequência, foi promulgada a Lei nº 16.802, de 17 de janeiro de 2018, alterando o artigo 50 da Lei nº 14.933/2009. Além de metas de redução de GEEs para 10 e 20 anos, a nova lei estabelece metas de diminuição de poluentes locais, incluindo MP e NOx, conforme expõe o Quadro 4-1.

Com essa lei, a cidade renova seus contratos de concessão do transporte público, o que deverá acelerar a renovação da frota e a introdução de tecnologias mais limpas. Para os níveis de redução exigidos e o atingimento das metas, especialmente no que se refere a CO₂ de origem fóssil, ônibus elétricos ou híbridos devem gradualmente integrar a frota.

Quadro 4-1 | Metas de redução de poluentes estabelecidas na Lei do Clima de São Paulo

Parâmetro	Ao final de 10 anos	Ao final de 20 anos
CO ₂ de origem fóssil	50%	100%
MP	90%	95%
NOx	80%	95%

Embora adie por mais 20 anos a exigência de uma frota com emissão zero de escapamento, essa nova lei foi fruto de discussões entre diversos setores interessados e representantes da sociedade civil e da municipalidade.

Concomitantemente à promulgação dessa legislação, iniciou-se o processo licitatório do Serviço de Transporte Coletivo Público de Passageiros na cidade de São Paulo. Foram apresentados os documentos do processo para consulta pública com o objetivo de obter da sociedade civil contribuições para o seu aprimoramento e, após esse processo, o edital final para apresentação de propostas.

³⁵ Iniciativas similares se seguiram a essa. Por exemplo, em Belo Horizonte a Lei Municipal nº 10.175, de 6 de maio de 2011, estabelece em seu artigo 44 que “os programas, contratos e autorizações municipais de transportes públicos devem considerar a redução progressiva do uso de combustíveis fósseis, ficando adotada meta progressiva de redução de, pelo menos, 10% (dez por cento) a cada ano, a partir da publicação desta Lei”.

Pela análise desses documentos sob a ótica da redução de emissões, depreende-se que o cumprimento das metas está vinculado ao equilíbrio econômico-financeiro futuro do contrato estabelecido entre o concessionário e poder concedente. É exigida a apresentação de um cronograma de composição da frota em 120 dias a partir da assinatura do contrato, de acordo com o Edital. Esse aspecto pode representar um risco ao atendimento às metas de redução caso não haja mecanismos para mitigar os eventuais aumentos de custo pelas novas tecnologias. Em outras palavras, tanto a legislação quanto o edital vinculam a introdução de novas tecnologias à viabilidade econômico-financeira. Embora isso seja adequado, pode significar uma justificativa para o não cumprimento das metas de redução.

De acordo com a atual política tarifária do município de São Paulo, os recursos para cobrir os custos do sistema de transporte público são oriundos da tarifa paga pelos usuários, dos subsídios e investimentos suportados pelo município, dos empregadores que fornecem, por lei, vale-transporte a seus funcionários e de outras fontes, como multas, publicidade, aluguéis e recargas do bilhete único (Figura 4-1).

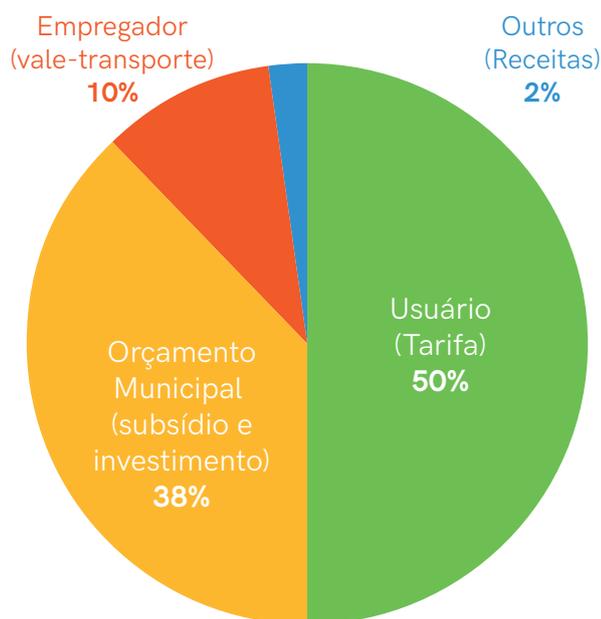


Figura 4-1 | Fontes de recursos para o sistema de transporte público de São Paulo (SPTrans, 2017)

Portanto, qualquer incremento nos custos é geralmente compensado com maior subsídio do município, que depende de dotações orçamentárias definidas, ou com aumento da tarifa. No entanto, a pressão do cidadão para que esse aumento não aconteça é grande, e a questão de modicidade tarifária deve ser sempre considerada. A

busca por outras fontes de financiamento, ainda que hoje pouco representativas no conjunto de recursos, pode ser uma opção.

Há ainda efeitos perversos na equação de despesas e receitas causados pela redução gradual do número de pagantes no sistema e, portanto, dos recursos advindos da tarifa. Por outro lado, está prevista no Edital de São Paulo uma reorganização de linhas, o que se espera gerar um aumento de produtividade do sistema e uma redução proporcional de seus custos. Os eventuais ganhos dessa reorganização, segundo o edital, deverão ser divididos entre o poder concedente e o concessionário em partes iguais.

Criada a demanda por soluções que resultem no cumprimento das metas, os próximos passos envolvem a interlocução entre poder público, fabricantes, concessionárias de energia, fornecedores da infraestrutura de recarga, órgãos financiadores e de fomento e sociedade civil, entre outros. Testes de novas tecnologias têm sido realizados e são imprescindíveis para avaliar seu desempenho em condições operacionais, evitando impactos negativos não previstos sobre a qualidade do serviço oferecido ou mesmo seus custos. Das lições aprendidas em casos de sucesso no mundo, as estratégias para a mobilidade estão intimamente associadas a planos abrangentes de ação. Nesses planos devem ser considerados aspectos como avaliação do desempenho operacional de novas tecnologias, avaliação de projetos-piloto quando necessário e estudos técnicos complementares, avaliação do modelo de negócios, proposição para garantir o equilíbrio econômico financeiro dos contratos de concessão, análise e proposição de incentivos e fontes de financiamento para viabilizar tecnologias inovadoras de baixa emissão. É essencial o papel do governo local na construção desses planos e na coordenação e no acompanhamento da execução das atividades.

BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DE ÔNIBUS ELÉTRICOS

Como uma das prioridades deste projeto é avaliar as políticas de eletromobilidade para frotas de ônibus urbanos, realizamos uma avaliação quantitativa dos potenciais benefícios em termos de emissão de poluentes atmosféricos climáticos e locais por ônibus elétricos a bateria (BEBs). Esses benefícios são significativos em comparação com a emissão por parte de ônibus convencionais a diesel, atualmente a maioria da frota brasileira. Os BEBs são muito mais eficientes que os ônibus a diesel, o que significa que menos energia precisa ser fornecida pelo combustível para mover o ônibus e as

cargas auxiliares de energia. Além disso, a quantidade relativamente abundante de eletricidade brasileira produzida a partir de fontes renováveis (por exemplo, energia hidrelétrica) significa que as emissões de CO₂ associadas à produção da eletricidade necessária para alimentar os ônibus elétricos são menores do que em países que dependem de fontes que geram maiores emissões. A combinação desses dois fatores – a maior eficiência energética dos BEBs e a baixa intensidade de carbono da rede elétrica brasileira – sugere que o aumento da implementação desses ônibus pode levar a reduções profundas de emissões de CO₂ e contribuir para a descarbonização do setor de transporte brasileiro.

Uma análise recente do ICCT investigou até que ponto a transição para BEBs no Brasil pode reduzir as emissões de CO₂ da frota brasileira de ônibus (ICCT, 2017). Essa análise considerou três caminhos hipotéticos para a adoção de BEBs no Brasil, como evidencia a Figura 4-2: permanência das vendas de BEBs em zero (sem BEBs) ou crescimento até 100% das novas vendas de ônibus até 2030 (BEBs rápidos) ou 2035 (BEBs moderados).

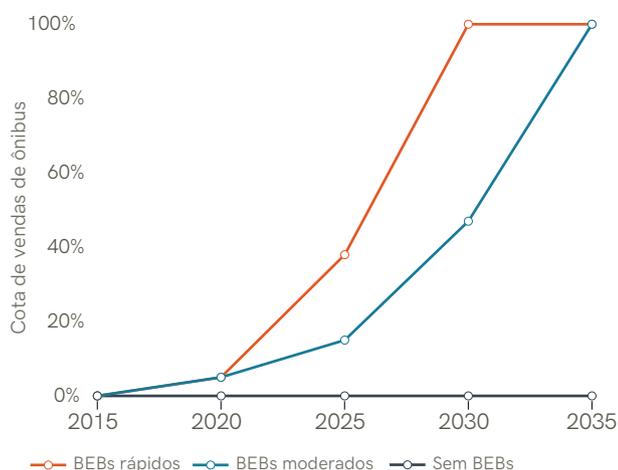


Figura 4-2 | Adoção de BEBs no Brasil

Essa análise mostra que há uma oportunidade significativa para a redução de emissões de CO₂ com a eletrificação da frota brasileira de ônibus. Sem eletrificação, as emissões anuais de CO₂ da frota apresentam poucas mudanças entre 2015 e 2040, permanecendo entre 25 e 28 milhões de toneladas por ano ao longo do período de modelagem de 25 anos. Por outro lado, os dois cenários de eletrificação resultam em uma redução significativa nas emissões de CO₂. No cenário de implementação moderada de BEBs, as emissões anuais em 2040 são reduzidas em 47% em relação a uma linha de base de 2015, e 94 milhões de toneladas métricas de emissões de CO₂ são evitadas em relação ao cenário tradicional de zero BEBs entre 2015 e 2040. Uma

transição mais rápida para BEBs, conforme representada no cenário de BEBs rápidos, gera benefícios de emissões de CO₂ ainda maiores. Neste caso, as emissões anuais devem cair para 12 milhões de toneladas por ano em 2040, uma redução de 57% em relação à linha de base de 2015. No total, 145 milhões de toneladas de emissões de CO₂ são evitadas entre 2015 e 2040 no cenário de BEBs rápidos em relação ao caso em que não há adoção de BEBs na frota brasileira. Além dessas reduções nas emissões de CO₂, a substituição de ônibus a diesel P7 por BEBs reduz significativamente as emissões de carbono negro, um potente poluente climático de vida curta (ICCT, 2017).

A Figura 4-3 mostra a potencial redução nas emissões de CO₂ com o aumento dos BEBs no país.

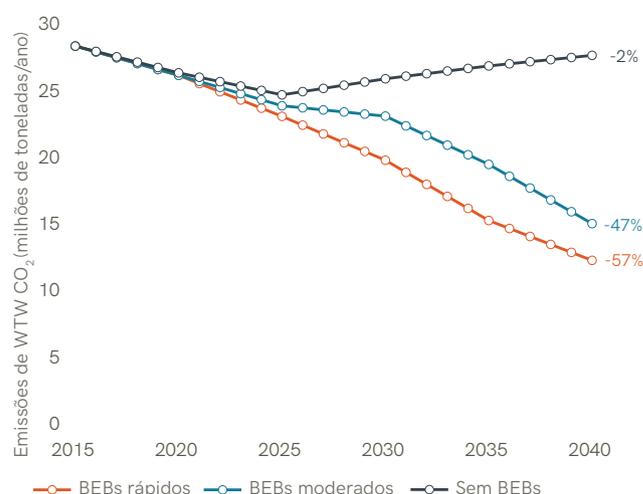


Figura 4-3 | Efeito do crescimento dos BEBs nas emissões anuais de CO₂ poço à roda (WTW) no Brasil ³⁶

FROTAS CATIVAS DE TRANSPORTE PÚBLICO E NOVOS MODELOS DE NEGÓCIO

O exemplo atual do transporte público no município de São Paulo remete à discussão mais ampla sobre financiamento ou novos modelos de negócio para viabilizar a introdução de novas tecnologias em frotas cativas de transporte público. Os sistemas de transporte público têm que manter o equilíbrio econômico e financeiro para não se degradarem ao longo do tempo. Para que ocorra a ampliação e qualificação constante dos serviços oferecidos, incluindo a introdução de novas tecnologias, é necessário considerar outras fontes de recursos.

No que se refere à eletromobilidade no transporte público, têm surgido elementos que buscam dar respostas à questão do equilíbrio econômico e financeiro.

³⁶ As porcentagens indicam mudanças nas emissões em 2040 em comparação à linha de base de 2015 para cada cenário de adoção de BEBs.

Vale destacar que variáveis como a queda do preço da tecnologia, o preço da energia elétrica e dos combustíveis fósseis e novos modelos de negócio contribuem para a eletrificação do transporte público. Algumas alternativas podem ser exploradas:

- **Aluguel de baterias:** uma das soluções que têm sido apresentadas é não inclusão da bateria no custo de aquisição dos ônibus elétricos ou híbridos, incorporando-a em um contrato de *leasing* ou em pacote de serviços. Parcela importante do custo, as baterias podem representar mais de 1/3 do valor total do ônibus, embora esse valor apresente uma tendência de redução acelerada. Assim, não incorporar as baterias no custo do veículo tem ampliado a competitividade desses veículos perante a tecnologia tradicional a diesel. Com essa solução, também são viabilizados financiamentos em que é exigido um percentual de nacionalização do veículo. Outra vantagem, além de contribuir com a viabilização das novas tecnologias, é a segurança quanto à disponibilidade para o concessionário após a vida útil das baterias, que são substituídas com custos previsíveis e possivelmente decrescentes;
- **Idade máxima:** pode-se alongar a idade máxima para VEs em comparação ao veículo diesel. Embora a justificativa para esse alongamento seja técnica, associada à maior durabilidade de veículos a tração elétrica, esse prazo estendido faz com que a amortização do investimento também seja ampliada. Para exemplificar, no caso de São Paulo, a idade máxima do veículo é de 15 anos para a frota com tração elétrica e de 10 anos para a frota a diesel.
- **Fornecimento de energia elétrica:** parte-chave da viabilidade da tração elétrica é o custo da energia. A ação do poder público na articulação com a agência reguladora e os concessionários para incorporar a nova demanda de energia do transporte público é importante. Nesse aspecto, vale citar as ações da Aneel voltadas ao aperfeiçoamento da estrutura tarifária e ao estímulo à criação de infraestrutura de recarga. Além dessas iniciativas, contribui a recente criação da tarifa branca, com valores reduzidos para horários de menor demanda.
- **Combinação de soluções:** ônibus elétrico e células fotovoltaicas nas garagens para geração de energia elétrica (geração distribuída). O planejamento energético brasileiro no curto prazo inclui a geração de energia elétrica de fontes renováveis, como

hidrelétrica, eólica e solar (PDE 2026). A geração solar a partir de células fotovoltaicas em garagens pode acelerar a viabilidade da eletromobilidade, além de contribuir para um mix de energia mais limpo. Esse modelo de negócios deve ser explorado mais a fundo.

- **Novas fontes de financiamento do transporte público:** é um tema recorrente nos últimos anos, quando a pressão popular contra o aumento de tarifas se fez presente no país.

O financiamento do transporte público tem estado em pauta, especialmente nos últimos anos.³⁷ A pressão pelo aumento da tarifa em contraponto à modicidade tarifária e o incremento dos subsídios ao transporte público com as restrições orçamentárias impostas aos municípios têm adicionado complexidade ao debate. Nesse contexto, discussões sobre novas formas de financiamento do transporte público ressurgem e podem, como um exercício, ser agregadas às discussões de internalização das externalidades negativas no transporte, tanto individual quanto coletivo. Novas fontes de financiamento podem surgir, tendo como premissas a equidade de acesso dos cidadãos ao transporte público coletivo e a mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos no deslocamento de pessoas.³⁸ Desta forma, as discussões de financiamento vão além do mero exercício do equilíbrio econômico e financeiro diante do custo de novas tecnologias, mas são inseridas como ações de políticas públicas para atingir objetivos de mobilidade urbana mais socialmente equânimes e menos causadores de externalidades negativas.

CAPACIDADE PRODUTIVA PARA ÔNIBUS ELÉTRICOS NO BRASIL

Sem a pretensão de aprofundar a análise da capacidade produtiva de VEs, apresenta-se uma revisão de dados e informações públicas para sistemas de propulsão elétrica no Brasil, com ênfase em ônibus.

A fabricação e a montagem final de ônibus compreendem dois grupos de empresas: o fabricante do chassi, envolvendo grandes fabricantes mundiais, e o fabricante da carroceria, encarregada da montagem final do veículo.

Para os ônibus tradicionais a diesel, o mercado nacional de chassis tem poucos fabricantes, todas empresas de capital estrangeiro: a Mercedes Benz, com a maior participação no mercado, a MAN, a Volvo e a Scania (Figura 4-4).

³⁷ As manifestações e os protestos que surgiram no país em 2013 contra aumentos de tarifa são emblemáticos. A partir desses movimentos, o tema financiamento do transporte público tornou-se recorrente. As soluções dadas na época remeteram em grande parte a desonerações tributárias ou subvenções, mas são limitadas quanto à capacidade de responder continuamente às necessidades.

³⁸ Essas são algumas das diretrizes e dos princípios do Plano Nacional de Mobilidade Urbana, instituído pela Lei nº 12.587/2012.

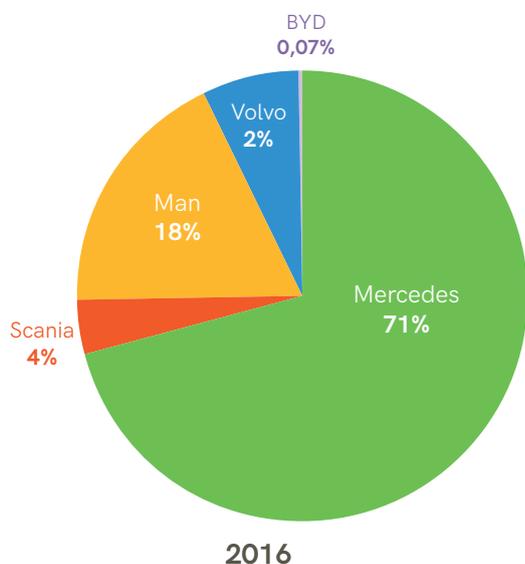


Figura 4-4 | Market share de ônibus a diesel

Já as empresas fabricantes da carroceria são, em sua maioria, de capital nacional. As principais nesse segmento são Marcopolo/Neobus, Comil, Caio Induscar, Mascarello, Busscar e Ciferal.

Em 2017, 11.755 ônibus novos foram licenciados no país, a quase totalidade a diesel.³⁹ Esse número corresponde a cerca de um terço dos licenciamentos ocorridos em 2011, que chegou a 34.546 unidades (Anfavea, 2018). É pouco representativo o licenciamento de ônibus elétricos e híbridos até o momento, não havendo estatísticas consolidadas sobre esses veículos. A fabricação de ônibus elétricos e híbridos está limitada a três empresas, Eletra (São Bernardo do Campo, SP), Volvo (Curitiba, PR) e BYD (Campinas, SP), cujas capacidades de produção estão indicadas no Quadro 4-2.

Quadro 4-2 | Capacidade instalada atual e futura de ônibus elétricos e híbridos no país

Fabricante	Capacidade atual	Capacidade futura planejada
BYD	1 chassi por turno, ou seja, cerca de 1.000 chassis por ano	Se previsões de mercado se concretizarem, expandirá as operações até 2020, instalando uma segunda planta e atingindo até 2.500 chassis por ano.
Eletra	1.080 veículos ao ano, isto é, 90 por mês em até 10 meses	Pode ampliar a capacidade em 20 meses, passando a 200 veículos por mês, uma vez que é integradora de sistemas. O chassi é fornecido pelos mesmos fabricantes de chassi para veículos a diesel. O motor Weg não representaria um gargalo, e a bateria é importada.
Volvo	400 veículos híbridos por ano, em maior ou menor grau de conteúdo nacional, de acordo com a demanda	Poderá ampliar essa capacidade, mas sempre em função de se concretizar a demanda projetada. Além dos híbridos, tem planos para fabricar ônibus elétricos no Brasil.

A Mercedes Benz, atual líder do mercado de ônibus, não apresenta até o momento indicações de fabricação de ônibus elétricos no país. A Man, segunda em termos de *market share*, e a Scania, a quarta, também não têm projeto de ônibus elétricos ou híbridos no país ainda. A Scania vem testando a tecnologia na Europa e tem um cronograma de introdução de elétricos e híbridos *plug-in*. Já oferece alguns produtos híbridos na Europa. A Man tem anunciado o lançamento de caminhão elétrico desenvolvido no Brasil, em parceria com a Weg. A Mercedes já iniciou testes com caminhão elétrico com clientes na Europa e anuncia o objetivo de chegar à produção em série até 2021 nesse continente.⁴⁰

Deve ser avaliada a capacidade de toda a cadeia de produção, incluindo peças e componentes. Um componente crítico para o conjunto é a bateria, atualmente importada. Sua nacionalização está também vinculada à demanda futura.

A produção da carroceria desses veículos utiliza a mesma capacidade instalada que já atende a veículos a diesel, portanto, não seria um gargalo para atender a nova demanda. Vale destacar que, em 2014, foram licenciados no país mais de 34.000 ônibus novos, cerca de 3 vezes mais do que em 2017, o que demonstra a ociosidade atual nessa indústria.

A capacidade instalada para a fabricação de elétricos e híbridos, incluindo a produção de peças e componentes, é altamente dependente de projeções de mercado, pois envolve investimentos. Portanto, as estimativas de capacidade instalada futura refletem as incertezas desse mercado. Numa avaliação preliminar, considerando a capacidade instalada no país, parece não haver atualmente grandes gargalos na produção do ônibus elétrico. A capacidade instalada se adaptará a novas demandas caso as previsões se tornem mais firmes. Em função dessa demanda futura, as decisões sobre investimentos definirão o grau de nacionalização de peças e componentes, incluindo a bateria.

³⁹ Esse total inclui ônibus urbano e rodoviário, micro-ônibus e ônibus.

⁴⁰ Conforme publicação extraída de <https://www.mercedes-benz.com.br/institucional/imprensa/releases/caminhoes/2018/2/20540-mercedes-benz-inicia-testes-com-caminhao-eletrico-nos-clientes>

AVALIAÇÃO DO CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE DA ELETRIFICAÇÃO DE ÔNIBUS DE TRANSPORTE PÚBLICO

Este capítulo inclui a avaliação do custo de transição da frota de ônibus de transporte público a diesel na cidade de São Paulo para ônibus elétricos. São Paulo foi selecionada como um estudo de caso para o custo de eletrificação de frotas de ônibus em trânsito em cidades brasileiras por diversas razões. Ela conta com o maior sistema de transporte público municipal do Brasil, com uma frota atual de mais de 14.000 ônibus. Além disso, recentemente se comprometeu com uma transição acelerada para tecnologias de ônibus e combustíveis mais limpos por meio da adoção da Lei nº 16.802/2018 (Cidade de São Paulo, 2018). Essa lei altera o artigo 50 da Lei do Clima da cidade e estabelece metas de redução de emissões de CO₂ e de poluentes atmosféricos para a frota municipal, incluindo ônibus de transporte público, para 10 anos e 20 anos. Espera-se que esta legislação acelere a adoção de ônibus elétricos com emissão zero na frota da cidade. Os resultados do estudo de caso de São Paulo são utilizados para fundamentar as recomendações para outras cidades brasileiras, com foco nos componentes de custo que têm maior relevância para a transição para ônibus elétricos.

Essa avaliação aplica uma abordagem de custo total de propriedade (TCO) para estimar o custo de transição da frota de São Paulo para VEs. Essa abordagem considera tanto o preço de compra dos ônibus quanto a infraestrutura associada, além dos custos operacionais e de manutenção ao longo da vida útil do veículo. A abordagem visa primeiramente estimar o TCO de veículos individuais das tecnologias convencionais de diesel e elétrica para cada tipo de ônibus utilizado na frota de São Paulo. As tecnologias de acionamento elétrico consideradas para a avaliação do TCO de um ônibus individual incluem ônibus híbridos elétricos (HEB) a diesel, ônibus elétricos a bateria (BEB) e ônibus elétricos a células de combustível (FCEB). Para os BEBs, a análise considera as tecnologias de carregamento na garagem e na rota. Embora o foco dessa avaliação recaia nas tecnologias de acionamento elétrico, os biocombustíveis desempenham um papel importante

no *mix* de energia de transporte no Brasil. Dessa forma, os ônibus a biodiesel também são incluídos nas estimativas de custo. Esta análise assume que os ônibus a biodiesel são certificados de acordo com as normas de emissão equivalentes à Euro VI e alimentados com uma mistura de 100% de biodiesel à base de soja (B100).

Os resultados da avaliação do TCO de ônibus individuais são então aplicados para estimar os custos totais ao longo da vida útil da transição de toda a frota de ônibus de transporte público de São Paulo para selecionar tecnologias alternativas, incluindo HEBs a diesel, BEBs de carga de garagem e ônibus a biodiesel. Esta análise considera o custo de concluir a transição em 10 anos, correspondendo aproximadamente às taxas normais de substituição da frota, e dentro de 5 anos, representando uma transição acelerada. Em ambos os casos, as estimativas de custo são comparadas com um cenário de linha de base, no qual todas as novas compras de ônibus são consideradas como de ônibus a diesel certificados de acordo com o padrão atual de emissão para veículos pesados, o Proconve P7. Cada cenário de compra inclui o total de emissões de poluentes climáticos ao longo da vida útil (GEE e carbono negro). A saúde monetizada e os danos climáticos causados por essas emissões são avaliados para explorar o impacto da inclusão dos custos sociais nas avaliações do TCO.

Uma análise de sensibilidade é apresentada para explorar a influência dos componentes individuais de custo nas estimativas de TCO e explicar a incerteza nos dados e as premissas subjacentes.

ABORDAGEM DO CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE

As práticas de compras e de contratação geralmente favorecem ou exigem a opção da tecnologia de ônibus com

o menor preço de compra. No entanto, o preço de compra é uma medida ruim do custo total de possuir e operar um veículo: ao longo de uma vida útil de 10 a 15 anos, os custos operacionais e de manutenção serão várias vezes o preço de compra de um ônibus convencional a diesel. Usar o preço de compra como a métrica para o custo também distorce essas comparações com tecnologias híbridas ou elétricas a bateria e outras tecnologias de ônibus que têm um preço de compra maior, mas reduzem substancialmente os custos de operação e manutenção e, em alguns casos, diminuem os custos líquidos ao longo da vida útil do ônibus (Miller et al., 2017).

Uma métrica melhor para comparar os custos de tecnologias de ônibus é o TCO, também conhecido como custo do ciclo de vida. O TCO é definido como a soma dos custos para adquirir, operar e manter o veículo e sua infraestrutura de abastecimento durante determinado período. O Quadro 5-1 resume os componentes do TCO considerados para esta análise. Uma vez que o objetivo é avaliar os custos que dependem da seleção da tecnologia de ônibus, alguns componentes — como administração, contratação de pessoal, licenciamento e registro, e seguro — não são avaliados. A inclusão desses custos não deve alterar o resultado dessa análise.

Quadro 5-1 | Componentes do TCO (Miller et al., 2017)

Categoria	Componente	Definição
Compra do ônibus e da infraestrutura	Entrada	Desembolso inicial de caixa para a compra do ônibus ou da infraestrutura. Considera-se que o valor remanescente será coberto por um financiamento.
	Empréstimos	Pagamento do principal e dos juros durante o período de financiamento.
	Valor de revenda	Se a duração da operação planejada for menor do que a vida útil do ônibus, esse fluxo de caixa positivo considera o valor de revenda do veículo depreciado.
Operações e manutenção	Abastecimento	Custo anual para abastecer o veículo, determinado pela eficiência do combustível, pela distância percorrida e pelo preço do combustível.
	Outros custos operacionais	Inclui o custo do ARLA 32 para ônibus a diesel e híbridos a diesel elétricos com sistemas de redução catalítica seletiva.
	Manutenção do ônibus	Custo de manutenção regular do ônibus. Inclui pneus, peças, lubrificantes etc. Não inclui custos de pessoal.
	Manutenção da infraestrutura	Caso não estiver incluído no preço de combustível de varejo, inclui o custo de manutenção da infraestrutura e operações.
	Reforma do ônibus	Para compras de ônibus que não incluem uma garantia vitalícia do veículo, uma revisão geral na metade da vida útil incluirá o custo de substituição das baterias para ônibus elétricos e de revisão do motor para outros ônibus. Para a análise de linha de base, assumimos que as garantias de bateria cobrem toda a vida operacional do ônibus.

Este trabalho considera um modelo de emissões e de custo de ônibus que foi desenvolvido pelo ICCT usando dados detalhados da frota atual de ônibus a diesel de São Paulo, incluindo informações sobre distribuição da frota por tipo de ônibus e idade, atividade anual dos ônibus e consumo de combustível, preços de compra de ônibus, custos de combustível e custos de manutenção (por exemplo, pneus e lubrificantes, peças e acessórios). Uma revisão da literatura foi realizada para complementar o conjunto principal de dados de São Paulo com informações semelhantes para os ônibus com tecnologia alternativa. As fontes de dados e as premissas de modelagem são descritas na seção a seguir.

VISÃO GERAL DA FROTA E FONTES DE DADOS

Esta seção fornece uma visão geral das fontes de dados utilizadas para quantificar insumos para o TCO e a modelagem de emissões.

VISÃO GERAL DA FROTA

Informações sobre a frota de São Paulo, incluindo o número total de ônibus por tipo e atividade anual programada, foram extraídas do edital publicado recentemente para a análise das exigências de licitação do sistema de transporte público da cidade (Prefeitura de São Paulo Mobilidade e Transportes, 2017). Este edital introduz novas exigências licitatórias para concessões e inclui disposições para a modernização e reorganização do sistema de transporte. Além disso, oferece projeções detalhadas para a composição da frota e atividade programada após a reorganização do sistema. Essas projeções são utilizadas para a modelagem dos custos e das emissões, pois são a melhor representação disponível das características da frota nos períodos de modelagem de 5 anos e 10 anos considerados aqui. O tamanho da frota projetada e a atividade programada por tipo de ônibus após a reorganização do sistema são mostrados no Quadro 5-2.

Quadro 5-2 | **Composição prevista e atividade programada da frota de ônibus urbanos de São Paulo após a reorganização do sistema (Prefeitura de São Paulo Mobilidade e Transportes, 2017)**

Tipo de ônibus	Comprimento do veículo (m)	Número mínimo de assentos	Número de ônibus na frota	Atividade anual programada (milhões de km/ano)	Atividade anual programada por ônibus (km/ano/ônibus)
Miniônibus	8,4-9,0	20	655	30,9	47.160
Midiônibus	9,6-11,5	23-33	2.810	165,6	58.920
Básico	11,5-12,5	35	2.155	143,1	66.400
Padron LE	12,5-15,0	32-38	3.964	281,2	70.930
Articulado LE*	18,3-21,0	34-37	1.569	130,7	83.300
Articulado (23m)	23,0	57	1.535	117,5	76.570
Biarticulado	≤ 27,0	47	30	2,3	76.070

*Ônibus articulados (21m) agrupados com ônibus articulados LE.

A modelagem de custos de substituição da frota pressupõe que um ônibus com tecnologia alternativa pode oferecer o mesmo desempenho que um ônibus a diesel convencional e, portanto, não há mudança no tamanho total da frota com as transições para tecnologias de ônibus alternativas. Embora esta premissa seja razoável para ônibus a biodiesel e HEBs a diesel, ainda não podemos afirmar que os BEBs comercialmente disponíveis serão capazes de fornecer uma substituição um para um de ônibus a diesel em todas as rotas no sistema de trânsito de São Paulo. Essa análise assume que os BEBs serão implementados primeiramente em rotas mais curtas, permitindo a substituição um para um dos ônibus a diesel. Ao longo do tempo, com a diminuição do custo das baterias, assume-se que os fabricantes aumentarão a capacidade das baterias instaladas dos BEBs e, dessa forma, aumentarão a autonomia e a adequação para a substituição um para um dos ônibus a diesel em todos os tipos de rota.

DADOS DE CUSTO DE ÔNIBUS A DIESEL P7

Esta avaliação assume que os ônibus a diesel P7 são equipados com ar-condicionado como a tecnologia de base com a qual os custos dos ônibus elétricos são comparados. Informações financeiras detalhadas sobre os custos de operação do sistema de transporte público em São Paulo são reportadas anualmente pela SPTrans em apoio a avaliações e ajustes na tarifa (SPTrans, 2018). A análise utiliza essas informações para definir os principais insumos de modelagem de custos e características operacionais (por exemplo, consumo de combustível) para os ônibus a diesel P7 de linha de base. Estes dados estão resumidos no Quadro 5-3.

Quadro 5-3 | **Dados de entrada para a modelagem do TCO para ônibus movidos a diesel P7 equipados com ar-condicionado (SPTrans, 2018)**

Tipo de ônibus	Preço de compra do veículo (R\$)	Custo de manutenção (R\$/km)*	Consumo de combustível (DLE/100 km)
Miniônibus	281.988	0,458	35,1
Midiônibus	367.758	0,563	46,8
Básico	377.816	0,565	52,9
Padron LE	546.073	0,769	63,3
Articulado LE	917.854	1,532	80,2
Articulado (23m)	978.256	1,464	84,8
Biarticulado	1.172.768	2,840	90,4

*Inclui custo de pneus, freios, lubrificantes, peças e acessórios. Não inclui mão de obra ou outros custos de pessoal.

Embora os dados da SPTrans disponíveis publicamente sejam adequados para definir os componentes de custo de insumos para os ônibus a diesel convencionais, as informações são limitadas às tecnologias de ônibus atualmente presentes na frota e excluem as tecnologias de ônibus alternativas consideradas nesta avaliação. Portanto, para a modelagem de custos, o conjunto de dados da SPTrans deve ser complementado com premissas sobre os componentes de custo para essas tecnologias.

PREÇO DE COMPRA DE ÔNIBUS E INFRAESTRUTURA

Os preços de compra de ônibus baseiam-se em dados de custo para as tecnologias alternativas de ônibus coletadas pelo California Air Resources Board (CARB) em apoio ao desenvolvimento do Regulamento Inovador de Trânsito

Limpo do Estado da Califórnia (CARB, 2017a). O CARB informa os preços de compra de ônibus padrão de 12m e inclui estimativas para os ônibus convencionais a diesel, bem como para HEBs a diesel, BEBs (carga na rota e na garagem) e FCEBs. Para esta análise, a relação de custo de cada tipo de ônibus elétrico em contraste com um ônibus a diesel convencional foi extraída do conjunto de dados do CARB. Essa relação foi então multiplicada pelo preço de compra de um ônibus a diesel P7 (Quadro 5-3) para estimar o preço de compra de ônibus elétricos em São Paulo. A mesma relação foi aplicada a cada um dos sete tipos de ônibus utilizados na frota da cidade. As estimativas de preço de compra para um ônibus tipo Padron LE são mostradas na Figura 5-1.

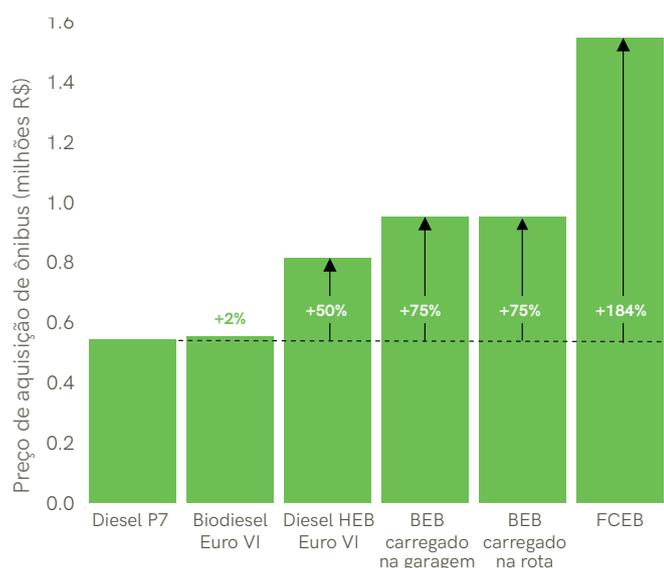


Figura 5-1 | Preço de compra de ônibus de transporte elétrico em comparação com ônibus convencionais a diesel⁴¹

Essa abordagem pressupõe que os ônibus elétricos estarão disponíveis no Brasil a preços relativos aos de ônibus a diesel comparáveis às taxas observadas no mercado norte-americano. Na realidade, a disponibilidade e os preços dos ônibus dependerão do que o mercado oferece. Considerando as necessidades de financiamento locais, as operadoras brasileiras terão maior acesso a financiamento para ônibus elétricos a bateria produzidos nacionalmente. Portanto, sem investimento de mais fabricantes de equipamentos originais na produção de ônibus com emissão zero no Brasil, o acesso a uma ampla gama de opções pode ser limitado e os preços das opções existentes podem ser relativamente altos em comparação com outras regiões.

A avaliação de base não leva em conta as mudanças de longo prazo previstas nos custos das tecnologias alternativas em relação ao diesel convencional devido, por exemplo, a reduções no custo de baterias para BEBs ou quaisquer economias de escala (CARB, 2016a). O efeito das diminuições projetadas no preço de um BEB em relação a um ônibus a diesel é explorado em maiores detalhes na análise de sensibilidade. A análise também considera o caso em que o preço para os BEBs utilizados na avaliação de base é subestimado para o mercado brasileiro.

Os custos de infraestrutura são similarmente derivados de estimativas do CARB. A análise pressupõe que nenhuma infraestrutura adicional é necessária para transições para HEBs a diesel ou ônibus a biodiesel. Os BEBs podem ser carregados no percurso (enquanto estão em operação) ou em uma garagem de ônibus (ou seja, durante as pausas no serviço ou durante a noite). Cada tecnologia de recarga tem vantagens e desvantagens em relação à operação e ao custo. O CARB estima os custos de equipamentos e instalação de um carregador de garagem de 50 kW que atende um ônibus em USD 50.000 (CARB, 2017a). O mesmo estudo estima os custos de equipamentos e instalação de um sistema de carregamento em rota de 500 kW atendendo a 6 ônibus em USD 600.000, ou USD 100.000 por ônibus. No entanto, os custos reais incorridos pelas operadoras de ônibus dependem do contrato de compra ou arrendamento. Alguns fabricantes, como a BYD, incluem o custo dos carregadores de garagem no preço dos ônibus. Essa análise aplica custos únicos de R\$ 161.000 por ônibus para a infraestrutura de recarga em garagem e de R\$ 322.000 por ônibus para infraestrutura de recarga no percurso (CARB, 2017a). A análise não inclui nenhum custo de aquisição de terrenos que possa ser necessário para a infraestrutura de recarga, uma vez que não há informações locais detalhadas para esse componente de custo. A análise também não inclui potenciais custos de atualização na infraestrutura de distribuição de rede com transições de grande escala para BEBs, pois não está claro se esses custos serão arcados pelas operadoras de frota ou pelas concessionárias de energia elétrica.

Para os FCEBs, estamos assumindo que uma estação de reabastecimento de hidrogênio de 40 ônibus tem um custo de USD 5,05 milhões (CARB, 2017a). Isso resulta em custos de infraestrutura de R\$ 406.000 por ônibus para os FCEBs.

⁴¹ Valores mostrados para um ônibus tipo Padron LE. Relação de preços de compra para tecnologias alternativas sobre o diesel convencional aplicada a todos os tipos de ônibus. Estamos assumindo que um ônibus a biodiesel tenha o mesmo preço de compra de um ônibus a diesel comparável, ou seja, certificado para o mesmo nível de controle de emissões (Tong et al., 2017).

CUSTOS OPERACIONAIS

Os custos operacionais dos ônibus de transporte são preponderantemente os de abastecimento. Os principais parâmetros para determinar os custos de abastecimento incluem a eficiência energética do ônibus, a distância percorrida e o preço do combustível. Esta análise utiliza as estimativas de eficiência energética de ônibus a biodiesel, HEBs a diesel e BEBs de uma avaliação recente de tecnologias de ônibus limpas realizada pelo ICCT (Dallmann et al., 2017). Os dados, apresentados em um relatório de análise do desempenho do FCEB publicado pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável dos Estados Unidos, foram utilizados para obter estimativas semelhantes para os FCEBs (Eudy & Post, 2017). Em todos os casos, o consumo de energia dos VEs em relação aos ônibus convencionais foi extraído e aplicado aos valores-base de consumo de energia do diesel P7 (Quadro 5-3) para estimar os valores de consumo de energia para cada tipo de ônibus na frota de São Paulo e para cada tecnologia de ônibus elétrico. Os valores de consumo de energia para um ônibus tipo Padron LE usado na avaliação de base do TCO são apresentados na Figura 5-2.

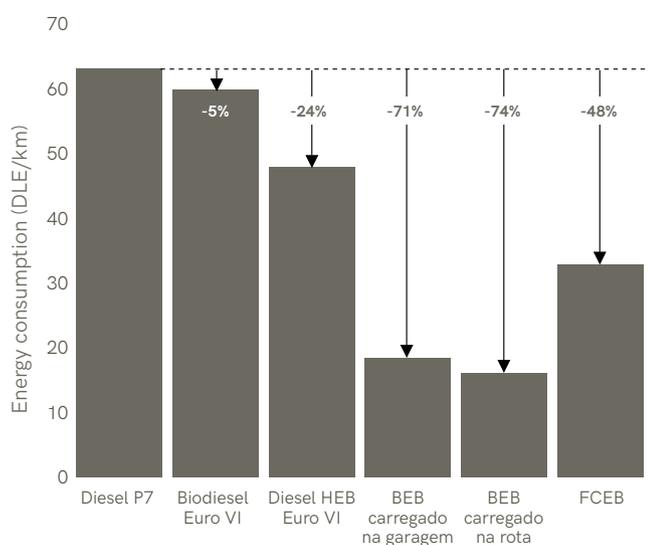


Figura 5-2 | Consumo de energia de ônibus de transporte elétricos em comparação com ônibus convencionais a diesel ⁴²

A eficiência energética é altamente dependente do ciclo de trabalho. Para todos os tipos de ônibus, ela geralmente é mais alta para as rotas com velocidades médias mais altas e poucos trechos de “anda e para”, como as metropolitanas ou periféricas. A eficiência diminui

para rotas com velocidades médias mais baixas e com muitas paradas. A eficiência energética relativa entre as tecnologias de ônibus também varia de acordo com o ciclo de trabalho. Por exemplo, os benefícios de eficiência dos HEBs a diesel em relação aos ônibus a diesel são maiores para as rotas urbanas de baixa e média velocidade, mas são relativamente pequenos, se houver, para rotas metropolitanas ou periféricas. Essa dinâmica reflete, em parte, os benefícios de eficiência dos sistemas de frenagem regenerativa utilizados em ônibus híbridos, que recuperam a energia que, de outra forma, seria dissipada. Os benefícios desses sistemas são maximizados em rotas com muito arranques e paradas (Dallmann et al., 2017).

Para a avaliação de base, os benefícios de eficiência das tecnologias de ônibus elétricos, conforme mostrado na Figura 5-2, representam o que se esperaria para as rotas urbanas de média velocidade. A influência do tipo de rota nas estimativas de TCO é explorada em maiores detalhes na análise de sensibilidade.

Os preços do diesel e da eletricidade são extraídos diretamente do relatório mais recente de avaliação de tarifas publicado pela SPTrans (2018). A SPTrans informa um preço do diesel de R\$ 2,919/L e uma tarifa de eletricidade de R\$ 0,450/kWh para a recarga de trólebus elétricos. O preço do biodiesel (B100) utilizado nesta análise, de R\$ 2,9807/L, é extraído dos dados de preços divulgados para a frota municipal de trânsito de Curitiba (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2017). Aqui, a análise aplica os preços informados do diesel e biodiesel para estimar os custos de abastecimento de ônibus a diesel P7, HEBs a diesel e ônibus a biodiesel. Os custos de abastecimento de BEBs carregados na garagem são calculados usando a mesma tarifa de eletricidade informada para trólebus. Os BEBs carregados na rota podem estar sujeitos a tarifas de eletricidade mais altas, devido às maiores taxas de demanda e aos horários de recarga de pico (Gallo et al., 2014). Esta análise pressupõe que, em média, a tarifa de eletricidade para um ônibus com carregamento na rota é 1,25 vezes maior que a tarifa assumida para um BEB com carregamento em garagem (CARB, 2017a). Embora esteja além do escopo desta análise, uma avaliação mais detalhada da estrutura das tarifas de eletricidade e da modelagem das estratégias de tarifação para as frotas de BEBs forneceria uma estimativa mais precisa dos custos reais de abastecimento tanto para os BEBs com carregamento na garagem como para aqueles com carregamento na rota.

⁴² O consumo de energia por quilômetro é apresentado em termos de energia equivalente a um litro de óleo diesel, denominado equivalente a litro de diesel (DLE). O consumo relativo de energia de cada tipo de ônibus elétrico em relação aos ônibus a diesel P7 é aplicado em todos os tipos de ônibus. Os valores de consumo de energia de ônibus elétricos a bateria mostrados no presente documento refletem uma eficiência presumida de 90% do carregador e 90% de eficiência da recarga/descarga da bateria (Bi et al., 2015). Assume-se também que os BEBs com carregamento na rota tenham uma vantagem de eficiência em relação aos BEBs carregados na garagem devido ao tamanho reduzido da bateria e, portanto, ao peso (Bi et al., 2015; Tong et al., 2017).

Para os FCEBs, os custos de combustível de hidrogênio são extraídos do CARB (2017a). Na avaliação de base, assumimos que os preços dos combustíveis permanecem constantes. Uma avaliação mais detalhada do efeito das mudanças nesses preços nas estimativas de TCO é incluída na análise de sensibilidade.

Além dos custos de abastecimento, o custo do ARLA 32 é incluído como operacional para ônibus a diesel, híbridos e biodiesel P7, que utilizam sistemas de redução catalítica seletiva para controlar as emissões de NOx (Miller, 2017).

Os custos operacionais totais por quilômetro para uma tecnologia de ônibus tipo Padron LE por ônibus são mostrados na Figura 5-3.

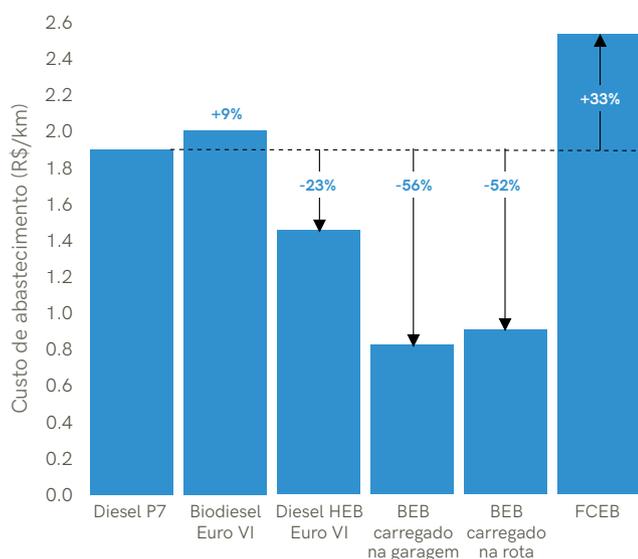


Figura 5-3. | Custos operacionais para ônibus com tecnologia alternativa em comparação com ônibus convencionais a diesel ⁴³

CUSTOS DE MANUTENÇÃO

Conforme mencionado acima, os custos por quilômetro de manutenção regular para ônibus a diesel P7 de linha de base são extraídos do relatório de avaliação tarifária da SPTrans (2018) e incluem o custo de consumíveis como pneus, pastilhas de freio, outras peças e acessórios e lubrificantes.

Em relação aos ônibus a diesel, os HEBs e BEBs a diesel oferecem várias oportunidades de redução nos custos de manutenção. Os dois tipos de tecnologia aplicam sistemas de frenagem regenerativos, que reduzem o desgaste dos freios e, portanto, os custos associados de reparo de

⁴³ Exemplo mostrado para o ônibus tipo Padron LE.

⁴⁴ Este exemplo é mostrado para um ônibus tipo Padron LE. A relação do custo de manutenção para tecnologias alternativas sobre o diesel convencional aplica-se a todos os tipos de ônibus.

freios. Os propulsores elétricos dos BEBs são simplificados em relação aos motores a diesel convencionais e exigem menos manutenção regular (CARB, 2016b). Para estimar os custos de manutenção das tecnologias elétricas consideradas nesta análise, aplica-se uma abordagem similar àquela utilizada para estimar o preço de compra do ônibus. A relação entre os custos de manutenção por quilômetro para as tecnologias de ônibus elétricos e o custo de manutenção de um ônibus a diesel foi extraída do banco de dados do CARB. Essa relação foi então aplicada aos custos de manutenção de linha de base estimados para um ônibus a diesel P7 em cada tipo de ônibus na frota de São Paulo. As estimativas de custo de manutenção por quilômetro para cada tipo de tecnologia de ônibus são mostradas na Figura 5-4.

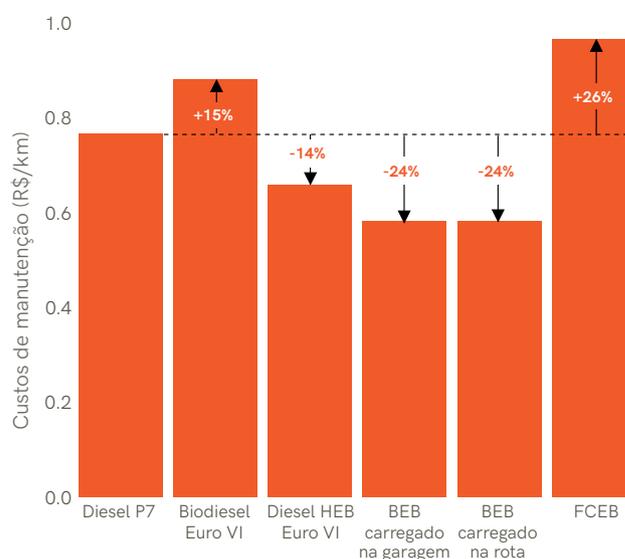


Figura 5-4 | Custos de manutenção de veículos regulares para ônibus de transporte elétricos em comparação com ônibus convencionais a diesel ⁴⁴

O modelo de custos utilizado nesta avaliação também considera a revisão geral na metade da vida útil. Para ônibus a diesel e biodiesel, isso incluirá quaisquer custos incorridos para a revisão geral do motor a diesel; para BEBs, isso cobre qualquer substituição de baterias ou custos de atualização. Os HEBs a diesel podem gerar custos tanto para a revisão geral do motor quanto para a substituição das baterias. A avaliação de base do TCO exclui os custos na metade da vida útil. Para os ônibus a diesel, não há dados empíricos para estimar com precisão os custos de revisão geral no meio da vida útil para a frota de São Paulo. Para os BEBs, a análise assume que a substituição da bateria seria coberta pela garantia do fabricante e sem custo adicional para as operadoras.

Alguns fabricantes de BEBs, como a BYD, atualmente oferecem garantias de bateria ou garantias estendidas que cobririam a totalidade da vida útil de 10 anos considerada na avaliação de base. A análise de sensibilidade explora como a inclusão dos custos no meio da vida útil afeta a avaliação do TCO.

OUTROS COMPONENTES DO TCO

São premissas adicionais relacionadas às estimativas do TCO na avaliação de base:

- Os custos nos anos futuros são descontados a uma taxa de 7% (Akbar et al., 2014).
- Assume-se uma vida útil dos ônibus de 10 anos.
- As condições de financiamento para as despesas de aquisição do ônibus e da infraestrutura são assumidas como uma entrada de 50% e o restante das despesas cobertas por um financiamento no prazo de cinco anos e uma taxa de juros real de 7,6%.
- A depreciação será de 8% ao ano para todos os tipos de ônibus (SPTrans, 2018). O valor do veículo depreciado no final do seu prazo de propriedade é tratado como um fluxo de caixa positivo.

A influência de cada um desses parâmetros nas estimativas de TCO do ônibus é explorada em maiores detalhes na análise de sensibilidade.

TCO DE UM ÔNIBUS

Esta seção apresenta estimativas de TCO de um único ônibus. Para cada tipo de ônibus utilizado na frota de São Paulo, os custos de propriedade do ciclo de vida são estimados para um ônibus a diesel P7 convencional equipado com ar-condicionado, bem como para cada uma das alternativas consideradas nesta avaliação: biodiesel, HEB a diesel, BEB com carregamento na garagem, BEB com carregamento na rota e FCEB.⁴⁵ As estimativas de custos representam o valor presente líquido de todos os custos modelados incorridos ao longo de um período de propriedade de 10 anos. Os custos nos anos futuros são descontados a uma taxa de 7% na avaliação de base. As estimativas de TCO para um ônibus tipo Padron LE são apresentados na Figura 5-5, com um detalhamento das quatro categorias de custos primários – custos líquidos de aquisição de ônibus, custos líquidos de aquisição da infraestrutura, custos operacionais e custos de manutenção.

⁴⁵ Estamos assumindo que todos os tipos de ônibus alternativos sejam equipados com ar-condicionado.

⁴⁶ Os rótulos dos dados indicam contribuições de componentes de custo individuais para as estimativas de TCO. As porcentagens mostram a variação no TCO em relação à tecnologia a diesel P7 de referência. Os custos de aquisição incluem adiantamentos e pagamentos de empréstimos, deduzidos de qualquer valor de revenda de ônibus no final do período de propriedade.

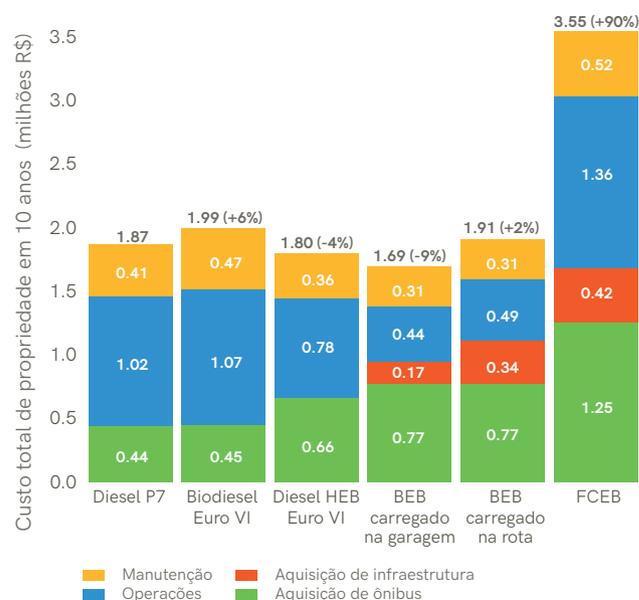


Figura 5-5 | Estimativa do TCO ao longo de 10 anos para tecnologia convencional e alternativa para ônibus tipo Padron LE em São Paulo.⁴⁶

Na avaliação de base, o TCO de um ônibus convencional tipo Padron LE a diesel é estimado em R\$ 1,87 milhão. Os custos operacionais representam mais da metade dos custos totais ao longo da vida útil do ônibus a diesel, com o restante dividido de maneira aproximadamente uniforme entre aquisição dos ônibus e manutenção regular. O detalhamento dos custos para ônibus a biodiesel é similar ao do ônibus a diesel convencional, com os custos operacionais representando a maior porcentagem dos custos totais do ciclo de vida. Os custos maiores de abastecimento e manutenção estimados para o ônibus a biodiesel resultam em uma estimativa de TCO ligeiramente maior (+6%) para essa tecnologia em relação ao ônibus a diesel convencional.

Esses resultados mostram que os BEBs são competitivos com os ônibus a diesel em termos de TCO, com os custos do ciclo de vida estimados dentro de 10% daqueles para o ônibus a diesel convencional. O menor TCO estimado de todas as tecnologias consideradas nesta análise foi do BEB com carregamento na garagem, com custos do ciclo de vida 9% mais baixos do que para o ônibus a diesel. Apesar dos custos relativamente maiores de aquisição de veículos e infraestrutura para essa tecnologia, os custos operacionais e de manutenção reduzidos levam a uma economia geral durante a vida útil do ônibus, em comparação com o ônibus a diesel convencional. A principal economia para o BEB com carregamento na

garagem provém da redução nos custos de abastecimento, que representam cerca da metade das despesas incorridas com o ônibus a diesel.

O BEB com carregamento na rota também oferece reduções significativas nos custos operacionais ao longo da vida útil em relação ao ônibus a diesel. A avaliação de base assume um custo por ônibus mais alto para a infraestrutura de recarga na rota em relação à de carregamento na garagem. Este é o principal fator para o maior TCO estimado para o BEB com carregamento na rota em relação ao BEB com carregamento na garagem e ao ônibus a diesel convencional. No entanto, mesmo considerando as maiores despesas de capital para a aquisição da infraestrutura, os custos do ciclo de vida para o BEB com carregamento na rota ainda estão dentro de 2% daqueles estimados para o ônibus a diesel.

Dessa forma, como ocorre para as tecnologias de BEBs, o HEB a diesel oferece economias operacionais significativas ao longo da vida útil em comparação ao ônibus a diesel. Na avaliação de base, essas economias compensaram o maior preço de compra do HEB a diesel em relação ao ônibus a diesel. A soma dos custos de aquisição e ao longo da vida útil dos veículos é aproximadamente igual para as duas tecnologias. Os custos de manutenção são menores para o HEB a diesel, levando a um custo total ao longo da vida útil 4% menor que o ônibus a diesel.

Os ônibus elétricos a células de combustível não atingiram o mesmo nível de maturidade tecnológica que outras tecnologias de ônibus elétricos consideradas nesta análise. Dessa forma, as despesas de capital e operacionais ainda

permanecem significativamente maiores do que as dos ônibus a diesel convencionais, bem como os HEBs e BEBs a diesel. Os FCEBs estão incluídos na avaliação do TCO de um ônibus individual porque, a longo prazo, à medida que esta tecnologia for desenvolvida, espera-se que ela ofereça uma opção elétrica com emissão zero viável para as operadoras de transporte. Em relação aos BEBs, o FCEB oferece características operacionais (por exemplo, autonomia de operação e estratégias de abastecimento) mais similares às de um ônibus a diesel convencional e podem oferecer uma opção mais simples para a substituição um para um. No curto prazo, os altos custos do ciclo de vida e a baixa disponibilidade tecnológica impedem a implementação dessa tecnologia além dos projetos-piloto ou de demonstração.

As estimativas do TCO para todos os tipos de ônibus são apresentadas no Quadro 5-4, que mostra os custos do ciclo de vida de um ônibus a diesel P7 para cada tipo de ônibus, bem como o custo de cada tecnologia de ônibus elétrico em relação à linha de base de ônibus a diesel P7. As classificações de custo do ciclo de vida das tecnologias de ônibus são geralmente consistentes entre os tipos de ônibus e semelhantes ao que foi mostrado acima para o ônibus Padron LE. Com exceção do miniônibus, o BEB com carregamento na garagem apresenta a opção de menor custo. Para ele, assume-se o mesmo custo de infraestrutura por ônibus para todos os tipos de ônibus. Para ônibus menores, com custos de aquisição mais baixos, isso significa que a infraestrutura representa uma fração maior do total de investimentos e resulta em custos relativamente maiores.

Quadro 5-4 | Comparação de estimativas de TCO entre tipos e tecnologias de ônibus

	TCO P7 a diesel milhões R\$ (R\$/km)	TCO relativo ao diesel P7				
		Biodiesel Euro VI	HEB a diesel Euro VI	BEB (carregamento na garagem)	BEB (carregamento na rota)	FCEB
Miniônibus	0,77 (1,63)	+6,2%	0,4%	11,3%	35,3%	+131%
Midiônibus	1,17 (1,99)	+6,4%	-2,9%	-2,1%	14,6%	+106%
Básico	1,39 (2,09)	+6,4%	-5,4%	-8,9%	5,7%	+95%
Padron LE	1,87 (2,64)	+6,5%	-4,1%	-9,5%	1,9%	+90%
Articulado LE	3,22 (3,87)	+7,3%	-3,7%	-11,4%	-4,1%	+79%
Articulado (23m)	3,11 (4,06)	+7,0%	-2,2%	-8,9%	-1,5%	+83%
Biarticulado	4,14 (5,44)	+8,3%	-2,9%	-9,6%	-3,9%	+75%

INCERTEZAS E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A abordagem para estimar o TCO dos ônibus de transporte em São Paulo baseia-se inerentemente nas premissas assumidas sobre as características operacionais

e financeiras das tecnologias de ônibus a diesel e elétricos. Para os ônibus a diesel, a análise restringiu as premissas usando informações financeiras detalhadas divulgadas pela SPTrans. Dados semelhantes não estavam disponíveis para tecnologias de ônibus alternativas, e os dados

operacionais e de custo utilizados para esses tipos de ônibus são derivados principalmente das informações divulgadas para essas tecnologias em outras regiões. Portanto, os resultados de TCO apresentados para tecnologias elétricas são representativos, na medida em que a seleção de valores para variáveis de entrada de modelagem de custo reflete com precisão o contexto brasileiro e, mais especificamente, de São Paulo.

Considerando essas e outras incertezas na avaliação de base, é útil explorar as premissas de efeitos assumidas em relação aos componentes de custo individuais nas estimativas de TCO e na classificação relativa dos tipos de tecnologia. Esse tipo de análise pode caracterizar melhor a autonomia no TCO que se pode esperar razoavelmente para cada tecnologia de ônibus e ajuda a identificar os componentes que têm maior influência nos custos de ciclo de vida. Esta seção segue essas questões por meio de uma análise de sensibilidade de seis variáveis-chave de modelagem do TCO: preço de compra do BEB, preço

da energia, tipo de rota, custos no meio do ciclo de vida, valor de depreciação e revenda, e taxa de juros.

Para cada uma dessas variáveis de entrada, esta análise define casos de sensibilidade nos quais a variável é modificada em relação ao seu valor de linha de base. O TCO de um único ônibus é calculado usando a variável de entrada modificada, com todas as outras entradas de modelagem de custos definidas para seus níveis de linha de base. Por exemplo, a análise de sensibilidade assume que os preços de compra do BEB sejam 1,3 e 2 vezes maiores do que o preço de compra de um ônibus a diesel P7. Todos os casos de sensibilidade considerados aqui são resumidos no Quadro 5-5. A análise de sensibilidade é limitada aos ônibus Padron LE e às tecnologias de ônibus a diesel, HEB a diesel e BEB com carregamento na garagem. Os resultados para o ônibus Padron LE e para o BEB com carregamento na garagem são geralmente representativos para outros tipos de ônibus e para BEBs com carregamento na rota, respectivamente.

Quadro 5-5 | Visão geral da análise de sensibilidade

Componente do TCO	Caso de sensibilidade	Descrição
Preço de compra BEB	Preço do BEB baixo	Preço do BEB 1,3x o preço do ônibus a diesel
	Linha de base	Preço do BEB 1,75x o preço do ônibus a diesel
	Preço do BEB alto	Preço do BEB 2x o preço do ônibus a diesel
Preço da energia	Linha de base	Preço padrão do diesel e da eletricidade
	Preço da energia +25%	Preços do diesel, biodiesel e da eletricidade 1,25x o valor padrão
	Preço da energia +50%	Preços do diesel, biodiesel e da eletricidade 1,5x o valor padrão
Tipo de rota	Baixa eficiência	Rotas urbanas de baixa velocidade
	Linha de base	Rotas urbanas de média velocidade
	Alta eficiência	Rotas metropolitanas/periféricas
Custos no meio da vida útil	Linha de base	A garantia da bateria cobre a vida operacional do ônibus; não há nenhuma revisão geral do motor a diesel no meio da vida útil
	Substituição da bateria 10%	Custo de substituição de baterias do BEB de 0,1x o preço de compra do BEB; custo de revisão geral do motor a diesel na metade da vida útil de 0,1x em relação ao preço de compra do ônibus a diesel e HEB
	Substituição da bateria 20%	Custo de substituição de baterias do BEB de 0,2x o preço de compra do BEB; custo de revisão geral do motor a diesel na metade da vida útil de 0,1x em relação ao preço de compra do ônibus a diesel e HEB
	Substituição da bateria 40%	Custo de substituição de baterias do BEB de 0,4x o preço de compra do BEB; custo de revisão geral do motor a diesel na metade da vida útil de 0,1x em relação ao preço de compra do ônibus a diesel e HEB
Valor de depreciação e revenda do ônibus	Linha de base	Índice de depreciação de 8%
	Depreciação	Índice de depreciação de 15%
	Sem revenda	Valor de revenda definido como zero
Taxa de juros	Taxas de juros de BEB, HEB baixa	Taxas de juros de 1,0% assumidas para o BEB e HEB e de 7,6% para ônibus a diesel e biodiesel
	Taxas de juros de BEB, HEB média	Taxas de juros de 4,6% assumidas para o BEB e HEB e de 7,6% para ônibus a diesel e biodiesel
	Linha de base	Taxa de juros de 7,6% assumida para todos os tipos de ônibus

Os resultados da análise de sensibilidade para o TCO de um ônibus Padron LE estão resumidos na Figura 5-6. Detalhes adicionais para cada variável de entrada de modelagem do TCO considerada na análise de sensibilidade são incluídos em seguida.

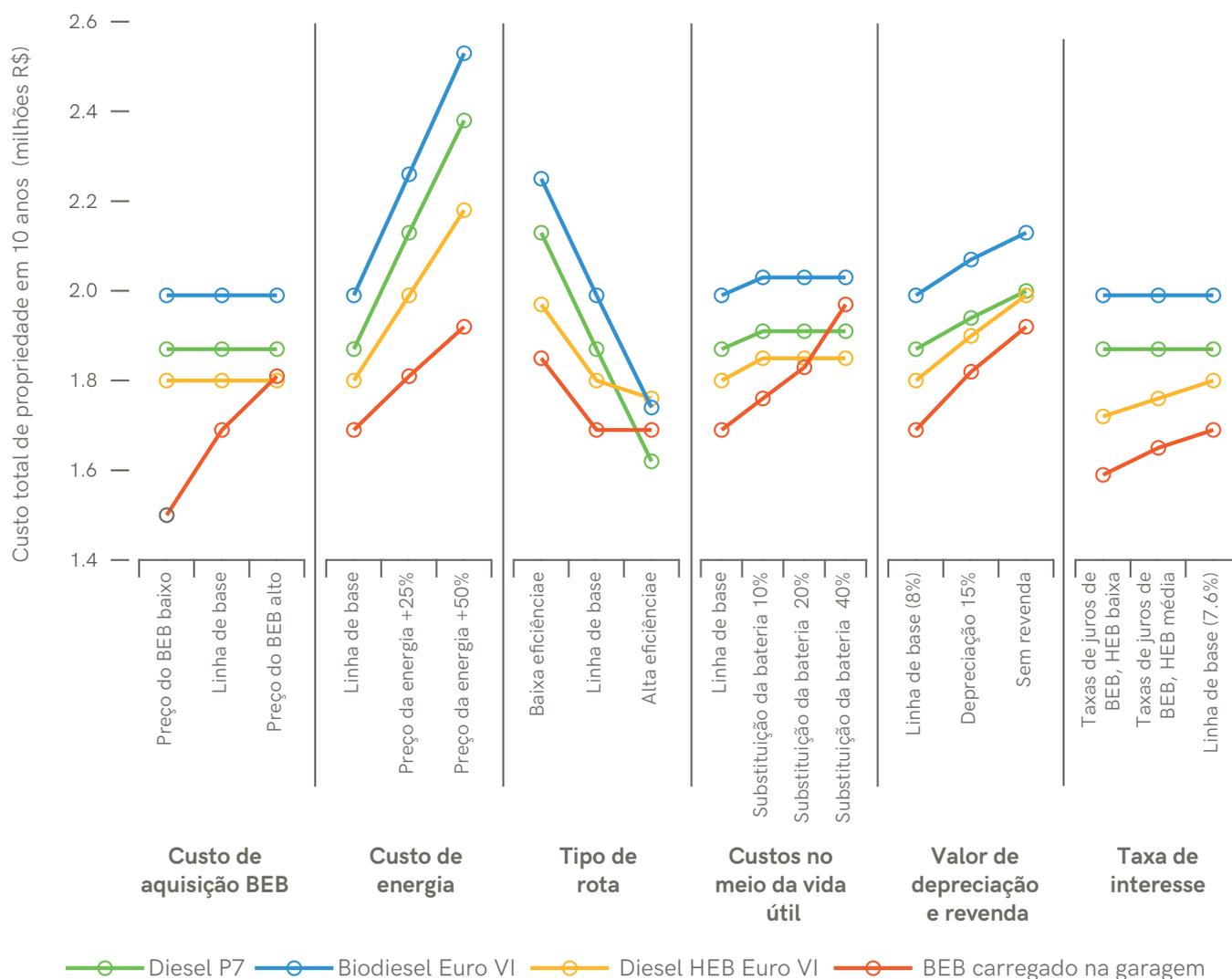


Figura 5-6 | Análise de sensibilidade para o TCO de um ônibus tipo Padron LE

Preço de compra do BEB: uma das principais barreiras à transição para tecnologias de ônibus elétrico a bateria são as maiores despesas de capital para essas tecnologias em relação aos ônibus convencionais a diesel. A avaliação de base assume que o preço de compra de um BEB foi 1,75 maior do que o de um ônibus a diesel P7. Elevar essa relação para 2, como foi feito no caso do BEB de alta sensibilidade, resulta em um aumento de 7% no TCO estimado para o ônibus BEB. Mesmo considerando o preço de compra mais alto, o TCO para o BEB neste caso ainda é aproximadamente 3% mais baixo

que o TCO para o ônibus a diesel, e aproximadamente o mesmo que o TCO para o HEB a diesel. O caso de baixa sensibilidade ao preço do BEB considera um preço de compra incremental para o BEB de 1,3 em relação ao preço de compra do diesel. Isso reflete as projeções de redução nos preços de compra nos próximos 10 anos como resultado da queda nos preços das baterias (CARB, 2017a). Nesse caso, o TCO para o BEB é reduzido em 11%, resultando em reduções de custo do ciclo de vida ainda maiores em relação a outros tipos de tecnologias.

Preço da energia: para explorar o impacto dos preços assumidos do diesel e da eletricidade nas estimativas de TCO, dois casos de sensibilidade são considerados, com aumentos em 25% e 50% em relação aos seus valores de referência. Dos quatro tipos de tecnologia, as estimativas de TCO para os ônibus a diesel e biodiesel foram mais sensíveis à mudança nos preços dos combustíveis. Um aumento de 50% no preço do diesel ou do biodiesel resulta em custos do ciclo de vida 27% maiores. Em comparação, um aumento similar no preço do diesel faz subir em 21% os custos do ciclo de vida do HEB a diesel, enquanto uma elevação de 50% no preço da eletricidade amplia o TCO de um BEB em apenas 14%. Essa dinâmica reflete o fato de que as despesas operacionais são responsáveis por uma fração maior dos custos do ciclo de vida dos ônibus a diesel e biodiesel em relação às tecnologias elétricas.

Tipo de rota: conforme observado acima, a eficiência energética dos ônibus de transporte varia de acordo com o tipo de rota. A avaliação de base considera os benefícios de eficiência das tecnologias elétricas de acordo com ciclos de trabalho representativos de operações urbanas de média velocidade. Essa análise de sensibilidade considera rotas em que todos os tipos de ônibus seriam capazes de ter eficiência energética menor (urbanas de baixa velocidade) ou maior (rotas metropolitanas ou periféricas). Os resultados mostram que o TCO dos ônibus a diesel e biodiesel é mais sensível às premissas feitas em relação ao tipo de rota, com uma variação de 30%. A eficiência energética das tecnologias elétricas varia menos por tipo de rota e, conseqüentemente, as estimativas de TCO para o HEB a diesel e o BEB também são menos variáveis. Para as rotas metropolitanas ou periféricas, onde os benefícios de eficiência das tecnologias elétricas são menores, estima-se que os ônibus a diesel tenham o TCO mais baixo. Isso leva a uma visão importante: as tecnologias elétricas devem ser implementadas preferencialmente nas rotas com maiores benefícios de eficiência relativa aos ônibus a diesel, visando maximizar a redução potencial de custos operacionais.

Custos no meio da vida útil: uma das principais incertezas nas avaliações do TCO dos ônibus elétricos a bateria é o tratamento dos custos de substituição de baterias nos casos em que não se espera que elas mantenham seu desempenho ao longo de toda a vida útil operacional do ônibus. Esses custos dependerão do modelo de propriedade do ônibus e da cobertura dos custos de substituição das baterias pela garantia do fabricante. A avaliação de base do TCO não modelou os custos no meio da vida útil para tecnologias de motores a diesel ou elétricos. Consideramos aqui os impactos nas estimativas de custo do ciclo de vida, incluindo os custos de revisão geral do motor a diesel para os ônibus a diesel, biodiesel

e híbridos e os custos de substituição de baterias para o BEB. Para cada caso de sensibilidade, os custos no meio da vida útil para a revisão geral do motor a diesel são estimados em 10% do preço de compra do veículo para cada tecnologia (CARB, 2017a). Para o BEB, os custos de substituição de baterias uma única vez variam de 10% a 40% do preço de compra do BEB. A estimativa do limite inferior, 10%, corresponde aos custos relativos de substituição de baterias informados pela Proterra (CARB, 2017a). Para o ônibus tipo Padron LE, a estimativa do limite superior, 40%, é aproximadamente igual à diferença incremental no preço de compra do BEB em relação ao ônibus a diesel convencional, refletindo a contribuição dos custos das baterias para o preço de compra do BEB. Quando os custos no meio da vida útil são considerados, o BEB mantém seu benefício de custo do ciclo de vida em relação a outras tecnologias para os casos em que os custos de substituição uma única vez são 10% ou 20% do preço de compra do BEB. Estima-se que o custo do ciclo de vida do BEB seja 3% maior do que o do ônibus a diesel caso os custos de substituição de baterias sejam definidos em 40% do preço de compra do BEB.

Depreciação e valor de revenda: na avaliação de base, o valor de revenda de ônibus é tratado como um fluxo de caixa positivo e estimado como o valor depreciado do veículo no final de sua vida útil, assumido em 8% ao ano. São considerados aqui os casos de sensibilidade em que a taxa de depreciação é aumentada para 15% e o valor de revenda é omitido do cálculo do TCO. Em um sentido absoluto, taxas de depreciação mais altas terão o maior impacto nos custos do ciclo de vida das tecnologias com as maiores despesas de capital de aquisição de ônibus. Dessa forma, as estimativas de TCO para o BEB são mais sensíveis às premissas feitas em relação à taxa de depreciação e ao valor de revenda. Caso o valor de revenda seja definido como zero, estima-se que o BEB tenha o TCO mais baixo, cerca de 4% menor que os custos do ciclo de vida do ônibus a diesel e do HEB a diesel.

Taxa de juros: uma taxa de juros de 7,6% foi assumida para todas as tecnologias de ônibus na avaliação de base. Conforme discutido no Capítulo 2, há a possibilidade de condições de financiamento mais favoráveis estarem disponíveis para a aquisição de ônibus elétricos no Brasil (BNDES, 2018). A avaliação de sensibilidade considerou o efeito das taxas de juros mais baixas, de 4,6% e 1,0%, sobre as estimativas do TCO dos ônibus elétricos a bateria e ônibus híbridos a diesel e bateria. Os resultados, apresentados na Figura 5-6, mostram que a redução da taxa de juros para 4,6% baixa o TCO para BEBs e HEBs em 2% em relação ao caso no qual uma taxa de 7,6% é assumida. Reduzindo a taxa de juros ainda mais, para 1%, as estimativas de TCO para o BEB e HEB são 6% e 4%

menores, respectivamente, do que as estimativas de TCO para o caso de avaliação de base.

Além dos casos de sensibilidade descritos acima, a análise considerou o impacto dos períodos de propriedade ampliados nos custos do ciclo de vida dos BEBs. São Paulo atualmente mantém restrições para a idade média da frota de ônibus de trânsito e para a vida útil de ônibus individuais. Com base nessas restrições, a vida útil dos ônibus a diesel na frota de São Paulo está limitada a 10 anos. A modelagem básica do TCO assumiu uma vida útil equivalente a 10 anos para BEBs. No entanto, devido à considerável economia operacional oferecida pelos BEBs, faz sentido considerar períodos de propriedade mais longos para essa tecnologia. A Figura 5-7 mostra o efeito de estender a vida útil de operação dos BEBs para 12 ou 15 anos nas estimativas de custo do ciclo de vida. Para comparar estimativas de TCO para diferentes períodos de propriedade, os custos do ciclo de vida por quilômetro são informados. Esses resultados mostram que os custos do ciclo de vida por quilômetro para o BEB são reduzidos em 10% e 21% nos casos em que a vida útil do serviço é estendida para 12 e 15 anos, respectivamente.

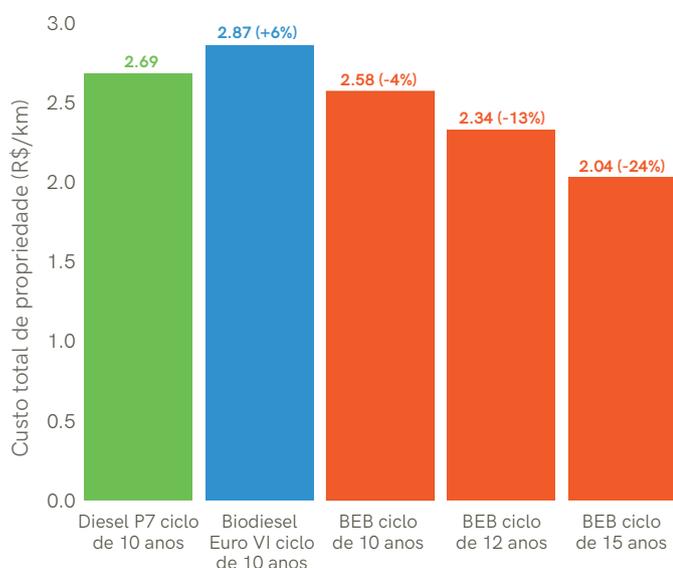


Figura 5-7 | Sensibilidade do TCO para um BEB Padron LE durante o período de propriedade ⁴⁷

Finalmente, a análise considera o impacto da atividade anual assumida dos veículos nas estimativas de TCO. A avaliação de base aplica um valor para a atividade anual estimada para cada tipo de ônibus, representando a média para todas as unidades de um determinado tipo

na frota de São Paulo. Na realidade, haverá diversas atividades anuais para cada tipo de ônibus, dependendo da rota e de outras considerações operacionais. A Figura 5-8 mostra a sensibilidade das estimativas de TCO para um ônibus tipo Padron LE para o número de quilômetros percorridos do veículo (vkt) por ano. Neste caso, o vkt anual varia de 40.000 a 100.000, enquanto todas as outras variáveis de entrada do TCO são definidas de acordo com os valores usados na avaliação básica. Para níveis mais baixos de atividade anual (cerca de 40.000 a 50.000 km/ano), a economia operacional oferecida pelas tecnologias de motores elétricos não é totalmente obtida, e estima-se que o ônibus a diesel tenha o menor TCO das quatro tecnologias de ônibus. À medida que a atividade anual aumenta, as tecnologias de motores elétricos tornam-se mais competitivas em relação ao diesel no que tange ao TCO, estimando-se que o BEB tenha o menor TCO quando a atividade anual é de 55.000 km/ano ou mais.

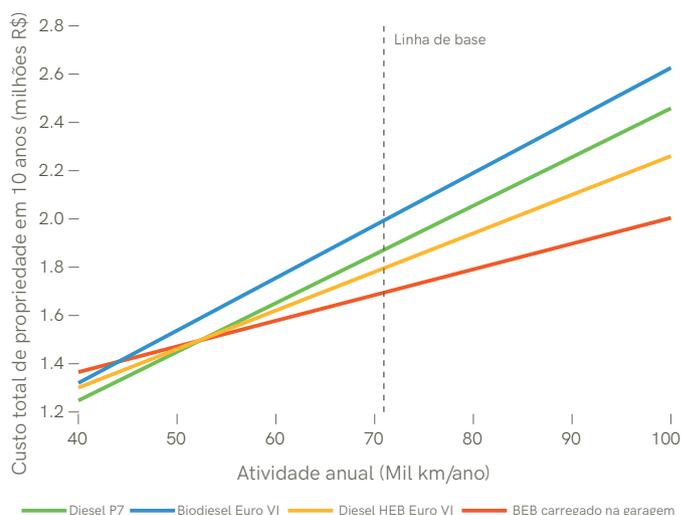


Figura 5-8 | Sensibilidade do TCO para um ônibus tipo Padron LE para a atividade anual

CUSTOS DO CICLO DE VIDA PARA SUBSTITUIÇÃO DA FROTA

Os resultados do TCO de um único ônibus foram aplicados para estimar os custos totais de transição de toda a frota de ônibus de trânsito de São Paulo para tecnologias alternativas. A análise considera os custos totais da vida útil de substituição da frota por ônibus a biodiesel, BEBs com carregamento na garagem ou HEBs a diesel elétrico e é comparada com um cenário de linha de base no

⁴⁷ As informações de modelagem de custo são definidas nos níveis de linha de base, com exceção dos custos no meio da vida útil. Um custo de revisão geral do motor a diesel de 10% do preço de compra do ônibus a diesel é assumido para os ônibus a diesel e biodiesel. Um custo único de substituição de baterias de 20% do preço de compra do BEB é assumido para cada caso de sensibilidade do período de propriedade do BEB. Os rótulos dos dados mostram o TCO para cada caso de tecnologia e sensibilidade e a variação percentual no TCO por quilômetro em relação à linha de base do diesel.

qual todas as novas compras são de ônibus a diesel P7. A avaliação inclui os custos totais de cada tecnologia de ônibus para um cenário de compras de 10 anos, no qual 10% da frota é substituída a cada ano; e para um cenário de compras de 5 anos, no qual 20% da frota é substituída a cada ano. O cronograma de substituição de 10 anos fica próximo dos cronogramas normais de substituição da frota, enquanto o cronograma de 5 anos representa uma transição acelerada para tecnologias de ônibus com motores elétricos. Os dados da frota apresentados no Quadro 5-2 são usados para definir o tamanho da frota por tipo de ônibus e atividade anual.

As estimativas de custo para cada cenário de substituição de frota são apresentadas na Figura 5-9. Essas estimativas representam os custos do ciclo de vida da frota de reposição em cada cenário de aquisição, seguindo a mesma metodologia de TCO utilizada para a avaliação

do TCO de um único ônibus. Um período de propriedade similar de 10 anos é assumido para cada ônibus na frota de reposição, e as premissas para outras variáveis de entrada de custo são equivalentes àquelas aplicadas para a avaliação do custo-base de um único ônibus. O valor presente líquido dos custos de substituição da frota do ciclo de vida no cenário de compra de ônibus a diesel P7 de 10 anos é estimado em R\$ 18,2 bilhões. Os resultados para os cenários de aquisição de HEBs e BEBs a diesel geralmente seguem os resultados da avaliação de TCO de um único ônibus, com economias estimadas de custo do ciclo de vida de 3% e 8%, respectivamente, em relação ao cenário de aquisição de ônibus a diesel. É importante observar que esses resultados devem ser considerados, na melhor das hipóteses, como ilustrativos. As incertezas na modelagem do TCO de um único ônibus apresentadas acima são amplificadas quando consideramos a extrapolação para uma frota de 12,700 ônibus.

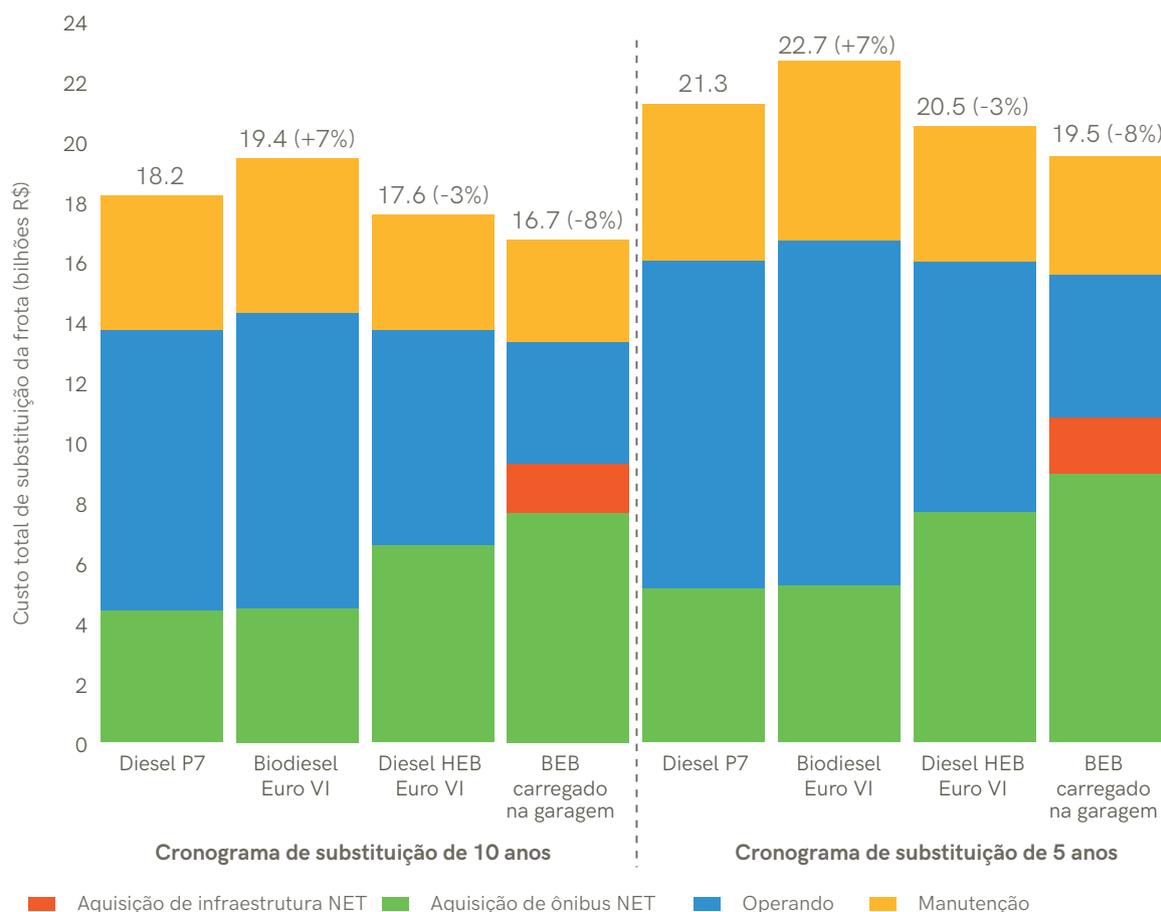


Figura 5-9 | Custo total de substituição da frota de ônibus urbanos de São Paulo para ônibus a diesel, HEBs a diesel e BEBs com carregamento na garagem com cronogramas de substituição de 10 e 5 anos

BENEFÍCIOS PARA AS EMISSÕES CLIMÁTICAS DA ELETRIFICAÇÃO DA FROTA E AVALIAÇÃO DO CUSTO SOCIAL

Um dos principais impulsionadores da transição para ônibus elétricos é a possibilidade de redução nas emissões de poluentes atmosféricos e climáticos. Considerando a baixa intensidade de carbono da rede elétrica brasileira, a transição para ônibus elétricos a bateria, particularmente, oferece um potencial de benefícios climáticos significativos. Para avaliar os benefícios em termos de emissões de poluentes atmosféricos das transmissões para ônibus elétricos, a análise estimou as emissões de GEEs e de carbono negro para os três cenários de compra considerados na avaliação do custo de reposição da frota. Cada cenário incluía emissões de carbono negro e poço à roda (WTW, ou seja, ciclo de vida do combustível) durante a vida útil operacional da frota de reposição. As emissões de GEEs incluem emissões diretas e emissões poço a tanque da produção e do transporte de combustível. A avaliação segue métodos de cálculo de emissões desenvolvidos em dois estudos recentes de frotas de ônibus urbanos de baixo carbono (Dallmann et al., 2017; Miller et al., 2017). As emissões poço a tanque decorrentes da produção de biodiesel incluem emissões diretas e emissões associadas a mudanças no uso da terra resultantes do aumento da produção de biocombustível. Aqui, a análise considera valores de intensidade de carbono de 28 gCO₂e/MJ para emissões diretas (CARB, 2017c) e 150 gCO₂e/MJ para emissões de uso da terra (Valin et al., 2015) para estimar as emissões WTW para ônibus usando biodiesel à base de soja. Para fins de comparação, a intensidade de carbono WTW utilizada nesta análise de diesel de petróleo é de 93 gCO₂e/MJ.

Os resultados, apresentados na Figura 5-10, mostram as emissões acumuladas de poluentes climáticos para cada cenário de aquisição, expressas em unidades de milhões de toneladas de CO₂e. Essas estimativas refletem as emissões de todos os ônibus da frota de reposição durante seus 10 anos de vida útil. Em relação ao cenário de aquisição de ônibus a diesel P7 de linha de base, as emissões climáticas são reduzidas em 29% e 83% com transição de toda a frota para HEBs e BEBs a diesel, respectivamente. Em termos absolutos, as emissões de CO₂e são reduzidas em 6,1 milhões de toneladas no cenário de aquisição de HEBs a diesel e em 17,6 milhões de toneladas no cenário de aquisição de BEBs. Para BEBs, os benefícios climáticos representam tanto as vantagens de eficiência dessa tecnologia em relação a um ônibus a diesel como a intensidade de carbono relativamente baixa

da rede elétrica brasileira. Nenhuma mudança no mix de geração de energia é considerada ao longo do tempo. A descarbonização adicional da rede brasileira resultaria em um desempenho relativamente melhor das emissões climáticas para os BEBs.

Para o cenário de aquisição de ônibus a biodiesel, os resultados mostram um aumento substancial, de 57%, nas emissões de poluentes climáticos em relação ao cenário de compra de ônibus a diesel P7. Esse resultado é atribuído às altas emissões de uso da terra associadas ao biodiesel à base de soja. O biodiesel produzido a partir de matérias-primas com menor intensidade de carbono poderia reduzir substancialmente as emissões de poluentes climáticos WTW de ônibus a biodiesel. Estes resultados mostram que a geração atual de biodiesel à base de soja tem penalidades significativas de emissões climáticas em relação ao diesel de petróleo convencional quando se consideram as emissões do ciclo de vida, incluindo aquelas resultantes de mudanças no uso da terra.

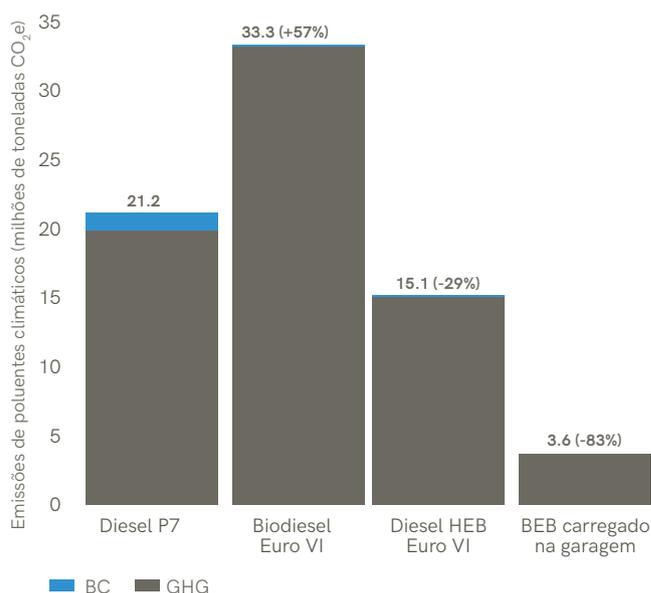


Figura 5-10 | Emissões de poluentes climáticos da frota de ônibus urbanos de São Paulo ao longo da vida útil em três cenários de aquisição da frota substituta.⁴⁸

Os componentes de custo descritos até agora consideram apenas os gastos financeiros associados à aquisição e operação de ônibus. As emissões de GEEs e de carbono negro desses ônibus incorrem em custos arcados pela sociedade que não são pagos diretamente pela operadora. Uma vez que os investimentos em combustíveis e tecnologias limpas podem gerar benefícios sociais mais amplos, a análise também realizou uma estimativa dos

⁴⁸ Assume a substituição de toda a frota pelo tipo de tecnologia indicado. As emissões representam as emissões WTW ao longo de 10 anos de propriedade da frota de reposição. As emissões de carbono negro são convertidas em emissões de massa equivalente de CO₂ (CO₂e) usando um valor potencial de aquecimento global de 20 anos de 3200 (Myhre et al., 2013).

danos adicionais ao clima e à saúde das emissões de carbono negro e do ciclo de vida de combustíveis das emissões de GEEs a partir da aquisição de ônibus.

Os danos climáticos e à saúde advindos dos GEEs e das emissões de carbono negro mostrados na Figura 5-10 foram monetizados usando estimativas médias globais para o custo social da liberação atmosférica (Shindell, 2013). Os valores médios desse estudo, baseados nos níveis de emissões de 2010 e em uma taxa de desconto de 3%, são usados aqui após o ajuste para a inflação. Embora varie de acordo com o período e as características regionais (por exemplo, localização geográfica, tamanho e densidade populacional e condições meteorológicas), o valor dos danos ao clima e à saúde é útil como indicador geral da magnitude relativa dos benefícios para o clima e a saúde decorrentes de investimentos em tecnologias de motores elétricos. Os danos climáticos e à saúde monetizados para os três cenários de aquisição foram adicionados ao custo total de substituição da frota estimado para cada cenário (Figura 5-9, cronograma de substituição de 10 anos). Os resultados são mostrados na Figura 5-11.

A consideração dos custos sociais na avaliação serve para aumentar ainda mais os benefícios estimados das tecnologias de motores elétricos em relação aos ônibus a diesel convencionais. Para o cenário de linha de base de compras de ônibus a diesel, os custos sociais das emissões de poluentes, principalmente GEEs, são aproximadamente 30% dos custos diretos estimados para a propriedade e operação dos veículos. A relação entre custos sociais e custos diretos é reduzida para 23% no cenário de aquisição de HEBs a diesel e para 6% no cenário de aquisição de BEBs.

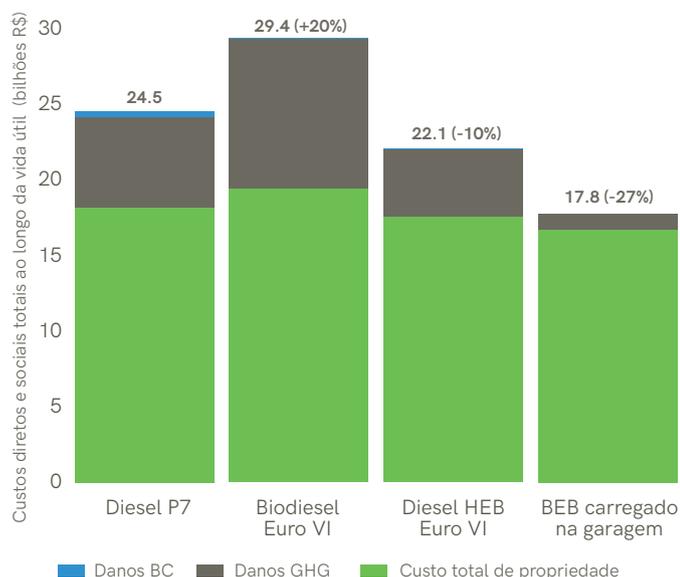


Figura 5-11 | Custos diretos e sociais totais ao longo da vida útil para a substituição da frota de ônibus urbanos de São Paulo em três cenários de aquisição

RESUMO

As tecnologias de ônibus urbanos com tração elétrica podem oferecer benefícios ambientais e de saúde pública consideráveis em relação aos ônibus a diesel convencionais. Com o desenvolvimento contínuo dessas tecnologias, as agências de trânsito e operadoras de frotas têm um número crescente de opções e oportunidades de transição para frotas de ônibus elétricos. Uma das considerações mais importantes ao avaliar o potencial dessas transições é o custo dessas tecnologias alternativas em relação aos ônibus a diesel convencionais. As tecnologias de motores elétricos, como HEBs a diesel e BEBs, exigem maiores investimentos para a aquisição de veículos e, no caso dos BEBs, infraestrutura de recarga. No entanto, essas tecnologias 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.

Este capítulo investigou essa questão por meio de uma avaliação do TCO das tecnologias de ônibus elétricos e a diesel convencionais. A frota municipal urbana de São Paulo foi utilizada como um estudo de caso para explorar os custos da transição para ônibus elétricos no Brasil. Utilizando informações operacionais e financeiras detalhadas para a frota de São Paulo, complementadas com dados de experiências internacionais com tecnologias de motores elétricos, foram avaliados os custos do ciclo de vida das tecnologias convencional e elétrica, incluindo HEBs a diesel, BEBs e FCEBs, para cada um dos sete tipos de ônibus usados em São Paulo. Uma análise similar foi realizada para os ônibus a biodiesel. Os resultados da avaliação do TCO de um único ônibus foram aplicados então para estimar o custo total de substituição de toda a frota de São Paulo por ônibus a biodiesel, HEBs a diesel ou BEBs e comparado a um cenário usual, no qual não há alterações nas práticas de compra. As emissões de carbono negro e de GEEs das frotas durante a vida útil foram avaliadas para cada cenário de aquisição, assim como seus danos monetizados à saúde e ao clima. Finalmente, uma análise de sensibilidade foi realizada para explorar a influência dos componentes individuais de custo nas estimativas de TCO e explicar a incerteza nos dados e nas premissas subjacentes.

A avaliação de base descobriu que os custos do ciclo de vida das tecnologias de HEBs a diesel e BEBs são competitivos em relação aos ônibus a diesel P7 para a maioria dos tipos de ônibus da frota de São Paulo.

Para um ônibus tipo Padron LE, a análise estimou a redução de custos ao longo da vida útil de um HEB a diesel em comparação a um ônibus a diesel P7 em 4%. O BEB com carregamento na garagem apresentou o menor TCO na avaliação de base, com custos do ciclo de vida 9% mais baixos que para o ônibus a diesel convencional. Em função dos maiores custos de aquisição da infraestrutura, o TCO estimado para um BEB com carregamento na rota foi maior, mas ainda dentro de 3% do TCO do ônibus a diesel. O detalhamento dos custos para o ônibus a biodiesel foi similar ao do ônibus a diesel convencional. No entanto, os custos de abastecimento e manutenção relativamente maiores levaram a uma estimativa de TCO um pouco maior (+6%). Os rankings relativos das tecnologias foram geralmente consistentes entre os tipos de ônibus, com a exceção de ônibus menores, cujo custo de infraestrutura aumentou o custo das opções de BEBs em relação aos ônibus a diesel e HEBs a diesel.

A precisão dessas conclusões depende da representatividade dos valores assumidos para as variáveis de entrada de modelagem de custos. A análise procurou abordar as incertezas na seleção desses valores e explorar o impacto das variáveis de entrada individuais nas estimativas de TCO utilizando uma análise de sensibilidade. Para um ônibus a diesel Padron LE, as estimativas de custo do ciclo de vida foram consideradas mais sensíveis à modelagem de insumos relacionados ao cálculo de custos operacionais, como o preço do diesel e o tipo de rota. Por outro lado, as estimativas de TCO para um BEB comparável tiveram uma maior sensibilidade aos insumos relacionados aos investimentos de capital, como o preço de compra e os custos de reposição de baterias no meio da vida útil. Para muitos dos casos de sensibilidade individuais considerados aqui, os custos do ciclo de vida para o BEB foram competitivos com os do ônibus a diesel convencional. A vida útil prolongada de operação para BEBs deve ser considerada para maximizar a redução de custos operacionais oferecida por essa tecnologia.

Os custos relativos de substituição da frota de ônibus urbanos de São Paulo por tecnologias de ônibus alternativas são consistentes com estimativas de TCO de um único ônibus. A substituição da frota por HEBs ou BEBs a diesel, ocorrendo em períodos de 5 anos ou 10 anos, oferece uma redução de custos em relação aos cenários de compra de ônibus a diesel P7 convencionais. Por outro lado, as transições para uma frota de ônibus a biodiesel são estimadas como um pouco mais caras que a compra de ônibus a diesel convencionais.

A transição para tecnologias de motores elétricos também oferece potencial de reduções significativas nas emissões de poluentes climáticos da frota de ônibus urbanos de São Paulo. Os resultados indicam que a substituição da frota de São Paulo por HEBs a diesel reduziria as emissões em aproximadamente 6 milhões de toneladas em relação a um cenário de aquisição de ônibus a diesel convencional durante a vida útil da frota de reposição. Uma transição similar para BEBs resultaria em reduções de emissões de poluentes climáticos ainda maiores, estimadas em mais de 17 milhões de toneladas. Por outro lado, a análise indica que uma transição para ônibus abastecidos com biodiesel à base de soja poderia aumentar significativamente as emissões de poluentes climáticos por tonelada à roda da frota de São Paulo. Esta constatação é atribuível às emissões relativamente elevadas de uso da terra assumidas nesta análise para o biodiesel à base de soja e indica que as matérias-primas de menor intensidade de carbono devem ser consideradas para qualquer caminho de aquisição de ônibus a biodiesel.

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A ELETROMOBILIDADE NO BRASIL

A eletromobilidade tem sido adotada como uma solução para a mitigação de GEE e da poluição local, bem como para a segurança energética em diversos países. No Brasil, os primeiros passos nessa direção têm sido pontuais e descoordenados, e ultimamente insuficientes para fazer avançar a eletromobilidade.

Um grande desafio à eletrificação no Brasil é ir além das soluções atuais para a mitigação de GEEs e a segurança energética, centradas em biocombustíveis, e avançar em alternativas complementares. Apesar de ser uma solução louvável para o país, considerando sua vocação agrícola, os biocombustíveis não resolvem a questão da qualidade do ar e tampouco reduzem as emissões de GEEs no longo prazo, considerando o potencial de crescimento da frota. No caso do biodiesel, as limitações são ainda maiores devido às mudanças no uso indireto da terra, que podem neutralizar seus benefícios climáticos, e às potenciais restrições na capacidade de produção. Na rota à descarbonização do transporte, a eletrificação veicular complementar os biocombustíveis, acrescentando um ganho de eficiência energética que dificilmente será obtido com as tecnologias convencionais. A matriz energética brasileira, fortemente calcada em energia renovável mesmo nas projeções futuras, potencializaria a vantagem da eletromobilidade.

A eletrificação do transporte público urbano se apresenta como prioridade de curto e médio prazo, pois uniria os benefícios da eletrificação aos investimentos em mobilidade urbana. Além das questões climáticas e de qualidade do ar, a mobilidade urbana tem trazido à tona problemas cada vez mais complexos, proporcionais ao crescimento desordenado das cidades. Portanto, não se deve dissociar o tema da tecnologia veicular dos princípios e das diretrizes para melhorar a mobilidade urbana, em que o transporte público coletivo deve ter prioridade sobre o transporte individual motorizado, em conformidade com a Política Nacional de Mobilidade Urbana.

As análises comparativas de custos de tecnologias de ônibus apresentadas neste estudo, com vantagens para ônibus elétricos, reforçam as oportunidades para a eletrificação. Estando o país em condições de iniciar de forma imediata a migração para a eletromobilidade nesse nicho, considerando as vantagens apresentadas em termos de custo total e da capacidade produtiva instalada,

o direcionamento de esforços para superar as barreiras a essa migração traria inúmeras vantagens. Ganhos esperados incluem a redução de emissões de GEEs e de poluentes locais, do consumo energético e de custos operacionais e custos totais, que podem levar à redução de tarifas, além de impulsionar a posição competitiva industrial do país quanto a novas tecnologias.

Portanto, o primeiro desafio é o posicionamento da eletrificação veicular, em especial para o transporte público, e sua internalização como política pública, o que, por consequência, traria uma natural coordenação de esforços para acelerar sua introdução. Os diversos atores-chave teriam um entendimento único, e caminhariam na mesma direção. O desenvolvimento do conhecimento, hoje disperso em centros de pesquisas e universidades, seria canalizado para um esforço comum, com ganhos dessa integração para os resultados finais. Investimentos adicionais seriam feitos pelo setor privado a partir de uma sinalização mais firme de políticas públicas, ganhos em escala seriam atingidos e barreiras de custo seriam reduzidas. A política industrial do setor automobilístico, atualmente em discussão, incorporaria de forma clara esse direcionamento, ampliando as vantagens competitivas para o país diante de oportunidades em mercados internacionais. Os planos de energia agregariam estimativas coerentes com o direcionamento para eletrificação. Esforços adicionais para aperfeiçoamentos tecnológicos na operação de ônibus elétricos se intensificariam com a sinalização positiva. A exemplo de São Paulo, outras cidades poderiam adotar metas de redução de emissões incorporadas em seus contratos de concessão de serviço de transporte público, seguras do respaldo que teriam em termos de políticas públicas e pelo amadurecimento tecnológico, consequência natural do esforço.

As experiências internacionais trazidas em estímulo à eletromobilidade apontam para um enorme leque de alternativas a serem consideradas no contexto e na conjuntura nacional. Novamente, essas experiências podem servir de inspiração para ações a serem tomadas uma vez que se tenha a clareza da direção a seguir. A etapas subsequentes surgirão naturalmente a partir desse esforço coordenado, e mecanismos de acompanhamento e avaliação de resultados poderiam demandar ajustes nas rotas adotadas como um processo evolutivo de políticas públicas.

ANEXO A. SEMINÁRIO DE VALIDAÇÃO

CONTRIBUIÇÕES PARA O TEMA DA ELETROMOBILIDADE NO TRANSPORTE COLETIVO

Ocorrido em 8 de maio de 2018 em Brasília, o seminário de validação deste estudo contou com a presença de especialistas de diversas entidades governamentais, de ensino e pesquisa, do setor privado e do terceiro setor. A lista de participantes está incluída no Quadro A-2 no final desta seção.

Esse seminário fez parte de ações do 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 por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH chamado de PROMOB-e (sistemas de propulsões eficientes).

Como resultado, além de trazer contribuições para este estudo, foram discutidos temas em quatro grupos

formados com os participantes. As questões apresentadas para todos os grupos foram:

1. Quais são os três principais desafios relacionados à adoção da eletromobilidade no transporte coletivo sobre pneus em uma grande cidade brasileira?
2. Com base nas experiências internacionais sintetizadas no Quadro A-1, sugira pelo menos uma ação ou política para superar os desafios e acelerar a eletrificação da frota de ônibus.
3. Detalhe as ações ou planos sugeridos incluindo:
 - principais órgãos envolvidos e suas atribuições;
 - principais atividades no curto, médio e longo prazos;
 - regulamentações necessárias;
 - resultados e ganhos esperados.

Quadro A-1 | **Ações e políticas para a eletromobilidade**

Categoria	Ação
Regulamentos sobre veículos e combustíveis limpos	<ul style="list-style-type: none"> • Cotas de veículos limpos • Normas de eficiência de combustível • Normas de combustível limpo que dão crédito aos VEs
Incentivos ao consumidor	<ul style="list-style-type: none"> • Incentivos para a compra de veículos (subsídios e isenções fiscais) • Isenções de taxas anuais • Acesso preferencial às faixas de rodagem • Acesso preferencial a estacionamentos • Carga com desconto ou gratuita • Programas de financiamento
Infraestrutura de recarga	<ul style="list-style-type: none"> • Protocolos-padrão para EVSEs • Incentivos ou financiamento de EVSEs • Implementação direta • Códigos de construção prontos para VEs
Planejamento, política e outras promoções	<ul style="list-style-type: none"> • Metas de compra • Estratégia de mobilidade elétrica • Alcance e conscientização • Projetos de demonstração • Iniciativas de frotas • Zonas de veículos de baixa emissão

Para cada grupo, foi estabelecido um aspecto a ser aprofundado: infraestrutura de recarga; equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessão; aspectos regulatórios da energia elétrica; e veículos e componentes - aspectos tecnológicos e capacidade instalada. Experiências distintas se somaram, gerando as contribuições sintetizadas a seguir.

INFRAESTRUTURA DE RECARGA E ASPECTOS REGULATÓRIOS DA ENERGIA ELÉTRICA

Os maiores desafios identificados quanto à infraestrutura de recarga e aos aspectos regulatórios da energia elétrica referem-se a:

- Dimensionamento e eventual necessidade de subestações nos pátios das concessionárias de transporte público. Com essa questão, está o desafio de identificar os responsáveis por esses custos.
- Necessidade de padronização dos eletropostos e das interfaces com o veículo, por exemplo. Sugeriu-se a unificação do sistema de recarga.
- Dificuldades da questão regulatória, em especial no que se refere à energia elétrica, e a definição do modelo de negócios associado à recarga.
- Capacitação técnica e acadêmica, com desafios relacionados ao desenvolvimento tecnológico e à necessidade de competência técnica no país.
- Heterogeneidade dos modelos de negócio, que devem se adequar, por exemplo, ao porte das cidades e do sistema de transporte público.
- Discussão sobre tarifa diferenciada para fins sociais do transporte público coletivo. Essa tarifa seria voltada à recarga de ônibus pelos operadores.

Algumas ações foram sugeridas para superar os desafios apresentados:

- Condução de projetos-piloto, permitindo avaliar soluções e impactos operacionais em menor escala. Permitiria ainda a capacitação técnica e o amadurecimento tecnológico. Seriam analisadas as opções para recarga de oportunidade ou mais lenta, em garagem, por exemplo.
- Padronização (Inmetro/ABNT) para que haja um sistema de recarga único.
- Criação de um fundo com recursos para incentivar a instalação de eletropostos ou recarga em garagens.
- Programas de etiquetagem veicular com foco na eficiência energética de veículos pesados, criando um padrão comparativo que induziria a melhorias através da informação.

Os principais órgãos de infraestrutura envolvidos são o governo, a indústria, os operadores do transporte público e as concessionárias de energia. Quanto à regulamentação, os órgãos do governo envolvidos são Ibama/Conama, Inmetro, Aneel e ABNT.

EQUILÍBRIO ECONÔMICO-FINANCEIRO DOS CONTRATOS DE CONCESSÃO

Os desafios que afetam o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessão foram:

- Alto custo de aquisição de veículos elétricos e híbridos, em especial de baterias, com volumes ainda muito baixos para que se viabilize sua produção local. Alto custo de *super chargers* também.
- Insustentabilidade do atual modelo de remuneração adotado em muitas concessões. A depreciação acelerada, por exemplo, e os custos operacionais e de manutenção, nem sempre transparentes ou verificáveis, são barreiras à introdução de novas tecnologias.
- Volatilidade das taxas de câmbio, afetando o valor de importações.

Como sugestões para equacionar essas questões, sugeriu-se:

- Inclusão da bateria, parte importante do custo total dos VEs, como custo de manutenção, equacionado com contratos de *leasing* de longa duração (10 anos, por exemplo) ou de prestação de serviço (de Capex para Opex).
- Depreciação em maior tempo para o VE. Essa modificação é compatível com essa tecnologia, que é mais durável. Vale destacar que pode haver distorções em algumas situações, com contratos de concessão permitindo uma depreciação acelerada. Esse assunto merece aprofundamento.
- Compatibilização da política de incentivos, como financiamentos a taxas mais baixas, com as características da nova tecnologia, incluindo carências e prazos.

VEÍCULOS E COMPONENTES: ASPECTOS TECNOLÓGICOS E CAPACIDADE INSTALADA

Por fim, as contribuições relacionadas à tecnologia, incluindo veículos e componentes, foram:

- Os desafios associados aos VEs estão relacionados ao desenvolvimento de toda a cadeia produtiva. Atenção especial à bateria, em processo de desenvolvimento tecnológico e com redução de preço acelerados nos últimos anos. As questões associadas ao seu descarte também são aspecto a considerar.

- Ainda no que se refere a baterias, considerando seu custo, os desafios remetem a novos modelos de negócio, como o *leasing*.
- Incluem-se nos desafios tecnológicos os postos de abastecimento, destacadamente os de recarga rápida, bem como a capacidade de carregamento e os impactos na rede elétrica.

Como forma de superar os desafios no que se refere à tecnologia, propôs-se:

- Subvenção temporária e decrescente para a aquisição de baterias.
- Desenvolvimento da cadeia de valor para baterias (íons de lítio), incluindo eletrólitos, catodos, anodos, separadores e outros componentes.
- Financiamento e fomento.
- Política tributária como estímulo à nova tecnologia, incluindo reduções e isenções ex-tarifárias para baterias de ônibus elétricos.
- Adoção de tecnologias para integração com fontes renováveis.

Os órgãos que deverão ser envolvidos com essas proposições são MDIC, MME, BNDES, MCidades, Casa Civil, Presidência da República e Aneel.

Para concluir, alguns grupos apontaram como resultados esperados os ganhos para a saúde pública e a redução de GEEs, os ganhos em eficiência energética, o impacto positivo na balança comercial e a maior competitividade industrial.

Quadro A-2 | Participantes do workshop de validação

Participante	Afiliação
Adalberto Maluf	ABVE/BYD
Alexandre Parker	Volvo
Allan Parente Vasconcelos	DREnergy
André Tabuquini	MDIC
Amanda Souza	Promob-e
Berta Pinheiro	WRI
Bruno Carvalho	Promob-e
Carmen Araujo	ICCT
Ceres Barbosa	CGEE

Participante	Afiliação
Clarisse Cunha Linke	ITDP
Claudia Ramirez	SDG
Cristian Benito	MAN
Cristiano Façanha	ICCT
Dante Hollanda	MCTIC
Davi Martins	Greenpeace
Eduardo Soriano	MCTIC
Felipe Barcellos	IEMA
Fernando Araldi	MCID
Fernando Fontes	MDIC
Flavio Raposo de Almeida	EPE
Frank Peter Gundlach	MAN
Gustavo Victor	MDIC
Jairo Coura	MCTIC
Jens Giersdorf	Promob-e
José Luiz Rego Medeiros Cunha	SPTrans
Leonardo Boselli	MDIC
Luiz Carlos Almeida Junior	MDIC
Luiza Lima	Greenpeace
Marcos Costa	Promob-e
Marcus Regis	Promob-e
Marcio Massakiti	Itaipu
Raul Fernando Beck	CPqD
Ricardo Gonçalves Araujo Lima	DREnergy
Ricardo Guggisberg	ABVE
Ricardo Martins Araújo	ABDI
Ricardo Zomer	MDIC
Rudi van Els	UnB
Samy Kopit	ABDI
Simão Saura Neto	SPTrans
Tadeu de Melo	Petrobras
Tais Fonseca	SDG
Tatiana Bermudez	Unicamp/Leve
Thenartt Barros	MME
Thomas Caldellas	Mdic
Ubiratan Castellano	MME
Wagner Setti	WEG
Ricardo Takahira	Promob-e

REFERÊNCIAS

SUMÁRIO EXECUTIVO E CAPÍTULO 1

Assum, T., Kolbenstvedt, M., & Figenbaum, E. (2014). *The future of electromobility in Norway — some stakeholder perspectives*. Oslo: Transportøkonomisk institutt. Disponível em: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=39916>

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). (2018). *Fundo Clima*. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima/fundo-clima>

Berkheimer, J., Tang, J., Boyce, B., & Aswani, D. (2014). *Electric grid integration costs for plug-in electric vehicles*. SAE Int. J. Alt. Power, 3(1), 1-11. Disponível em: <http://papers.sae.org/2014-01-0344/>

Bitnere, K., & Searle, S. (2017). *Effective policy design for promoting investment in advanced alternative fuels*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Advanced-alternative-fuels_ICCT-white-paper_21092017_vF.pdf

BlueIndy. (2018). *About*. Disponível em: <https://www.blueindy.com/>

Bullard, N. (2017, December 8). *China goes all in on the transit revolution*. Bloomberg. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/view/articles/2017-12-08/china-goes-all-in-on-the-transit-revolution>

California Air Resources Board (CARB). (2015). *Electric vehicle charging infrastructure*. California Environmental Protection Agency. Disponível em: www.documents.dgs.ca.gov/bsc/2015TriCycle/CAC/GREEN/Exhibit-B-CARB-Cost-Analysis-and-Technical-Report.pdf

California Air Resources Board (CARB). (2017a, January 18). *California's advanced clean cars midterm review: summary report for the technical analysis of the light duty vehicle standards*. Disponível em: www.arb.ca.gov/msprog/acc/mtr/acc_mtr_finalreport_full.pdf

California Air Resources Board (CARB). (2017b, December 15). *Public workshop of the proposed Innovative Clean Transit Regulation*. Discussion Document. Disponível em: <https://arb.ca.gov/msprog/ict/meeting/mt171215/171215ictconcept.pdf>

California Air Resources Board (CARB). (2018a). *Low-income barriers study, part B: overcoming barriers to clean transportation access for low-income residents*. Disponível em: https://www.arb.ca.gov/msprog/transoptions/sb350_final_guidance_document_022118.pdf

California Air Resources Board (CARB). (2018b). *Large IOU SB 350 IOU proposals with PGE budgets revised*. Disponível em: <http://www.cpuc.ca.gov/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=6442455419>

California Air Resources Board (CARB). (2018c). *AQIP and low carbon transportation advanced technology demonstration projects*. Disponível em: <https://www.arb.ca.gov/msprog/aqip/demo.htm>

California New Car Dealers Association (CNCDA). (2018). *California Auto Outlook: covering fourth quarter 2017*. Disponível em: <http://cncda.org/CMS/Pubs/California%20Covering%204Q%202017.pdf>

California Pollution Control Financing Authority. (2018). *California capital access program electric vehicle charging station financing program*. Disponível em: <http://treasurer.ca.gov/cpcf/calcap/evcs/index.asp>

California Public Utilities Commission (CPUC). (2016, December 21). *Decision directing pacific gas and electric company to establish an electric vehicle infrastructure and education program*. Disponível em: <http://docs.cpuc.ca.gov/PublishedDocs/Published/G000/M171/K539/171539218.pdf>

City of Portland. (2017). *2017 City of Portland Electric Vehicle Strategy*. Disponível em: <https://www.portlandoregon.gov/bps/article/619275>

- Cui, H. (2018). *China's New Energy Vehicle mandate policy (final rule)*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/china-nev-mandate-final-policy-update-20180111>
- Cui, H., Yang, Z., & He, H. (2017). *Adjustment to subsidies for new energy vehicles in China*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/adjustment-subsidies-new-energy-vehicles-china>
- Daimler. (2018). *Learning by driving: car2go offers an ever increasing number of people the opportunity to experience e-mobility*. Disponível em: <http://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Learning-by-driving-car2go-offers-an-ever-increasing-number-of-people-the-opportunity-to-experience-e-mobility.xhtml?oid=15604097>
- Dornoff, J., Miller, J., Mock, P., & Tietge, U. (2018). *The European Commission regulatory proposal for post-2020 CO₂ targets for cars and vans: a summary and evaluation*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU-CO2-proposal_briefing_20180109.pdf
- Edison International. (2016). "SCE receives CPUC approval for 'Charge Ready' Pilot Program; will install as many as 1,500 electric vehicle charging stations in Southland" . Disponível em: <http://newsroom.edison.com/releases/sce-receives-cpuc-approval-for-charge-ready-pilot-program;-will-install-as-many-as-1-500-electric-vehicle-charging-stations-in-southland>
- Energy Efficiency Services Limited (EESL). (2017). *EESL to procure 10,000 electric vehicles from TAT Motors*. Disponível em: <https://eeslindia.org/DMS/98b2a99e-45e9-4930-8cd0-4236ac50e77a.pdf>
- Energy Savings Trust. (2018). *Electric vehicle loan*. Disponível em: <http://www.energysavingtrust.org.uk/scotland/grants-loans/electric-vehicle-loan>
- European Alternative Fuels Observatory (EAFO). (2018). *The European Commission initiative to provide alternative fuels statistics and information (electricity, hydrogen, natural gas, LPG)*. Disponível em: <http://www.eafo.eu/>
- European Green Vehicles Initiative. (2013). *FREVUE - Freight electric vehicles in urban Europe project*. Disponível em: <https://egvi.eu/projects/30/26/FREVUE-FReight-Electric-Vehicles-in-Urban-Europe-project>
- EV Sales. (2018). *Tracking plug-in car sales all over the world*. Disponível em: <http://ev-sales.blogspot.com/>
- Global Mass Transit. (2017, December 1). *Transantiago reforms, Chile: preparing for version 2.0*. Disponível em: <https://www.globalmasstransit.net/archive.php?id=28637>
- Governor's Interagency Working Group on Zero-Emission Vehicles. (2016). *2016 ZEV Action Plan: an updated roadmap toward 1.5 million zero-emission vehicles on California roadways by 2025*. Disponível em: https://www.gov.ca.gov/wp-content/uploads/2017/09/2016_ZEV_Action_Plan.pdf
- Greater London Authority. (2016, March). *Parking standards—minor alterations to the London Plan*. Disponível em: www.london.gov.uk/sites/default/files/parking_standards_malp_for_publication_7_april_2016.pdf
- Hall, D., Cui, H., & Lutsey, N. (2017a). *Electric vehicle capitals of the world: what markets are leading the transition to electric?* International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/EV-capitals-of-the-world-2017>
- Hall, D. & Lutsey, N. (2017). *Literature review on power utility best practices regarding electric vehicles*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/literature-review-power-utility-best-practices-regarding-EVs>
- Hall, D., & Lutsey, N. (2017a). *Emerging best practices for electric vehicle charging infrastructure*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/emerging-best-practices-electric-vehicle-charging-infrastructure>
- Hall, D., & Lutsey, N. (2017b). *Literature review on power utility best practices regarding electric vehicles*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <http://theicct.org/literature-review-power-utility-best-practices-regarding-EVs>
- Hall, D., & Lutsey, N. (2018). *Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/EV-battery-manufacturing-emissions>

Hall, D., Moutak, M., & Lutsey, N. (2017b). *Electric vehicle capitals of the world: demonstrating the path to electric drive*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/EV-capitals-of-the-world>

Haugneland, P., & Kvisle, H.H. (2013). *Norwegian electric car user experiences*. International Electric Vehicle Symposium & Exhibition, 27th edition.

Hybridcars. (2018, Jan 4). *December 2017 dashboard*. Disponível em: <http://www.hybridcars.com/december-2017-dashboard/>

International Council on Clean Transportation. (2018). *Chart library: passenger vehicle fuel economy*. Disponível em: <https://www.theicct.org/chart-library-passenger-vehicle-fuel-economy>

International Energy Agency. (2017). *Global EV Outlook 2017: two million and counting*. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf>

International Zero-Emission Vehicle Alliance. (2018). *International ZEV Alliance announcement*. Disponível em: <http://www.zevalliance.org/international-zev-alliance-announcement/>

Ionity. (2018). *Ionity*. Disponível em: <http://www.ionity.eu/ionity-en.html>

Jin, L., Searle, S., & Lutsey, N. (2014, October). *Evaluation of state-level U.S. electric vehicle incentives*. International Council on Clean Transportation; <http://theicct.org/evaluation-state-level-us-electric-vehicle-incentives>.

Jin, L., & Slowik, P. (2017). *Literature review of electric vehicle consumer awareness and outreach activities*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <http://theicct.org/literature-review-EV-consumer-awareness-and-outreach>.

Joseph, N. (2014, October 20). *Amsterdam's Schiphol airport launches fleet of 167 Tesla electric taxis*. Autoblog. Disponível em: <https://www.autoblog.com/2014/10/20/schiphol-airport-167-tesla-model-s-taxis-official/>

King County Metro. (2017). *Feasibility of achieving a carbon-neutral or zero-emission fleet*. Disponível em: http://kingcounty.gov/~media/elected/executive/constantine/news/documents/Zero_Emission_Fleet.ashx?la=en

King, D. (2017, March 2). *Beijing looks to replace entire taxi fleet with electric vehicles*. Autoblog. Disponível em: <https://www.autoblog.com/2017/03/02/beijing-looks-to-replace-entire-taxi-fleet-with-electric-vehicle/>

Kleiner, F., Özdemir, E. D., Schmid, S. A., Beerman, M., Çatay, B., Moran, B., ..., & Friedrich, H. E. (2015, March). *Electrification of transport logistic vehicles: a technoeconomic assessment of battery and fuel cell electric transporter*. EVS28. Disponível em: http://www.ieahev.org/assets/1/7/Task27-EVS28paper-Kleiner_et_al-2015.pdf

Kurani, K. S., Caperello, N., & TyreeHageman, J. (2016). *New car buyers' valuation of zero-emission vehicles: California*. California Air Resources Board. Disponível em: www.arb.ca.gov/research/apr/past/12-332.pdf

Lewis-Jones, A., & Roberts, J. (2017). *Electric private hire vehicles in London: on the road here and now*. Energy Savings Trust. Disponível em: <http://www.energysavingtrust.org.uk/sites/default/files/reports/195268%20Uber%20EV%20Trial%20-%20Electric%20Private%20Hire%20Vehicles%20in%20London%20V2.pdf>

Lutsey, N. (2015). *Transition to a global zero-emission vehicle fleet: a collaborative agenda for governments*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/transition-global-zero-emission-vehicle-fleet-collaborative-agenda-governments>

Lutsey, N. (2017). *Integrating electric vehicles within U.S. and European efficiency regulations*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/integrating-EVs-vehicle-CO2-regs>

Lutsey, N., Grant, M., Wappelhorst, S., & Zhou, H. (2018). *Power play: how governments are spurring the electric vehicle industry*. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/global-electric-vehicle-industry>

Lutsey, N., Meszler, D., Isestadt, A., German, J. and Miller, J. (2017). *Efficiency technology and cost assessment for U.S. 2025-2030 light-duty vehicles*. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/US-2030-technology-cost-assessment>

Lutsey, N., Searle, S., Chambliss, S., & Bandivadekar, A. (2015). *Assessment of leading electric vehicle promotion activities in United States Cities (2015)*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: www.theicct.org/leading-us-city-electric-vehicle-activities.

Lutsey, N., Slowik, P., & Jin, L. (2016). *Sustaining electric vehicle market growth in U.S. Cities*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: www.theicct.org/leading-us-city-electric-vehicle-2016.

Miller, J., Minjares, R., Dallmann, T., & Jin, L. (2017). *Financing the transition to soot-free urban bus fleets in 20 megacities*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Soot-Free-Bus-Financing_ICCT-Report_11102017_vF.pdf

Ministry of Industry and Information Technology (MIIT). (2015). *Made in China 2025*. 《中国制造2025》规划系列解读之推动节能与新能源汽车发展. Disponível em: <http://zbs.miit.gov.cn/n11293472/n11295142/n11299123/16604739.html>

Mock, P. (2014). *EU CO₂ emission standards for passenger cars and light-commercial vehicles*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <http://theicct.org/eu-co2-standards-passenger-cars-and-lcvs>

Mock, P. (Ed.) (2016). *European vehicle market statistics, 2016/17*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <http://www.theicct.org/european-vehicle-market-statistics-2016-2017>

Mock, P. (2017). *2020-2030 CO₂ standards for new cars and light-commercial vehicles in the European Union*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <http://www.theicct.org/2020-2030-co2-standardscars-lcvs-eu-briefing-nov2016>

Mock, P., & Yang, Z. (2014). *Driving electrification: a global comparison of fiscal incentive policy for electric vehicles*. Disponível em: <http://www.theicct.org/drivingelectrification-global-comparison-fiscal-policy-electric-vehicles>

Mulkern, A. (2017, February 23). *Utilities paying EV drivers 'climate credits'*. Environment & Energy Publishing, Disponível em: www.eenews.net/climatewire/stories/1060050446

Naimoli, S., Kodjak, D., German, J., & Schultz J. (2017). *International competitiveness and the auto industry: what's the role of motor vehicle emission standards?* International Council on Clean Transportation. Disponível em: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Auto-Industry-Intl-Competitiveness_ICCT-Briefing_23052017_vF.pdf

National Research Council (NRC). (2015). *Overcoming barriers to deployment of plug-in electric vehicles*. National Academies Press. Disponível em: www.nap.edu/catalog.php?record_id=21725.

Nissan. (2015, April 13). *Hail the electric: Amsterdam's EV Taxis*. Disponível em: <https://reports.nissan-global.com/EN/?p=16885>

Northeast States for Coordinated Air Use Management (NESCAUM). (2014). *Multi-state ZEV action plan*. ZEV Program Implementation Task Force. Disponível em: <http://www.nescaum.org/documents/multi-state-zev-action-plan.pdf/>

Northeast States for Coordinated Air Use Management (NESCAUM) (2016). *Electric vehicle marketing analysis*. Disponível em: www.nescaum.org/documents/nescaum-elec-vehicle-marketing-analysis-20161219.pdf/view

Northeast States for Coordinated Air Use Management (NESCAUM). (2017). *Driving ZEV success in the Northeast*. Presented to California Air Resources Board, March 24.

Office for Low Emission Vehicles (OLEV). (2014). *Investing in ultra low emission vehicles in the UK, 2015 to 2020*. Disponível em: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/307019/ulev-2015-2020.pdf

Official Journal of the European Union. (2015). *Directive 2015/652 of 20 April 2015 laying down calculation methods and reporting requirements pursuant to Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council relating to the quality of petrol and diesel fuels*. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0652&from=EN>

Pacific Gas & Electric (PG&E). (2015). *PG&E to step up the addition of electric vehicles to its fleet*. Disponível em: https://www.pge.com/en/about/newsroom/newsdetails/index.page?title=20151015_pge_to_step_up_the_addition_of_electric_vehicles_to_its_fleet_

Plug In America. (2016). *Record number of cities celebrate Sixth Annual National Drive Electric Week*. Disponível em: <https://pluginamerica.org/press-release/ndew-2016-record-number-cities/>

Rokadiya, S., & Bandivadekar, A. (2016). *Hybrid and electric vehicles in India: current scenario and market incentives*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/hybrid-and-electric-vehicles-in-india-current-scenario>

Ryan, N. E., & Lavin, L. (2015). *Engaging utilities and regulators on transportation electrification*. *Electricity Journal*, 28, 78-91. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040619015000755

Ryan, N., & McKenzie, L. (2016). *Utilities' role in transport electrification: capturing benefits for all ratepayers*. *Energy and Environmental Economics (E3)*. Disponível em: <https://www.fortnightly.com/fortnightly/2016/04/utilities-role-transport-electrification-capturing-benefits-all-ratepayers>

Salisbury, M., & Toor, W. (2016). *How leading utilities are embracing electric vehicles*. Southwest Energy Efficiency Project. Disponível em: www.swenergy.org/data/sites/1/media/documents/publications/documents/How_Leading_Utilities_Are_Embracing_EVs_Feb-2016.pdf

San Diego Gas & Electric (SDG&E). (2016). *SDG&E to install thousands of electric vehicle charging stations*. Disponível em: www.sdge.com/newsroom/press-releases/2016-01-28/sdge-install-thousands-electric-vehicle-charging-stations.

Singer, M. (2015). *Consumer views on plug-in electric vehicles—national benchmark report*. *National Renewable Energy Laboratory*. Disponível em: www.afdc.energy.gov/uploads/publication/consumer_views_pev_benchmark.pdf

Slowik, P., & Lutsey, N. (2016). *Evolution of incentives to sustain the transition to a global electric vehicle fleet*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: www.theicct.org/evolution-incentives-electric-transition

Slowik, P., & Lutsey, N. (2017). *Expanding the electric vehicle market in U.S. cities*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/US-Cities-EVs_ICCT-White-Paper_25072017_vF.pdf

Slowik, P., Pavlenko, N., & Lutsey, N. (2016). *Assessment of next-generation electric vehicle technologies*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: www.theicct.org/next-generation-electric-vehicle-technologies

State of California. (2018). *Governor Brown takes action to increase zero-emission vehicles, fund new climate investments*. Disponível em: <https://www.gov.ca.gov/2018/01/26/governor-brown-takes-action-to-increase-zero-emission-vehicles-fund-new-climate-investments/>

Tal, G., & Brown, A. (2017). *Credits and rebates play a key role in building consumer market for cleaner electric vehicles*. Institute of Transportation Studies, University of California, Davis. Disponível em: <https://its.ucdavis.edu/blog-post/credits-rebates-play-key-role-building-consumer-market-cleaner-electric-vehicles/>

Tal, G., & Nicholas, M. (2014). *Exploring the impact of high occupancy vehicle (HOV) lane access on plug-in vehicle sales and usage in California*. University of California, Davis. Disponível em: https://itspubs.ucdavis.edu/index.php/research/publications/publication-detail/?pub_id=2355

Tal, G., & Nicholas, M. (2016). *Exploring the impact of the federal tax credit on the plug-in vehicle market*. University of California, Davis. Disponível em: <https://trid.trb.org/view.aspx?id=1392922>

Telangana. (2017, September 27). *Telangana electric vehicle policy - draft 27.09.2017*. Disponível em: http://evpedia.in/wp-content/uploads/2017/11/Telangana-Draft-Electric-Vehicle-Policy-_16_10_2017.pdf

Tietge, U., Mock, P., Lutsey, N., & Campestini, A. (2016). *Comparison of leading electric vehicle policy and deployment in Europe*. The International Council on Clean Transportation. Disponível em: <http://www.theicct.org/comparison-ev-policies-europe-2016>

Toyota. (2014, May 30). *Japan automakers advance electric charging infrastructure with new company, Nippon Charge Service*. Disponível em: <https://newsroom.toyota.co.jp/en/detail/2839963>

Transport for London. (2018). *Cleaner greener PHVs*. Disponível em: <https://tfl.gov.uk/modes/driving/ultra-low-emission-zone/cleaner-greener-phvs>

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2016). *Draft technical assessment report: midterm evaluation of light-duty vehicle greenhouse gas emission standards and corporate average fuel economy standards for model years 2022-2025 (EPA-420-D-16-900)*. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100OXEO.PDF?Dockkey=P100OXEO.PDF>

UITP (2018, March 3). *Electric bus procurement in India - Indian cities got the viable rates*. Disponível em: <http://www.india.uitp.org/news/electric-buses-procurement-indian-cities-got-the-viable-rates>

Vergis, S., & Chen, B. (2014). *Understanding variations in U.S. plug-in electric vehicle markets*. University of California, Davis, Research Report UCD-ITS-RR-14-25.

Vergis, S., Turrentine, T., Fulton, L., & Fulton, E. (2014). *Plug-in electric vehicles: a case study of seven markets*. University of California, Davis, Research Report UCD-ITS-RR-14-17.

Xue, L., & Zhou, W. (2018, April 4). *How did Shenzhen, China build world's largest electric bus fleet?* World Resources Institute. Disponível em: <http://www.wri.org/blog/2018/04/how-did-shenzhen-china-build-world-s-largest-electric-bus-fleet>

Yang, Z., Slowik, P., Lutsey, N., & Searle, S. (2016). *Principles for effective electric vehicle incentive design*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: www.theicct.org/principles-for-effective-EV-incentive-design

Yang, Z., & Bandivadekar, A. (2017). *2017 global update: light-duty vehicle greenhouse gas and fuel economy standards*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/2017-Global-LDV-Standards-Update_ICCT-Report_23062017_vF.pdf

Zero Emission Urban Bus System. (2017). *ZeEUS eBus report #2: an updated overview of electric buses in Europe*. Disponível em: <http://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-2.pdf>

Zero Emission Urban Bus System. (2014). *ZeEUS demonstrations*. Disponível em: <http://zeeus.eu/demonstrations-activities/demonstrations>

ZEV Alliance (2017). *Congrats, zero-emission vehicle champions, for achieving two major global milestones in 2017: 3 million cumulative electric car sales & over 1 million annual electric car sales (through November)*. Cheers to bigger milestones to come! Disponível em: <https://twitter.com/ZEVAlliance/status/947162630820569088>

Zhou, Y., Santini, D., Rood, M., Bluestein, L., Mitchell, G., Stephens, T., & Ward, J. (2016). *An assessment of causes of PEV success across U.S. metro areas*. Argonne National Laboratory. Disponível em: <https://anl.app.box.com/s/u3jnk1mwsbt3c406ielw0h1zbwy42wh1>.

Zhou, Y., Santini, D., Vazquez, K., & Rood, M. (2017). *Contributing factors in plug-in electric vehicle adoption in the United States: a metro/county level investigation*. Argonne National Laboratory. Disponível em: <https://trid.trb.org/view.aspx?id=1439160>

CAPÍTULOS 2-4

André, P.A., Vormittag, E.M.P.A., & Saldiva, P.H.N. (2017). *Avaliação e valoração dos impactos da poluição do ar na saúde da população decorrente da substituição da matriz energética do transporte público na cidade de São Paulo*. Instituto Saúde e Sustentabilidade e Greenpeace. Disponível em: <http://www.saudeesustentabilidade.org.br/publicacao/pesquisa-avaliacao-e-valoracao-dos-impactos-da-poluicao-do-ar-na-saude-da-populacao-decorrente-da-substituicao-da-matriz-energetica-no-transporte-publico-na-cidade-de-sao-paulo/>

Anenberg, S. et al. (2017). *Impacts and mitigation of excess diesel NOx emissions in 11 major vehicle markets*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/impacts-and-mitigation-excess-diesel-nox-emissions-11-major-vehicle-markets>

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI). (2009). *Estudo prospectivo setorial-automotivo: relatório final*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/Automotivo.pdf>

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2018). *Informações gerenciais*. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoes-gerenciais>

Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU). (2018). *Dados do transporte público por ônibus*. Disponível em: <http://www.ntu.org.br/novo/AreasInternas.aspx?idArea=7>

Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea). (2018). *Anuário da indústria automobilística brasileira 2018*. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/annualios.html>

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). (2015). *BNDES setorial 41*. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4281>

Barassa, E., Moraes, H. B., & Consoni, F.L. (2016). *Conhecimento científico e tecnológico para o veículo elétrico no Brasil: uma análise a partir das instituições de ciência e tecnologia e seus grupos de pesquisa*. Disponível em: <http://seer.ufms.br/index.php/deson/article/view/2087>

Blumberg, K. & al. (2018). *Air quality and health benefits of improved fuel and vehicle emissions standards in Mexico*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/mexico-emissions-review>

Borba, B. S. *Modelagem integrada da introdução de veículos leves conectáveis à rede elétrica no sistema energético brasileiro*. Rio de Janeiro: UFRJ/Coppe, 2012. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/bruno_borba.pdf

Chambliss, S., Miller, J., Façanha, C., Minjares, R., & Blumberg, K. (2013). *The impact of vehicle and fuel standards on premature mortality and emissions*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/impact-vehicle-and-fuel-standards-premature-mortality-and-emissions>

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb). (2017). *Emissões veiculares no Estado de São Paulo-2016*. Disponível em: http://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2017/11/EMISSÕES-VEICULARES_09_nov.pdf

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb). (2018). *Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2017*. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2018/05/relatorio-qualidade-ar-2017.pdf>

Consoni, F. et al. (2018). *Estudo de governança e políticas públicas para veículos elétricos*. LEVE/DPCT/Unicamp para Projeto Sistemas de Propulsão Eficiente - PROMOB-e.

Díaz, S., Miller, J., Mock, P., Minjares, R., Anenberg, S., & Meszler, D. (2017). *Shifting gears: the effects of a future decline in diesel market share on tailpipe CO₂ and NOx emissions in Europe*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/shifting-gears-effects-future-decline-diesel-market-share-tailpipe-co2-and-nox>

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2017a). *Balço energético nacional 2018*. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2017b). *BEN-Séries Históricas Completas*. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>

Façanha, C., & Miller, J. (2016). *Análise de custo-benefício da norma P-8 de emissões de veículos pesados no Brasil*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/sites/default/files/P-8%20Portuguese%20White%20Paper%20vFinal.pdf>

Façanha, C., & Posada, F. (2015). *Brazil passenger vehicle market statistics: international comparative assessment of technology adoption and energy consumption*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Brazil%20PV%20Market%20Statistics%20Report.pdf>

Institute for Global Environmental Strategies (IGES). (2018). *List of grid emission factors*. Disponível em: <https://pub.iges.or.jp/pub/iges-list-grid-emission-factors>

Lutsey, N. (2012). *A technical analysis of model year 2011 US automobile efficiency*. Transportation Research part D: Transport and Environment, 17(5), 361-369. Disponível em: https://www.researchgate.net/journal/1361-9209_Transportation_Research_Part_D_Transport_and_Environment

Lutsey, N., Grant, M., Wappelhorst, S., & Zhou, H. (2018). *Power play: how governments are spurring the electric vehicle industry*. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/global-electric-vehicle-industry>

Marx, R., & Mello, A. M. (2014). *New initiatives, trends and dilemmas for the Brazilian automotive industry: the case of Inovar Auto and its impacts on electromobility in Brazil*. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264439402_New_initiatives_trends_and_dilemmas_for_the_Brazilian_automotive_industry_The_case_of_Inovar_Auto_and_its_impacts_on_electromobility_in_Brazil

Ministério de Minas e Energia (MME). (2017). *Plano Decenal de Energia 2026*. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores>

Ministério do Meio Ambiente (MMA). (2016). *Fundamentos para a elaboração da Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) do Brasil no contexto do Acordo de Paris sob a UNFCCC*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/10710-fundamentos-para-a-elaboracao-da-pretendida-contribuicao-nacionalmente-determinada-indc-do-brasil-no-contexto-do-acordo-de-paris>

Observatório do Clima (OC). (2017). *Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) - emissões dos setores de energia e de processos industriais e uso de produtos*. Disponível em: <http://seeg.eco.br/analise-de-emissoes-de-gee-no-brasil-1970-2015/>

Saldiva, P. H. N., & André, P. A. (2009). *Avaliação dos aspectos ambientais, de saúde e sócio-econômicos envolvidos com a implementação do Proconve em seis Regiões Metropolitanas*. São Paulo: Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental.

Saldiva, P. H. N., & Vormitagg, E. M. P. A. (2017). *Qualidade do ar no estado de São Paulo sob a visão da saúde*. Disponível em: <http://www.saudeesustentabilidade.org.br/publicacao/pesquisa-qualidade-do-ar-no-estado-de-sao-paulo-sob-a-visao-da-saude/>

São Paulo Transporte S.A. (SPTrans). (2017). *Relatório técnico - aspectos econômico-financeiros do sistema de transporte coletivo público do município de São Paulo*. Disponível em: http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/transportes/institucional/arquivos/estudo_tarifa_2018.pdf

Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (Sindipeças). (2018). *Relatório da frota circulante 2018*. Disponível em: https://www.sindipeças.org.br/sindinews/Economia/2018/R_Frota_Circulante_2018.pdf

World Health Organization (WHO). (2006). *Air quality guidelines global update 2005*. Disponível em: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1

World Health Organization (WHO). (2016a). *Global health observatory data repository- city level 2016*. Disponível em: <http://apps.who.int/gho/data/view.main.AMBIENTCITY2016?lang=en>

World Health Organization (WHO). (2016b). *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease*. Disponível em: <http://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>

CAPÍTULO 5

Akbar, S., Minjares, R., & Wagner, D. V. (2014). *Reducing black carbon emissions from diesel vehicles: impacts, control strategies, and cost-benefit analysis*. World Bank. Disponível em: <http://documents.worldbank.org/curated/en/329901468151500078/pdf/864850WP00PUBL010report002April2014.pdf>

Bi, Z., Song, L., De Kleine, R., Mi, C. C., & Keoleian, G. A. (2015). *Plug-in vs. wireless charging: life cycle energy and greenhouse gas emissions for an electric bus system*. *Applied Energy*, 146, 11-19. doi:10.1016/j.apenergy.2015.02.031

California Air Resources Board (CARB). (2015). *Low carbon fuel standard. Final Regulation Order, Title 17, California Code of Regulations*. Disponível em: <https://www.arb.ca.gov/regact/2015/lcfs2015/lcfsfinalregorder.pdf>

California Air Resources Board (CARB). (2016a). *Advanced clean transit: battery cost for heavy-duty electric vehicles*. Disponível em: https://www.arb.ca.gov/msprog/bus/battery_cost.pdf

California Air Resources Board (CARB). (2016b). *Advanced clean transit: literature review on transit bus maintenance cost*. Disponível em: https://www.arb.ca.gov/msprog/bus/maintenance_cost.pdf

California Air Resources Board (CARB). (2017a). *Fifth Innovative Clean Transit Workgroup meeting: Cost data and sources (6-26-2017)*. Disponível em: <https://arb.ca.gov/msprog/ict/meeting.htm>

California Air Resources Board (CARB). (2017b). *Fifth Innovative Clean Transit Workgroup meeting: Bus prices analysis (Draft)*. Disponível em: <https://arb.ca.gov/msprog/ict/meeting.htm>

Cidade de São Paulo. (2018). *Lei nº 16.802, de 17 de janeiro. Diário Oficial da cidade de São Paulo, 18 de janeiro de 2018*. Disponível em: http://www.camara.sp.gov.br/wp-content/uploads/2018/01/dom_capa.pdf

Dallmann, T., Du, L., & Minjares, R. (2017). *Low-carbon technology pathways for soot-free urban bus fleets in 20 megacities*. *International Council on Clean Transportation*. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/low-carbon-technology-pathways-soot-free-urban-bus-fleets-20-megacities>

Eudy, L. & Post, M. (2017). *Fuel cell buses in U.S. transit fleets: current status 2017*. National Renewable Energy Laboratory. Technical report NREL/TP-5400-70075.

Gallo, J., Bloch-Rubin, T., & Tomic, J. (2014). *Peak demand charges and electric transit buses*. U.S. Department of Transportation Federal Transit Administration. Disponível em: http://www.calstart.org/Libraries/Publications/Peak_Demand_Charges_and_Electric_Transit_Buses_White_Paper.sflb.ashx

Greenpeace. (2016). *Dossiê Ônibus Limpo: benefícios de uma transição para combustíveis renováveis na frota de São Paulo*. Disponível em: http://www.greenpeace.org.br/hubfs/Campanhas/mobilidade/documentos/2016-greenpeace_dossie_onibus_limpo.pdf

Grütter, J. (2015). *Real world performance of hybrid and electric buses*. Grütter Consulting. Disponível em: http://www.repic.ch/files/7114/4126/7442/Grutter_FinalReport_e_web.pdf

International Council on Clean Transportation (ICCT). (2017). *Zero emission buses are worth reaching for, but emission performance standards are the low-hanging fruit*. Disponível em: <https://www.theicct.org/blog/staff/zero-emission-buses-are-worth-reaching-for>

Miller, J. (2017). *Effect of P-8 standards on bus system costs in Brazil*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: www.theicct.org/sites/default/files/publications/Brazil-bus-fare-briefing_ICCT_14042017_vF.pdf

Miller, J., Minjares, R., Dallmann, T., & Jin, L. (2017). *Financing the transition to soot-free urban bus fleets in 20 megacities*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/financing-transition-soot-free-urban-bus-fleets-20-megacities>

Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestvedt, J., Huang, J., ... Zhang, H. (2013). *Anthropogenic and natural radiative forcing*. In: T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, ... P.M. Midgley (Eds.). *Climate change 2013: the physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

Prefeitura Municipal de Curitiba. (2017). *URBS Preços dos insumos e salários*. Disponível em: https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/pdf/transporte/rit/Preços_dos_Insumos_e_Salários.pdf

Prefeitura de São Paulo Mobilidade e Transportes. (2017). *Comunicado nº 001/2017*. Da consulta pública dos processos administrativos: 2015-0.051.567-8 - Grupo Estrutural Anexo III. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/transportes/edital/>

Shindell, D. T. (2013). *The social cost of atmospheric release*. Economics Discussion Papers, n. 2013-56. Disponível em: www.econstor.eu/handle/10419/85245

SPTTrans. (2018). *Planilha tarifárias do Sistema de Transporte Coletivo Urbano - 2018*. Disponível em: http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/transportes/institucional/sptrans/acesso_a_informacao/index.php?p=227887

Tong, F., Hendrickson, C., Biehler, A. et al. (2017). *Life cycle ownership cost and environmental externality of alternative fuel options for transit buses*. *Trans. Res. Part D*, 57, 287-302. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.09.023>

UITP. (2018). *Electric buses procurement in India - Indian cities got the viable rates*. Disponível em: <http://www.india.uitp.org/news/electric-buses-procurement-indian-cities-got-the-viable-rates>

Valin, H., Peters, D., van den Berg, M., Frank, S., Havlik, P., Forsell, N., & Hamelinck, C. (2015). *The land use change impact of biofuels consumed in the EU: quantification of area and greenhouse gas impacts*. Utrecht, Netherlands: ECOFYS Netherlands B.V. Disponível em: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Final%20Report_GLOBIOM_publication.pdf

PROMOB-e



Por meio da:

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

MINISTÉRIO DA
INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR
E SERVIÇOS

GOVERNO
FEDERAL