



EletroMobilidade

Transição para a Eletromobilidade
nas Cidades Brasileiras

DIAGNÓSTICO E *BENCHMARKING*

**EM ÔNIBUS ELÉTRICOS
NO ATUAL CONTEXTO
BRASILEIRO**



DIAGNÓSTICO E *BENCHMARKING*

**EM ÔNIBUS ELÉTRICOS
NO ATUAL CONTEXTO
BRASILEIRO**

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente da República

Jair Messias Bolsonaro

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

Ministro do Desenvolvimento Regional

Daniel Ferreira

Secretário-Executivo

Helder Melillo

**SECRETARIA NACIONAL DE MOBILIDADE E
DESENVOLVIMENTO REGIONAL E URBANO**

**Secretário Nacional de Mobilidade e
Desenvolvimento Regional e Urbano**

Sandra Maria Santos Holanda

BANCO MUNDIAL

Economista Senior de Transporte

Ana Waksberg Guerrini

Consultora Especialista em Transporte

Aline Lang

Especialista em Desenvolvimento Social

Gabriela Lima de Paula

Consultora Especialista Ambiental

Márcia Noura Paes



EletroMobilidade
Transição para a Eletromobilidade
nas Cidades Brasileiras

DIAGNÓSTICO E *BENCHMARKING* EM ÔNIBUS ELÉTRICOS NO ATUAL CONTEXTO BRASILEIRO

Coordenação Geral

Ana Waksberg Guerrini – Banco Mundial

Fernando Araldi – MDR

Alejandro Muñoz Muñoz – IABS

Elaboração de conteúdo

Beatriz Gomes Rodrigues – ITDP Brasil

Pedro Bastos – ITDP Brasil

Fernando Fleury – Almeida & Fleury

Lilian R. G. Moreira Pires – Universidade
Presbiteriana Mackenzie

Contribuições técnicas Banco Mundial

Ana Waksberg Guerrini – Economista Senior de Transporte

Aline Lang – Consultora Especialista em Transporte

Gabriela Lima de Paula – Especialista em
Desenvolvimento Social

Márcia Noura Paes – Consultora Especialista Ambiental

Revisão técnica

Fernando Araldi – MDR

Adriana Souza – IABS

Jady Medeiros – IABS

Anna Carollina Palmeira – IABS

Colaboradores

Ana Nassar – ITDP Brasil

Clarisse Cunha Linke – ITDP Brasil

Bernardo Baranda – ITDP Mexico

Gonzalo Peon – ITDP Mexico

Fernando Howat – Logit

Roberto Torquato – Logit

Rodrigo Laboissiere – Logit

Wagner Colombini Martins – Logit

Revisão ortográfica e gramatical

InPauta Comunicação

Coordenação editorial

Mariana Resende – InPauta Comunicação

Projeto gráfico e diagramação

Esa Gomes Magalhães – InPauta Comunicação

Diagnóstico e Benchmarking sobre ônibus elétricos no contexto atual brasileiro. Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR e Banco Mundial (autores). Fundo de Tecnologia Limpa - CTF (financiador) - Brasília, 2022.

ISBN: 978-65-87999-42-5

116p.

1. Eletromobilidade 2. Benchmarking 3. Ônibus elétricos. I. Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR II. Banco Mundial III. Fundo de Tecnologia Limpa - CTF IV.

CDU: 629.3

SUMÁRIO

	LISTA DE SIGLAS	6
	INTRODUÇÃO	9
1.	MOBILIDADE URBANA NAS CIDADES BRASILEIRAS: RETROSPECTIVA E TENDÊNCIAS FUTURAS	11
2.	EXPERIÊNCIAS NACIONAIS	15
	2.1 Municípios com frotas de ônibus elétricos em operação	15
	2.2 Estudos realizados ou em andamento	18
	2.3 Obstáculos e oportunidades	22
3.	AMBIENTE REGULATÓRIO E PERSPECTIVAS PARA A ELETROMOBILIDADE	26
	3.1 Evolução do cenário regulatório nacional	26
	3.2 Cenário regulatório do transporte público por ônibus urbano nas cidades brasileiras	30
	3.3 Políticas e incentivos transversais para fomento da eletromobilidade	35
4.	ELETROMOBILIDADE: TECNOLOGIAS E MERCADO	37
	4.1 Tipologia dos ônibus elétricos	38
	4.2 Tipos de bateria	40
	4.3 Ciclo de vida útil dos veículos elétricos e seus componentes	43
	4.4 Infraestrutura de recargas e interoperabilidade	47
	4.5 Mercado nacional de ônibus elétricos e híbridos	53
	4.6 Transição para eletromobilidade: perspectivas e tendências	63
5.	MODELOS DE NEGÓCIOS	78
	5.1 Conceituação de modelos de negócios	78
	5.2 Aplicação a projetos de eletromobilidade	82
	5.3 Critérios para seleção dos modelos de negócios	89
6.	OPORTUNIDADES E CONDIÇÕES LOCAIS PARA IMPLEMENTAÇÃO	93
	6.1 Casos de benchmarking na América Latina	94
	6.2 Casos de benchmarking no Brasil	99
	6.3 Lições aprendidas	100
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
8.	REFERÊNCIAS	104
9.	ANEXO	115
	Atores-chave entrevistados	115

LISTA DE SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABVE	Associação Brasileira de Veículos Elétricos
ACL	Ambiente de Compra Livre
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
BEBs	Ônibus Elétrico Movido a Bateria
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BMZ	Ministério Alemão para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRT	<i>Bus Rapid Transit</i>
CMTC	Companhia Municipal de Transportes Coletivos
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FGV	Fundação Getúlio Vargas
Fundep	Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa
GEEs	Gases de Efeito Estufa
GIZ	Agência Alemã de Cooperação Internacional
GNV	Gás Natural Veicular
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICCT	<i>The International Council on Clean Transport</i>
Iclei	Governos Locais pela Sustentabilidade
Idec	Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor
Iema	Instituto de Energia e Meio Ambiente
Ipea	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

Ippuc	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
ITDP	Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento
Labmob	Laboratório de Mobilidade Sustentável
MCI	Motores a Combustão Interna
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MP	Material Particulado
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
P&D	Pesquisa & Desenvolvimento
PlanClima	Plano de Adaptação e Mitigação das Mudanças Climáticas de Curitiba
PNME	Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica
PNMU	Política Nacional de Mobilidade Urbana
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
Pnuma	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
Proconve	Programa de Controle de Emissões Veiculares
Promob-e	Projeto de Mobilidade Elétrica e Propulsão Eficiente
Rise	Rede de Inovação do Setor Elétrico
Seeg	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

Senai	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Simob	Sistema Nacional de Mobilidade Urbana
Sindipeças	Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores
Sinir	Sistema de Logística Reversa Específico
TCO	Custo Total de Propriedade
Teemp	<i>Transport Emissions Evaluation Models for Projects</i>
Tumi	<i>Transformative Urban Mobility Initiative</i>
UITP	Associação Internacional de Transporte Público
Unep	<i>UN Environment Programme</i>
Unicamp	Universidade Estadual de Campinas
VEHPs	Veículos Elétricos Híbridos <i>Plug-in</i>
VEHs	Veículos Elétricos Híbridos
VEs	Veículos Elétricos
WRI	<i>World Resources Institute</i>
Zebra	<i>Zero Emission Bus Rapid-Deployment Accelerator</i>
ZeEUS	<i>Zero Emission Urban Bus System</i>

INTRODUÇÃO

Este caderno apresenta um diagnóstico sobre o contexto de transição para a eletromobilidade por ônibus no Brasil e aponta as melhores práticas (*benchmarking*) para acelerar a expansão desses veículos em nível nacional. Destacam-se como objetivos específicos deste trabalho:

- i. apresentar o contexto, as oportunidades e as barreiras relacionadas à transição para os ônibus elétricos no país e no mundo;
- ii. estabelecer o caminho político, tecnológico, social e industrial para essa transição nas cidades brasileiras;
- iii. sistematizar as etapas de transição, considerando os diversos caminhos de implantação, bem como as diferentes condições e necessidades de cada local.

Fontes primárias e secundárias foram consultadas para a elaboração de um diagnóstico e *benchmarking* de ônibus elétricos no Brasil. Como fontes primárias, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com atores-chave, tais como representantes de governos, fabricantes, operadores, e/ou associações nacionais e/ou multissetoriais, empresas provedoras de tecnologias e serviços de eletromobilidade. A lista completa dos atores entrevistados e demais informações constam no Anexo 1. Essa estratégia foi adotada para conferir maior acurácia aos dados coletados sobre a experiência brasileira. Isso valeu tanto para cidades em fase de testes quanto aquelas que já tenham avançado no processo de implementação e que contem com ônibus elétricos em operação.

Como fontes secundárias, foram consultadas plataformas multissetoriais consolidadas e reconhecidas internacionalmente, tais como “observatórios” e/ou “aceleradores” da eletromobilidade por ônibus. A confiabilidade dos dados oferecidos por essas fontes permitiu mapear o ecossistema dos ônibus elétricos e suas respectivas partes interessadas: fabricantes de motores e partes componentes, empresas-montadoras, operadores e redes de pesquisa, desenvolvimento e inovação. No Brasil, são exemplos a Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME), o projeto Mobilidade Elétrica e Propulsão Eficiente (Promob-e), E-Bus Radar – plataforma de monitoramento de ônibus elétricos no Brasil e América Latina, C40 *Knowledge hub*, International Council on Clean Transport (ICCT), *Zero Emission Bus Rapid-Deployment Accelerator* (Zebra) e *Transformative Urban Mobility Initiative E-bus Mission* (Tumi E-bus Mission).

A partir do mapeamento das experiências nacionais, consolidou-se uma lista de mais de dez cidades potenciais para implementação de projetos-piloto de eletromobilidade no Brasil. Os municípios foram agrupados a partir do perfil das iniciativas de ônibus elétricos e o estágio dessas experiências.

O relatório está dividido em seis capítulos, com os respectivos temas:

Capítulo 1 – Mobilidade urbana nas cidades brasileiras: contextualiza a realidade nacional por meio de uma retrospectiva e as perspectivas futuras da eletromobilidade;

Capítulo 2 – Experiências nacionais: apresenta as experiências das cidades brasileiras na realização de testes, projetos e planos de introdução de veículos elétricos e híbridos;

Capítulo 3 – Ambiente regulatório e perspectivas para eletromobilidade: oferece um panorama sobre a evolução do cenário regulatório e as particularidades e destaque das experiências nas cinco macrorregiões do país;

Capítulo 4 – Eletromobilidade: tecnologias e mercados: apresenta e discute as tecnologias dos sistemas de propulsão elétrica e híbrida disponíveis no mercado e as diferenças em relação aos sistemas convencionais a combustão;

Capítulo 5 – Modelos de negócios: apresenta sua conceituação, aplicação dos modelos de negócios identificados e os critérios de seleção;

Capítulo 6 – Oportunidades e condições locais para implementação: apresenta as boas práticas identificadas em cidades da América Latina e Brasil e as lições aprendidas que podem ser incorporadas por outras cidades;

Capítulo 7 – Considerações finais: retoma os pontos de destaque e as recomendações principais do estudo.



MOBILIDADE URBANA NAS CIDADES BRASILEIRAS: RETROSPECTIVA E TENDÊNCIAS FUTURAS

A poluição atmosférica coloca em risco a vida de milhões de pessoas diariamente. Nas cidades brasileiras, ônibus, carros e motocicletas – movidos tradicionalmente pela queima de combustíveis fósseis – têm sido os principais responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa (GEEs) e poluentes locais. Diante do agravamento das mudanças climáticas (aumento de temperatura, enchentes, alagamentos, entre outros) e da pandemia da Covid-19, as condições de saúde pública se tornaram ainda mais críticas. Pessoas propensas ao desenvolvimento de doenças cardiorrespiratórias e vasculares têm sido as mais ameaçadas pela poluição.

Esforços científicos, com o objetivo de desenvolver e aperfeiçoar alternativas mais limpas e saudáveis para a movimentação de veículos, têm indicado a eletromobilidade como pauta obrigatória da agenda da mobilidade urbana. Os transportes públicos coletivos são o alvo, principalmente nos grandes centros. Eles são responsáveis por 40% das viagens realizadas nas regiões metropolitanas brasileiras. Desse total, 86% das viagens são feitas apenas em ônibus (ITDP, 2020c). Na média, o transporte de passageiros por ônibus responde pela segunda maior contribuição de emissões de CO₂ (27,2%) do setor de transporte urbano, atrás apenas dos veículos individuais motorizados (57,4%) (CARVALHO, 2011).

A urgência da transição dos sistemas de ônibus convencionais para os de tecnologia elétrica também possui relação direta com o tamanho das

partículas emitidas pela combustão dos ônibus convencionais, que são mais perigosas do que as emitidas por carros e motocicletas. As consequências da exposição a essas partículas afetam principalmente a população periférica, especialmente mulheres e homens negros de baixa renda, segundo dados analisados pelo Boletim #8, da Mobilidados, lançado em abril de 2021 pelo ITDP Brasil (2021). Por dependerem mais dos ônibus para locomoção, usuários em localizações periféricas tendem a sofrer exposição prolongada aos poluentes, uma vez que percorrem maiores distâncias entre o local de residência e as oportunidades distribuídas pela cidade para atividades relativas à educação, saúde, emprego, lazer, entre outras.

Figura 1 – A eletrificação traz impactos positivos às crianças de até 6 anos de idade, que inspiram uma quantidade maior de partículas nocivas à saúde comparadas aos adultos



Fonte: FIA Foundation (ITDP Africa library, Flickr, apud ITDP Brasil, 2021).

Ônibus elétricos podem ser muito oportunos para a saúde de crianças de até 6 anos, por exemplo, que inspiram uma quantidade maior de partículas nocivas (expelidas pela combustão), pois possuem uma frequência respiratória superior quando comparada com a dos adultos (Figura 4). No caso de idosos, que têm sistema imunológico mais debilitado, os mecanismos de defesa corporais podem ficar menos sobrecarregados com a redução de gases poluentes locais.

Por fim, há ainda um ganho de ordem social. Pessoas de mais baixa renda e/ou periféricas tendem a estar mais expostas à poluição do ar pelo tempo que gastam se deslocando em veículos predominantemente poluentes. Com a mudança tecnológica, teriam a oportunidade de usufruir de uma melhor experiência de deslocamento e reduzir riscos de contaminação e adoecimento.

Nesse contexto, é urgente avançar na implementação de estratégias para a descarbonização do transporte público, alinhando-as ao desenvolvimento de uma rede de baixo carbono. O modelo de desenvolvimento das

idades brasileiras, majoritariamente baseado no espraiamento urbano e na expansão da infraestrutura para o transporte individual motorizado, aumentou a segregação espacial e o desequilíbrio na oferta de oportunidades urbanas, incrementando a demanda por combustíveis fósseis e a consequente dependência destes (ZEBRA, 2021). As consequências enfrentadas por tecnologias poluentes adotadas no passado servem de aprendizado para definir condições mais sustentáveis no futuro, tendo como horizonte o período de 2030 a 2050. Para proporcionar essas condições, estruturas e arranjos institucionais inovadores estão sendo demandados aos gestores municipais de modo a viabilizar mudanças efetivas e tecnológicas no sistema de transporte público.

Um dos principais desafios é o aprimoramento de uma governança inter-setorial que permita integrar políticas públicas e melhor coordenação entre as partes interessadas. Além disso, políticas que favoreçam plataformas de dados abertos para monitoramento dos impactos ao longo de todo processo de transição são fundamentais para facilitar e impulsionar tais ações.

Além do mais, evidências sobre o agravamento das condições de mobilidade nas cidades brasileiras ao longo dos últimos anos ajudam a ilustrar essa retrospectiva e as tendências futuras. Não obstante os avanços legais para inflexionar a matriz energética do transporte público por ônibus, entre 2001 e 2020 ocorreu um aumento de 331% na frota de automóveis e motocicletas convencionais no Brasil (PEREIRA *et al.*, 2021). Ademais, também acompanha uma queda vertiginosa no número de passageiros do transporte público coletivo. Trata-se de um momento crítico em que esforços de adesão a soluções elétricas também têm como alvo conter a evasão de usuários por meio da oferta de serviços mais confortáveis, limpos e confiáveis.

Essa realidade é especialmente preocupante em cidades médias e pequenas, onde o transporte público por ônibus tende a funcionar em menor escala e estrutura. Apesar dos desafios, os grandes centros vêm tentando alinhar suas políticas de transporte público a diretrizes ambientais e de acessibilidade universal. Ao passo que cidades menores ainda estão sujeitas a seguir modelos de transporte que usam tecnologias obsoletas, como veículos a *diesel* com menor eficiência energética.

Em março de 2020, a pandemia da Covid-19 impactou consideravelmente os serviços de transporte público coletivo, por causa das medidas de distanciamento social. Tal contexto provocou uma drástica redução no número de usuários de ônibus e de outros meios de transporte coletivo. Em diversas cidades, linhas de ônibus foram interrompidas e muitas empresas foram à falência.

O modelo econômico adotado por grande parte das prefeituras no Brasil transfere todos os custos de operação para as tarifas cobradas dos passageiros. Isso torna o transporte por ônibus sensível não apenas a flutuações de demanda, mas também a emergências de saúde pública, comprometendo a acessibilidade, a experiência do deslocamento e a qualidade de vida da população. Se, por um lado, isso tornou necessária e irreversível

a discussão de subsídios diretos ao setor, por outro também abriu oportunidades para o debate sobre soluções mais eficientes e responsivas à mitigação dos impactos ambientais e de saúde pública.

Durante a pandemia, a redução da poluição atmosférica e sonora resultante da queda de tráfego evidenciou os benefícios que a migração para tecnologias limpas, como a dos ônibus elétricos, pode trazer para a comunidade.

Dados da Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2021), coordenada pela Organização das Nações Unidas (ONU), mostraram que o material particulado (formado por fuligem e outras partículas sólidas ou líquidas em suspensão) caiu até 40% em cidades da África, América do Sul e Sul da Ásia e em quantidades menores em partes da Europa e América do Norte, durante os períodos mais restritos de isolamento social. Junto ao dióxido de carbono (CO₂) e aos óxidos de nitrogênio, o material particulado é um dos poluentes mais nocivos à saúde humana e é liberado principalmente pelos ônibus a *diesel* (ITDP, 2020). A “mudança” temporária permitiu que se avistassem “céus azuis em vez de nuvens poluídas”, sobretudo na América do Sul, região com maior queda dos níveis de CO₂, conforme anunciou a OMM (2021).

Nesse contexto, compromissos para a descarbonização dos ônibus ganharam força, apontando tendências mais promissoras rumo à eletrificação. Exemplo disso é a Declaração de Ruas Livres de Combustíveis Fósseis, promovida pelo Grupo C40 de Grandes Cidades para Liderança do Clima um ano antes da deflagração da pandemia, em 2019. Ao longo de 2020, muitas cidades aderiram ao compromisso de adquirir apenas veículos de emissão zero a partir de 2025 e delimitar maiores áreas urbanas de emissões neutras ou baixas diante da realidade apresentada. No Brasil, o Rio de Janeiro é uma das cidades signatárias.

Além disso, cidades como Campinas, Salvador, São Paulo e Rio de Janeiro estão recebendo apoio do Tumi *E-bus Mission* para acelerar sua frota elétrica. Financiado pelo Ministério Alemão para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (BMZ), um grupo central de organizações, como C40 *Cities*, Agência Alemã de Cooperação Internacional (GIZ), ICCT, Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), Governos Locais pela Sustentabilidade (Iclei), Associação Internacional de Transporte Público (UITP) e World Resources Institute (WRI), estão trabalhando juntas para acelerar a transição de 20 cidades estratégicas para ônibus elétricos no Sul Global mediante troca de aprendizados e mentoria de cidades-referência em eletrificação no transporte público por ônibus.

Nesse sentido, a adoção de ônibus elétricos em substituição aos ônibus convencionais já está sendo incorporada à agenda de diversas cidades. Esse contexto sinaliza oportunidades para adaptação e desenvolvimento da competitividade do complexo econômico nacional da eletromobilidade por meio da produção e incorporação das novas tecnologias de emissões zero até 2060 (FBMC, 2018).

2.

EXPERIÊNCIAS NACIONAIS

As experiências nacionais de eletrificação das frotas de ônibus têm buscado repensar e aprimorar a rede de transporte público como um todo. A partir delas, abrem-se caminhos graduais para a priorização de veículos mais limpos, silenciosos e acessíveis, garantindo também maior velocidade e confiabilidade ao sistema de transporte público por ônibus.

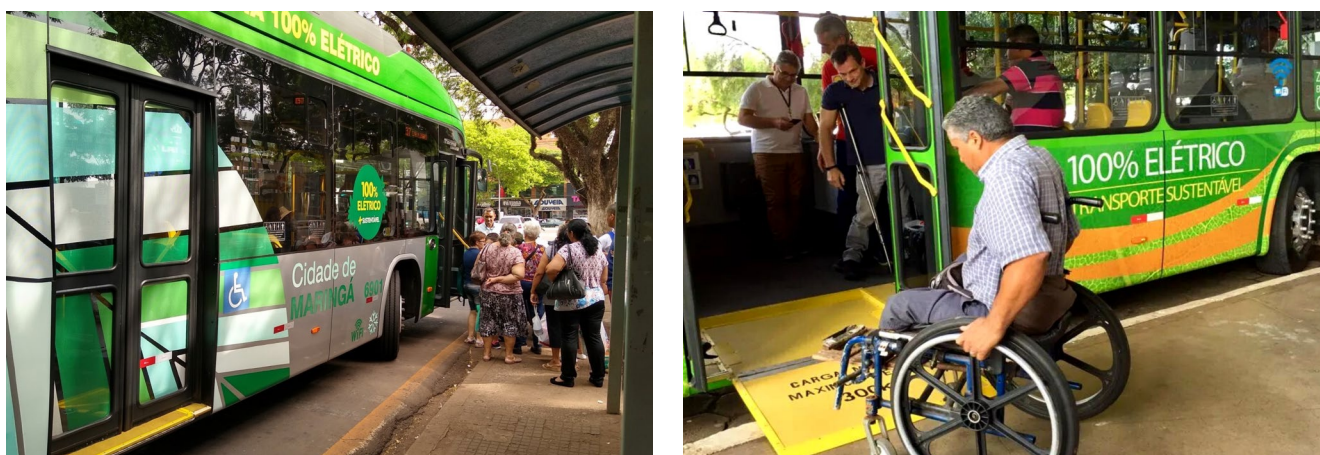
Este capítulo identifica os municípios brasileiros que possuem ônibus elétricos na frota efetivamente em circulação, abordando aspectos quantitativos (quantidade e representatividade na frota total de ônibus) e qualitativos (tipos de tecnologia veicular). Também são apresentados os municípios que já realizaram estudos ou que têm estudos em desenvolvimento para inserção/ampliação de ônibus elétricos na frota a curto prazo. Por fim, são apresentadas as principais barreiras e oportunidades que os municípios brasileiros têm enfrentado na tentativa de acelerar a eletrificação de suas frotas, sobretudo no que tange à regulamentação.

2.1 MUNICÍPIOS COM FROTAS DE ÔNIBUS ELÉTRICOS EM OPERAÇÃO

Até junho de 2022 o país apresentava 351 ônibus elétricos em operação. Na América Latina, o Brasil é o quarto país com maior número de ônibus elétricos em circulação, atrás da Colômbia (1.165), Chile (819) e México (556). Os ônibus elétricos circulam nos seguintes municípios ou regiões: Brasília (DF), Bauru (SP), Campinas (SP), Maringá (PR), São Paulo (SP), Região Metropolitana de São Paulo (SP) e Baixada Santista (SP). O total de veículos corresponde a 1,8% da frota total de ônibus (19.010 veículos elétricos e convencionais) dessas cidades mencionadas. Na Figura 1, são mostrados os ônibus elétricos em circulação em Maringá (PR) e Bauru (SP).

A curadoria dos dados de frota efetiva em circulação é da plataforma E-Bus Radar, produto do Laboratório de Mobilidade Sustentável (Labmob), da UFRJ, feito em parceria com Zebra, C40 *Cities* e ICCT. Essa plataforma monitora semestralmente a frota elétrica efetivamente em operação no Brasil e na América Latina. A confiabilidade dos dados é garantida por meio de validação dos dados com as cidades. Além de visualização georreferenciada, a plataforma também contabiliza as emissões evitadas pelo uso dos ônibus elétricos e discrimina a participação de fabricantes e tipos de veículos usados.

Figura 2 – Ônibus 100% elétricos já circulam em cidades médias no Brasil, como Maringá (PR) à esquerda e Bauru (SP) à direita, e plenamente adaptados a receber passageiros com deficiência



Fonte: Rafael Calabria (INSTITUTO DE DEFESA DO CONSUMIDOR, 2019) à esquerda e Gabriel Pelosi (94FM, 2020) à direita.

Predominantemente, é no estado de São Paulo onde 96% da frota brasileira de ônibus elétricos circula. São destaques a capital (219), a região metropolitana (96) e a cidade de Campinas (15) – a frota das três regiões soma 330 veículos.

A maioria dos veículos em circulação no país é formada por trólebus (302), seguido por 46 ônibus convencionais do tipo *Padron* movidos a bateria, 2 midi-ônibus (8-11m) movidos a bateria e 1 ônibus articulado (com mais de 18m), também movido a bateria.

A Tabela 1 apresenta o quantitativo de ônibus elétricos, respectivas tecnologias veiculares e fabricantes por município¹. Mais informações sobre veículos que circulam em caráter piloto ou em fase de testes serão abordadas no subcapítulo 2.2.

¹ Vale mencionar que a tabela a seguir apresenta apenas ônibus elétricos pertencentes à frota operante da cidade.

Tabela 1 – Municípios brasileiros que possuem ônibus elétricos na frota, tipos de veículos e fabricantes.

Cidade	Total de veículos	Tipo de veículo				Fabricantes		
		Trólebus	Midi a bateria	Conven- cional a bateria (Padron)	Articu- lado a bateria	BYD	Eletra	Outros
Brasília (DF)	6	-	-	6	-	6	-	-
Bauru (SP)	2	-	-	2	-	2	-	-
Campinas (SP)	15	-	-	15	-	15	-	-
Maringá (PR)	3	-	1	2	-	3	-	-
São Paulo (SP)	219	201	-	18	-	18	201	-
Região Metro- politana de São Paulo (SP)	96	95	-	-	1	73	-	23
Santos (SP)	7	6	1	-	-	1	-	6
Volta Redonda (RJ)	3	-	-	3	-	3	-	-
Brasil	351	302	2	46	1	121	201	29

Fonte: Plataforma E-Bus Radar (2022).

As principais fabricantes de ônibus em circulação são a brasileira Eletra e a chinesa BYD, responsáveis por 274 (78%) e 47 (13%) ônibus, respectivamente. Os 8% residuais de trólebus foram produzidos pela Mafersa e pela WEG.

Figura 3 – Trólebus em operação no Centro da cidade de São Paulo



Fonte: Pedro Bastos/ITDP Brasil (2022).

Os ônibus fabricados pela Eletra são do tipo trólebus, cuja tração elétrica se dá pela transmissão de eletricidade mediante duas hastes presas no teto do veículo que, por sua vez, são conectadas à rede aérea instalada no trajeto pelo qual o ônibus irá percorrer. Os trólebus estão predominantemente em São Paulo e circulam, principalmente, no *Bus Rapid Transit* (BRT) Metropolitano ABD (São Mateus – Jabaquara) (Figura 3). O corredor liga os municípios de Santo André, São Bernardo do Campo e Diadema ao terminal Jabaquara, na zona sul da cidade de São Paulo.

Já os ônibus elétricos à bateria em circulação no país usam o fosfato de ferro-lítio como material de eletrodo positivo para transmissão de energia ao motor. Esse é o tipo de bateria mais comum entre os ônibus elétricos em circulação no mundo (ITDP, 2021).

2.2 ESTUDOS REALIZADOS OU EM ANDAMENTO

Desde 2015, pelo menos 38 cidades brasileiras consideraram realizar estudos de transição para a eletromobilidade. Dessas 38 cidades, 22 tiveram estudos desenvolvidos com projetos-piloto implementados. Como apresentado no subcapítulo anterior, em junho de 2022, oito cidades contavam com ônibus elétricos efetivamente em circulação. Outros seis municípios têm estudos em andamento para implementação futura de ônibus elétricos. São eles: Curitiba (PR), São José dos Campos (SP), Rio de Janeiro (RJ), Niterói (RJ), Belo Horizonte (MG) e Salvador (BA). A Tabela 2 apresenta a lista de cidades e o estágio de transição.

Tabela 2 – Municípios brasileiros que realizaram estudos, testes e/ou pilotos para transição elétrica e seu estágio de transição

Cidade	Estado	Região	Estágio de Transição	Ano
Aracaju	SE	Nordeste	Planejou (sem piloto)	Não informado (NI)
Bauru	SP	Sudeste	Em operação	2018
Belém	PA	Norte	Planejou (com piloto)	NI
Belo Horizonte	MG	Sudeste	Em andamento	2021
Boa Vista	RR	Norte	Planejou (sem piloto)	NI
Brasília	DF	Centro-Oeste	Em operação	2018
Campinas	SP	Sudeste	Em operação	NI
Campo Grande	MS	Centro-Oeste	Planejou (sem piloto)	NI
Cascavel	PR	Sul	Planejou (com piloto)	2020
Cuiabá	MT	Centro-Oeste	Planejou (sem piloto)	NI
Curitiba	PR	Sul	Em andamento	2021

Cidade	Estado	Região	Estágio de Transição	Ano
Florianópolis	SC	Sul	Planejou (com piloto)	2016
Fortaleza	CE	Nordeste	Planejou (sem piloto)	2020
Goiânia	GO	Centro-Oeste	Planejou (com piloto)	2015
Jaraguá do Sul	SC	Sul	Planejou (com piloto)	2021
João Pessoa	PB	Nordeste	Planejou (sem piloto)	NI
Macapá	AP	Norte	Planejou (sem piloto)	NI
Maceió	AL	Nordeste	Planejou (sem piloto)	NI
Manaus	AM	Norte	Planejou (sem piloto)	NI
Maringá	PR	Sul	Em operação	2018
Natal	RN	Nordeste	Planejou (sem piloto)	NI
Niterói	RJ	Sudeste	Em andamento	2021
Palmas	TO	Norte	Planejou (sem piloto)	NI
Porto Alegre	RS	Sul	Planejou (com piloto)	NI
Porto Velho	RO	Norte	Planejou (sem piloto)	NI
Recife	PE	Nordeste	Planejou (com piloto)	2019
Rio Branco	AC	Norte	Planejou (sem piloto)	NI
Rio de Janeiro	RJ	Sudeste	Em andamento	2021
Salvador	BA	Nordeste	Em andamento	2021
Santos	SP	Sudeste	Em operação	2017
São José	SC	Sul	Planejou (sem piloto)	NI
São José dos Campos	SP	Sudeste	Em andamento	2021
São Luís	MA	Nordeste	Planejou (sem piloto)	NI
São Paulo + RM	SP	Sudeste	Em operação	2019
Teresina	PI	Nordeste	Planejou (sem piloto)	NI
Uberlândia	MG	Sudeste	Planejou (com piloto)	NI
Vitória	ES	Sudeste	Planejou (sem piloto)	NI
Volta Redonda	RJ	Sudeste	Em operação	2019

Fonte: Elaboração própria.

Pelo fato de Curitiba (PR), São José dos Campos (SP), Rio de Janeiro (RJ) e Salvador (BA) terem previsão de implementar ônibus elétricos em caráter piloto e permanente até o fim de 2022, são apresentados a seguir seus esforços em curso para aderirem ao mapa nacional da eletromobilidade por ônibus. Esses quatro municípios também se destacam no cenário nacional por serem cidades com mais de 250 mil habitantes. Segundo critérios do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), municípios nesse perfil devem elaborar e aprovar Planos de Mobilidade Urbana com

diretrizes claras para suas políticas de transporte (preferencialmente orientadas à sustentabilidade) em conformidade com a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU). Com exceção de São José dos Campos (SP), as outras três cidades-capitais recebem assistência técnica do *Tumi E-bus Mission* para implementação dos seus planos de eletrificação².

2.2.1 Curitiba

Em 2020, a prefeitura firmou operação de financiamento com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) para implementar o “Projeto de Aumento da Capacidade e Velocidade da Linha Direta Inter 2”. Com investimentos da ordem de US\$ 133,4 milhões, está previsto o aporte de 54 ônibus elétricos articulados com 18 metros de comprimento e capacidade para 150 passageiros. Os ônibus elétricos irão circular nos dois itinerários com maior demanda de passageiros na capital curitibana: linha direta Inter 2 e a linha do Interbairros II (paradora). As linhas da Inter 2 atendem cerca de 155 mil passageiros por dia e cumprem um itinerário circular de 38 km que atravessa 28 bairros, ligando os eixos estruturais de transporte da capital paranaense. A frota atual é de 67 ônibus, entre 29 modelos *Padron* e 38 articulados.

Do total, US\$ 106,7 milhões foram de empréstimos pelo BID e US\$ 26,7 milhões em contrapartidas municipais. A esse montante de investimentos deverão ainda ser somados recursos para a implantação de infraestrutura de carregamento, melhorias na infraestrutura viária e a construção de uma rede inteligente de energia (*smart grid*) entre as estações percorridas pelos ônibus e a concessionária do serviço. Essa rede possibilitará o fluxo bidirecional de transmissão de energia e de digitalização das informações, tornando a geração e o uso de eletricidade mais eficientes e sustentáveis. A meta da Prefeitura de Curitiba é de que até 2025-26 pelo menos 100% das linhas Inter 2 operem com ônibus elétricos (PREFEITURA DE CURITIBA, 2021).

A substituição para o modo elétrico será gradativa. Em maio de 2022, as organizações parceiras do Tumi E-Bus Mission, o Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (Ippuc) e a Urbs (empresa pública de urbanização) realizaram um *workshop* com diversos *stakeholders* do mercado para desenhar um modelo de negócios possível para as necessidades operacionais da rede curitibana. Na ocasião, o município também divulgou oficialmente o lançamento de um chamamento público a empresas para adesão ao acordo de cooperação técnica para demonstração de ônibus elétricos.

Os estudos de transição estão sendo feitos pelo Ippuc conforme a disponibilidade dos fabricantes e modelos de ônibus elétricos existentes em operação. Durante o *workshop* também foi discutida, com os fabricantes, a viabilidade de produção customizada de modelos elétricos que se adequem à necessidade operacional dos trajetos estudados. A prefeitura

² As informações apresentadas foram divulgadas pelas respectivas prefeituras. Também foram confirmadas diretamente com os respectivos entes envolvidos durante e/ou posteriormente às entrevistas realizadas para a elaboração deste produto.

estima que, com a melhoria da infraestrutura e o aumento da velocidade da linha, a capacidade das linhas do Inter 2 passe dos atuais 155 mil transportados diariamente para 181 mil passageiros por dia com a adesão aos ônibus elétricos (PREFEITURA DE CURITIBA, 2021).

Também está prevista a inclusão de ônibus elétricos no eixo Leste-Oeste, que opera atualmente 80 ônibus biarticulados, com 25 metros de comprimento e capacidade para 230 passageiros. Para esse corredor, a operação inicial estima 60 ônibus articulados elétricos, com 23 metros de comprimento e capacidade para 180 pessoas.

2.2.2 São José dos Campos

Em maio de 2022, a Prefeitura de São José dos Campos anunciou um plano para a locação de 437 ônibus elétricos a bateria do tipo *Padron* com a meta de eletrificar 100% da sua frota de transporte público até 2032. Parte dessa frota está prevista para circular na futura Linha Verde, um corredor rápido de ônibus que vai interligar as regiões sul e leste, passando pela região central.

A Urbanizadora Municipal (Urbam) de São José dos Campos será responsável pela gestão financeira e pelos meios de pagamento do transporte público na cidade, além de estar incumbida de alugar os coletivos à empresa vencedora da licitação para a operação do transporte público³.

A primeira parte da Linha Verde está prevista para ser entregue à população até o fim do primeiro semestre de 2022. Além das vias segregadas para circulação exclusiva de ônibus elétricos, a Linha Verde terá ciclovias, asfalto ecológico, jardins de chuva e valas de biorretenção (PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2022a; 2022b).

2.2.3 Rio de Janeiro

No Rio de Janeiro, foi lançado em junho de 2021 o Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática da Cidade do Rio de Janeiro (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2021). Seu objetivo central é a construção de políticas municipais alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU para nortear as ações da prefeitura ao longo das diferentes administrações.

Como parte da iniciativa da prefeitura para atender aos objetivos do Plano, foi realizada uma ação-piloto entre novembro e dezembro de 2021 com ônibus elétrico *Padron* da fabricante chinesa BYD circulando nos arredores do Parque Madureira, na zona norte da cidade. Até meados do primeiro semestre de 2022, a prefeitura também havia planejado a

³ Um primeiro edital foi lançado em março e, após ajustes no aumento do prazo contratual (de 10 para 16 anos) e no detalhamento da matriz de risco para as partes envolvidas, foi republicado em abril. Contudo, o edital foi suspenso temporariamente pelo judiciário sob a necessidade de ajustes mais precisos para garantir uma licitação com proponentes elegíveis e interessados. Até junho de 2022, não havia sido divulgada nova data para lançamento da terceira versão.

aquisição de 69 ônibus elétricos *Padron* para operar no corredor de BRT da Avenida Cesário de Melo, na zona oeste.

No entanto, devido à grave crise do sistema, a prefeitura optou por adiar a compra de veículos para garantir celeridade na regularização do serviço de BRT na capital fluminense⁴.

Com base no Decreto Rio nº 46.079, de 11 de junho de 2019, a meta do Rio de Janeiro é de que a partir de 2025 todos os novos ônibus adquiridos sejam elétricos e de que até 2050 todos os ônibus em circulação sejam elétricos. Oportunidades para a incorporação de ônibus elétricos à frota carioca no curto prazo estão no projeto de Distrito de Baixa Emissão (DBE), lançado em junho de 2022. O DBE contempla um perímetro do centro da cidade no qual só poderão circular veículos de emissão baixa ou zero, além de medidas de gerenciamento da mobilidade que priorizem a circulação de pedestres e ciclistas e o tráfego para transporte coletivo de passageiros (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2022).

2.2.4 Salvador

A Prefeitura de Salvador realizou testes-piloto com ônibus elétricos em 2020 e 2021. O projeto foi desenvolvido em parceria com o governo britânico para troca de conhecimentos e aprendizagens no contexto da *Race to*, iniciativa discutida no item 3.2.

Após os testes em 2021, o governo da Bahia adquiriu 20 ônibus elétricos da BYD para integrar a frota de ônibus da região metropolitana de Salvador. A proposta é que parte desses veículos alimentem a operação do corredor BRT no trecho Iguatemi-Pituba a ser inaugurado em outubro de 2022. Em junho de 2022, a Prefeitura de Salvador realizou em parceria com as organizações do *Tumi E-bus Mission* um *workshop* de preparação para dar início à operação dos ônibus elétricos nesse trecho.

2.3 OBSTÁCULOS E OPORTUNIDADES

A transição para a frota de ônibus elétricos nas cidades brasileiras enfrenta obstáculos de ordem tecnológica, financeira e regulatória (planejamento, gestão e monitoramento). Geralmente, esses obstáculos são transversais ao modelo de negócios do serviço de transporte público por ônibus. Nesse sentido, é na regulamentação do serviço que podem ser

4 Entre 2019 e 2022, o BRT do Rio de Janeiro enfrentou uma severa crise, chegando a receber intervenção da prefeitura em duas ocasiões e decreto da caducidade do contrato de concessão. Conforme registro em audiência pública realizada em 18 de fevereiro do mesmo ano, o quantitativo de ônibus elétricos previsto será substituído por veículos *Padron* do tipo Euro VI.

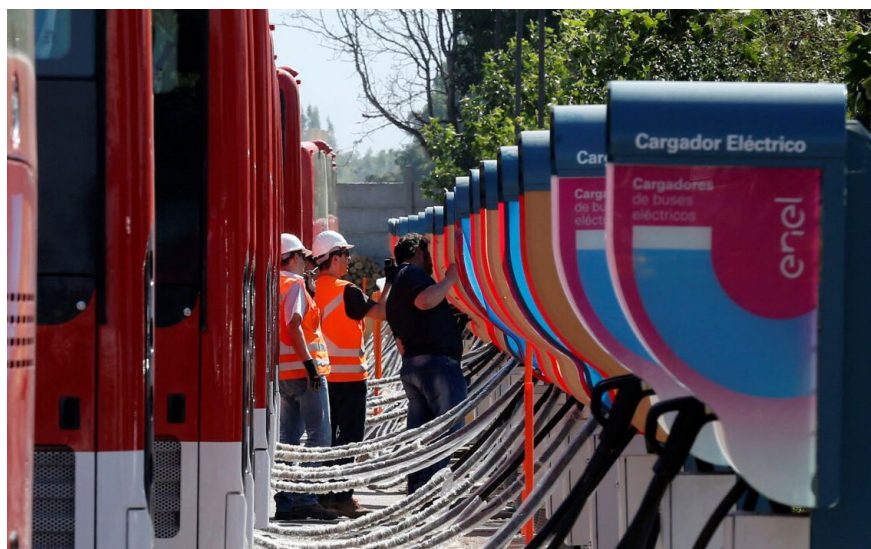
evidenciadas as maiores oportunidades para viabilizar essa transição. Arranjos político-regulatórios que condicionem parâmetros e incentivos para eletrificação são chave para conciliar as partes interessadas e produzir externalidades positivas para a mobilidade urbana (CEPAL, 2020; WRI BRASIL, 2019; 2020).

Uma barreira inicial consiste na carência de conhecimentos mais aprofundados sobre ônibus elétricos por parte das prefeituras e operadoras de trânsito. Com exceção dos trólebus, ônibus elétricos movidos a bateria são uma tecnologia emergente. Logo, por mais que haja avanços na literatura, estudos de casos e troca de conhecimentos no Brasil e no mundo (a exemplo da PNME e do *Tumi E-Bus Mission*), a baixa capacidade técnico-operacional continua sendo um dos entraves à tomada de decisão para aquisição.

Além disso, a adoção de uma nova tecnologia implica na incorporação de infraestruturas adicionais que viabilizem o funcionamento adequado desses veículos. São necessárias infraestruturas de recarga a serem instaladas nas garagens (Figura 3) e em pontos específicos da cidade, além da provisão de redes inteligentes de transmissão e distribuição de energia (as *smart grids*).

Por sua vez, isso exige um planejamento integrado de medidas interativas entre tecnologia, veículos, espaço urbano e capacitação profissional para operação, manutenção e monitoramento. Da mesma forma que essas medidas estão em fase de desenvolvimento e aprendizagem em várias cidades do mundo, também estão sendo compreendidos os papéis de cada ator nesse planejamento, principalmente no que tange à capacitação.

Figura 4 – Recarga do tipo *plug-in* tradicional em Santiago do Chile



Fonte: Diálogo Chino (2019). Foto: Rodrigo Garrido (Alamy).

Outra barreira crítica é investimento inicial para aquisição dos ônibus elétricos e infraestrutura correspondente, apesar dos custos com operação e manutenção serem mais baixos do que os ônibus a *diesel* (SOUZA LIMA *et al.*, 2019; WRI BRASIL, 2021).

A escassez de fornecedores, que será abordada no capítulo 4, também é uma barreira, além da dificuldade de revenda dos veículos. Como mostram Souza Lima *et al.* (2019), os grandes operadores de ônibus nas maiores cidades brasileiras em geral reduzem seus gastos com manutenção revendendo-os para cidades de menor porte. Entretanto, a revenda de ônibus antigos e poluentes não deveria ser considerada como algo positivo no modelo atual considerando os esforços de renovação para uma frota descarbonizada.

Para sistemas de transporte por ônibus totalmente financiados pelo pagamento da tarifa (modelo mais comum no Brasil), as barreiras financeiras têm se mostrado ainda mais desafiadoras. Por dependerem do equilíbrio entre receita e custos, melhorias no serviço – sobretudo, para aquisição inicial de tecnologias veiculares – podem vir a depender da existência de incentivos ou obrigações contratuais e/ou de subsídios. A Tabela 3 resume os principais obstáculos que as cidades brasileiras enfrentam ou podem vir a enfrentar na transição de sua frota.

Tabela 3 – Principais obstáculos à transição para ônibus elétricos

Obstáculo	Por quê?
Altos custos iniciais de investimento	Apesar do custo total de propriedade (TCO, do inglês <i>total cost of ownership</i> , ou seja, o custo total de propriedade, operação e manutenção do veículo ao longo de sua vida) do ônibus elétrico ser inferior ao de um ônibus a <i>diesel</i> , os operadores não possuem recursos para investir em ônibus elétricos com investimentos iniciais mais elevados.
Escalabilidade	O alto investimento inicial de aquisição dos ônibus elétricos em comparação aos ônibus a <i>diesel</i> dificulta sua implantação em larga escala.
Flexibilidade e experiência operacional	Ônibus elétricos podem ser menos flexíveis do que os ônibus a <i>diesel</i> devido à dependência a diferentes opções de carregamento. Por sua vez, essas opções exigem também adaptação de itinerários e frequência no caso de rotas mais longas ou que operem por 24 horas.
Requisitos de aquisição	Conhecimento técnico-operacional limitado dificulta a tomada de decisão para elaboração de editais e especificação de veículos adequados para cada cidade, considerando demanda, condições térmicas, perfil das rotas e topografia.

Obstáculo	Por quê?
Cargas de eletricidade demandadas e problemas de rede	Incapacidade da rede para atender à demanda de recarga dos veículos pode causar aumento nas tarifas e interrupções no fornecimento de eletricidade durante condições meteorológicas adversas.
Falta de padronização das infraestruturas de carregamento	As baterias e respectivas infraestruturas ainda são produzidas conforme modelos específicos de veículos e fabricantes. Isso implica na venda casada de ônibus, baterias e infraestruturas de carregamento, reduzindo o poder de barganha e oportunidades de maior otimização operacional da frota.

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Souza Lima et al. (2019) e ITDP Brasil (2020).

A assinatura de contratos de longo prazo leva à manutenção dos ônibus a *diesel*. Muitos contratos vigentes não estabelecem cláusulas que determinem ou especifiquem a incorporação de tecnologias mais limpas ou de emissão zero, por exemplo, dificultando a inserção de uma frota elétrica.

Diante desses desafios, revisar a regulamentação cumpre um papel decisivo para influenciar a transição para ônibus elétricos no Brasil. A redução no tempo de contrato também é recomendada para garantir que, durante a vigência, as operadoras possam promover mudanças mais robustas de transição em curto e médio prazo. Além disso, devem ser perseguidas formas contratuais e modelos de negócios que compartilhem riscos para superar os desafios representados pelos altos custos iniciais.

Novos modelos de negócio que possibilitem novas formas de financiamento é central nesse sentido. Entre possíveis incentivos financeiros a serem regulamentados, destacam-se a aplicação de multas às operadoras que não introduzirem inovações para ampliar a qualidade ambiental do sistema e a reformulação nos critérios de remuneração das operadoras que atenderem às metas quantificáveis de redução de poluentes. Incentivos técnicos também são oportunos na medida em que estipular quando e como a frota de ônibus deve ser renovada obriga as operadoras a substituírem periodicamente seus veículos em consonância aos avanços tecnológicos.

3.

AMBIENTE REGULATÓRIO E PERSPECTIVAS PARA A ELETROMOBILIDADE

Até 2022, as políticas de incentivo à eletromobilidade têm sido pontuais no Brasil. A legislação tem papel crucial na determinação de questões técnicas, operacionais e financeiras sobre como a frota será disponibilizada e como o serviço será ofertado. Um ambiente regulatório bem estruturado tem potencial para conferir melhor aproveitamento às oportunidades que a transição é capaz de proporcionar, promovendo uma agenda rumo a um desenvolvimento urbano sustentável e inclusivo.

Este capítulo apresenta a evolução do cenário regulatório nacional, os municípios brasileiros com legislação (ou com previsão) voltada à substituição da frota de ônibus convencional por veículos elétricos ou híbridos e à redução de emissões. Também é apresentada uma análise dessas legislações, os modelos de negócio adotados e sua relação com os instrumentos normativos existentes relacionados à temática.

3.1 EVOLUÇÃO DO CENÁRIO REGULATÓRIO NACIONAL

No cenário regulatório nacional, a criação do Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve), pela Resolução Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 18, de 6 de maio de 1986, é um marco legislativo importante para o atual estágio de tecnologias de emissão zero. O programa estipulou pela primeira vez metas de emissões para a indústria automotiva em escala nacional. Também estimulou o desenvolvimento tecnológico nacional tanto na engenharia automobilística como em métodos e equipamentos para ensaios e medições da

emissão de poluentes. A Tabela 4 sistematiza os principais marcos do cenário regulatório.

Tabela 4 – Principais marcos do cenário regulatório nacional para a eletromobilidade

Ano	Tipo de marco	Descrição
1986	Legislação	Resolução Conama nº 18 – Criação do Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve)
1992	Conferência	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – ECO-92
1993	Legislação	Lei nº 8.723 – Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências
2005	Iniciativa	Sistema de Informações da Mobilidade Urbana (Simob) – criado pela ANTP em parceria com BNDES
2008	Legislação	Decreto nº 6.263 – Plano Nacional sobre Mudança do Clima
2012	Legislação	Lei nº 12.587 – Política Nacional de Mobilidade Urbana
2015	Compromisso	Acordo de Paris
2018	Iniciativa	Rede de Inovação do Setor Elétrico (Rise), parceria estratégica firmada entre a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e a GIZ
2018	Legislação	Lei nº 13.755 – Programa Rota 2030
2018	Legislação	Resolução Normativa nº 819 – Estabelece os procedimentos e as condições para a realização de atividades de recarga de veículos elétricos
2018	Iniciativa	Coalizão Respirar
2019	Legislação	Chamada de Projeto de pesquisa e Desenvolvimento (P&D) Estratégico nº 022/2018: “Desenvolvimento de Soluções em Mobilidade Elétrica Eficiente”
2020	Iniciativa	Criação da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica – PNME
2020	Financiamento	Programa de Eletromobilidade do BNDES

Fonte: Elaboração própria.

Entre 1992 e o fim dos anos 2000, houve a realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – ECO-92, no Rio de Janeiro. O evento, de grandes proporções, ajudou a centralizar a agenda do desenvolvimento sustentável para as políticas e iniciativas vindouras até pelo menos 2008, com o Decreto nº 6.263 – Plano Nacional sobre Mudança do Clima. Ele oficializou por decreto o compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima de redução de emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020.

Em 2012, o país enfatizou a mobilidade sustentável como chave para mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades na Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei 12.587/2012). Nela, foram encaminhadas diretrizes para o desenvolvimento sustentável e equidade no acesso ao transporte público coletivo e não motorizado, promovendo a correção de distorções na alocação de recursos nas políticas de desenvolvimento urbano transversais de mobilidade, com vistas à garantia da justiça social e climática.

Em 2013, a publicação do Plano de Mobilidade Urbana para Mitigação da Mudança do Clima – PSTM (BRASIL, 2013) e, em 2015, do Estatuto das Metrôpoles (Lei 13.089/2015) reconheceu o transporte como direito social assegurado pela Constituição Federal de 1988 e aprimorou a governança da mobilidade urbana entre os três níveis de governo e setores articulados.

Ainda em 2015, o firmamento do Acordo de Paris consolidou o fortalecimento gradual de um sistema de combate às mudanças climáticas, sobretudo no setor de transportes. Nesse contexto, parcerias entre governos, organizações nacionais e internacionais vêm sendo desenvolvidas com a intenção de contribuir para zerar as emissões de CO₂ na mobilidade urbana. Tais iniciativas se inspiram na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil com metas de redução das emissões líquidas totais entre 37% (2015-2025) e 43% até 2030, em comparação à base de 2005.

É nesse contexto que a eletromobilidade ganhou maior protagonismo como tecnologia emergente, financeiramente viável e recomendada globalmente para o enfrentamento dos desafios climáticos no setor da mobilidade urbana. Embora tal contexto ainda não situe os ônibus elétricos como protagonistas de uma agenda de eletromobilidade, é crucial celebrá-lo como oportuno ao desenvolvimento de um cenário regulatório favorável.

Em 2018, outro marco importante foi o estabelecimento dos procedimentos e as condições para a realização de atividades de recarga de veículos elétricos por concessionárias e permissionárias de serviço público de distribuição de energia elétrica pela Resolução Normativa nº 819.

No mesmo ano, uma parceria estratégica firmada entre a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e a Agência de Cooperação Alemã – GIZ estruturou a Rede de Inovação do Setor Elétrico (Rise) aplicada à mobilidade elétrica. No processo de construção da Rise, foram convidados representantes de empresas do setor elétrico, da indústria e de institutos de pesquisa e universidades para promover ambientes de inovação propícios à criação de produtos tecnológicos com inserção no mercado para impulsionar a mobilidade elétrica no Brasil. A parceria pretende estimular pesquisas aplicadas, alinhadas com o setor industrial, identificando desafios e oportunidades de desenvolvimento tecnológico.

A promulgação da Lei Federal 13.755/2018, por sua vez, instituiu o Programa Rota 2030 também em 2018 (GOVERNO FEDERAL, 2020). O programa

promove o desenvolvimento do setor automotivo orientado por pressupostos de sustentabilidade ambiental e cidadania. Ele busca ampliar a inserção global da indústria automotiva brasileira por meio da exportação de veículos e autopeças e desenvolvimento tecnológico, principalmente em mobilidade elétrica como diferencial competitivo. De forma complementar, o Rota 2030 concede incentivos à P&D para capacitar as empresas a participarem mais ativamente dessa transformação em seus processos produtivos orientados à eletrificação de veículos.

Entre os anos de 2017 e 2018, a atuação coletiva em São Paulo pela aprovação da Lei do Clima (16.802/2018) resultou no nascimento da Coalizão Respirar. Trata-se de uma rede que congrega mais de 30 organizações da sociedade civil que atuam conjuntamente na defesa da qualidade do ar e no combate à mudança climática no Brasil.

Outra iniciativa de fortalecimento do ambiente regulatório é o Programa de Eletromobilidade do BNDES. Ele almeja o desenvolvimento da mobilidade elétrica com dois principais propósitos: financiar a mobilidade (montadoras e empresas de componentes que desejam performar a produção brasileira de veículos elétricos) e financiar empresas que queiram comprar veículos elétricos para aplicá-los em novos modelos de negócios baseados em frotas corporativas ou mobilidade urbana (MACHADO *et al.*, 2021). Com início em 2020, o programa tem cumprido papel fundamental na mitigação de barreiras financeiras aos ônibus elétricos ao oferecer alíquotas de crédito mais atrativas para quem desejar investir nesse setor, que ainda é tido como incipiente pelo mercado.

Em 2020, a criação da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica se somou ao cenário de fortalecimento do ambiente regulatório. A PNME agrega mais de 30 instituições, incluindo órgãos governamentais, agências, indústria, academia e sociedade civil. O funcionamento em rede potencializa a troca de informações entre parceiros e contribui para a consolidação de mecanismos de aprendizagem e de formação de competências. A definição de metas para o desenvolvimento da tecnologia de mobilidade elétrica pelo grupo busca condicionar uma transição gradual. A ambição é somar esforços para a regulação de uma Política Nacional de Mobilidade Elétrica de modo que se torne um instrumento de desenvolvimento urbano integrado à PNMU (Lei nº 12.587/2012).

É importante ressaltar que está em tramitação no Senado Federal o Projeto de Lei nº 454/2017, que propõe alteração da Lei nº 8.723/1993, para dispor sobre a vedação da comercialização e a circulação de automóveis movidos a combustíveis fósseis a partir de 2060. Caso o projeto seja devidamente aprovado e sancionado, tem o condão de ser um marco legal para incentivar a fabricação e venda de veículos híbridos e elétricos no Brasil. Entretanto, a tramitação do projeto está sem movimentação desde outubro de 2019.

3.2 CENÁRIO REGULATÓRIO DO TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS URBANO NAS CIDADES BRASILEIRAS

Atualmente, São Paulo se destaca no cenário regulatório do transporte público por ônibus. A promulgação da Lei do Clima (Lei nº 16.802, de 17 de jan. de 2018) é o primeiro marco civil municipal brasileiro referente à eletromobilidade. A lei inflexiona o processo de concessão do serviço de ônibus com metas claras para redução de poluentes em prazos de 10 e 20 anos, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Redução mínima de poluentes e prazo conforme determinação da Lei do Clima de São Paulo

Parâmetro	Até 2028	Até 2038
CO2 de origem fóssil	50%	100%
Material Particulado (MP)	90%	95%
NOx (expresso como NO2)	80%	80%

Fonte: Lei Municipal nº 16.802, de 17 de jan. de 2018.

A lei determina que a escolha dos combustíveis e fontes de energia alternativas deverá ser feita sempre mediante aconselhamento das autoridades técnicas municipais, à luz de informação científica consistente, que indique a possibilidade de maximização das reduções das emissões de origem fóssil em todo o ciclo de vida do combustível/energia a ser utilizado, dentro de custos aceitáveis ao orçamento. A lei prioriza a expansão da frota de trólebus como meio de aproveitar infraestruturas já existentes na cidade desde o fim dos anos 1940.

O descumprimento do disposto prevê multa mensal de R\$ 3 mil por cada unidade veicular irregular a ser recolhida em favor do Fundo Municipal de Financiamento do Programa de Substituição e Melhoria Ambiental de Frota. Além disso, os operadores de serviço e as pessoas físicas ou jurídicas proprietárias de frota terão suas atividades suspensas no âmbito do município de São Paulo até que ocorra a regularização de sua frota.

A lei tornou-se referência no Brasil por se tratar de uma legislação adotada pela maior metrópole do país. Nesse sentido, propicia um ambiente regulatório capaz de atrair a atenção de outras cidades brasileiras a seguirem nessa direção. Ao mesmo tempo, também ajuda a atrair a atenção de novos atores a investir no mercado de coletivos elétricos (ICCT, 2019).

Em consonância com São Paulo, no estado do Rio de Janeiro, em agosto de 2021, entrou em vigor a Lei nº 4.515/2021, que autoriza o Poder Executivo

a instituir o Programa de Eliminação de Emissões de Gases Poluentes nos sistemas intermunicipais e municipais de transporte coletivo de passageiros. Porém, não define claramente os procedimentos de remuneração e compensação pela adoção de tecnologias mais limpas. Segundo o inciso 2 do artigo 45 da Lei 14.133, de Licitações e Contratos Administrativos (de 1º de abril de 2021), estes deverão ser acordados durante o processo de licenciamento ambiental.

Segundo o texto da lei, será instituído um Comitê Gestor do Programa de Eliminação de Emissões de Gases Poluentes nos Sistemas Intermunicipais de Transporte Coletivo de Passageiros, definido no Art. 8º, pelo plano de substituição da frota atual por veículos com zero de emissão de gases CO₂, denominados “veículos verdes”. Assim, o governo estadual concederá aos municípios e empresas operadoras de Sistemas Intermunicipais de Transporte Coletivo de Passageiros, por meio da Agência Estadual de Fomento – AgeRio, suporte financeiro para a aquisição de veículos limpos, com vistas à eliminação da emissão de CO₂ nos Sistemas Intermunicipais e Municipais de Transporte Coletivo de Passageiros.

Na Tabela 6 é apresentado o arcabouço jurídico das cidades analisadas para mobilidade urbana e mudança do clima. Foram listados municípios com ambiente regulatório favorável à cultura inovadora, demanda suficiente para viabilização financeira e contratos adequados para a inserção de eletrificação e/ou a serem desenvolvidos com essa tecnologia.

Tabela 6 – Arcabouço jurídico das cidades

Região	Cidade	Arcabouço jurídico para mobilidade urbana e mudança do clima	Inventário de emissões	Meta de emissões
Centro-Oeste	Brasília (DF)	2020 – Plano de Mobilidade Urbana 2021 – Plano de Mitigação para Redução da Emissão de GEEs das Principais Fontes Emissoras no território do DF	2016	Sim
Sudeste	Belo Horizonte (MG)	2006 – Decreto nº 12.362/2006 – Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência 2011 – Política Municipal de Mobilidade Urbana e a Política Municipal de Mitigação dos Efeitos da Mudança Climática 2012 – Plano Municipal de Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa 2014 – Plano Diretor com previsão de redução de emissões de gases poluentes como meta de caráter ambiental associado à mobilidade	2008	Sim
Sudeste	Campinas (SP)	2019 – Plano de Mobilidade Urbana 2019 – Fundo de Desenvolvimento da Mobilidade 2020 – Política Municipal de Enfrentamento dos Impactos da Mudança do Clima e da Poluição Atmosférica de Campinas	2019	Não

Região	Cidade	Arcabouço jurídico para mobilidade urbana e mudança do clima	Inventário de emissões	Meta de emissões
Centro-Oeste	Campo Grande (MS)	2009 – Plano Diretor de Transporte e Mobilidade Urbana	Não	Não
Sul	Curitiba (PR)	2008 – Plano Municipal de Controle Ambiental 2008 – Desenvolvimento Sustentável 2008 – Plano de Mobilidade e Transporte Integrado 2020 – Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas	2016	Não
Sul	Florianópolis (SC)	2018 – Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado da Grande Florianópolis (Pdui)	Não	Não
Nordeste	Fortaleza (CE)	2015 – Plano de Mobilidade 2017 – Política de Desenvolvimento Urbano de Baixo Carbono 2017 – Política Municipal do Meio Ambiente	2019	Sim
Sudeste	Guarulhos (SP)	2019 – Plano de Mobilidade Urbana	Não	Não
Norte	Manaus (AM)	2015 – Plano de Mobilidade Urbana	Não	Não
Sul	Porto Alegre (RS)	2019 – Plano de Mobilidade Urbana	2015	Não
Sudeste	Rio de Janeiro (RJ)	2011 – Política Municipal sobre a Mudança do Clima e Desenvolvimento Sustentável 2019 – Plano de Mobilidade Urbana Sustentável 2021 – Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática da Cidade do Rio de Janeiro, desenvolvido com o apoio da ONU-Habitat e alinhado com a Agenda 2030	2015	Sim
Nordeste	Salvador (BA)	2015 – Política Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável 2018 – Plano de Mobilidade Urbana Sustentável	Não	Não
Sudeste	São Paulo (SP)	2009 – Política de Mudança do Clima 2015 – Plano de Mobilidade Urbana 2018 – Plano de Ação Climática do Município de São Paulo 2020-2050 2020 – Secretaria-Executiva de Mudanças Climáticas (Seclima)	Sim	Sim
Sudeste	São José dos Campos (SP)	2016 – Política Municipal de Mobilidade Urbana Em desenvolvimento – Política Municipal de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas	Não	Não

Fonte: Elaboração própria, com parte do conteúdo adaptado de Iema (2020b).

Das cidades apresentadas na tabela, apenas Campo Grande (MS), Florianópolis (SC), Guarulhos (SP), Manaus (AM), Salvador (BA) e São José dos Campos (SP) não possuem políticas de mobilidade urbana combinadas a iniciativas de inventário de emissões e/ou estabelecimento de metas de redução.

Embora a Tabela 6 nos permita inferir quais são os municípios com arcabouço jurídico mais avançado para favorecer a eletromobilidade (considerando a combinação de políticas e metas climáticas), é importante avaliar caso a caso. Afinal, como visto no capítulo 2, Salvador (BA) e São José dos Campos (SP) são cidades que estão com testes para transição em desenvolvimento, porém, não apresentam inventário e meta de emissões. Do mesmo modo, cidades com arcabouço jurídico mais bem estruturado, como Fortaleza (CE) ou Belo Horizonte (MG), ainda não têm previsto o início de uma transição para a frota elétrica.

O Compromisso com Ruas Verdes e Saudáveis (Declaração de Ruas Livres de Combustíveis Fósseis), lançado pela C40 *Cities* em parceria com o *Global Covenant of Mayors for Climate & Energy* em 2019, incita as prefeituras a se comprometerem com a aquisição exclusiva de ônibus zero emissões a partir de 2025 e a garantir que pelo menos uma área da cidade seja neutra em carbono até 2030 (C40 *CITIES*, 2019). A contrapartida é facilitar uma rede de colaboração e aproximação entre prefeituras com fornecedores, operadoras de frotas e empresas para aprendizagem coletiva sobre as possibilidades de mudança em nível de planejamento operacional do transporte público por ônibus e, também, regulatório. Em todo o mundo, 36 cidades já são signatárias do compromisso. A cada dois anos, o progresso de cada uma delas para atender a essas metas é comunicado globalmente como disseminação de boas práticas para acelerar a transição. Atualmente, o Rio de Janeiro é a única cidade brasileira oficialmente signatária do Compromisso.

Outra iniciativa que vem engajando municípios a acelerarem a transição é o *Race To Zero* (*UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE*, 2020). Liderada pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, trata-se de uma campanha global que reúne liderança e apoio de empresas, cidades e investidores para uma recuperação saudável, resiliente e zero de carbono que evite ameaças futuras, crie empregos e acelere um crescimento inclusivo e sustentável. Até agora, o *Race To Zero* tem o apoio de 120 países, 733 cidades, 31 regiões, 3.067 empresas, 173 investidores e 622 instituições de ensino superior. No Brasil, as cidades de Salvador, São Paulo, Campinas e Belo Horizonte são algumas das integrantes. Em setembro de 2021, a cidade de Salvador recebeu suporte da rede para a realização do seu segundo teste com ônibus elétricos (G1, 2021b).

Além disso, estudos recentes realizados pelo ITDP Brasil, Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (Idec) e IEMA, em 2020, também contribuíram para a produção de evidências no fortalecimento das bases regulatórias para os ônibus elétricos em nível municipal. Como apontado anteriormente no subcapítulo 2.3, uma das principais barreiras para a tomada de decisão é a falta de conhecimento sobre o *modus operandi*

dos veículos e, conseqüentemente, sobre quais regras e condicionantes devem ser levadas em conta nos editais de licitação.

Nesse sentido, os estudos expuseram desafios relacionados à duração dos contratos, remuneração e financiamento do sistema, transparência, redução de poluentes e falta de competitividade. Os trabalhos foram conduzidos individualmente por cada instituição e tiveram abordagens complementares.

Com o objetivo de entender melhor as características da contratação do serviço de ônibus em 13 capitais, o ITDP Brasil (2020) identificou os principais critérios adotados que potencialmente estimulam a adoção da eletromobilidade e outras tecnologias de emissão baixa ou zero nos contratos vigentes (Tabela 7).

Tabela 7 – Principais critérios adotados nos contratos para estimular a adoção potencial da eletromobilidade

Aspecto	Cidades	O que fez
Ambiental	Goiânia	Estabeleceu um Programa de Responsabilidade Ambiental para monitorar a meta de redução de 20% dos GEEs emitidos em até cinco anos após a licitação realizada em 2008.
	São Paulo	Definiu Comitê Gestor para acompanhamento da substituição de frota por alternativas mais limpas, um relatório de emissão anual que estabelece metas de redução de poluentes locais e globais em até 20 anos.
Financeiro	Fortaleza	Definiu muitas caso a prestação do serviço não estabeleça inovações tecnológicas que agreguem qualidade ao sistema.
	São Paulo	Estabeleceu muitas e incluiu critérios de remuneração relacionados ao atendimento das metas ambientais.
Financeiro Técnico	Belém, Curitiba, Porto Alegre e Recife	Estabeleceram critérios na fórmula de remuneração relacionados ao aprimoramento da qualidade do serviço ao usuário.
	Goiânia e São Paulo	Estabeleceram que a renovação da frota deve ser feita de forma regular e com o objetivo de reduzir impactos ambientais.
	Brasília, Porto Alegre, Salvador e São Paulo	Mencionaram a mudança para ônibus elétricos como parâmetro para renovação.
Técnico Operacional	Recife	Mencionou que a prioridade de renovação deve ser dos veículos mais antigos, e que os veículos novos devem possuir selo verde.
	Fortaleza e Belém	Mencionaram a necessidade de capacitações para aprimorar a qualidade do serviço prestado.w

Aspecto	Cidades	O que fez
Técnico	Brasília e Goiânia	Apontam a importância de local coberto e arejado para o abastecimento dos veículos.
Operacional	São Paulo	Conta com um programa de treinamento específico para tecnologias ou ações que levem à redução da emissão de poluentes.
Operacional	Fortaleza e Belém	Mencionaram a necessidade de capacitações para aprimorar a qualidade do serviço prestado.

Fonte: Elaboração própria, adaptada de levantamento realizado pelo ITDP Brasil (2020) a partir dos contratos de concessão.

É importante frisar que foram analisados contratos administrativos que possuísem regramento próprio e condições passíveis de alteração desde que: (i) estivessem em vigência; (ii) não fosse permitido alterar o objeto; (iii) fosse garantido o reequilíbrio econômico-financeiro do contrato. Na amostra das cidades analisadas, é importante ressaltar que há contratos em que inexistem cláusulas de obrigatoriedade de incorporação de novas tecnologias ou a imposição da mudança dos veículos livres da combustão fóssil.

3.3 POLÍTICAS E INCENTIVOS TRANSVERSAIS PARA FOMENTO DA ELETROMOBILIDADE

A Tabela 8 apresenta os instrumentos, com distintas racionalidades e finalidades, usados como incentivos para a estruturação de políticas de eletromobilidade no Brasil e sua governança (BARASSA, 2019). Esses instrumentos são divididos em quatro categorias e sua evolução. Os dados foram adaptados do “Estudo de Governança e Políticas Públicas para Veículos Elétricos”, publicado no âmbito do Promob-e e produzido por Consoni *et al.* (2018).

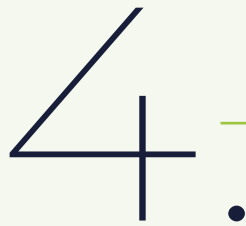
Tabela 8 – Principais instrumentos de incentivo à eletromobilidade no Brasil

Tipo de instrumento	
Produção	1986: Proconve 2008: Programa de Etiquetagem Veicular 2011: Programa BNDES Fundo Clima 2013-2017: Inovar-Auto 2016: Resolução da Câmara de Comércio Exterior (Camex) n. 34, de abril de 2016

Tipo de instrumento	
Desenvolvimento tecnológico	2002: Programa Brasileiro de Sistemas de Célula a Combustível (Finep) 2003-2016: Projetos de Pesquisa (CNPq) 2005-2007: Fortalecimento do Centro de Desenvolvimento em Energia e Veículos (Finep) 2008-2018: Projetos de P&D da Aneel relacionados a VEs 2010-2016: Financiamentos no âmbito do Fundo Setorial CT-Energia (Finep) 2011-2015: Chamada do Sibratec 2011-2013: Programa BNDES de Sustentação do Investimento 2011: Fundo Tecnológico (Funtec) 2012: Normatizações da ABNT relacionadas a Ves
Infraestrutura	2013: Inova Energia – Inclusão de projetos-piloto de sistemas de recarga para VEs em linha de financiamento 2016: Consulta pública da Aneel sobre a necessidade de regulamentação dos aspectos relativos ao fornecimento de energia elétrica a VEs 2017: Audiência pública da Aneel para o aprimoramento da regulamentação do fornecimento de energia elétrica a Ves
Consumo	2015: Resolução da Camex nº 97 – redução de imposto de importação de VEs 2016: Resolução da Camex de redução de imposto de importação para VEs para transporte de mercadorias Estadual/municipal: 2014: Isenções estaduais de IPVA de Veículos Elétricos (RS, MA, PI, CE, RN, PE, SE) e alíquotas diferenciadas (MS, SP, RJ) 2015: Isenção de rodízio em São Paulo

Fonte: Elaboração própria, baseada em Consoni *et al.* (2018, p. 101).

Diante do que foi exposto, e em concordância com Consoni *et al.*, (2018), a existência pura e simples de ações nas dimensões de políticas públicas favoráveis aos ônibus elétricos ainda é incipiente para colocar o Brasil em situação de equidade com os países mais avançados nessa agenda. O capítulo 4 a seguir irá se aprofundar na compreensão das tecnologias disponíveis da eletromobilidade para, em um segundo momento, apontar possibilidades de incentivos baseadas em barreiras existentes e disponibilidade de mercado.



ELETROMOBILIDADE: TECNOLOGIAS E MERCADO

Atualmente, os ônibus elétricos estão se mostrando cada vez mais viáveis, principalmente com o avanço tecnológico e a produção em escala das baterias. Os benefícios ambientais costumam ser a principal motivação para eletrificar as frotas públicas. Embora os ônibus urbanos representem apenas 1% dos veículos rodoviários globalmente, eles fazem aproximadamente 1,5 bilhão de viagens por dia e são responsáveis por 1/4 das emissões de carbono do transporte rodoviário (ITDP, 2021).

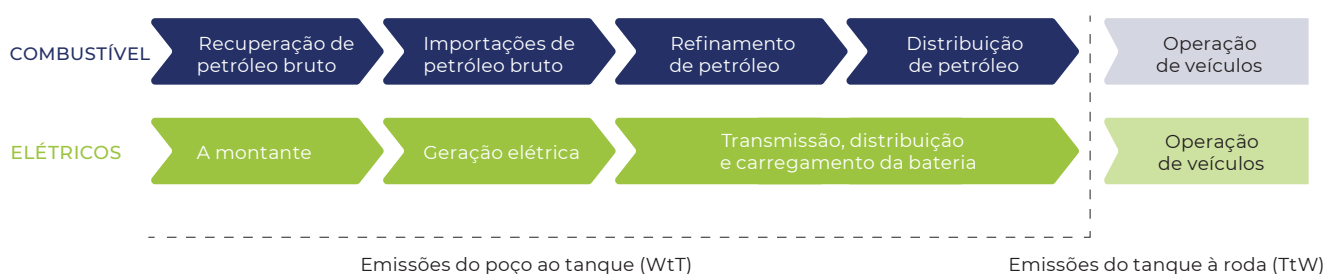
Uma das principais diferenças entre ônibus com motor a combustão interna e os elétricos é a fonte de energia para alimentá-los e tracionar as rodas. Enquanto nos primeiros se utiliza a energia proveniente da queima de combustíveis fósseis ou biocombustíveis para movimentar os pistões e locomover o veículo, os segundos fazem uso de um módulo de bateria como fonte de energia (CASTRO; FERREIRA, 2010).

Outro diferencial importante ao discutir ônibus elétricos é relativo às emissões da cadeia de produção e operação do veículo. Ela é formada pela fabricação dos veículos e peças (equivalente à “do poço à bomba”, do inglês *Well-to-Pump* – WTP), considerando inclusive a sua logística de movimento para a finalização do produto, até a etapa de operação dos veículos (equivalente à “da bomba às rodas”, do inglês *Pump-to-Wheel* – PTW). Toda essa cadeia é denominada emissões *Well-to-Wheel* (WTW), equivalente do “poço às rodas”, em português (GRISOLI, 2011).

Embora os ônibus elétricos movidos a bateria tenham emissão nula durante o movimento, é preciso levar em conta a emissão global: desde a maneira como a energia elétrica é produzida, passando pela forma como as próprias baterias de íons de lítio são fabricadas e suas matérias-primas mineradas e refinadas.

Nesse sentido, a adoção de tecnologias veiculares apresenta desafios independentemente da opção. Porém, os ônibus elétricos movidos a bateria dispõem mais eficientemente da energia e, portanto, demandam menos energia durante o processo de WTP e, conseqüentemente, liberam emissões insignificantes durante o processo de PTW em locais onde há o uso de energias renováveis como fonte de energia.

Figura 5 – Análise comparativa das emissões dos veículos movidos a combustão interna e dos elétricos



Fonte: Elaboração própria.

Dados produzidos pela FGV (2019) mostram que os motores a combustível convencionais têm eficiência de cerca de 35%, enquanto os elétricos têm de 95%. Por eficiência, entende-se que quanto menor a quantidade de energia liberada, mais alto é o desempenho do motor. Mesmo os modelos híbridos, que fazem uso de combustíveis fósseis, permitem percorrer maiores distâncias com menor consumo de combustível em relação aos convencionais.

4.1 TIPOLOGIA DOS ÔNIBUS ELÉTRICOS

Os ônibus de tração elétrica podem ser divididos em trólebus, ônibus elétricos movidos a bateria (*Battery electric buses – BEBs*) e híbridos. Os dois primeiros são caracterizados por serem exclusivamente alimentados por energia elétrica.

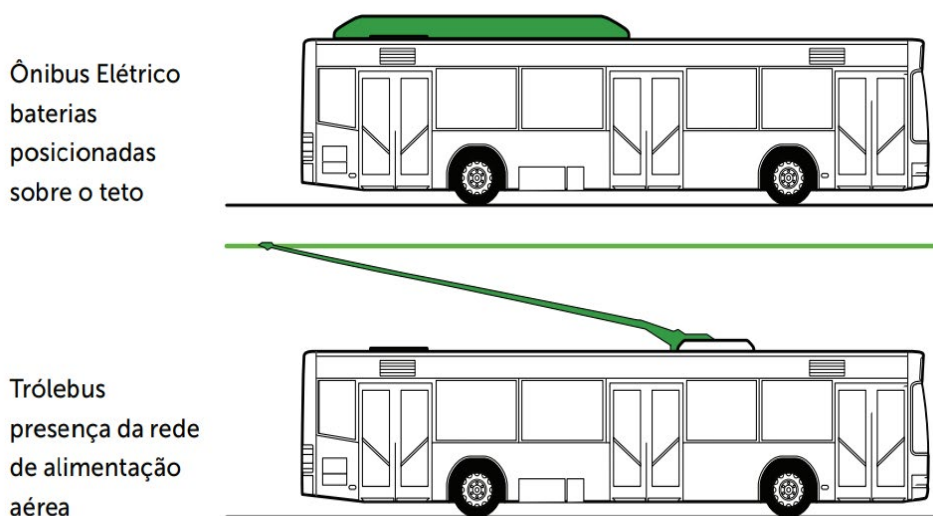
Os trólebus são uma das primeiras tecnologias de ônibus movido a tração elétrica no mundo. Seu motor é alimentado por uma catenária de cabos aéreos suspensos na via, que recebe energia diretamente pela rede elétrica a partir de uma infraestrutura de fios. Os trólebus surgiram no Brasil em 1949, sendo São Paulo a primeira cidade a adotá-lo. Apesar da ampla vantagem por estar diretamente conectado à rede elétrica, garantindo estabilidade e uma boa vida útil do veículo principalmente em cidades com relevo mais acidentado, há desvantagens. Entre elas, a menor flexibilidade de caminhos e rotas a serem percorridas, bem como a maior

dependência de uma condução elétrica contínua e de uma infraestrutura robusta ao longo de todo o percurso.

Já os BEBs são totalmente elétricos com sistemas de motor alimentados por um conjunto de acumuladores de energia. As baterias são alimentadas por uma fonte externa de energia elétrica. Embora ainda seja uma tecnologia relativamente nova, especialmente fora da China, várias cidades como Shenzhen (China) e Santiago (Chile) já aumentaram com sucesso o número de BEBs em suas frotas de ônibus. À medida que a tecnologia e as operações se tornam mais sofisticadas, a autonomia da bateria e o custo total de propriedade (TCO) dos BEBs vão ficando cada vez mais competitivos comparados ao ônibus a *diesel*, híbrido e gás natural comprimido (CNG).

Por se tratar de uma tecnologia ainda muito recente, muitas cidades têm receios da adoção de ônibus elétricos em comparação aos custos iniciais de um ônibus a *diesel*. Endereçaremos alguns dos desafios e perspectivas futuras no subcapítulo 4.6 e no capítulo 6.

Figura 6 – Diferença visual entre ônibus elétrico movido a bateria e trólebus



Fonte: Brasil (2018).

Os ônibus elétricos híbridos combinam elementos de tração elétrica com elementos de tração térmica, ou seja, são alimentados por combustível (líquido ou gasoso), com bateria pequena de apoio ao motor de combustão interna – geralmente, *diesel*, biocombustíveis ou gás natural veicular (GNV). No modo híbrido de utilização, o motor de combustão e o sistema elétrico podem ser utilizados sequencial ou simultaneamente para propulsão, de acordo com o próprio sistema. Os ônibus híbridos também podem ser do tipo *plug-in*, no qual são alimentados por combustível e por eletricidade de forma independente.

Uma das tecnologias de ônibus elétricos mais recentes são os veículos movidos a hidrogênio, que utilizam pilhas a combustível (*fuel cells*) para estocagem de energia. Trata-se de dispositivos que convertem energia química de uma substância (hidrogênio) diretamente em energia elétrica por meio de uma reação com um oxidante, usualmente oxigênio.

4.2 TIPOS DE BATERIA

O desenvolvimento de veículos elétricos, especialmente os BEBs, têm tido uma evolução significativa no mercado por conta dos avanços na tecnologia das baterias. Antes da ampla adoção de baterias recarregáveis de lítio na década de 1990, as baterias normalmente perdiam carga rapidamente e apresentavam complicações de recarga. As baterias de íon-lítio permitem uma vida útil mais longa, um carregamento mais rápido e têm sido aplicadas a uma ampla gama de novas tecnologias.

Importante dizer que a produção de baterias de íon-lítio deverá triplicar até 2025, assim como a mineração extrativa para produzi-las (ITDP, 2021). A instabilidade da cadeia de abastecimento, incluindo minerais essenciais oriundos de países de baixa e média renda, representa um risco para a segurança dos trabalhadores e uma carga sociopolítica desigual para esses países, o meio ambiente e a própria produção de veículos elétricos.

As baterias podem representar o aspecto mais caro dos ônibus elétricos, além de serem um dos componentes mais pesados e gerarem impactos nocivos ao meio ambiente. Entretanto, são o principal elemento para a garantia de maior autonomia dos ônibus. Por exemplo, uma bateria de fosfato de ferro de lítio (LFP, do inglês *Lithium Iron Phosphate*) pode representar até 39% do custo total de um BEB e até 26% do peso total do ônibus (ITDP, 2021).

Nesse sentido, é crucial compreender os modelos de bateria, pois o tipo dela e o tipo de carregamento dependem um do outro e impactam as operações, autonomia, capacidade da bateria e tempo de recarga. Os fabricantes costumam listar a autonomia da bateria como o limite superior do que é possível em condições ideais (GAO *et al.*, 2017; ITDP, 2021).

Além disso, a autonomia e as horas de operação dos ônibus elétricos são inferiores às do *diesel*. Na China, enquanto a média de horas de operação de um ônibus elétrico quase dobrou de 4,9 horas em 2017 para 8,6 horas em 2019, uma limitação quanto às horas de operação continua a ser um desafio para os sistemas de ônibus urbanos.

A Tabela 9 resume alguns tipos de bateria disponíveis e respectivas vantagens, desvantagens e empresas que usam cada tipo. Algumas baterias podem ser usadas para vários tipos de carregamento. Normalmente, os fabricantes oferecem tipos e tamanhos diferentes de baterias (capacidades) para diferentes métodos de carregamento. Outras tecnologias de

bateria, como ácido de chumbo (Pb-ácido), hidreto metálico de níquel (Ni-MH), óxido de cobalto-lítio (LCO), óxido de manganês de lítio (LMO), óxido de lítio-níquel cobalto-alumínio (NCA), enxofre de lítio (Li-S), *Li-air* e *Zn-air* não estão incluídos nessa tabela por não serem tão populares quanto outros modelos.

Tabela 9 – Informações sobre diferentes tipologias de baterias

Tipo de Bateria		Peso	Segurança	Velocidade de Recarga	Vida Útil	Desempenho	Custo	Detalhes
Íon de lítio	Fosfato de Ferro de Lítio (LFP, ou LiFePO ₄)	↑	↑	↓	↑	↑	↓	+ Tipo de bateria mais comum
	Óxido de cobalto de níquel de lítio (NMC, ou LiNiMn-CoO ₂)	↓	↓	↑	↑	↑	↑	- Menos seguro (materiais tóxicos e inflamáveis podem causar acidentes)
	Titanato de lítio (LTO, ou Li ₄ Ti ₅ O ₁₂)	↑	↑	↑	↑	↑	↑	+ Cobrado em altas taxas de kWh sem reduzir o ciclo de vida + Dura mais de 8.000 ciclos do que outras tecnologias de íons de li-íon
	Polímero metálico de lítio (LMP)	--	↑	--	--	--	↑	+ Maior segurança operacional do que outras baterias li-íon - Menos comum
Bateria de sal fundido (Cloreto de Níquel de Sódio, NaNiCl ou Zebra)		↑	↓	--	↑	--	↑	+ Ciclo de vida mais longo devido à baixa autodescarga - Menos comum

Fonte: Elaboração própria, baseada em ITDP (2021).

Atualmente, vários tipos de bateria estão disponíveis, cada uma com vantagens e desvantagens. No Brasil e na América Latina, as baterias de fosfato de ferro de lítio (LFP) são as mais populares e que já contam com produção nacional desde 2020 no Polo Industrial de Manaus. Já as baterias de óxido de níquel, cobalto e lítio (NMC) e titanato de lítio (LTO) são cada vez mais favorecidas na América do Norte e na Europa. Outras tecnologias de bateria sem íons de lítio, incluindo Zebra e Li-S, são menos

populares no momento, pois continuam a ser aprimoradas tecnologicamente para uso em veículos pesados. Diferentes fatores a serem considerados incluem (ITDP, 2021):

- **Peso:** baterias mais pesadas são geralmente mais baratas e têm melhor estabilidade térmica (ou seja, a bateria tem menos probabilidade de ser sensível e/ou funcionar mal com altas ou baixas temperaturas). Contudo, exigem mais energia para realizar operações mais pesadas. Já as baterias mais leves carregam mais rápido, pois têm uma vida útil mais longa e permitem que os ônibus transportem mais passageiros (devido ao peso reduzido da bateria).
- **Tamanho:** o tamanho da bateria dependerá do tipo de sistema de carregamento escolhido. O carregamento por *plug-in* requer tamanhos maiores de bateria por sua maior estabilidade, enquanto o carregamento em rota usa baterias menores.
- **Segurança:** baterias com vida útil mais longa podem ser mais perigosas na fabricação e nas operações por conta do risco de vazamento de material nocivo ou explosivo, por exemplo, em caso de colisões. Para evitar a explosão em caso de acidentes, recomenda-se colocá-la na parte dianteira ou traseira do veículo. No caso de baterias mais estáveis, o posicionamento pode ser mais flexível.
- **Velocidade de carregamento:** um ciclo de carregamento típico pode variar de 5 minutos a 10 horas, dependendo do método.
- **Capacidade de autonomia:** o carregamento em rota (isto é, que acontece enquanto o veículo está em movimento) pode usar baterias menores (até uma autonomia ideal de 200-300 km), enquanto o carregamento *plug-in* usará baterias maiores com maior autonomia (até 500 km).
- **Capacidade de carregamento em temperaturas extremas:** diferentes compostos de metal têm diferentes sensibilidades a temperaturas extremamente baixas e/ou altas que podem afetar a velocidade de recarga ou retenção.
- **Autodescarga:** a diminuição da capacidade de uma bateria para reter uma carga ao longo do tempo varia entre os diferentes tipos de bateria. Geralmente, quando a capacidade da bateria cai abaixo de 70-80%, eles são considerados prontos para substituição (o ideal é que as baterias durem até a manutenção da meia idade do ônibus, cerca de seis a sete anos).
- **Custo:** o preço da bateria irá variar amplamente com base na tecnologia de bateria escolhida (conforme os fatores acima), bem como no local de fabricação e compra. Por exemplo, o custo médio das baterias de ônibus na China é de cerca de US\$ 105/kWh, enquanto as baterias da América do Norte custam em média US\$ 300-500/kWh (ITDP, 2021).

Um fator crítico a ser levado em consideração é que a extração mineral para a produção de baterias impacta a paisagem geológica do planeta em um ritmo cada vez maior. Embora o lítio possa ser extraído de rocha dura, a maioria (87%) é extraída com salmoura. É um processo demorado e trabalhoso (estendendo-se por 18 meses) que requer grande quantidade de água e causa efeitos adversos no solo e nas fontes de água próximas. A maioria é oriunda do “triângulo do lítio” – Chile, Argentina e Bolívia – que responde por 75% do lítio produzido no mundo. O Salar de Atacama, deserto de sal no Chile, tem a maior concentração de salmoura com quase 30% dos recursos de lítio conhecidos no mundo. Chegou a responder por 65% do mercado mundial de lítio em 2009. Nos Estados Unidos, um novo impulso para minerar lítio no estado de Nevada (e vários outros estados) gerou a resistência de populações indígenas, grupos de defesa do meio ambiente e trabalhadores agrícolas locais que protestam contra o uso indiscriminado de água para mineração em um ambiente que está perdendo os níveis de água anualmente.

Com essas preocupações crescentes em torno dos impactos ambientais, sociopolíticos e de saúde da extração e produção de baterias de lítio, há iniciativas para diversificar os métodos utilizados. Várias empresas estão desenvolvendo processos alternativos com foco particular na reutilização. Um exemplo é a mineração urbana ou reciclagem de baterias usadas de íon de lítio para desenvolver novas baterias, como será abordado no subcapítulo a seguir.

Para governos e empresas, a utilização de novas tecnologias de propulsão veicular e uso de fontes menos intensivas de carbono podem representar uma economia de custos diante do consumo de combustíveis intensivos de carbono no longo prazo. Por outro lado, devido ao desenvolvimento mais recente dos sistemas de propulsão de veículos de baixa emissão (elétricos e/ou híbridos) em relação aos de propulsão mecânica, o custo de aquisição e de propriedade ainda é uma barreira para o ganho de escala, em especial na cadeia produtiva nacional (CASTRO; FERREIRA, 2010), como tratado no subcapítulo 2.3 deste relatório.

4.3 CICLO DE VIDA ÚTIL DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS E SEUS COMPONENTES

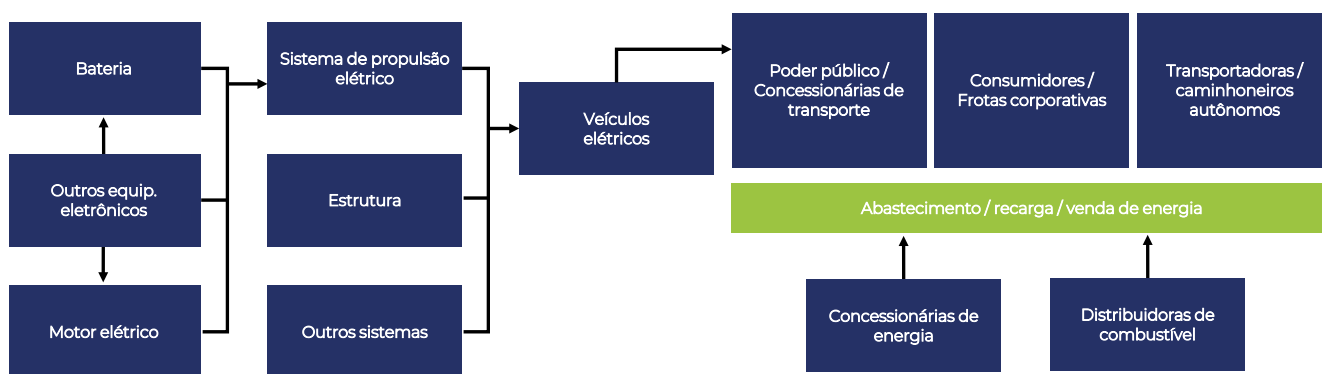
O ciclo de vida de produtos ou serviços se inicia na extração de matérias-primas e insumos e geração de energia, passando pela produção e utilização, até o descarte ou recuperação no pós-consumo. É importante que as empresas conheçam a origem das matérias-primas, insumos e produtos utilizados em sua linha de produção e nas operações diárias para garantir que os direitos humanos e o meio ambiente sejam respeitados ao longo de todo o ciclo.

Considerando as crescentes preocupações com a degradação e justiça ambiental, as cidades devem considerar todos os efeitos ao implementar o serviço e identificar estratégias para melhorar o fornecimento de baterias e produção eficiente de veículos. As opções atuais para minerais como lítio e cobalto têm sérios impactos de segurança, meio ambiente e saúde que podem anular os resultados positivos dos BEBs se não forem adquiridos e gerenciados adequadamente (ITDP, 2021).

O lítio é um elemento químico de elevada reatividade e inflamabilidade e não é encontrado no seu estado nativo, estando associado a outros elementos químicos. A produção e o descarte inadequados do lítio podem gerar acumulação de resíduos poluentes nos solos, águas e atmosfera, destruindo paisagens biodiversas (o solo fica mais desprotegido, tendendo à erosão) e a fauna local. Além disso, a exposição a altas temperaturas pode causar danos definitivos à bateria e até mesmo sua explosão.

A Figura 7 apresenta um resumo da cadeia de valor dos veículos elétricos desde a produção dos sistemas principais até o consumidor, incluindo a operação de abastecimento e/ou recarga do veículo.

Figura 7 – Cadeia de valor dos veículos elétricos



Fonte: Elaboração própria, adaptada de Castro et al. (2013).

Nesse sentido, a Avaliação ou Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica que estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais (positivos e negativos) ao longo da vida de um produto ou serviço, desde a extração da matéria-prima até a destinação final. A metodologia da ACV pode ser aplicada com diversas finalidades, entre elas: desenvolvimento e melhoria do produto; definição de planejamentos estratégicos e políticas públicas; indicadores de sustentabilidade; gestão de impactos ambientais de produtos e serviços; e marketing ecológico responsável. No caso brasileiro, a ACV é regida pelas normas ISO 14040 (ABNT, 2009), que determinam a estrutura, os princípios, os requisitos e as diretrizes que devem constar em estudos desse tipo.

De forma complementar, a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, Lei 12.305/2010) determina o princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a obrigatoriedade da logística reversa para gestão e destinação correta dos resíduos sólidos. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) define a logística reversa como instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada. Para alguns produtos, devido ao grau e à extensão do impacto de seus resíduos à saúde e ao meio ambiente, deve-se implantar sistema de logística reversa específico (Sinir), como é o caso das baterias e/ou pilhas, componentes eletroeletrônicos, pneus, peças de metal, alumínio e plástico utilizados para construção dos veículos elétricos e/ou híbridos.

O atual estado de incerteza quanto ao fim da vida útil das baterias representa um desafio para a adoção de ônibus elétricos. Além disso, o descarte inadequado aumenta as emissões gerais ao longo da vida, o que pode ser evitado. Enquanto as empresas que oferecem pontos de entrega voluntária (PEV) desenvolvem programas de reciclagem, atualização e reutilização, há muito trabalho a ser feito para as baterias BEB. A pesquisa deve se concentrar em compreender como as baterias BEB podem ser reutilizadas ou reaproveitadas, como o uso para armazenamento descentralizado de energia ou a reciclagem de materiais para desenvolvimento de baterias novas.

As baterias são consideradas em “fim de vida” quando atingem aproximadamente 70-80% da capacidade original. A vida útil de uma bateria típica pode durar de seis a 12 anos, com empresas oferecendo garantias que variam de 6 anos (*New Flyer*) a 12 anos (BYD e Proterra). É importante notar que poucas baterias de ônibus passaram por um ciclo de vida completo dada a incipiência das operações em todo o mundo. Portanto, muitas dessas estimativas são baseadas em projeções.

Embora as baterias de veículos elétricos pessoais (caso dos carros elétricos) possam ser recicladas com mais facilidade e empresas como BMW, Nissan, Renault, Tesla, Volvo e Yin-Long ofereçam programas de reutilização e reciclagem de vida útil da bateria, isso é muito mais desafiador para os BEBs por envolver uma grande e complexa estrutura do pacote de baterias.

Os métodos de reciclagem das baterias usadas em BEBs, no Brasil, ainda estão em desenvolvimento e, atualmente, estão se adotando as seguintes soluções (WORLD BANK, 2019):

- uso da bateria em um segundo ciclo de vida, como no armazenamento de energia solar ou eólica, com 96% de eficiência. A BYD no Brasil já está vendendo placas solares e fechando pacotes de venda com esse objetivo;

- após o segundo ciclo de vida (30 anos), as baterias devem ser submetidas à reciclagem, em que são aproveitados os componentes de íon-lítio, assim como outros componentes químicos para a produção de novas unidades.

Processos de reciclagem hidrometalúrgica para baterias de íon-lítio estão ganhando cada vez mais espaço por serem mais sustentáveis que os processos de pirometalurgia. Esses métodos de processamento são mais caros, mas podem produzir materiais refinados passíveis de reutilização na fabricação de novas baterias de íon-lítio e de reuso para outras finalidades (prática que já vem sendo adotada pela Nissan) (ITDP, 2021).

Atualmente, o descarte inadequado pode levar à contaminação do solo nas áreas de rejeito e produzir emissões atmosféricas nocivas e permanentes. Por exemplo, a pegada de carbono das baterias de íons de lítio pode variar entre 39 kg CO₂e / kWh a 196 kg CO₂e / kWh (MELIN, 2019). É, portanto, essencial definir nos processos de aquisição quem será responsável pela reciclagem ou descarte no final da vida útil, tanto financeira quanto logisticamente.

Uma possível forma de reaproveitamento de baterias de ônibus pode ser sua utilização nas redes de armazenamento, bem como o uso para carregar outras tecnologias. Na Espanha, por exemplo, a empresa de ônibus elétricos *Irizar* está experimentando o reaproveitamento de baterias de ônibus para postos de recarga de veículos elétricos. Devido ao carregamento mais frequente dos BEBs, a vida útil da bateria (aproximadamente seis a 12 anos) é geralmente mais curta do que para veículos elétricos pessoais (que pode abranger 10-20 anos) (ITDP, 2021).

O planejamento do descarte (ou de reutilização da bateria no fim da vida útil) deve ser adaptativo para migrar para um novo método de descarte caso uma nova tecnologia surja nesse ínterim. Esse aspecto poderia ser incluído nas garantias vitalícias para ônibus e/ou baterias feitas entre os operadores e os fabricantes.

Os operadores também podem buscar um modelo de aluguel de baterias, no qual os fabricantes mantêm a propriedade sobre elas. Para esse modelo, os fabricantes de baterias e veículos podem ser incentivados a manter o controle da bateria de modo a obter o máximo valor possível de cada uma. As opções de aluguel de baterias têm a chance, em particular, de reduzir o desperdício transacional, permitindo que os fabricantes não sofram prejuízos físicos ou econômicos durante a transferência de um ônibus elétrico movido a bateria e/ou de uma bateria em si para um fornecedor intermediário (LAJUNEN, 2018).

4.4 INFRAESTRUTURA DE RECARGAS E INTEROPERABILIDADE

A implementação de um sistema de eletromobilidade demanda um conjunto de atividades associadas ao processo de instalação, operação e manutenção de pontos de acesso às fontes geradoras de energia elétrica. Esses pontos são denominados sistemas de recarga (ITDP, 2021).

Locais, tipos e velocidade de recarga têm, cada um à sua maneira, consequências importantes nas operações dos sistemas. Embora o reabastecimento de um ônibus possa levar de 10 a 20 minutos, a recarga lenta pode durar até 10 horas. Como tal, escolher a combinação mais adequada de infraestrutura constituirá uma etapa a ser planejada cuidadosamente na eletrificação das frotas de ônibus públicos.

De acordo com D'Agosto *et al.* (2019), para garantir a proteção dos consumidores e instalações no Brasil, é recomendável verificar as normas a serem atendidas como precursoras da ABNT NBR IEC 61851, que é específica para os sistemas de recarga de veículos elétricos e híbridos. Entre as principais, estão a ABNT NBR 5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão) e a NR-10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade).

Diante dessa ressalva, serão apresentados os três tipos principais de infraestrutura de recarga para ônibus elétricos a bateria: *plug-in* tradicional, recarga por pantógrafo e recarga indutiva. Alguns tipos, como *plug-in* e por pantógrafo durante a rota, podem ser combinados. Cada tipo de recarga requer uma infraestrutura distinta, apresentando diferentes vantagens e desafios, principalmente em termos de requisitos de espaço e velocidade de recarga. Os diferentes aspectos dos tipos de recarga estão ilustrados na Figura 8 (ITDP, 2021).

Figura 8 – Tipos de carregamento de ônibus elétricos



Fonte: Elaboração própria.

4.4.1 Carregamento via *plug-in* tradicional

O *plug-in* tradicional, também conhecido como depósito ou recarga noturna, é o método mais comum em todo o mundo. Permite uma autonomia de 200-300 km. É a opção mais barata e com custos de investimento relativamente baixos em infraestrutura e menos intensiva na rede elétrica e baterias.

O número de carregadores necessários para uma frota dependerá do tamanho do carregador e da bateria, capacidades, taxas e método de recarga, entre outros fatores. Geralmente, para carregar a bateria de 1 a 2 veículos é necessário tempo maior de espera. No entanto, novas tecnologias estão surgindo constantemente e carregadores de grande escala, como o carregador de 1,5 MW da Proterra, podem conciliar a recarga de até 20 veículos simultaneamente (Figura 9). É importante construir o diálogo diretamente com os fornecedores (para disponibilidade de equipamento) e empresas de serviços públicos de eletricidade (para disponibilidade/limitações de eletricidade) para um melhor entendimento sobre a relação entre o carregador do sistema e o veículo.

Figura 9 – Infraestrutura de recarga do tipo *plug-in* tradicional em Washington, D.C., nos Estados Unidos



Fonte: BeyondDC, Flickr (apud ITDP, 2021).

Via de regra, o carregamento por *plug-in* é mais lento, podendo levar até 10 horas. Devido ao tempo necessário para carregar os ônibus, os *plug-ins* provavelmente estarão localizados no final das rotas ou em depósitos de ônibus, que podem ser locais novos ou existentes e adaptados para essa finalidade. A construção e o *retrofit* do depósito devem considerar a área extra necessária para carregadores elétricos, que requerem mais espaço do que o abastecimento de óleo *diesel* (ITDP, 2021).

4.4.2 Carregamento por pantógrafo

O carregamento por pantógrafo é mais caro do que o carregamento *plug-in*, apesar de oferecer um tempo de carregamento significativamente menor. Isso permite que os ônibus tenham maior autonomia, pois também conseguem fazer a recarga de suas baterias nos pantógrafos instalados ao longo das rotas de serviço.

Esse tipo de recarga também permite o uso de baterias menores, tendo a vantagem de ampliar o transporte para mais passageiros. Além disso, o pantógrafo pode ser usado para recargas durante a madrugada, permitindo que os ônibus circulem sem o pantógrafo ao longo do dia. Os carregadores podem ser montados no teto (onde o “braço de recarga” é instalado no ônibus) ou em postes (onde “o braço” é montado no poste de recarga e o pantógrafo desce automaticamente para se conectar ao ônibus por meio de uma haste).

O carregamento via pantógrafo (Figura 10) é mais comum na Europa e na América do Norte do que em outras regiões, mas está começando a crescer na China (ITDP, 2021). Geralmente, um carregador pode ser usado para 8 a 20 veículos em trânsito. O tamanho da bateria e a quantidade de carga necessária dependerão também se a carga do pantógrafo tiver sido combinada com a carga noturna. Muitas vezes a carga do pantógrafo é financeiramente mais vantajosa para grandes cidades que possuem alta quilometragem rodada por ônibus porque permite fazer o carregamento mais rápido e ampliar a oferta de veículos em circulação.

Figura 10 – Ônibus sendo recarregado via pantógrafo em Varsóvia, na Polônia



Fonte: Wistula, Wikimedia Commons (apud ITDP, 2021).

O programa ZeEUS (*ZERO EMISSION URBAN BUS SYSTEM*, 2017), em Barcelona, constatou que o pantógrafo é o sistema mais confiável para as operações. Porém, os altos custos e atrasos na construção da infraestrutura representam desafios significativos para sua adoção. Embora o carregamento com a infraestrutura do pantógrafo possa render um maior desempenho do ônibus elétrico e estabilidade de rota, as restrições financeiras e de rede (de alto volume de carregamento em um curto período, em oposição ao carregamento de baixa intensidade por um período mais longo com *plug-in*) podem retardar a adoção.

Além disso, embora os *plug-ins* levem de 1 a 10 horas, o carregamento rápido do pantógrafo na rota leva cerca de 5 a 20 minutos para atingir a carga suficiente para terminar sua operação de serviço diário antes de retornar ao depósito (cerca de 40-80%). O pantógrafo também pode ser usado no depósito e normalmente carrega mais devagar, levando algumas horas para atingir a carga total. Geralmente, as estações de carregamento são colocadas ao longo ou perto da rota (às vezes no final das rotas ou onde várias rotas se sobrepõem) para que os ônibus possam ser carregados ao longo do dia.

4.4.3 Carregamento indutivo

O carregamento indutivo (também chamado de carregamento por oportunidade, Figura 11) ocorre a partir da ressonância eletromagnética entre as placas da bobina sem contato localizadas na parte inferior dos veículos e na rodovia. Uma seção de carregamento indutivo pode ser colocada na rota ou em depósitos de ônibus. Esses blocos também podem ser usados em faixas exclusivas ou mesmo em faixas de tráfego misto para fazer a recarga de veículos de passageiros, táxis e caminhões, embora ainda não seja uma prática comum (ITDP, 2021).

Os benefícios do carregamento indutivo incluem a capacidade de recarga durante a rota, eficiência energética, não requer equipe para supervisionar o carregamento, e permite usar baterias mais leves. Além disso, a redução do peso do ônibus e da bateria e a capacidade de carga contínua reduzem o consumo de energia e as emissões do ciclo de vida.

Figura 11 – Ônibus elétrico no estado de Washington se aproxima de uma infraestrutura de carregamento indutivo embutida no solo



Fonte: The Philadelphia Inquirer (2021).

Esse tipo de recarga requer uma provisão significativa de infraestrutura em aproximadamente 5-15% da rota. A autonomia máxima é teoricamente ilimitada (se carregadores por oportunidade estiverem localizados ao longo de todo o percurso da rota), mas outras restrições limitam a autonomia diária (localizações limitadas de blocos de carregamento). Haja vista que a infraestrutura está embutida no subsolo da rota, esse método acaba sendo o menos comum e o mais caro (BI *et al.*, 2018). Até o momento, foi testado em algumas cidades europeias de alta renda, na Coreia do Sul e Estados Unidos (Figura 12). Semelhante ao carregamento por pantógrafo, esse método pode levar menos de 20 minutos para “abastecer” completamente um veículo (BAK *et al.*, 2018; ITDP, 2021).

4.4.4 Impactos do carregamento na rede elétrica

Para sistemas com restrições de rede elétrica, será crucial considerar os métodos de recarga que se alimentam de energia da rede fora dos horários de pico. Por exemplo, o *plug-in* tradicional com carregamento noturno pode reduzir o impacto da rede durante os horários de pico (HOU-BADDI *et al.*, 2019). Táticas adicionais podem ser usadas para gerenciar a rede e, ao mesmo tempo, apoiar frotas elétricas, como o projeto Volvo *Lights*, que faz parceria com empresas de serviços públicos e operadoras. Assim, fornece aos operadores de serviços públicos dados em tempo real

para integrar veículos elétricos com o objetivo de evitar quedas de energia ou outras complicações decorrentes do aumento da carga.

Isso destaca uma boa prática que os planejadores devem adotar: oferecer informações precisas sobre rotas e frota aos parceiros de serviços públicos, de modo que todas as partes interessadas possam prever e se preparar para os horários de pico de carregamento da frota (que podem ou não estar alinhados com os horários de pico de maior demanda de energia).

A Tabela 10 apresenta um quadro comparativo dos custos de recarga por tipo de infraestrutura conforme as informações listadas anteriormente. Tabela 10 – Comparação de custo de carregamento por tipo de ônibus elétrico.

Tabela 10 – Comparação de custo de carregamento por tipo de ônibus elétrico

Tipo de recarga	Nível de custo	Poder de recarga (kW)	Tamanho da bateria (kWh)	Tempo e velocidade de recarga	Prós	Contras
Plug-in tradicional	Médio	40-125 (carregamento lento)	300-450+	Carregamento lento, ~2-10 horas	<ul style="list-style-type: none"> + Menores custos de infraestrutura e eletricidade, portanto, menor investimento inicial + <i>Layout</i> flexível + Menos requisitos para a rede elétrica + O carregamento lento tem menos impacto na vida útil da bateria 	<ul style="list-style-type: none"> - Maior tempo de carregamento - Menor eficiência de carregamento - <i>Layout</i> de infraestrutura dispersa - O carregamento rápido pode reduzir a vida útil da bateria e exigir mais capacidade da rede elétrica - Exige maior área para acomodar infraestruturas
		150-500 (carregamento rápido)	(alguns modelos até 660)	Carregamento rápido, de 10-30 minutos, geralmente menos de 1-2 horas		
Pantógrafo	Alto	125-500 (durante movimento) Até 600 (nas estações de recarga)	60-250+ (podendo usar tamanho maior se desejado)	Carregamento rápido, 5-20+ minutos	<ul style="list-style-type: none"> + Permite operação mais longa + Baterias menores + Tempo de carregamento curto + Menor área necessária 	<ul style="list-style-type: none"> - Custos de infraestrutura e eletricidade mais caros - O carregamento rápido pode reduzir a vida útil da bateria e exigir mais capacidade da rede elétrica - Menos dados disponíveis sobre a eficiência e retorno do investimento para este modo em comparação ao carregamento <i>plug-in</i>

Tipo de recarga	Nível de custo	Poder de recarga (kW)	Tamanho da bateria (kWh)	Tempo e velocidade de recarga	Prós	Contras
Indutivo	Muito alto	200-300	60-125	Carregamento rápido e dinâmico (ou seja, a infraestrutura subterrânea se alinha com a infraestrutura de carregamento no ônibus)	<ul style="list-style-type: none"> + Permite operação mais longa + Baterias menores + Carregamento contínuo 	<ul style="list-style-type: none"> - Mais caro - Requer infraestrutura significativa, tanto em termos de área utilizada (toda a rota designada para carregamento da bateria) e tempo (cronograma de instalação mais longo) - Dados escassos ainda não permitem saber tanto sobre este modo

Fonte: ITDP (2021).

Por se tratar de variável que afeta diretamente a prontidão do veículo, compreender como se dá a regulação da infraestrutura de recarga, a sua autonomia e operação tem grande impacto na estruturação do mercado nacional dos veículos elétricos.

Nesse sentido, a Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE) destaca a relevância da Resolução Normativa 819/2018, divulgada pela Aneel para o desenvolvimento da mobilidade elétrica, ao possibilitar a qualquer interessado a construção e exploração da atividade de recarga, inclusive para fins comerciais e a preços livremente negociados. Para tanto, devem ser observadas três principais características para implementação de infraestrutura de recargas para os veículos com sistemas de propulsão elétrica: potência de saída; tipo de tomada e conector; protocolo de comunicação entre o ponto de recarga e o veículo.

4.5 MERCADO NACIONAL DE ÔNIBUS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS

Há diferentes maneiras de estimular a maior penetração de veículos elétricos em um país e a escolha da política a ser adotada deve ser discutida e elaborada cuidadosamente, permitindo que todas as partes envolvidas possam se preparar. Segundo Oliveira *et al.* (2017 apud FGV, 2019), os instrumentos empregados para estimular a maior penetração de veículos elétricos têm como foco quatro grandes áreas:

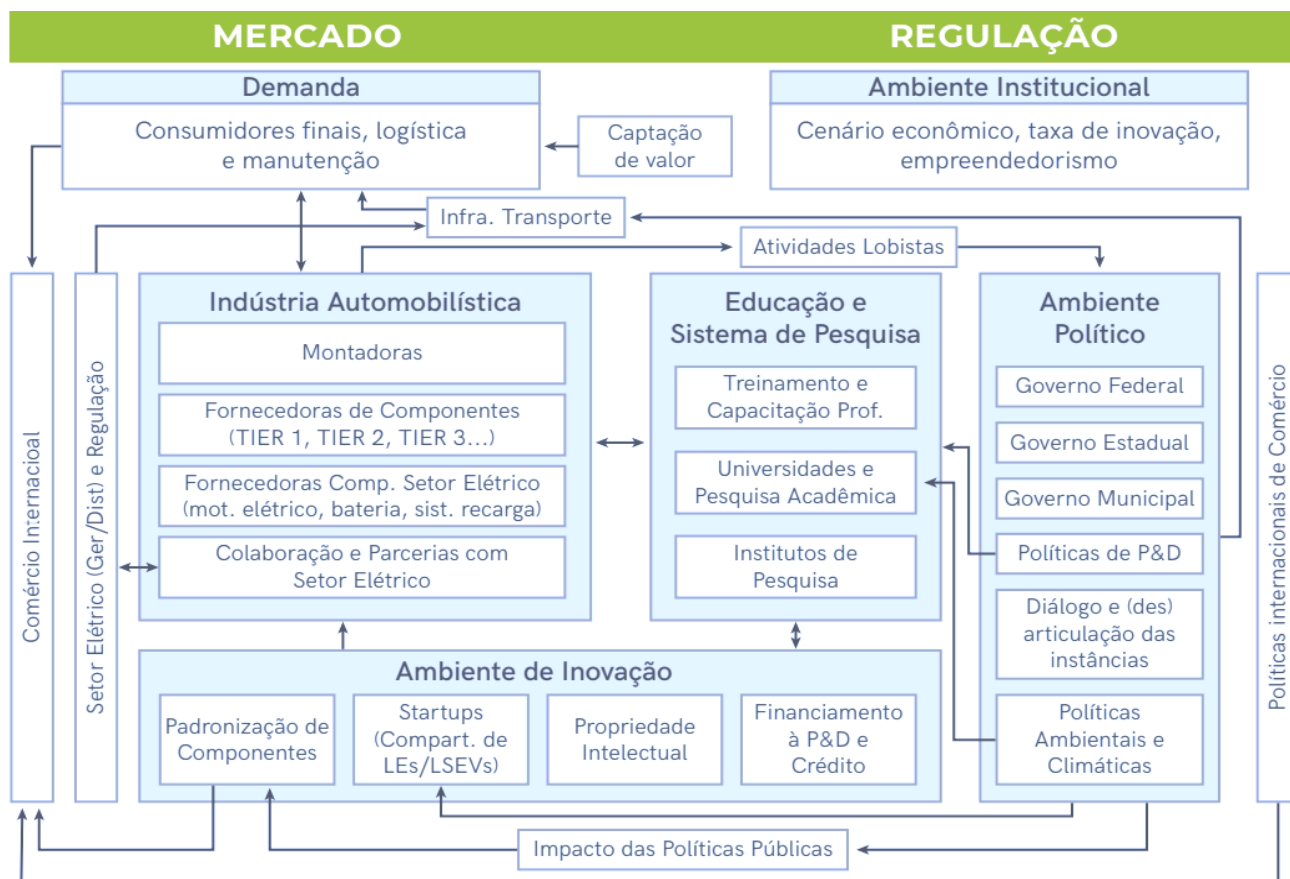
- Produção: incentivos à criação de capacidade produtiva local;
- Ciência e tecnologia: visa promover o avanço científico e aprendizado tecnológico;
- Infraestrutura: integração dos veículos elétricos aos sistemas de energia elétrica e transporte local; e
- Consumo: uso de mecanismos que estimulam a demanda.

É importante considerar que a participação dos atores com o propósito do estímulo à mobilidade elétrica tem se dado em diferentes esferas do governo (federal, estadual e municipal). A compreensão sobre como o mercado e a cadeia de valor estão organizados é fundamental para facilitar a estruturação de projetos-piloto e a operação de veículos de baixa emissão (CONSONI *et al.*, 2018). No entanto, o conhecimento técnico ainda incipiente sobre as tecnologias disponíveis e a falta de prática operacional demandam maiores esforços em capacitação e divulgação de boas práticas.

Nesse sentido, é fundamental a realização de um diagnóstico abrangente sobre o mercado nacional que reconheça a complexidade do ecossistema da eletromobilidade, incluindo uma avaliação completa não apenas das questões técnicas, mas também das restrições políticas, econômicas e legais. Compreender como os planos setoriais estratégicos de transportes, infraestrutura e energia criam oportunidades ou restringem as condições de investimentos, competitividade e inovação necessários é fundamental para fomentar o desenvolvimento do mercado nacional e o ganho de escala.

O estudo realizado por Consoni *et al.* (2018) sobre a governança estratégica e políticas públicas para sistemas de inovação para veículos de baixa emissão é útil na identificação dos atores envolvidos, suas relações e suas esferas de ação. O esquema exemplificado na Figura 12 a seguir situa a demanda (consumidores finais, logística e manutenção de veículos elétricos) no ambiente institucional do país a partir do cenário econômico vigente e cultura de inovação e empreendedorismo.

Figura 12 – Sistema de inovação do veículo elétrico no Brasil



Fonte: Consoni et al. (2018).

Nesse contexto, a PNME, em parceria com o Ministério da Economia, vem desenvolvendo a Estratégia Nacional de Mobilidade Elétrica. O Conselho Gestor é composto pelos Ministérios do Desenvolvimento Regional e da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI), BNDES, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE), Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea), Associação Brasileira dos Proprietários de Veículos Elétricos Inovadores, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (Sindipeças), Fórum Nacional de Secretários e Dirigentes de Mobilidade Urbana, WRI Brasil e ICCT. Juntas, essas organizações definiram os sete eixos estratégicos para impulsionar o mercado nacional: governança, componentes e montagem, transporte público e de carga, levíssimos, infraestrutura e conectividade e capacitação profissional. A partir desses eixos, foram elencados atores, fatores de sucesso e ações habilitadoras (Figura 13).

Figura 13 – Estratégia Nacional para Mobilidade Elétrica



Fonte: PNME (2021).

Na mesma direção, foram criados pelo governo federal o programa Rota 2030: mobilidade e logística (Lei 13.755/2018) e a chamada de P&D estratégico Aneel (2019) “Desenvolvimento de Soluções em Mobilidade Elétrica Eficiente”, mencionados anteriormente, com objetivo de estimular o mercado nacional na adoção de mecanismos de desenvolvimento limpo e tecnologias de baixo carbono, preparando o caminho para a transição para a eletromobilidade.

No que diz respeito à preparação do setor elétrico para as oportunidades advindas com a maior entrada de veículos elétricos no país, a Aneel lançou, em abril de 2019, a Chamada de Projeto de P&D Estratégico “Desenvolvimento de Soluções em Mobilidade Elétrica Eficiente”. O objetivo foi obter soluções para a mobilidade elétrica por meio de modelos de negócio, equipamentos, tecnologias, serviços, sistemas e infraestruturas para suporte ao desenvolvimento ou à operação dos veículos elétricos ou híbridos *plug-in*. Os principais resultados esperados com a chamada são a constituição de modelos de negócio que contribuam para a criação de massa crítica e base tecnológica para o desenvolvimento de produtos e serviços nacionais para a transição para eletromobilidade e que demonstrem sua viabilidade técnico-econômica em território nacional.

O mapeamento dos atores-chave envolvidos direta ou indiretamente com a eletromobilidade permite a compreensão da dimensão e

complexidade do tema (ver a Figura 13 anterior e a Tabela 11). O sistema de inovação para ônibus elétricos no Brasil parte de uma caracterização de cinco esferas: a indústria automobilística, o setor elétrico, a educação e pesquisa, o ambiente político (governo), o ambiente de inovação e os prestadores de serviço de transporte público urbano, contratados pelo poder público.

Tabela 11 – Definição do sistema de inovação da eletromobilidade

Categoria	Características
Montadoras	Compõem o sistema industrial, em conjunto com as empresas de autopeças e seus colaboradores. Essas empresas coordenam a cadeia produtiva dos veículos. Todas as montadoras instaladas no Brasil são de capital estrangeiro e têm apresentado ações pontuais em prol da mobilidade elétrica. Aqui estão presentes os fabricantes de <i>chassis</i> (ver subcapítulo 4.4.1) e as empresas que montam a carroçaria (ver subcapítulo 4.4.2).
Componentes	Complementam o quadro da cadeia produtiva com as montadoras. Destacam-se as empresas de origem de capital nacional e estrangeiro, com competências para o desenvolvimento de acumuladores (baterias) e componentes do <i>powertrain</i> (motores elétricos).
Setor elétrico	Concentram-se nas ações de infraestrutura, geração e distribuição de energia e sistemas de gestão e automação para o abastecimento dos veículos.
Educação e sistema de pesquisa	Iniciativas em universidades, institutos de pesquisa e centros de ensino para treinamento e capacitação de recursos humanos, produção científica e tecnológica.
Governos e agências regulatórias	Participação de órgãos públicos para definição de normas e regulamentações de caráter transversal, articulação das partes interessadas e mediação de conflitos de interesse.
Ambiente de fomento e inovação	Dinamizadores de recursos públicos para fomento à pesquisa, desenvolvimento e inovação. Representadas por agências como ABDI, Embrapii e Fundações de Amparo à Pesquisa (FAPs). Também se enquadram financiadores do processo de inovação (BNDES e Finep) e de proteção de patentes (Inpi).
<i>Startups</i>	São empresas de base tecnológica que estão desenvolvendo algum nicho específico e oportunidades de negócios a partir da introdução de novos produtos, modelos de negócios e serviços para eletromobilidade.
Associações de classe	Importantes na aglutinação das partes interessadas da cadeia de valor, organizando fóruns e ações conjuntas para engajamento, incorporação e promoção da eletromobilidade.

Fonte: Elaboração própria, baseada em Barassa *et al.* (2021).

O mapeamento do mercado nacional e tecnologias apresentado anteriormente toma por base os estudos setoriais do BNDES (CASTRO; FERREIRA, 2010; CASTRO *et al.*, 2013), orientações do governo federal para seleção de tecnologias de transporte público coletivo (BRASIL, 2021) e estudos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), que avaliam cenários e viabilidade técnico-econômica da substituição de ônibus urbanos movidos a *diesel* por modelos elétricos equivalentes.

A seguir, são apresentados os principais modelos de ônibus elétricos e híbridos existentes e principal *expertise* das montadoras no mercado nacional.

1.1.1 Modelos de ônibus elétricos e híbridos ofertados

Os modelos de ônibus híbridos e elétricos ofertados no mercado nacional normalmente compõem ônibus convencionais (12 metros e capacidade para 60 a 80 passageiros) e articulados (18 metros e capacidade para 120 a 160 passageiros). Esses modelos também existem para os ônibus convencionais movidos a *diesel*. Porém, para os ônibus elétricos, a capacidade máxima de passageiros implica desafios para a autonomia da viagem e eficiência da energia da bateria.

A Tabela 12 fornece uma breve visão geral dos fabricantes de BEBs mais comuns. Os modelos mais populares foram incluídos para demonstrar a diversidade de modelos disponíveis, incluindo os que usam tecnologias emergentes (como a bateria de polímero de lítio – LMP® da Bolloré) ou oferecem alta capacidade (como o ônibus Solaris articulado e os modelos BYD de dois andares).

Modelos articulados são menos comuns atualmente devido aos desafios que implicam pelo peso maior, autonomia reduzida e tempos de carregamento mais longos do que os ônibus não articulados. Até julho de 2021, só existia um ônibus elétrico articulado efetivamente em operação na região metropolitana de São Paulo, segundo dados da plataforma E-Bus Radar. Em contraste, 45 ônibus elétricos do tipo *Padron* (12 a 15m) já foram adotados por cidades como Campinas, Bauru e Maringá.

Além da LMP®, a Tabela 12 também apresenta as seguintes características de baterias: Fosfato de Ferro de Lítio (LFP), Li-Ion (íon-lítio) e Titanato de Lítio (LTO).

Tabela 12 – Visão geral dos modelos para fabricantes de BEBs populares no Brasil e no mundo

Fabricante	Modelo	Tamanho (m)	Tipo de bateria e capacidade (kWh)	Infraestrutura de recarga	Autonomia máxima (km)*	Capacidade de assentos**	Locais no mundo
Bolloré	Bluebus	12	LMP	Plug-in na garagem (PD)	Até 320	Até 109	Europa
BYD	K9S	10.6	LFP, 352	PD	Até 233-346	32	América do Norte, América Latina, Europa, China e Ásia
	K9	12	LFP, 250-324	PD	Até 250-320	Até 76	
	K9	12	LFP, 500	PD	Até 255	Até 61	
	K11 (incluindo K11A)	18	LFP, 438	PD	Até 350	47-55	América Latina
	C8MS (Dois andares)	10.6	LFP, 313	PD	Até 273	47-51	Londres
	C10MS (Dois andares)	13.7	LFP, 446	PD	Até 370	77	
New Flyer	XE35	11	Li-ion, 160-388	Carregamento na rota (do inglês, <i>on-route charging</i> OC), PD	Até 305	Até 67	América do Norte e Europa
	XE40	12.5	Li-ion 160-466	OC, PD	Até 360	Até 82	
	XE60	18.5	Li-ion 267, 320, 466	OC, PD	Até 215	Até 125	
Nova Bus	LFSe	12.2	Li-ion, 150	OC	--	Até 80	América do Norte
	LFSe+		Li-ion, 564	OC, PD	--	Até 68	
Proterra	ZX5	10.6	Até 450	PD, OC	Até 386	29	América do Norte
	ZX5	12	Até 675	PD, OC	Até 529	40	

Fabricante	Modelo	Tamanho (m)	Tipo de bateria e capacidade (kWh)	Infraestrutura de recarga	Autonomia máxima (km)*	Capacidade de assentos**	Locais no mundo
Solaris	Urbino 8.9	8.9	LFP/LTO, 160	PD, OC	Até 200	Até 50	Europa
	Urbino 12	12	LFP/LTO, 160-300		Até 266	Até 65	
	Urbino 15	15	LFP/LTO, 470		--	Até 65	
	Urbino 18	18	LFP/LTO, 550		Até 185	Até 120	
VDL Bus & Coach	Múltiplos modelos	10 - 18.75	85-288	PD, OC	--	Até 60-135	Europa
Volvo Bus	7900 Electric	12	LFP, 198, 264, or 330	OC	--	Até 105	Europa, América do Norte, América Latina, Ásia e Austrália
Yutong	E-12	12	LFP, 295	PD	Até 220	Até 92	China, Europa, América do Norte, América Latina e Austrália
Zhong tong	LCK6122E VG	12	LFP, 230	PD	Até 250	Até 45	China

* Os valores da faixa foram retirados das estimativas do fabricante, que podem ser maiores do que a faixa real registrada no solo.

** Nem todos os modelos oferecem dados para a capacidade de passageiros, portanto, alguns modelos na tabela são marcados com a capacidade máxima de assentos (não incluindo a capacidade em pé).

Fonte: Elaboração própria, adaptada de ITDP (2021).

A fabricação e a montagem final de ônibus compreendem outros dois grupos de empresas: o fabricante do *chassi*, apresentado na Tabela 13, envolvendo grandes fabricantes mundiais; e o fabricante da carroceria, encarregado da montagem final do veículo, abordados nas Tabelas 14 e 15. Os dados e informações apresentados na tabela foram coletados diretamente com as empresas fabricantes e montadoras, salvo os que mencionam as referências.

Tabela 13 – Fabricantes de chassis de ônibus elétricos e híbridos no Brasil

Fabricante	Origem	Características
<i>Build Your Dreams (BYD)</i>	China	<p>Empresa líder no mercado global na fabricação de ônibus elétricos, com mais de 65 mil unidades vendidas. A primeira fábrica instalada no Brasil para produção de <i>chassis</i> de ônibus elétricos e comercialização de veículos e empilhadeiras foi inaugurada em 2015, no município de Campinas (SP).</p> <p>Possui 120 ônibus em operação em cinco cidades brasileiras (São Paulo, Campinas, Santos, Bauru, Brasília e Volta Redonda) e em negociações nos demais municípios com experiências em teste.</p>
Eletra	Brasil	<p>Inaugurada em 2000, foi a primeira empresa a fabricar ônibus híbridos, elétricos e trólebus com tecnologia nacional. Possui uma unidade industrial em São Bernardo do Campo (SP) com capacidade para a produção de 1.080 veículos ao ano, com previsão de ampliação para os próximos dois anos.</p> <p>Especializada nos sistemas de tração elétrica para trólebus, que operam conectados a uma rede aérea de distribuição elétrica. Dos 350 veículos elétricos em operação no Brasil, 274 são da Eletra (E-BUS RADAR, 2022).</p>
<i>Mercedes-Benz</i>	Alemanha	<p>Com presença no Brasil há pelo menos 65 anos, é a empresa líder na participação no mercado nacional (58%). Em 2021, a empresa anunciou a entrada no mercado da eletromobilidade.</p> <p>Está trabalhando na fabricação de <i>chassis</i> para veículo <i>Padron</i> a ser recarregado via <i>plug-in</i>.</p>
<i>Volkswagen</i>	Alemanha	<p>No Brasil, sua principal unidade produtiva é localizada em Resende (RJ), que se tornou a primeira com montagem em larga escala de carros e baterias elétricas.</p> <p>Os veículos elétricos são produzidos por meio de um consórcio para compartilhamento de infraestrutura, desenvolvimento, montagem e gerenciamento com fornecedores.</p>
Volvo	Suécia	<p>A Volvo opera no Brasil desde a década de 1980 com a inauguração da sua fábrica em Curitiba (PR). Entretanto, a fabricação de modelos de ônibus híbridos começou apenas em 2009.</p> <p>Veículos totalmente elétricos passarão a ser produzidos nacionalmente a partir de 2025.</p>

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 14 – Empresas montadoras de ônibus elétricos e híbridos no Brasil

Fabricante	Origem	Características
Marcopolo	Brasil	<ul style="list-style-type: none"> A parceria com as empresas BYD e Expresso Princesa dos Campos levou à criação da Embarca, primeira plataforma tecnológica a operar uma linha intermunicipal 100% elétrica no Brasil. Com autonomia de 250 km e capacidade para 44 passageiros sentados, o modelo rodoviário elétrico fará o trecho entre Curitiba e Ponta Grossa (PR).
Comil	Brasil	<ul style="list-style-type: none"> Em 2020, lançou o seu primeiro veículo 100% elétrico em parceria com a BYD. O modelo foi desenvolvido para operar em linhas rodoviárias de curtas e médias distâncias e fretamento.
Caio Induscar	Brasil	<ul style="list-style-type: none"> Em 2019, a empresa entregou para a cidade de São Paulo nove ônibus elétricos. Estes estão sendo utilizados nas linhas da zona sul da capital paulista. Os novos ônibus montados pela Caio contam com baterias de fosfato de ferro-lítio.
Mascarello	Brasil	<ul style="list-style-type: none"> Em março de 2020, a empresa desenvolveu seu primeiro protótipo de ônibus elétrico testado em Cascavel (PR) e Salvador (BA).

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 15 – Fabricantes de baterias e partes componentes

Fabricante	Origem	Características
Baterias Moura	Brasil	<ul style="list-style-type: none"> A criação de uma divisão dedicada ao negócio de lítio em 2018 ajudou a empresa a se inserir na indústria de veículos elétricos. Além disso, ela também presta serviços de gestão do ciclo de vida de módulos de baterias importados. Até 2025, a estimativa é viabilizar uma fábrica de montagem de módulos com capacidade a partir de 1 GW (gigawatt) por ano, o suficiente para abastecer aproximadamente 2,5 mil ônibus elétricos anualmente. Hoje, a produção mundial de baterias de lítio da Moura é de 250 GW/ano.
WEG	Brasil	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolve uma linha de estações de recarga para veículos elétricos, a Wemob. Já forneceu infraestruturas de recarga para São Paulo (SP) e Jaraguá do Sul (SC) – especificamente, no teste-piloto com ônibus elétrico realizado pela Universidade Federal de Santa Catarina em seu <i>campus</i>, em 2021.

Fonte: Elaboração própria.

4.6 TRANSIÇÃO PARA ELETROMOBILIDADE: PERSPECTIVAS E TENDÊNCIAS

Os processos de transição e inserção de novas tecnologias no sistema de transportes devem ser associados à transferência de conhecimento e à inclusão de sua produção, desenvolvimento e manutenção no mercado local (BRASIL, 2019). Tal como na década de 1970, quando as tecnologias associadas ao Metrô eram desconhecidas no país, a implantação da eletromobilidade requer a construção de um arcabouço de conhecimento técnico e um mercado interno de produção de infraestrutura, componentes e sistemas, assim como de planejamento, gestão e monitoramento da operação do sistema. Tecnologias novas, como a dos veículos elétricos e híbridos, ainda configuram riscos devido à incipiência de conhecimento tecnológico acumulado localmente, como já apontado no capítulo 2. Esse atributo pode ser expresso de forma qualitativa (alta, média e baixa consolidação da tecnologia).

Nesse contexto de transição, o presente subcapítulo apresenta perspectivas e tendências de empregabilidade no setor de transportes de passageiros por ônibus; formação e qualificação profissional; e mecanismos de fomento e financiamento.

4.6.1 Empregos no setor de transporte urbano de passageiros por ônibus

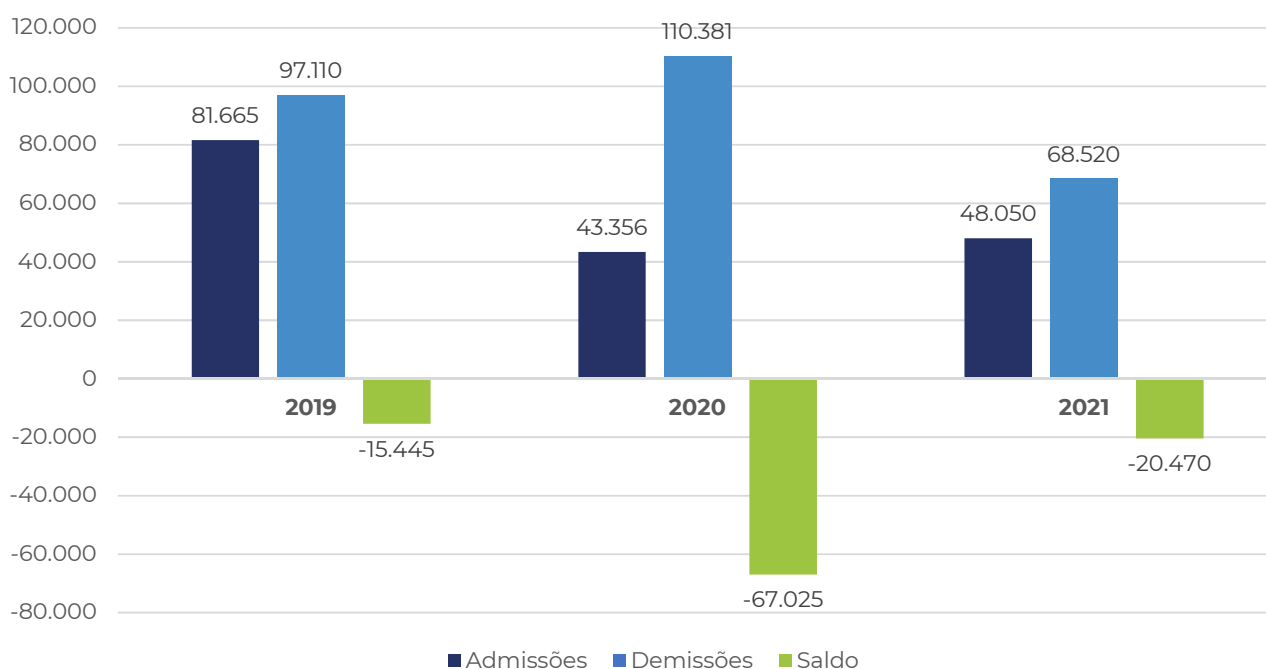
O impacto da transição pode ser estimado avaliando-se o número e perfil de profissionais envolvidos na prestação dos serviços com ônibus a combustão, por exemplo. Estima-se que a quantidade de empregos na fabricação de ônibus elétricos seja semelhante à presente na fabricação daqueles movidos a *diesel*. O monitoramento do impacto efetivo, conforme a transição ocorra, pode ser feito por meio de relatório fornecido pelas empresas prestadoras de serviços. De acordo com a publicação do lema (2021), a eletrificação é uma oportunidade para qualificação de mão de obra, se consolidada uma indústria de veículos elétricos no país e regulada a entrada de veículos importados.

Como ponto de partida para análise dos empregos no setor de transporte urbano de passageiros por ônibus, conta-se com a referência do 1º Anuário Brasileiro da Mobilidade Elétrica (PNME, 2020) e a base de dados do Painel do Emprego no Transporte da Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2021), que apresenta informações relativas aos empregos na prestação desses serviços. Essas referências são úteis tanto para entender a magnitude dos empregos no setor como também para monitorar as variações.

Além disso, dados do Painel de Empregos no Transporte verificam a movimentação mensal no mercado de trabalho formal no setor rodoviário,

no segmento do transporte de passageiros em áreas urbanas. É possível observar a evolução de admissões e desligamentos de empregos formais do transporte rodoviário de passageiros urbanos entre 2019 e 2021, representado no gráfico da Figura 14. Os dados mostram que o ano de 2020 foi o mais crítico para o setor. Os dados de 2021 referem-se ao acumulado até setembro. Embora o saldo entre admissões e demissões tenha sido negativo para os três anos, foi no ano de eclosão da pandemia quando foram perdidos 67.025 empregos.

Figura 14 – Evolução nas admissões, desligamentos e saldo no setor de transporte de passageiros urbanos – Brasil – 2019-2021



Fonte: Painel CNT do Emprego no Transporte⁵.

Já a Tabela 16 distingue a evolução das ocupações do setor de transporte rodoviário de passageiros urbanos por motorista de ônibus urbano e mecânico de veículos automotores a *diesel*, as quais são mais sensíveis e diretas à operação dos ônibus. Proporcionalmente, verifica-se que o impacto maior foi na ocupação de mecânico em 2020, mas com saldo positivo entre janeiro e setembro de 2021, indicando uma retomada do setor para essa categoria.

⁵ Os dados de 2021 referem-se ao acumulado até setembro.

Tabela 16 – Evolução das admissões (A), demissões (D) e saldo (S) nas ocupações de motorista de ônibus urbano e mecânico de veículos automotores a diesel (exceto tratores) – Brasil – 2019-2021

	2019			2020			2021		
	A	D	S	A	D	S	A	D	S
Motorista de ônibus urbano	25.697	32.288	-6.591	13.365	41.032	-27.667	16.346	24.716	-8.370
Mecânico de veículos automotores a diesel (exceto tratores)	2.260	2.576	-316	874	2.221	-1.347	1.191	1.167	24
Outras ocupações no transporte rodoviário de passageiros urbanos	53.708	62.246	-8.538	29.117	67.130	-38.013	30.513	42.637	-12.124

Fonte: Painel CNT do Emprego no Transporte.

Até setembro de 2021, a Região Sudeste apresentou o maior saldo acumulado negativo (-11,312), seguida pelas regiões Sul (-4,105) e Nordeste (-3,875). O estado do Rio de Janeiro foi o que mais perdeu empregos (-5.308), seguido de São Paulo (-2.956) e Rio Grande do Sul (-2.666). Entre os saldos positivos, destacam-se Brasília (+420), Santa Catarina (+364) e Mato Grosso do Sul (+44).

4.6.2 Formação e qualificação profissional

A formação e a qualificação profissional são fundamentais para uma operação eficiente e sustentável dos ônibus elétricos e de seus componentes. Muitas das oportunidades de capacitações são voltadas para gestores e pesquisadores, como mostra a Tabela 17. Os dados e informações apresentados foram coletados diretamente com as instituições envolvidas nas iniciativas, salvo os que mencionam as referências. O foco dessas capacitações incide no desenvolvimento de competências específicas para governança da eletromobilidade e seus aspectos mercadológicos.

Tabela 17 – Oportunidades de capacitação profissional em eletromobilidade.

Capacitação	Local	Coordenação	Objetivo
Iniciativas e plataformas – Profissionais para Energias do Futuro, Promob-e e PNME	N.A.	Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável (GIZ)	Capacitação para governança da eletromobilidade, com destaque para o fomento e indução no mercado, crescimento da inserção em atividades produtivas, proposição de instrumentos de política pública e regulação, e a criação de competências em pesquisa, desenvolvimento e inovação (BRASIL, 2021).

Capacitação	Local	Coordenação	Objetivo
Pós-graduação <i>latu sensu</i> em Veículos Elétricos e Híbridos	Paraná e São Paulo	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai)	Formação de especialistas que possuam uma visão atualizada dos conceitos gerais da eletromobilidade e das tecnologias disponíveis no segmento de veículos elétricos e híbridos.
Curso de aperfeiçoamento profissional "Introdução à Eletromobilidade"	Paraná	Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa – Fundep	Capacitação sobre aspectos mercadológicos referentes à mobilidade sustentável, identificar arquiteturas e características dos veículos híbridos e elétricos, seus sistemas e componentes, além de aspectos de segurança relacionados à reparação de sistemas de propulsão eletrificados.
Curso de extensão "Mobilidade elétrica: políticas, planejamento e oportunidades de negócio"	São Paulo	Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)	Capacitação de empreendedores, gestores públicos e interessados em atuar no campo da mobilidade elétrica, a partir do desenvolvimento de aptidões específicas.
MobiliCAMPUS – Curso de Eletromobilidade no Transporte Público	N.A.	Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP Brasil)	Plataforma de educação a distância com foco no aperfeiçoamento em mobilidade urbana sustentável. O curso apresenta os principais fundamentos dessa tecnologia e um panorama geral de como as cidades estão avançando para mudar sua frota. Público-alvo são gestores e técnicos de políticas urbanas, membros de empresas dos setores de transporte, tecnologia e mercado imobiliário, sociedade civil e estudantes em geral.

Fonte: Elaboração própria.

Por outro lado, as oportunidades de capacitação operacional da frota ainda são embrionárias. Nesse sentido, as fabricantes de ônibus elétricos têm desempenhado um papel indispensável na qualificação dessa mão de obra. As empresas têm oferecido tanto a possibilidade de capacitar os motoristas e técnicos de manutenção dos operadores existentes, quanto fornecer uma equipe própria para a execução dos serviços.

É o caso, por exemplo, das prefeituras do Rio de Janeiro e de Salvador, que têm recebido apoio da BYD durante seus períodos de teste no segundo semestre de 2021. Os operadores da cidade de São Paulo também contam com o apoio de equipes especializadas do fabricante dos veículos elétricos em suas garagens e oficinas, responsáveis pela verificação dos processos de manutenção e pela capacitação da equipe responsável. Tais atividades de apoio englobam desde orientações sobre como capacitar as garagens para fornecimento adequado de eletricidade para as infraestruturas de recarga, passando a recomendações de limpeza apropriada do veículo, e suporte de manutenção durante a operação e na garagem.

Embora não constituam atividades abertas ao público, são iniciativas primordiais para o fortalecimento de um campo que, por ainda ser incipiente, depende de modo relevante das fabricantes e produtoras de tecnologia como fontes primárias de conhecimento. Além disso, é importante que a mão de obra hoje empregada na manutenção dos veículos a *diesel* possa ser aproveitada e incorporada em empregos verdes associados ao transporte. Essa é uma estratégia para uma transição verde justa na medida em que lhes permitirá adquirir novas competências e manter-se competitivos no mercado de trabalho (GRAMKOW; MAGACHO, 2022).

Nesse sentido, é importante que novas fabricantes, à medida que se estabeleçam no mercado brasileiro, forneçam o mesmo tipo de treinamento. Já para uma transição de maior escala, será necessário que novos cursos técnicos e profissionalizantes sejam oferecidos, e espera-se que o Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte – Senat esteja à frente dessa iniciativa.

4.6.3 Mecanismos de fomento e financiamento

O financiamento de ônibus elétricos a bateria difere dos ônibus a *diesel* e GNV, pois o equilíbrio entre despesas de capital e operacionais muda significativamente. Os custos de aquisição dos ônibus elétricos podem ser de duas a três vezes mais caros do que os ônibus a *diesel*, enquanto os custos operacionais são mais baixos, entre 1,5 e 4 vezes menores (ITDP, 2021). Como tal, financiar a aquisição de ônibus é frequentemente o desafio listado com mais frequência para as cidades na mudança em direção à eletrificação.

Apesar do custo inicial mais alto para ônibus elétricos, os BEBs costumam ter economia de custos ao longo da vida operacional dos ônibus. Capturar essas vantagens financeiras requer repensar o modelo financeiro tradicional para operações de ônibus públicos por meio do custo total de propriedade (TCO).

Compreender as mudanças no modelo de TCO é vital para a promoção dos ônibus elétricos a bateria. Isso afetará o modelo financeiro para ônibus elétricos que precisarão encontrar um equilíbrio entre despesas e receitas, apesar desses custos de capital iniciais mais altos e custos operacionais mais baixos do que os sistemas de ônibus convencionais movidos a combustíveis fósseis (WORLD BANK, 2019).

A abordagem mais comum para investimentos de capital para sistemas de ônibus é uma combinação de financiamento, como concessões, subsídios, empréstimos para custeio de dívidas, contratos de aluguel, entre outros. Na Tabela 18 a seguir, é apresentado um comparativo de regimes de financiamento para ônibus elétricos, destacando vantagens e considerações.

Tabela 18 – Comparação de regimes de financiamento comuns para ônibus elétricos no mundo.

Opções	O que é	Vantagens	Considerações
Financiamento com fundos ou concessões existentes	A agência operadora do sistema de transporte público assume os custos de capital por meio de apoio orçamentário direto ou com doações.	<ul style="list-style-type: none"> + Modelo comum, relativamente simples + O financiamento não precisa ser reembolsado + Atua como um catalisador para a transição 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto recurso inicial - Amplo financiamento ou subsídios são necessários, por isso não é possível em todos os lugares - Não necessariamente leva a uma transição de frota em grande escala
Financiamento da dívida, incluindo empréstimos concessionais e títulos verdes	A agência ou operadora de transporte público utiliza empréstimos flexíveis para custos de capital, reembolsando o(s) credor(es) durante um determinado período.	<ul style="list-style-type: none"> + Distribui os custos ao longo do tempo, permitindo menor recurso inicial + Os empréstimos concessionais podem oferecer empréstimos flexíveis e taxas de juros muito mais baixas, tornando-os mais acessíveis 	<ul style="list-style-type: none"> - Pode não oferecer apoio financeiro suficiente - Pode exigir coordenação adicional entre várias partes interessadas (se estiver emprestado de bancos de desenvolvimento nacionais ou internacionais)
Arranjo de aluguel de componentes (bateria)	O operador de transporte público ou governo aluga o ônibus e/ou bateria do fabricante ou fornecedor (muitas vezes com o apoio de um financiador terceirizado, como bancos de desenvolvimento ou empresas de financiamento de nicho) para reduzir o risco financeiro inicial, em um arrendamento próprio.	<ul style="list-style-type: none"> + Ao mover alguns custos de capital para agirem mais como custos operacionais, isso equilibra as despesas iniciais e contínuas + Pode ser combinado com uma melhor manutenção ou substituição de componentes dos fabricantes + Permite a transição de frota em grande escala 	<ul style="list-style-type: none"> - Envolve mais partes interessadas e responsabilidades divididas - Deve haver interessados dispostos para ser possível
Contrato de aluguel operacional	Um terceiro ator adquire os ativos acordados (por exemplo, ônibus) e aluga os ativos e/ou infraestrutura para as operações. Um acordo de propriedade de serviço público pode ser uma forma de um acordo de arrendamento operacional.	<ul style="list-style-type: none"> + Distribui o financiamento, permitindo menor custo total para uma das partes + Permite a transição de frota em grande escala 	<ul style="list-style-type: none"> - Envolve mais partes interessadas e responsabilidades divididas - Deve haver interessados dispostos para ser possível

Opções	O que é	Vantagens	Considerações
Acordo de financiamento de aluguel	Esse esquema é semelhante ao de um empréstimo e frequentemente envolve vários interessados no acordo. Difere-se do aluguel de componentes (ônibus / bateria) e do aluguel operacional por conta da outra parte interessada com capital para recurso de locação. Muitas vezes, a empresa de locação financeira adquire os ônibus com ou sem baterias e aluga a frota para a operadora de ônibus, que paga o aluguel por um período determinado.	<ul style="list-style-type: none"> + Distribui o financiamento, permitindo menor custo total para uma das partes + Pode ser uma opção mais robusta financeiramente + Permite a transição de frota em grande escala 	<ul style="list-style-type: none"> - Envolve mais partes interessadas e responsabilidades divididas - Deve haver interessados dispostos para ser possível - Pode aumentar no longo prazo à medida que mais partes estão envolvidas

Fonte: Elaboração própria.

4.6.4 Infraestrutura elétrica e perspectivas de demanda futura

Para a implementação de testes, projetos-piloto e principalmente para a realização de uma transição em larga escala para ônibus elétricos nas frotas das cidades, é preciso avaliar e entender as fontes de energia que vão alimentar o processo, a infraestrutura elétrica necessária e a capacidade da rede elétrica local.

A análise das fontes de energia disponíveis é um potencial problema em muitos países por conta da dependência de combustíveis fósseis na geração de energia para o processo. No caso do Brasil, 85% da matriz energética vem predominantemente de fontes limpas, o que pode tornar o processo mais sustentável, como é o caso das hidrelétricas, fontes fotovoltaicas, eólicas e biomassa (EPE, 2021).

De acordo com o lema (2020), o país tem apresentado um aumento acentuado na potência instalada de usinas de geração elétrica provenientes de energia eólica, solar e biomassa. Muitas cidades também apresentam altos índices de insolação, sobretudo as do Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste. Isso permite que as baterias dos ônibus sejam alimentadas por sistemas de recarga com painéis solares fotovoltaicos e maior eficiência energética (BOREAL SOLAR, 2016). Entretanto, nos últimos anos, por conta dos longos períodos de seca que têm ocorrido no país, houve também um aumento da potência instalada de fontes de energia movidas a combustível fóssil (IEMA, 2020).

No Brasil, a EPE é a principal responsável pela estimativa e planejamento de expansão do setor elétrico de modo a orientar a viabilidade de atendimento aos requisitos técnicos para a demanda crescente de eletricidade no país (OHARA; GOLDEMBERG; BARATA, 2021). Por conta da contribuição majoritariamente de geração hidráulica, de acordo com dados do Anuário Estatístico (EPE, 2020), o Brasil teve sua capacidade de geração de energia elétrica expandida em 4,5% no período entre 2018 e 2019. No que diz respeito à energia elétrica gerada, que também teve um aumento nesse mesmo período de 4,1%, os maiores percentuais estão relacionados à energia de fonte solar (+92,1%) e eólica (+15,5%).

A respeito da demanda nacional, o setor industrial é o principal consumidor de energia elétrica (37,5% em 2018). De acordo com o estudo da CPFL (2018), no cenário mais conservador, há uma estimativa de que os veículos elétricos alcancem até 3,8% da frota nacional do país até 2030. No entanto, relatório mais recente produzido pela EPE (2020), para o Ministério de Minas e Energia, afirma ser incerto estimar a ordem de expansão adicional da geração de energia elétrica para atendimento à demanda de veículos elétricos, especialmente ônibus, dadas as rápidas transformações tecnológicas pelas quais estão passando.

De acordo com a CPFL Energia (2018), o acréscimo no consumo de energia elétrica seria entre 0,6% e 1,6% se a participação dos veículos elétricos na frota brasileira em 2030 fosse de 4% a 10%, o que levaria a um impacto pouco significativo na rede de distribuição de energia elétrica do país e a carga adicional seria completamente absorvida pela capacidade atual do sistema elétrico. Nos testes realizados pela CPFL, para uma penetração de até 5% dos veículos elétricos na frota total, 80% das redes de distribuição não apresentaram nenhum problema.

Para sistemas com restrições de rede elétrica ou buscando uma economia de custos, muitas cidades ao redor do mundo optam pelo carregamento dos veículos fora dos horários de pico e/ou fazem acordos com as companhias de energia para fazer uso de tarifas diferenciadas. No Brasil, o Rio de Janeiro, em 2019, fez um estudo de viabilidade de otimização de custos para operação de ônibus elétricos baseado na possibilidade de acordos de modicidade tarifária (ITDP, 2021). Entre os resultados encontrados, ficou claro que um dos principais obstáculos financeiros para a implementação de ônibus elétrico do tipo convencional, *Padron* e/ou articulado era o valor da tarifa de energia elétrica. A tarifa cobrada pela *Light*, empresa de distribuição de energia, era a maior entre as distribuidoras brasileiras (R\$ 0,34/kWh), impactando diretamente os custos de aquisição e operação dos ônibus.

No Brasil, a chamada “Tarifa Branca” já busca promover o consumo de energia fora dos horários de pico por meio de tarifas mais baratas disponíveis para consumidores com média de consumo mensal superior a 250 kWh. Esse método de tarifação diferenciada permite que as operadoras

também tenham maior controle sobre a distribuição da demanda de energia (GONÇALVES, 2019). No estado de São Paulo, por exemplo, o município de São José dos Campos lançou em 2022 edital para aquisição de energia elétrica em Ambiente de Contratação Livre (ACL), sendo estabelecido no edital que a energia gerada tenha como origem fontes renováveis, como a energia solar, biomassa, eólica e pequenas centrais hidrelétricas.

Outra estratégia bastante recorrente tem sido o banco de baterias para armazenamento de energia, conhecido como V2G (*Vehicle to Grid*), que leva os proprietários de veículos elétricos e/ou operadores de ônibus elétricos a recarregarem as baterias durante períodos de baixa demanda e, posteriormente, revender a energia para a rede elétrica em períodos de pico de demanda.

Do ponto de vista da oferta de novos serviços ao cliente, a expansão da mobilidade elétrica traz as seguintes oportunidades: (1) operadores da infraestrutura de recarga; (2) instaladores de eletropostos; (3) devolução da energia dos veículos elétricos para a rede ou residências e (4) reutilização/segunda vida para baterias.

A responsabilidade sobre os gastos e recursos a serem investidos na instalação da infraestrutura elétrica a ser implantada é um dos desafios encontrados pelas cidades que mais têm avançado na transição elétrica no país. Como uma das barreiras já mostradas, o risco associado a tecnologias de ônibus movidos a bateria ainda é alto, sobretudo para que apenas uma das partes envolvidas seja responsável pelo custeio. Geralmente, essa responsabilidade fica a cargo da operadora. O compartilhamento de riscos entre prefeituras, agências de trânsito e operadoras de transporte representa, assim, uma solução para viabilizar a sustentabilidade financeira da eletrificação no médio prazo (AVELLEDA, 2021; WRI BRASIL, 2019c).

Esse horizonte é confiável, sobretudo, perante as evidências de barateamento de peças e componentes à medida que inovações tecnológicas e experiências bem-sucedidas de eletrificação avançam (BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE, 2018). Desse modo, a concessão de incentivos e contrapartidas que mitiguem o custo de capital para investimento inicial tem se mostrado promissora sinérgica para acelerar a transição.

4.6.5 Potenciais impactos e benefícios

A transição para ônibus elétricos tem benefícios ambientais e sociais significativos para áreas urbanas, incluindo redução de emissões de gases de efeito estufa e emissões locais, poluição sonora e poluição do ar, bem como maior conforto para os passageiros (BARCZAK; DUARTE, 2012). Para além dos impactos já anteriormente mencionados a respeito do meio ambiente, serão apresentados os impactos e benefícios em três categorias: segurança e saúde, eficiência e equidade.

4.6.5.1 Segurança e saúde

Melhorar a qualidade do ar é de extrema importância para a segurança e a saúde em todo o mundo. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que a poluição do ar externo seja responsável por 4 milhões de mortes prematuras a cada ano e que 98% das crianças em países de baixa e média renda estejam expostas a partículas acima das diretrizes da OMS. Cerca de 2,3 bilhões de pessoas apenas na região da Ásia-Pacífico enfrentam níveis de poluição do ar várias vezes superiores ao recomendado pela OMS. Cidades com milhões de habitantes, como Los Angeles, Cidade do México e Santiago, localizadas em vales, podem reter a poluição por longos períodos e representar sérias ameaças à saúde. A redução das emissões dos veículos com motor de combustão interna traz benefícios claros para o meio ambiente e a saúde e deve ser priorizada.

As cidades ao redor do mundo que eletrificam as frotas de ônibus melhoram significativamente a qualidade do ar e, conseqüentemente, a saúde da comunidade com um ar mais limpo, menor poluição sonora e melhores benefícios, como maior conforto para os passageiros devido a vibrações mais baixas. Ao remover os ônibus a combustão, as cidades reduzem as emissões de gases de escape do *diesel*, a poluição por partículas e o ozônio ao nível do solo. É importante observar que os ônibus são os que mais contribuem com as emissões de Material Particulado (MP), enquanto os carros e motocicletas são os que mais contribuem para a abrasão de MP. Os MPs de combustão têm partículas significativamente menores do que os MPs de abrasão e, por isso, são ainda mais prejudiciais à saúde.

O ICCT (2017) produziu um estudo para analisar até que ponto a transição para BEBs no Brasil pode reduzir as emissões de CO₂ da frota de ônibus urbanos. O estudo considerou três cenários hipotéticos: (1) permanência das vendas de BEBs em zero; (2) crescimento acentuado de até 100% nas vendas de BEBs até 2030; e (3) crescimento moderado na compra de BEBs até 2035. No primeiro cenário, sem a eletrificação, as emissões permanecem entre 25-28 milhões de toneladas por ano no período de 2015 a 2035. No cenário moderado, as emissões são reduzidas em 47% em relação ao cenário atual. Enquanto no cenário rápido, essa redução pode chegar a 57% de redução nas emissões.

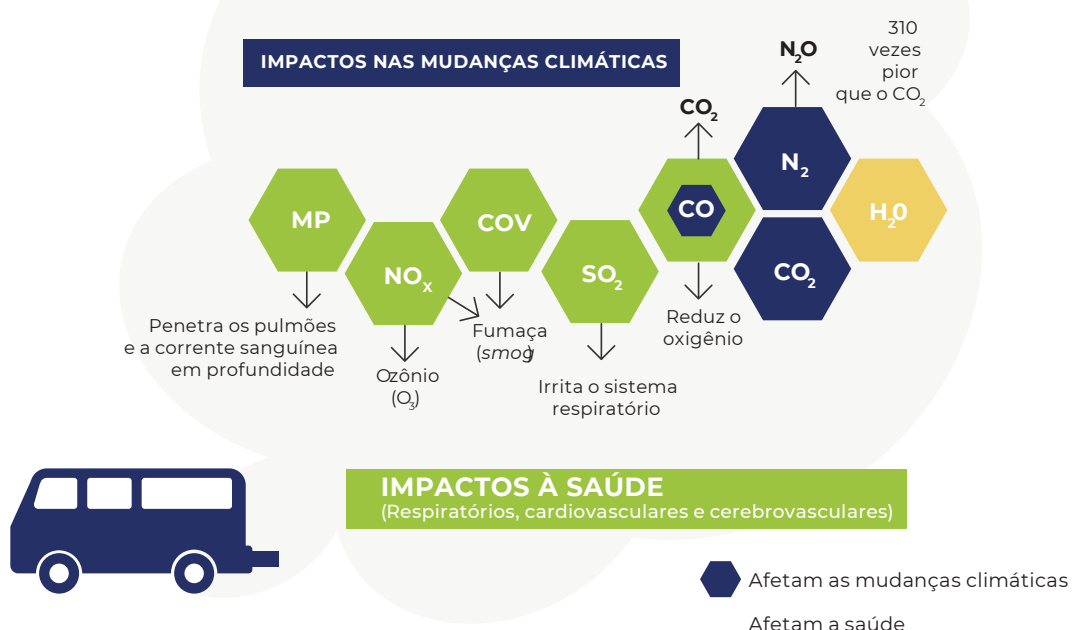
A eletrificação de frotas de ônibus também ajuda a prevenir doenças respiratórias ambientalmente exacerbadas em crianças e adultos, como a asma. Além disso, o escapamento dos motores a *diesel* contém mais de 40 poluentes que podem causar e agravar doenças respiratórias e cardiovasculares, incluindo câncer. Bairros com vulnerabilidades socioeconômicas e de minorias étnico-raciais estão frequentemente mais expostos à poluição do ar, resultando em taxas desproporcionalmente altas de doenças respiratórias, em grupos de baixa renda. Além disso, bebês e crianças são particularmente vulneráveis a poluentes, afetando a capacidade dos jovens de aprender e crescer. A má qualidade do ar afeta significativamente o desenvolvimento cognitivo e mental de bebês e crianças, pois respiram mais ar por quilograma de peso corporal. Como tal, melhorar a qualidade do ar nas áreas urbanas é particularmente importante para os mais vulneráveis e marginalizados (ITDP, 2021; LANDRIGAN *et al.*, 2010; WHO; 2018).

A poluição sonora pode impactar negativamente a saúde humana, elevando a propensão a distúrbios psicofisiológicos e cardiovasculares. É um problema principalmente em áreas urbanas, onde veículos pesados, como caminhões e ônibus, operam com frequência. Em velocidades baixas, a maior parte do ruído dos ônibus convencionais a *diesel* é produzida pelos motores, enquanto em altas velocidades o ruído é produzido principalmente pelo atrito dos pneus com o asfalto – principalmente durante a frenagem. Os ônibus elétricos podem reduzir o ruído do veículo, especialmente a baixas velocidades em áreas com alto tráfego e paradas para embarque e desembarque. Além disso, o modo de frenagem dos ônibus elétricos também é mais suave, considerando, inclusive, a característica de frenagem regenerativa: quando acionado, o freio vira um gerador de energia à medida que a energia sujeita ao desperdício na frenagem é reaproveitada e armazenada no banco de baterias (MDR; BID, 2022).

Os ônibus elétricos têm muitos benefícios positivos para a segurança e a saúde, com poucas desvantagens. No entanto, é importante considerar o treinamento de segurança para operadores e trabalhadores de manutenção para evitar perigos com a infraestrutura de carregamento. Além disso, ônibus mais silenciosos podem resultar em maior risco para pedestres e ciclistas que podem não ouvir os ônibus eletrônicos se aproximando. Sinalização e visibilidade adequadas de ônibus são, portanto, necessárias para veículos elétricos.

Figura 15 – Emissões do transporte de ônibus que afetam as mudanças climáticas e a saúde humana.

Emissões de veículos motorizados do tanque à roda



Fonte: Elaboração própria.

4.6.5.2 Eficiência

Os BEBs podem melhorar a eficiência financeira e reduzir o consumo de recursos não renováveis, especialmente quando a eletricidade é alimentada por fontes limpas. Além disso, os recursos podem ser usados de forma muito mais eficiente, já que usam menos energia por quilômetro do que o *diesel* (ao comparar energia e combustível equivalente).

Um estudo de viabilidade realizado pelo ITDP (2021) para Monterrey (México) descobriu que, para 50 kWh (a energia equivalente a 5,0 litros de *diesel* ou 4,5 litros de gás), um ônibus elétrico a bateria tem autonomia de 30 km, enquanto a de um ônibus a *diesel* equivale a 12 km. Um ônibus a GNV tem autonomia de 8 km.

Via de regra, os custos de manutenção dos ônibus são significativamente menores do que os dos ônibus a *diesel*, pois o sistema de propulsão elétrica não exige a mesma manutenção, nem quantidade de peças de reposição, que um motor a combustão. Embora os comprimentos de garantia dos ônibus elétricos e seus componentes variem, é cada vez mais comum tê-los. Essas garantias também ajudam a garantir a competitividade financeira dos ônibus elétricos em comparação aos ônibus a *diesel* e GNV.

Assim, embora os BEBs possam reduzir o consumo de recursos e os custos de vida útil, há considerações de recarga e eficiência econômica. Aumentar a demanda de rede elétrica pode ser caro e logisticamente desafiador. Além disso, a autonomia das baterias de ônibus nem sempre é consistente (dependendo da temperatura, umidade, etc.), e a vida útil das baterias BEB ainda é altamente variável.

4.6.5.3 Equidade

A maioria das comunidades de baixa renda depende de caminhadas, bicicletas ou transporte público para a mobilidade diária. Ao reduzir as emissões locais do trânsito nesses bairros, o meio ambiente é melhorado para todos – pedestres, ciclistas e usuários do transporte público. A implantação de rotas limpas nessas áreas significa melhorar a qualidade do ar e diminuir a poluição sonora para essas comunidades.

Além disso, as comunidades mais pobres costumam ter taxas mais altas de lesões no trânsito e doenças/complicações de saúde relacionadas às emissões (LAMMY, 2020), e priorizar novos recursos de segurança e tecnologias mais limpas para rotas de ônibus nessas áreas ajudaria a reduzir essas disparidades. Por meio desse processo, as cidades devem aproveitar essas oportunidades para beneficiar as comunidades de baixa renda, e não apenas repassar a elas o potencial aumento de despesas e o risco de capital associado à melhoria do trânsito.

Existem dois prováveis desafios de equidade que devem ser enfrentados e evitados com a adoção de ônibus elétricos. Em primeiro lugar, a adoção de ônibus elétricos está concentrada em áreas de renda mais alta. Em segundo lugar, o aumento dos custos das tarifas como resultado da compra de ônibus elétricos, que possuem custo alto de aquisição. Em

ambas as situações, isso representaria um ônus indevido para os mais vulneráveis nas áreas urbanas, que dependem mais do transporte público para a mobilidade diária, muitas vezes são mal atendidos por locais de transporte e gastam um percentual maior de sua renda com mobilidade.

Para evitar esses encargos potenciais, é imperativo que os planejadores do sistema considerem como melhor atender a todos os passageiros, especialmente os mais vulneráveis. As tarifas não devem ser aumentadas, visto que a acessibilidade da tarifa é uma consideração primordial para muitos usuários de transporte público. Com as grandes mudanças estruturais que a eletrificação acarreta, o processo oferece uma oportunidade para abordar as lacunas existentes nos serviços de transporte público. Por exemplo, a localização de serviços, em áreas acessíveis a populações historicamente carentes de transporte público, oferece uma oportunidade de criar uma rede de transporte público mais justa.

4.6.6 Estratégias e ferramentas de monitoramento

A aquisição de ônibus elétricos e baterias deve ser baseada nos sucessos e oportunidades de avanço encontrados nas fases de testes com pilotos e a partir de experiências compartilhadas por outras cidades, pois como se trata de uma nova tecnologia ainda há poucos dados públicos sobre sua operação em diferentes rotas e contextos.

Ao planejar rotas novas ou ajustadas, os operadores devem monitorar os dados operacionais de todo o sistema. Para as cidades dos EUA, os testes com ônibus elétricos em *King County*, Washington, e Albuquerque, Novo México, enfrentaram desafios com o esgotamento da bateria devido ao clima e à topografia (muito frio e montanhoso para o primeiro, muito quente para o último). Esses dados durante as fases iniciais (ou mesmo maduras) das frotas de ônibus elétricos podem ajudar a modelar os esforços, bem como outras formas de análise que podem ajustar o comportamento do operador, os requisitos de rota e o planejamento do sistema. A seguir são elencadas as principais estratégias e ferramentas de monitoramento existentes.

4.6.6.1 Coleta e comparação de dados de emissões

A Plataforma *Transport Policy*, uma iniciativa do ICCT e da DieselNet, conta com informações abrangentes, atualizadas e fornecidas sobre regulamentos ambientais e de energia no setor de transporte em todo o mundo, com foco em veículos e combustíveis.

Em nível nacional, temos o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2012), iniciativa do Observatório do Clima, que contribui para o acompanhamento das emissões multiescalar (nacional e municipal). Nessa plataforma, é possível saber quanto cada município emitiu e em cada um dos setores: processos industriais e uso de produtos, resíduos, energia, mudança de uso do solo e agropecuária. Além disso, para cada setor, as emissões são detalhadas em mais de uma centena de níveis de combinações, cobrindo o período de 2000 a 2018.

4.6.6.2 Comparação de emissões a partir de mudanças tecnológicas

Existem também algumas ferramentas que permitem a simulação de cenários sobre as emissões de poluentes globais e locais geradas pelos diferentes tipos de ônibus e de combustíveis.

O modelo Teemp (em inglês, *Transport Emissions Evaluation Models for Projects*) é uma ferramenta baseada em Excel, gratuita, utilizada para avaliar o impacto de sistemas de BRT planejados ou em operação em termos de emissões de gases de efeito estufa e de poluentes locais (ITDP, 2012). A ferramenta foi inicialmente desenvolvida pela *Clean Air Initiative for Asian Cities* e pelo ITDP para avaliar o impacto dos projetos de transporte do Banco de Desenvolvimento Asiático.

O modelo foi então aprimorado e expandido para ser utilizado como base de avaliação dos projetos do *Global Environment Facility*. O modelo tem foco países emergentes, incorpora categorias e métricas do Padrão de Qualidade de BRT (ITDP BRASIL, 2014), que ajudam a identificar os melhores projetos de concepção de BRT, e dados de emissão mais recentes do projeto de pesquisa Artemis, coordenado pela Agência Ambiental Europeia.

No contexto nacional, há também a ferramenta PlanFrota, desenvolvida pelo lema (s.d.) em parceria com a SPTrans. Ela permite a simulação de cenários sobre emissões de diferentes configurações tecnológicas de frota de ônibus, aplicadas em uma rede de transporte coletivo (IEMA, 2020). Vale mencionar que a ferramenta está sendo utilizada pela SPTrans e operadoras de ônibus para planejar a renovação da frota da cidade de São Paulo de modo a cumprir metas de redução gradual de emissões ao longo de 20 anos, conforme contratos de operação das linhas paulistanas e a Lei do Clima. Além disso, a PlanFrota pode ser utilizada pela sociedade civil para acompanhamento e proposição de estratégias e soluções relacionadas ao processo de adoção de ônibus limpos.

4.6.6.3 Estimativa de viabilidade

Com o crescimento do mercado de ônibus elétrico e o interesse em diminuir as barreiras de entrada, várias organizações criaram ferramentas para as cidades estimarem os custos e avaliarem a viabilidade da implementação de ônibus elétricos na frota:

- O Programa de Meio Ambiente da ONU (UNEP, 2021) criou a Calculadora e*Mob* que permite aos usuários estimar custos e emissões para cidades e países.
- O programa HVIP da Califórnia criou uma ferramenta de custo total de propriedade (TCO), o *TCO Estimator* (CALIFORNIA HVIP, 2021).
- O WRI Brasil (2020) desenvolveu a ferramenta ImpactAR para a valoração dos impactos da qualidade do ar na saúde para mudanças de frota no Brasil, que estima os reflexos na saúde e os custos causados pelas variações na qualidade do ar originadas a partir de mudanças na frota de ônibus urbanos.

- A EPE desenvolveu um Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico para identificar as principais variáveis envolvidas no uso de ônibus elétricos e permitir ao usuário verificar a sua viabilidade técnico-econômica de forma simplificada (EPE, 2019).

4.6.6.4 *Planejando e testando projetos-piloto*

Testes e projetos-piloto são fundamentais para entender de que forma os veículos irão se comportar considerando contextos locais e se serão capazes de atender às necessidades e expectativas para aquela cidade ou região metropolitana. Nesse sentido, os dados coletados durante a fase piloto determinarão se o desempenho esperado do ônibus se compara ao observado. As cidades devem planejar os projetos-piloto para que, com os dados coletados, possam revisar os contratos futuros de aquisição, operação e manutenção com base nos resultados dos testes. Também devem ser coletados dados para a tecnologia de frota existente para poder comparar o desempenho do ônibus convencional com o do ônibus elétrico.

Os ajustes necessários para aquisição, operação e manutenção de ônibus devem ser avaliados juntamente com as empresas de serviços públicos para garantir que quaisquer alterações na infraestrutura de carregamento possam ser executadas. Os operadores devem coletar também a percepção dos motoristas e passageiros em relação ao desempenho do ônibus. As métricas de dados a serem coletadas podem incluir (ITDP, 2021):

- Dados de serviço: número diário de passageiros, frequência de ônibus, ocupação do veículo e velocidade operacional;
- Dados de desempenho do ônibus e da bateria: consumo de energia (que variará entre os tipos e tamanhos de veículos, fabricantes de ônibus, estação, topografia e condições das estradas), distância diária de condução, tempo operacional diário, tempo e frequência de carregamento e a taxa de substituição;
- Dados operacionais: taxa de degradação da bateria e principais falhas operacionais;
- Dados de custo: custo do veículo com bateria, custos de instalação de infraestrutura de carregamento, custos de carregamento, custos de manutenção e substituição, custos de pessoal (todos os fatores que afetarão a análise de TCO);
- Benefícios ambientais: economia de energia, emissão de gases de efeito estufa e redução de poluentes locais;
- Dados de percepção dos usuários, motoristas, operadores e equipe de monitoramento e manutenção dos veículos: qualidade do serviço e benefícios sentidos.

Todos esses dados devem ser coletados e desagregados de acordo com o fabricante usado, tipo de veículo, tamanho do ônibus, temporada, topografia e condições das estradas (para cada rota).

5.

MODELOS DE NEGÓCIOS

Os desafios postos aos modelos de negócios em eletromobilidade dividem-se em dois estágios. No curto prazo, ou seja, até 2025, os modelos de negócios deverão absorver os custos de inovação setorial, implantando modelos de natureza técnica, financeira e contratual que viabilizem a implantação de modelos que utilizem veículos com maior valor inicial de aquisição, sistemas de recarga, substituição de baterias e outros custos inexistentes no modelo de negócio tradicional.

Em médio prazo, entende-se como sendo absolutamente essencial que a política pública seja reafirmada nos diversos projetos de mobilidade urbana, seja por meio da realização de novos procedimentos licitatórios, seja por meio da adequação da estrutura contratual vigente, para que o impulso inicial dado à indústria não seja perdido. Esse processo de contínuo reforço caracteriza a resiliência da política pública. Sobre esta deverá haver acordo da União, dos estados e dos municípios.

Caso a política pública se mostre resiliente, no longo prazo, os benefícios decorrentes da ampliação da escala industrial na produção de veículos e acessórios, bem como das inovações tecnológicas, serão transferidos à modicidade no custo de prestação dos serviços, beneficiando a todos os cidadãos.

5.1 CONCEITUAÇÃO DE MODELOS DE NEGÓCIOS

Em anos recentes, diversas modelagens de delegação para a prestação de serviços de mobilidade urbana de passageiros foram utilizadas para a estruturação de negócios no Brasil e no exterior. Apesar da aparente

semelhança existente entre essas alternativas decorrentes da natureza do serviço prestado, as diferenças em termos de propriedade ou posse dos ativos operacionais, condições de encerramento do projeto, fontes de recursos para custeio dos investimentos e da operação e a participação do setor público, por exemplo, resultam em projetos distintos. Como resultado, observa-se uma matriz de direitos, responsabilidades e alocação de riscos diferenciada para cada projeto.

Há diversos critérios para categorizar essas alternativas de modelagem de concessões, entre os quais, destacam-se:

- I. existência de uma base sólida de usuários e histórico operacional antes da concessão;
- II. princípios estabelecidos nas normas de regulamento dos serviços.

Quanto à preexistência da base de usuários, os projetos de concessão na área de transportes podem ser divididos em (a) projetos a implementar (*greenfield projects*), projetos concedidos na fase de concepção do sistema, e (b) projetos já implementados, ou seja, projetos de concessão de sistemas previamente consolidados (*brownfield projects*). Quanto aos termos da norma regulamentar, os projetos possuem gradações quanto à rigidez do modelo de contratação. Em uma ponta desse espectro, diversos projetos estão baseados no planejamento e na programação pública dos serviços a serem prestados pela iniciativa privada. A baixa flexibilidade no planejamento e programação dos serviços resume o papel privado à execução deles, sem que seja possível assumir parte relevante de riscos, iniciativas otimizadoras dos serviços prestados ou incentivos à inovação.

Na outra ponta do espectro, determinados contratos são regulados sobre os indicadores de qualidade dos serviços prestados, observados *ex post*, sem que o poder público interfira na forma como os serviços são planejados, programados e executados pela empresa contratada.

Na Tabela 19 são analisadas algumas dessas modalidades de contratação de serviços públicos. Avaliou-se suas características e o padrão de norma de regulamento de serviço utilizado, ou utilizável quando for o caso. Na Tabela 20 são analisadas algumas dessas modalidades de contratação de serviços públicos já implementadas/construídas.

Tabela 19 – Modalidades de contratação de serviços públicos

Sistemas <i>Greenfield</i>			
Modalidade	Características	Exemplos nacionais e internacionais	Normas de regulação
B.T. – Build and Transfer	Investidor privado constrói o sistema e transfere a operação para o poder concedente. Agentes públicos operam e, a partir de parte da receita auferida pela operação do empreendimento, remuneram o investidor privado. Também pode ser aplicado a projetos que devam, por algum motivo, ser operados obrigatoriamente pelo setor público.	<ul style="list-style-type: none"> • Concessões de infraestrutura na Inglaterra, com ênfase em aeroportos e em infraestrutura de base para sistemas de transporte público. • Nos Estados Unidos diversos projetos na área de saneamento foram desenvolvidos de acordo com essa lógica. 	Marco técnico para o contrato de fornecimento ou <i>Engineering Procurement Contract</i> (EPC)
B.O.T. – Build, Operate and Transfer	Modelo clássico de concessão na área de transportes sobre trilhos. O concessionário recebe um projeto básico e é encarregado pela implantação, operação e manutenção do sistema por um prazo definido. A propriedade dos ativos operacionais é do poder concedente, mas a concessionária possui a posse destes, podendo depreciar os investimentos realizados de acordo com a distribuição temporal da demanda. Ao final do período de concessão, a concessionária reverte os bens ao poder concedente sem ônus.	<ul style="list-style-type: none"> • Construção da <i>North South Highway</i>, rodovia em Kuala Lumpur (Malásia) • Corredor ferroviário rápido – <i>Florida Overland Express</i> (EUA) • Sistema ferroviário de Bangkok (Tailândia) – Linha Vermelha e Linha Verde • <i>Taiwan High Speed Rail</i>, ferrovia de alta de velocidade ligando as cidades de Taipé a Kaohsiung (Taiwan) • Renovação da frota de trens regionais para serviços entre Sydney-Canberra-Melbourne (Austrália) <p><i>Exemplos Nacionais:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Linha 4 do Metrô de São Paulo • Linha 6 do Metrô de São Paulo • Linha 5 e 17 do Metrô de São Paulo • Linhas 1 e 2 do Metrô de Salvador 	Usualmente considera um marco técnico para o contrato de EPC, e um determinado padrão operacional para a operação e manutenção.
B.O.O.T. – Build, Own, Operate and Transfer	Modelo semelhante ao <i>B.O.T.</i> , mas a concessionária detém a propriedade dos ativos durante a concessão. Na reversão, esta seria paga segundo diferentes critérios (Valor Contábil, Valor Econômico).	Metrô de Rouen (França).	Em Rouen, nenhuma norma é preestabelecida.

Sistemas <i>Greenfield</i>			
Modalidade	Características	Exemplos nacionais e internacionais	Normas de regulação
B.O.O. – Build, Own, Operate	<p>Padrão em projetos de transporte urbano municipal sobre pneus em todo o Brasil.</p> <p>A concessionária realiza os investimentos, opera os serviços de acordo com a norma contratual, detém a propriedade dos ativos por tempo indeterminado, inclusive ao final do contrato. Neste caso, não há reversão de ativos em favor da concedente no término contratual.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de Transporte Público do Município de São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Campinas e diversos outros municípios brasileiros. Em regiões metropolitanas, observa-se a utilização deste modelo em São Paulo, Recife, Fortaleza e outras partes do país. 	Diferentes modelos normativos. O padrão é um maior nível de planejamento e programação por parte do poder concedente, afetando diretamente a matriz de responsabilidades das partes.
B.L.T. – Build, Lease and Transfer	Modelo próximo ao <i>B.T.</i> , mas em vez da transferência direta, os ativos são alocados pelo poder público ou um terceiro operador privado na forma de <i>leasing</i> .	<ul style="list-style-type: none"> Manila – MRT – metrô (Filipinas) <i>Midland Main Line</i>, rota ferroviária em Nottingham (Inglaterra) 	Marco técnico regulando o EPC.
D.B.F.O. – Design, Build, Finance, Operate	Variação do <i>B.O.T.</i> considerando a responsabilidade da concessionária pelo desenho da implantação. Menor relevância dos estudos antecedentes realizados pelo poder concedente na determinação das tecnologias que deverão ser empregadas.	<ul style="list-style-type: none"> <i>Dockland Rail</i> (Inglaterra) Extensão Norte Londres (Inglaterra) Manchester Linha 1 do metrô (Inglaterra) 	Normas flexíveis no plano dos investimentos (EPC), compensadas por normas operacionais mais rigorosas.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 20 – Modalidades de contratação de serviços públicos já implementados

Sistemas existentes			
Modalidade	Características	Exemplos nacionais e internacionais	Normas de regulação
O.T. – Operate and Transfer	Modelo de concessão normalmente aplicado a projetos recém-construídos, em que o poder concedente desenvolve a infraestrutura e contrata a operação. Diferenciação de terceirização pelo risco de demanda assumida pelo privado, bem como outros riscos de natureza operacional.	<ul style="list-style-type: none"> Metrô de Estocolmo (Suécia) <i>Melbourne Airport Rail Link</i> (Austrália): linha ferroviária ligando o centro ao aeroporto 	Marco técnico para a operação. Novos investimentos durante a concessão são negociáveis, mas usualmente sob responsabilidade do poder concedente.

Sistemas existentes			
Modalidade	Características	Exemplos nacionais e internacionais	Normas de regulação
I.O.T. – Improve, Operate and Transfer	Modelo amplamente utilizado em sistemas existentes, mas que estejam em estado degradado. A concessionária assume a operação e responsabiliza-se por melhorias contínuas ao longo do período de operação.	<ul style="list-style-type: none"> • Metrô de Buenos Aires • Supervia, no Rio de Janeiro • CPTM Linhas 8 e 9 do metrô de São Paulo 	Regulação rígida do padrão de serviços, mas qualquer marco técnico é estabelecido conforme as possibilidades de melhorias e investimentos verificados ao longo da concessão. Novos investimentos durante a concessão são negociáveis, e usualmente envolvem aporte do poder concedente. Exige uma agência reguladora forte.
I.L.T. – Improve, Lease and Transfer	Variação do <i>B.L.T.</i> para sistemas existentes, com transferência direta ao poder público após investimentos. Os ativos são adquiridos pelo poder público na forma de <i>leasing</i> .	--	Há um marco técnico rígido regulando o EPC.

Fonte: Elaboração própria.

5.2 APLICAÇÃO A PROJETOS DE ELETROMOBILIDADE

Ao avaliar a possibilidade de aplicação dessas diferentes modalidades de negócios, a projetos de transporte público que envolvam integral ou parcialmente componentes de eletromobilidade, deve-se ter em conta diversos fatores.

Inicialmente, o padrão estabelecido em projetos de mobilidade urbana é o *Build, Operate and Ownership* (B.O.O.), ou seja, há uma delegação integral das obrigações de investir, manter e operar a iniciativa privada. O poder concedente não define quais são os ativos que deverão ser adquiridos (marcas, modelos, tecnologias), mas sim quais são as especificações técnicas dos ativos que deverão ser seguidas na prestação dos serviços. Observa-se, inclusive, grande variação em relação ao nível de detalhamento posto pelo poder concedente quanto ao perfil dos ativos a serem adquiridos.

Questões como ar-condicionado, câmbio automático ou automatizado e capacidade do veículo constituem as faces visíveis das especificações contratuais. Porém, para além dessas questões, temas como potência mínima de motorização, configuração de assentos, *layout* interno e outros poderão ou não ser parte das solicitações especificadas pelo poder concedente. Tais elementos constituem definições postas no projeto técnico ou no caderno de encargos disponibilizado pelo poder público aos interessados em apresentarem proposta para assunção dos serviços.

A partir dessa documentação, a definição de compra dos ativos, não apenas veículos, mas de todos os demais recursos necessários à prestação dos serviços, caberá ao empreendedor privado selecionado no processo de licitação. Não é usual em projetos de transporte público sobre pneus os operadores privados assumirem ativos vinculados à concessão disponibilizados pelo poder público. Exceções a essa regra foram a disponibilização de garagens no município de São Paulo e sistemas de bilhetagem eletrônica em outras localidades onde esses sistemas já existiam e estavam perfeitamente integrados aos sistemas públicos antes da contratação de novos operadores.

Um segundo elemento crítico em projetos de mobilidade urbana sobre pneus se refere ao fato de que não há uma tradição relevante de reversão de ativos operacionais em favor do poder concedente. Essa questão é produto de dois elementos. Primeiro, os incentivos distorcidos são gerados na medida em que o operador privado deixa de ter interesse em manter os veículos em condições operacionais adequadas nas datas próximas à reversão dos ativos. Por conseguinte, há um risco importante do poder concedente receber um volume expressivo de ativos de baixa qualidade ao término do contrato, ativos esses que seriam possivelmente inservíveis para uma nova concessão.

O segundo elemento é a falta de interesse em operadores privados reverterem em favor do poder concedente seus ativos imobiliários. A definição sobre a propriedade de garagens constitui uma questão-chave em processos dessa natureza, havendo elevada resistência de os operadores privados aceitarem ceder suas propriedades em favor do poder concedente ao término do contrato, pois estas poderão constituir elemento estratégico para novas licitações.

Feitas essas ponderações, cabe desenvolver na seção seguinte a aplicação objetiva de alguns modelos de negócio conceituais como referência para implantação de projetos de eletromobilidade.

5.2.1 Alternativa 1

Essa alternativa se refere à implantação e operação sob responsabilidade integral pública. A primeira alternativa de implantação e operação de sistemas de eletromobilidade é representada pela constituição de uma empresa pública especificamente dedicada a esses sistemas. A constituição de empresas públicas foi a norma em determinadas fases da formação de sistemas de transporte público. Como em São Paulo, onde a Companhia do Metropolitano de São Paulo, e posteriormente a CPTM, foram fundadas especificamente com o objetivo de implantar, operar e manter o sistema metroferroviário paulista.

O próprio sistema de transporte sobre pneus no município de São Paulo foi operado por uma empresa pública, a Companhia Municipal de Transportes Coletivos, CMTC. No Rio de Janeiro a Flumitrens foi criada com o propósito de explorar o sistema de transporte ferroviário de cercania, enquanto o Metrô RJ explorava as Linhas 1 e 2 do sistema metroviário.

Posteriormente, parte relevante desses sistemas foi delegada à iniciativa privada. Em São Paulo, foram objeto de delegação as Linhas 4, 5,

6, 17 e 18 do Metrô de São Paulo, além das Linhas 8 e 9 da CPTM. No Rio de Janeiro foram delegadas tanto a operação da Flumitrens para a atual Supervia quanto o Metrô do Rio de Janeiro. O sistema de transporte sobre pneus paulistano é delegado à iniciativa privada desde o início da década de 1990.

Assim, observa-se que a implantação por meio da administração pública pode ser considerada uma decisão afeita, ao estágio em que se encontra o processo de ignição da eletromobilidade, não devendo ser compreendida como uma decisão definitiva de longo prazo.

Atualmente, existe uma operação de transporte público onde se utilizam veículos elétricos executados por ente público. A Unicamp adquiriu e está operando veículos elétricos para o transporte de passageiros em seu *campus*. Financiado com recursos provenientes da CPFL Energia e implantados por meio do projeto Laboratório Vivo de Mobilidade Elétrica, uma das iniciativas do Projeto *Campus* Sustentável, serve como base para observação de custos de implantação, operação, eficiência dos serviços.

Também merece destaque a operação de veículos utilizados pela Guarda Civil Municipal no âmbito do programa São José Sustentável, em São José dos Campos (SP) (PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2021). Apesar desse programa utilizar micro-ônibus elétricos, não se trata de uma forma de transporte de passageiros aberta ao público. Situação análoga é observada no projeto Ecoelétrico, de Curitiba, onde as frotas da Secretaria de Trânsito, Guarda Municipal e Instituto Curitiba de Turismo passarão a contar com veículos individuais e coletivos movidos a eletricidade. Não obstante, esses veículos não serão utilizados no transporte público coletivo de passageiros.

Apesar dessas iniciativas serem positivas, atualmente não existem operações públicas de transporte coletivo de passageiros em larga escala onde se poderia anexar o desenvolvimento de operações de eletromobilidade.

5.2.2 Alternativa 2

Essa alternativa se refere à implantação e operação sob responsabilidade integral privada em um único contrato. Os contratos de prestação de serviços de transporte público coletivo de passageiros são usualmente pautados pela delegação integral de atividades à iniciativa privada. A delegação integral significa que todas as atividades pré-operacionais são atribuídas ao setor privado. Por exemplo, a elaboração dos projetos executivos, a obtenção de financiamento, a preparação, implantação e integração dos investimentos até o início da efetiva operação e exploração comercial dos serviços. A delegação integral dispensa atribuições ao poder concedente, exceto aquelas exclusivamente vinculadas ao caráter regulatório dos serviços.

Uma vez concluída a aquisição de veículos, a integração de sistemas e a preparação da operação, a empresa operadora será inteiramente responsável por sua operação e exploração comercial. Também estão incluídas a cobrança de tarifas de usuários, a manutenção e conservação dos ativos operacionais, a prestação de serviços conexos à mobilidade urbana, entre outros temas.

Os principais riscos dessa fase, como os custos de investimento, demanda, operação e flutuações macroeconômicas, são total ou parcialmente atribuídos à iniciativa privada. Excetuam-se os riscos mandatoriamente atribuídos ao poder concedente. Podem ser citados como exemplos, neste caso, o risco a variações da equação econômico-financeira que sejam decorrentes de eventos caracterizáveis como imprevisíveis. E, também, aqueles previsíveis de consequências incalculáveis, ou, inclusive, alterações unilaterais das condições de execução contratual por parte do poder público. Ao final da concessão, todos os ativos são mantidos em propriedade da iniciativa privada, salvo aqueles que sejam mandatoriamente passíveis de reversão.

No modelo de concessão global descrito, existe uma forte assimetria na alocação de responsabilidades e riscos entre o poder concedente e a iniciativa privada, havendo excelentes benefícios para o poder concedente às expensas da iniciativa privada. Os principais benefícios acolhidos pelo poder concedente serão:

- Recebimento de impostos decorrentes das atividades econômicas direta e indiretamente relacionadas à implantação, operação e exploração comercial dos serviços de mobilidade urbana em seus vários estágios;
- Dinamização da atividade econômica regional a partir da determinação de oferta de serviços localizada;
- Redução de sinistros de trânsito, poluição e outros problemas sociais e ambientais relevantes na região;
- Recebimento livre de quaisquer encargos de eventuais bens que sejam revertidos ao término do contrato.

Para a iniciativa privada, a contrapartida necessária para a assunção de responsabilidades descrita é a necessidade de remunerar adequadamente o capital empregado no empreendimento. Sem a devida e justa remuneração pelo capital empregado, não haverá estímulo ou razão para que seja realizado o investimento. O modelo de implantação é sintetizado na Figura 16 a seguir.

Figura 16 – Modelo de implantação



Fonte: Elaboração própria.

Em projetos que envolvem eletromobilidade conduzidos em contratos de delegação global, as atividades de aquisição, implantação, integração de sistemas, operação e manutenção são diretamente executadas pela empresa contratada. Tais são os casos do Distrito Federal, Santos, Bauru, Maringá, Campinas e outros. Em parte desses contratos, os investimentos na aquisição de veículos e sistemas de recarga estavam previstos na equação financeira original. Em outros contratos, os investimentos e os acréscimos nos custos operacionais serão objeto de recomposição do equilíbrio financeiro.

No Distrito Federal, o processo de revisão da equação financeira contratual já incorporou a aquisição da frota, porém, ela ainda não foi ajustada para incorporar os custos efetivos de longo prazo dessa operação. No município de Maringá, a operação se dá em caráter experimental, não havendo indicação de que o contrato de concessão será reequilibrado para a acomodação dessa nova tecnologia. Em Santos a aquisição de micro-ônibus elétricos está sendo realizada por conta da empresa concessionária, sem que tais investimentos afetem o cálculo da tarifa do usuário. Nesse município, a tarifa incorpora a operação do sistema de trólebus, modalidade de ônibus elétrico que estava em operação anteriormente à realização da licitação.

Quanto à reversão dos veículos, o Edital de Licitação de Bauru prevê a reversão em favor do poder concedente no advento do termo contratual. Nos demais municípios, o entendimento é de que os veículos e a infraestrutura de recarga serão ativos de propriedade da empresa operadora ao término do contrato de concessão.

Deve-se ressaltar que em todos esses municípios a eletromobilitade se encontra em fase experimental, sendo que a empresa operadora já adquiriu alguns dos veículos e encontra-se em teste quanto à forma de integração do uso de veículos elétricos e veículos a combustão. O custo com a aquisição, operação e manutenção desses sistemas será usualmente remunerado para a iniciativa privada por meio de processos de revisão do equilíbrio econômico-financeiro inicial.

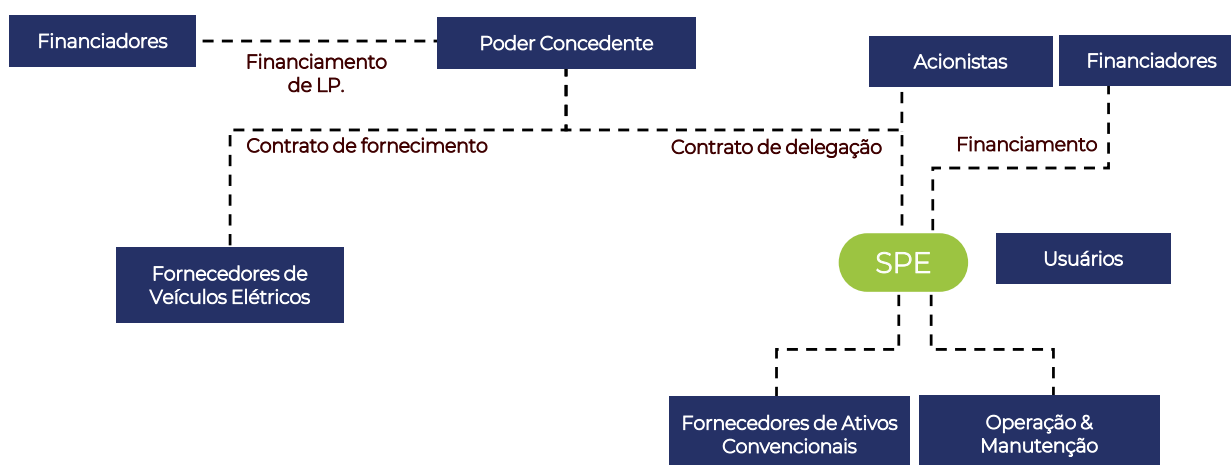
5.2.3 Alternativa 3

Essa alternativa se refere à responsabilidade compartilhada pela implantação e operação entre entes públicos e privados. Nessa alternativa, considera-se uma contratação na forma de licitação convencional para aquisição de veículos elétricos e implantação dos sistemas de recarga e eventual controle operacional, regida pelos termos da Lei Federal 8.666/1993. Essa contratação, conduzida pelo poder concedente, se dá mediante especificações de ativos que serão incorporadas a um segundo contrato, considerados como bens vinculados à delegação.

O segundo contrato envolve a implantação de garagens, oficinas, veículos movidos a combustão, demais sistemas de arrecadação, controle, monitoramento e gestão. Envolve também, além da realização dos investimentos, a execução da operação e da manutenção dos ativos operacionais, inclusive aqueles fornecidos no âmbito do primeiro contrato. Ao término deste, em tese todos os bens serão mantidos sob propriedade da empresa operadora, à exceção daqueles bens vinculados à concessão inicialmente disponibilizados pelo poder concedente.

Este modelo seguiria os moldes estabelecidos para a implantação da Linha 4 do Metrô de São Paulo. A Figura 17 a seguir sintetiza o modelo proposto.

Figura 17 – Modelo de delegação com segregação da implementação



Fonte: Elaboração própria.

O modelo acima constituiu a referência para o município de São José dos Campos, no estado de São Paulo. A gestão municipal do transporte público optou por segregar a aquisição de ativos da sua operação em diferentes estruturas contratuais. A compra de veículos do tipo articulado elétrico que serão operados no denominado “Corredor Verde” foi realizada junto à fornecedora BYD, conforme especificações técnicas emanadas da prefeitura.

Os veículos apresentaram, entre outros, garantia de perfeita funcionalidade das baterias para um prazo de 10 anos, assim como um amplo conjunto de manuais que visavam a necessária integração dos veículos com os demais contratos. O segundo contrato realizado foi com a empresa Nansen, que possui *expertise* no controle de sistemas elétricos e será responsável pelo desenvolvimento dos sistemas de controle e recarga.

A prefeitura gerencia as interfaces entre a Nansen e a BYD na determinação de parâmetros técnicos, compatibilidade entre sistemas e outros. Por fim, todos esses ativos serão transferidos por meio de contrato de concessão ao operador do Lote 1 do Serviço de Transporte Público de São José dos Campos, que será responsável pela implantação de garagens, oficinas, veículos a *diesel*, infraestrutura administrativa e execução da operação dos serviços e manutenção dos ativos, inclusive aqueles transferidos pela municipalidade.

Interessante notar que, nesse município, a implantação e a gestão da tecnologia, inclusive de bases de dados provenientes dos sistemas de bi-letagem eletrônica, deverão ser contratadas por meio de um processo apartado, sendo a empresa operadora da tecnologia distinta daquela responsável pela prestação dos serviços de transporte público.

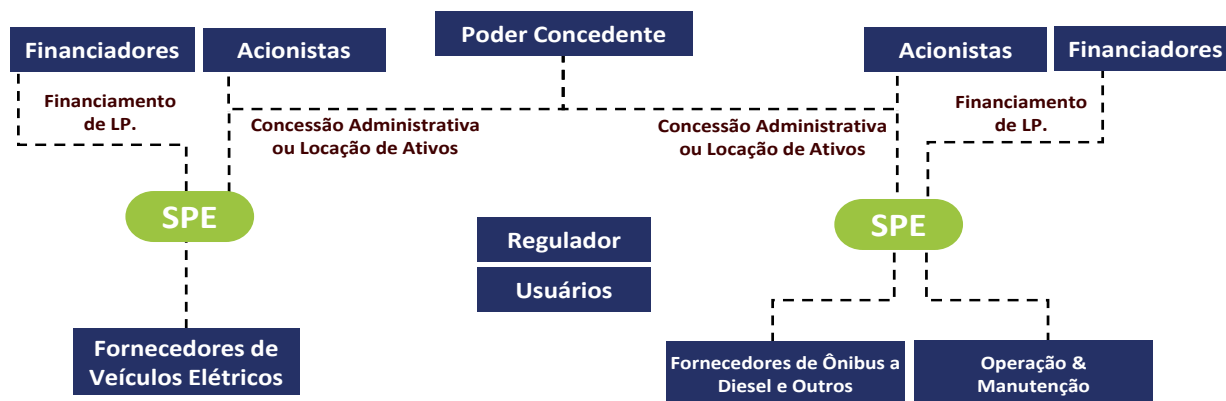
5.2.4 Alternativa 4

Essa alternativa se refere à implantação e operação sob responsabilidade privada em dois contratos distintos. Essa solução envolveria a contratação de um agente responsável pela implantação de veículos e infraestrutura de recarga, incluindo obras civis e sistemas em um contrato de longo prazo. Esse contrato poderá ser realizado na modalidade de locação de ativos na medida em que envolva somente, ou preponderantemente, a implantação desses ativos. Na medida em que se agregue ao contrato a execução da manutenção de sistemas e eventualmente a própria realização de manutenção dos veículos, no todo ou em parte, esse contrato passaria a figurar-se uma PPP administrativa, contando com remuneração de longo prazo.

O segundo contrato envolveria uma concessão comum ou patrocinada para implantação de garagens, oficinas, veículos a *diesel*, infraestrutura administrativa e execução da operação dos serviços e manutenção dos ativos, inclusive aqueles transferidos pela municipalidade. Esse modelo foi adotado para a delegação das atividades do Metrô de Londres à iniciativa privada, assim como em outras partes do Reino Unido. Entende-se

que em longo prazo esse modelo possa representar a linha de tendência natural do modelo em vigor no município de São José dos Campos. A Figura 18 sintetiza o modelo avaliado.

Figura 18 – Modelo de delegação em dois contratos



Fonte: Elaboração própria.

5.3 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DOS MODELOS DE NEGÓCIOS

A partir dos modelos de negócios identificados e conceituados na seção anterior, é importante detalhar os critérios que circunscrevem as recomendações de um modelo de negócios para municípios em transição para a eletromobilidade. Tais recomendações poderão resultar em uma política pública; portanto, deverão ser muito bem avaliadas em diversos estágios. Apresentam-se como critérios aqueles delineados a seguir:

- O primeiro critério se refere à indiferença ou não do ente responsável pela implantação e operação ser público ou privado em relação às variáveis financeiras do projeto, nominalmente em relação à demanda, receita tarifária, investimentos e custos operacionais. Conforme a avaliação que se realize, os resultados financeiros poderão depender do perfil do ente responsável pela condução do empreendimento. Como regra, empresas públicas devem atender aos estatutos do funcionalismo público, resultando em risco expressivo de elevação dos custos operacionais na comparação com custos privados. Quanto ao modelo de aquisição de bens e serviços, o poder público está moldado por diversos princípios do direito administrativo, muitos deles transcritos na Lei Federal nº 8.666, de 1993. Esses princípios podem tornar o processo de compra de ativos, equipamentos, serviços e outros mais oneroso do que quando realizado com maior grau de liberdade pela iniciativa privada.

- Minimização do esforço fiscal do ente público, ou seja, identificação do modelo que cria o maior valor pelos recursos públicos disponíveis para a implementação do projeto.
- Minimização do risco de integração entre a tecnologia operacional dos veículos, dos sistemas de recarga, da operação e da manutenção dos serviços. A integração entre as múltiplas interfaces do projeto deve dar-se de forma perfeita tanto na fase de implantação quanto na fase de manutenção do empreendimento.
- Complexidade regulatória associada à gestão de múltiplos contratos, tais como fornecimento, operação e manutenção, por parte do poder concedente.
- Minimização dos riscos incorridos pelo poder concedente no desenvolvimento do modelo proposto.

A partir desses critérios são propostas comparações entre os modelos sintetizadas na Tabela 21.

Tabela 21 – Modelos de negócios: conceitos, aplicabilidade e nível de risco

Modelo	Exemplos	Funcionamento	Vantagens	Riscos
Operação pública	Universidade de Campinas. Trólebus em São Paulo (CMTC).	Estruturação de uma empresa pública responsável pelo planejamento, programação, aquisição de ativos, operação e sua manutenção.	O poder público possui elevado grau de controle direto sobre o uso de seus recursos empregados. Eventuais vantagens na estrutura tarifária do fornecimento de energia podem contribuir para a redução de custos operacionais.	Incremento de custos de investimento e operação devido à rigidez de contratações públicas, tanto em relação a pessoal (estatuto do funcionalismo público) quanto a equipamentos, peças e outros insumos produtivos. Necessidade de desembolsos imediatos pelo poder concedente.
Concessão global	Linha 6 do Metrô de São Paulo. Pagamento pela implantação de obras civis, material rodante e sistemas realizados (parcialmente) com aportes públicos estimados em R\$ 4,5 bilhões, na data-base dezembro de 2013.	Contratação de uma concessão privada única com o objeto de implantar, operar e manter o sistema de transporte público conduzido com veículos elétricos. Remuneração privada combina recursos recebidos ao longo da fase de implantação (aportes públicos) com recursos recebidos na fase de operação (remuneração tarifária e/ou contraprestação pecuniária).	O poder público desembolsa recursos de acordo com marcos contratuais verificados (poderá ser aquisição de veículos, sistemas e instalação, como exemplo). Riscos de sobrecustos de implantação, gestão de interfaces e temas correlatos são atribuídos à iniciativa privada, limitando a exposição de recursos públicos no projeto.	Governança pública limita-se às normas contratuais. O poder público não define quais serão os ativos adquiridos com base nos aportes.

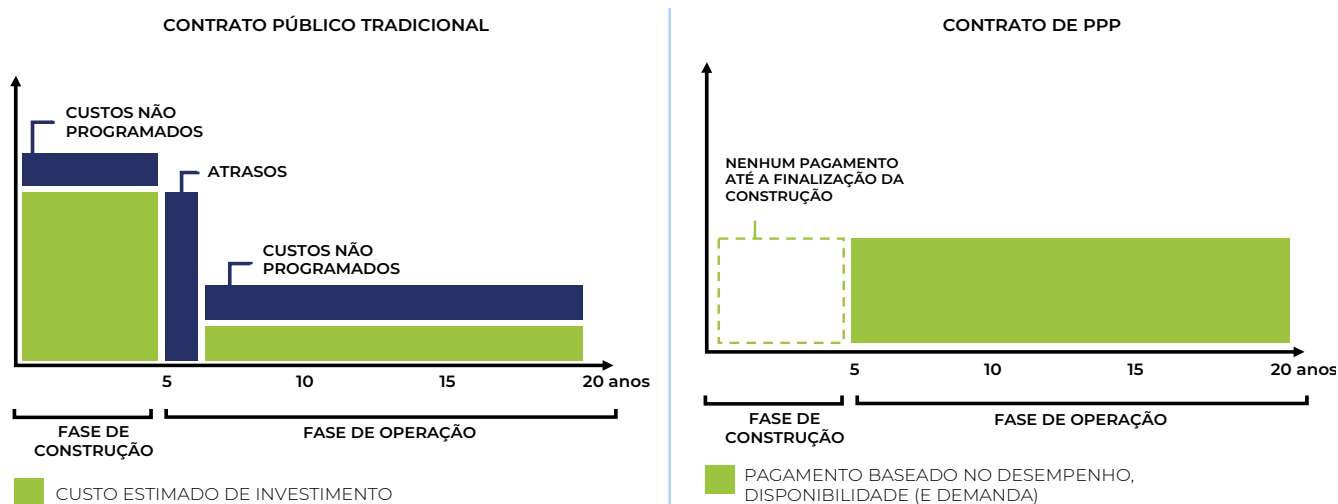
Modelo	Exemplos	Funcionamento	Vantagens	Riscos
Aquisição pública e operação privada	Linha 4 do Metrô de São Paulo, onde obras civis e sistemas elétricos foram contratados diretamente pelo governo do estado de São Paulo.	Poder concedente adquire veículos e/ou sistemas de recarga e cede ao operador privado na forma de bens vinculados à concessão. O operador privado é responsável por sua operação, manutenção e eventual renovação ao longo do transcurso contratual.	O poder público possui controle direto sobre o uso de seus recursos empregados.	Necessidade de disponibilidade imediata de recursos públicos. Gestão de interfaces entre o fornecimento e as condições de utilização deles pode onerar os recursos públicos. Caso da Linha 4 indica que falhas em um contrato poderão resultar em elevadas penalidades ao Estado.
Contratos paralelos de longo prazo	Metrô de Londres, sob gestão da LUL (<i>London Underground Limited</i>).	Poder concedente realiza contratações de longo prazo. Uma contratação pode ser na forma de "B.L.T.", na qual o investidor privado investe em veículos, sistemas e os loca ao segundo operador privado, contratado para realizar investimentos nos veículos a <i>diesel</i> , garagens e demais infraestrutura operacional, além de operar e manter todos os sistemas.	Reduz a necessidade de disponibilidade imediata de recursos públicos para a realização de investimentos, tendo em vista o financiamento ser dedicado à SPE privada.	Gestão de interfaces entre contratos. Caso de LUL indicou os riscos desse modelo e as dificuldades de se gerenciar interfaces de contratos complexos, que em última instância recairão sobre o poder concedente.

Fonte: Elaboração própria.

As cidades que têm avançado na transição para eletromobilidade têm optado pela separação de contratos de aquisição de frota e operação, por conta dos riscos e custos de capital atrelados ao envolver diretamente as operadoras no processo. Essa estratégia em geral é vinculada a uma garantia do poder público para coordenação de ambos os processos.

A síntese dos critérios propostos estabelece o que é descrito como a análise de *Value for Money* (VfM). Essa vertente analítica tem como propósito estabelecer o melhor modelo de delegação a partir da ótica financeira do poder público. Em outros termos, busca-se o melhor entre os vários modelos de contratação da implantação e exploração dos serviços tendo como ponto de vista a minimização do esforço fiscal, dos riscos e da complexidade regulatória alocada ao poder público para arcar com o empreendimento de forma agregada.

Figura 19 – Visão convencional do VfM



Fonte: Elaboração própria.

Além disso, ainda não há hoje uma base de dados disponível que permita comparar os custos unitários efetivamente arcados pelo poder concedente quando da aquisição direta com os custos globais contratados por meio de contratos de PPP, concessão comum ou locação de ativos. Assim, resta uma análise conceitual e teórica sobre os possíveis resultados da análise de *Value for Money*.

As referências existentes sobre esse tema indicam que os custos não programados, atrasos e riscos assumidos pelo poder concedente têm sobrecustos de 25% a 40%. Esse percentual é relativo à orçamentação apresentada em projetos básicos utilizados para a licitação dessas construções em projetos de infraestrutura como um todo. Os riscos são minimizados em um contrato de concessão global. A estrutura contratual de uma concessão global tem como prerrogativa uma maior flexibilidade para a iniciativa privada buscar soluções mais eficientes associadas aos custos de implantação do empreendimento. Assim, ainda que possam ocorrer sobrecustos na fase de implantação do empreendimento, pode-se afirmar que com elevada probabilidade esses sobrecustos serão menores do que os previsíveis em um contrato de implantação convencional.

Como segundo ponto de reflexão importante, o contrato de concessão, que preveja a divisão de riscos entre o poder concedente e a iniciativa privada, terá como contrapartida a necessidade de o poder concedente prever importantes garantias de cumprimento contratual. Tais garantias, nominalmente a constituição de um Fundo Garantidor ou a nomeação de ativos públicos, criam obrigações pecuniárias importantes para os municípios.

6.

OPORTUNIDADES E CONDIÇÕES LOCAIS PARA IMPLEMENTAÇÃO

O setor de transportes é a maior fonte de emissões de gases de efeito estufa relacionados à energia na América Latina. A região tem uma janela crítica de oportunidade para eletrificar seu setor de transportes já que tem uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo, com 60% da capacidade instalada proveniente de energias renováveis, superior à média global. O Brasil, em especial, por conta da ampla capacidade de produção de energia a partir de fontes limpas.

A incorporação de uma nova tecnologia, como a de ônibus elétricos, depende de uma série de fatores, desde instrumentos e arranjos normativos e regulatórios às considerações econômicas e financeiras. Quando essa transição é planejada para ser feita em escala, entender e considerar as oportunidades e condições locais em todos os níveis de governo é de suma importância. As forças motrizes internas e externas, que impactam a oferta e demanda dos ônibus elétricos e seus componentes, também precisam ser entendidas.

A partir das experiências internacionais e locais, é possível mapear e identificar casos de boas práticas que podem corroborar a identificação de potenciais caminhos a serem tomados pelas cidades brasileiras para realizar a transição em larga escala e colher os seus benefícios. Nesse sentido, nos tópicos a seguir serão destacadas boas práticas e lições aprendidas na América Latina e no Brasil.

6.1 CASOS DE *BENCHMARKING* NA AMÉRICA LATINA

A América Latina é um caso de referência no mundo, pois concentra a segunda maior frota de ônibus elétricos, atrás apenas da China. Países como Colômbia e Chile lideram esse avanço e ambos contam com políticas nacionais de incentivo à eletromobilidade, assim como Costa Rica, Panamá, México e República Dominicana. Países como Argentina, Equador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicarágua e Paraguai estão em processo de elaboração de políticas nacionais para acelerar a transição.

No continente, Bogotá é a cidade que mantém a maior frota de ônibus elétricos em circulação (1.061), seguida de Santiago (com 786 veículos). A capital mexicana, Cidade do México, também apresenta um diferencial com 483 trólebus e 10 ônibus elétricos a bateria (E-BUS RADAR, 2022).

Nos tópicos seguintes, são apresentados os casos dessas três cidades.

6.1.1 Caso de Santiago

Capital e sede da única região metropolitana do Chile, a cidade de Santiago tem realizado desde 2013 testes com ônibus elétricos. Em 2014, desenvolveu estudos mais robustos sobre como viabilizar a transição de sua frota. Assim, o pontapé da capital chilena para incorporação de ônibus elétrico ocorreu a partir da redefinição e aprimoramento dos contratos de Transantiago, a rede de transporte público da cidade (CEPAL, 2017; WORLD BANK, 2020).

Em 2017, parte da frota do Transantiago precisava ser revista por conta do fim da vida útil dos veículos. Entretanto, a licitação foi cancelada por falta de empresas interessadas para livre concorrência do sistema (UITP, 2020). A renegociação teve como objetivo aprimorar a qualidade do serviço para os usuários e equilibrar as condições financeiras do sistema garantindo sustentabilidade no longo prazo.

Figura 20 – Ônibus elétrico em operação na capital chilena



Fonte: Pedro Bastos/ITDP Brasil (2022).

Para enfrentar essa situação, em 2018 a cidade optou por redesenhar o modelo de negócios estabelecido. Foram instituídos dois processos de licitação em separado para aquisição de 2.000 ônibus (incluindo ônibus elétricos) e garantir a renovação emergencial de sua frota. Nesse novo formato, haveria uma licitação para o fornecimento e provisão dos veículos em si e uma para operação da frota. A cidade considerava que essa mudança contribuiria para uma maior continuidade operacional da frota, maior competitividade, aprimoramento da qualidade padrão, além de promover tecnologias mais sustentáveis e reduzir o custo do sistema (DTPM, 2020).

Adicionalmente, inspirado nas cidades chinesas, o novo modelo de Santiago buscou envolver outros atores no sistema, criando uma sociedade de fabricantes de veículos, fabricantes de carroceria e entes financeiros. Nesse modelo, o ente financeiro adquiriria o veículo do fabricante e o alugaria (via contrato de *leasing*) para a cidade ou operador.

O destaque de Santiago é resultante de um contrato de concessão que considerou incentivos à inclusão e renovação da frota por veículos mais limpos. É exigido, por exemplo, que pelo menos um serviço de cada lote do contrato opere com um veículo que apresente tecnologia de baixa emissão, como veículos movidos a *diesel* com tecnologia Euro VI, veículos híbridos ou veículos de zero emissão, como os veículos elétricos. A nova licitação da capital chilena considerou incentivos, tais como:

- Operação de pelo menos um serviço de cada lote com veículo de baixa emissão;
- Fornecimento de terminais temporários para estacionamento de ônibus durante o carregamento após as rotas;
- Os novos veículos devem ser mais eficientes em termos de energia e emitir menos poluentes.

A licitação da Transantiago também inovou ao considerar dar uma premiação, por parte do operador, ao melhor motorista e à melhor motorista entre as empresas concessionárias da empresa (BID, 2022). A premiação é composta de um incentivo financeiro e da realização de palestras em escolas e universidades para demonstrar a incorporação e a importância de maior inclusão do gênero feminino no setor de transportes.

Ao incorporar metas progressivas de paridade de gênero na composição das empresas, os operadores garantirão maior sensação de segurança para mulheres (grupo de maior vulnerabilidade a assédios sexuais no transporte público). Além disso, motoristas mulheres são responsáveis proporcionalmente por menos infrações, menos mortes e atropelamentos no trânsito (ALMEIDA *et al.*, 2005).

Os compromissos climáticos firmados pela cidade também contribuíram para a transição do município para a eletromobilidade. Eles incluem desde a assinatura do Acordo de Paris à implementação pelo governo chileno, em 2018, da Estratégia Nacional de Eletromobilidade, que inclui a meta de eletrificar 40% da frota privada até 2050. Essa se tornou uma

política essencial para incentivar e impulsionar a transição para frotas de zero emissões nas cidades, garantindo o envolvimento de diferentes atores no seu planejamento, como os Ministérios de Energia, Transporte e Meio Ambiente. Até 2050, a meta é que pelo menos 40% dos veículos particulares e 100% dos veículos de transporte público sejam elétricos.

Os ônibus elétricos na capital chilena percorrem majoritariamente o eixo “Alameda-Providencia”, que liga a zona oeste (mais periférica) à região norte (a mais rica da capital chilena), passando pelo Centro. Informações da *Red Metropolitana de Movilidad* de Santiago também apontam linhas de ônibus elétricos partindo de Huechuraba, distrito também conhecido por *Ciudad Empresaria*, à estação de metrô Tobalaba (região de classe média da capital).

6.1.2 Caso de Bogotá

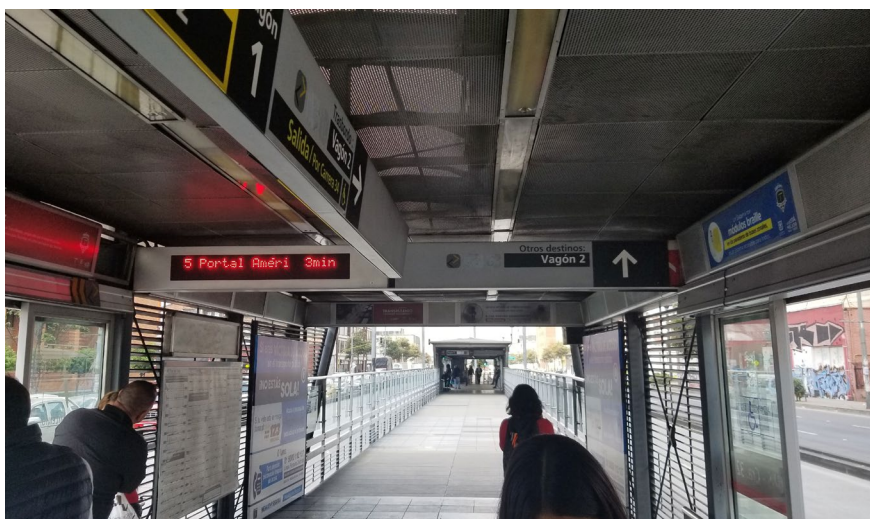
O governo colombiano também garantiu políticas incentivadoras que proporcionaram a transição para a eletromobilidade no país. Em 2019, o presidente assinou a Lei nº 1.964, que promoveu a adoção de veículos de energia limpa e estabeleceu uma meta de 100% dos veículos adquiridos para sistemas de transporte público com emissão zero até 2035.

Em 2019, em resposta a isso, e por conta da insustentabilidade do sistema de BRT, a cidade de Bogotá precisou redesenhar seu modelo de negócios e abrir uma nova licitação para adquirir 1.441 ônibus, sendo 964 biarticulados e 477 articulados, a serem implantados entre 2019 e 2020. O edital da capital colombiana estabeleceu novos critérios no edital de 2019 para incorporar ônibus elétricos na frota do BRT da TransMilenio (Figura 21), entre eles:

- Destacou a necessidade de adquirir tecnologias de emissão zero ou de baixa emissão;
- Separou os contratos de provisão e operação de veículos;
- Garantiu depósito ou espaço na rota suficiente para carregar, operar e manter a frota com segurança – seja nas garagens, ou ao longo da rota;
- Estabeleceu um programa de treinamento obrigatório de motoristas, com avaliações regulares.

Graças ao novo modelo de negócios, atores com maior capacidade financeira uniram esforços com os operadores locais na concessão do abastecimento, conferindo viabilidade e estabilidade. Por exemplo, a parceria da Volvo com duas operadoras privadas forneceu 300 ônibus elétricos híbridos para o TransMilenio. O custo dos ônibus foi separado das baterias, com os operadores privados comprando os ônibus da Volvo e a cidade firmando um contrato de *leasing* para as baterias (ITDP, 2021).

Figura 21 – Estação de embarque e desembarque de passageiros da TransMilenio, Bogotá



Fonte: Rodrigo Laboissiere/Logit (2019).

O contrato envolve um parcelamento mensal a ser pago pela prefeitura. Ao longo desse prazo, a Volvo fica com a bateria até que todas as parcelas sejam pagas. Depois disso, as baterias ficam com a cidade de Bogotá. Para a compra dos ônibus, os operadores privados usaram empréstimos concessionais. A parceria reduziu o custo total inicial de propriedade e incentivou uma absorção mais rápida da bateria elétrica. Desde que esses ônibus híbridos foram adotados, Bogotá adquiriu ônibus elétricos a bateria e terá mais de 1.400 até 2022.

Adicionalmente, a estrutura de remuneração foi modificada para um modelo em que a provisão é remunerada segundo a disponibilidade de veículos (e não a toda frota indiscriminadamente). Em relação à remuneração da operação, é realizada uma avaliação integral do serviço a cada três meses. Para tornar o controle de qualidade mais efetivo, no lugar de multas por mau desempenho, a cidade passou a adotar desconto direto sobre a remuneração conforme indicadores de segurança viária, regularidade e satisfação do cliente.

O modelo de negócio utilizado para incorporar ônibus elétricos ao sistema também encontrou uma solução para entregar as garagens e construir a infraestrutura de recarga, visto que, para este componente, a cidade de Bogotá não possui terreno próprio para a sua construção. Aproveitando o interesse e a importância em um projeto de ônibus elétrico de empresas do setor de energia, a TransMilênio buscou a Enel-Codensa (empresa de distribuição de energia da cidade) como aliada no atendimento do componente de infraestrutura.

Outra boa prática da cidade é a obrigatoriedade presente no edital do sistema BRT TransMilênio de um treinamento permanente e contínuo aos motoristas, com conteúdo mínimo aprovado pelo órgão gestor, de regulação e manual de direção, primeiros socorros e de relações interpessoais. Para os motoristas adquirirem habilitação para dirigir os veículos do sistema de BRT TransMilênio, precisam obter uma pontuação satisfatória no treinamento, além de passarem por um exame físico e psicológico. Esse treinamento padronizado de motoristas garante uma qualidade mais uniforme ao sistema (BOGOTÁ, 2002).

Em dezembro de 2020, Bogotá recebeu os primeiros 120 ônibus dos 471 ônibus elétricos a bateria que foram encomendados à BYD. Em janeiro de 2021, a BYD ganhou outra licitação que aumentará a frota de Bogotá para 889 veículos até o fim de 2022. São 471 ônibus da BYD e 13 da Yutong em circulação na capital colombiana e se concentram na periferia da cidade, mais especificamente em localidades atendidas pela TransMilenio conhecidas como *Fontibón* (próxima ao Aeroporto), Usme, Rafael Uribe, Perdomo e Venecia.

6.1.3 Caso da Cidade do México e de Guadalajara

Desde 2008, o governo mexicano tem implementado ações estratégicas para reduzir as concentrações de poluentes com enfoque em mobilidade, a partir principalmente da priorização de transporte público limpo.

O Programa de Ação Climática da Cidade do México é um exemplo disso. Uma das ações do programa é feita em parceria com as agências de transporte público para substituição de tecnologia e sucateamento de ônibus. A incorporação de ônibus elétricos e ônibus híbridos no sistema BRT Metrobus também faz parte das diretrizes do programa. Eles circulam pela Linha 3 do Metrobús, que liga a estação *Etiopía/Plaza de la Transparencia* à estação *Hospital Xoco*, próxima à *colônia Coyoacán*. Trata-se de uma área de uso misto ao sul da capital mexicana com predominância de classes médias e médias-altas. Para garantir a sua implementação e a transição de longo prazo, a capital mexicana tem buscado envolver diversos atores no seu planejamento, desde entidades e técnicos do poder público e da Metrobus, a membros da empresa de energia elétrica e serviços da cidade (no caso, a Engie).

Um passo importante dado, e que se tornou um diferencial da cidade, foi uma nota lançada pela Metrobús de apoio aos planos da Secretaria Nacional de Economia do México para dispensar temporariamente os impostos de importação dos ônibus elétricos (e outros veículos com a mesma tração) no país, que eram 20% mais caros do que as unidades produzidas localmente. A isenção de impostos será válida até setembro de 2024 e possibilitará aumentar as compras locais, fomentando a instalação de plantas tecnológicas no país, bem como reduzindo os custos a serem arcados com os veículos e componentes elétricos.

Outro marco relevante no México é a cidade de Guadalajara, que está planejando um novo corredor de ônibus de 28 km de extensão previsto para atender 23.000 passageiros por dia com 38 ônibus elétricos (C40 FINANCE FACILITY, 2022). Ainda em Guadalajara, treinamentos e capacitações de técnicos e motoristas envolvidos no sistema de transporte público da cidade considerando novas tecnologias são obrigatórios dentro dos contratos existentes. Desde 2021, além disso, a cidade tem estimulado a capacitação de mão de obra exclusivamente feminina para dirigir os ônibus como política transversal de diversidade, assim como praticado no Chile (GOBIERNO DE CHILE, 2018).

Em Guadalajara, os ônibus elétricos circulam em duas rotas principais. Via 1, saindo do Terminal Norte com destino ao Centro Universitário de Tonalá, e Via 2, saindo do mesmo Terminal Norte em direção ao Aeroporto Internacional de Guadalajara. Essas rotas fazem parte do programa *Mi Macro Periférico* (programa de melhoria de mobilidade e acessibilidade da cidade), garantindo serviço de transporte mais eficiente para o leste da Área Metropolitana de Guadalajara, especificamente o município de Tonalá, uma área historicamente atrasada tanto em sua infraestrutura urbana quanto em sua demanda por transporte público de qualidade.

6.2 CASOS DE BENCHMARKING NO BRASIL

Algumas cidades brasileiras têm se destacado por seus avanços na transição para a eletromobilidade, principalmente no que diz respeito ao transporte público coletivo. A Tabela 22 apresenta casos de São Paulo, Curitiba e Campinas. Os dados e informações apresentados a seguir foram coletados com as cidades, salvo os que mencionam as referências.

Tabela 22 – Práticas em destaque no Brasil

Cidade	O que fez	Como fez
São Paulo	A emenda à Lei Municipal do Clima (16.802/2018) teve papel fundamental ao estabelecer metas ambiciosas de redução de poluentes para toda a frota de ônibus da cidade.	<p>Definiu um Comitê Gestor para o Programa de Acompanhamento da Substituição de Frota por Alternativas Mais Limpas, o qual exige um relatório de emissão anual e estabelece metas de redução de poluentes locais e globais em até 20 anos;</p> <p>Estabeleceu que a renovação da frota deve ser feita de forma regular e com o objetivo de reduzir impactos ambientais, mencionando a mudança para ônibus elétricos como parâmetro para renovação;</p> <p>Incorporou multas e inclui critérios de remuneração relacionados às metas ambientais, de modo a ter incentivos financeiros para a transição;</p> <p>Implementou um programa de treinamento específico para motoristas, trocadores e técnicos relacionado a novas tecnologias e ações que levem à redução da emissão de poluentes.</p>

Cidade	O que fez	Como fez
Curitiba	Elaboração de esquemas de financiamento inovadores para viabilizar frotas elétricas.	<p>A agência ou operadora de transporte público pega empréstimos flexíveis para custeios de capital, reembolsando o(s) credor(es) durante um determinado período.</p> <p>Os credores podem ser bancos de desenvolvimento nacionais e internacionais ou fundos ambientais internacionais, como o <i>Green Climate Fund</i> ou o <i>Global Environmental Facility</i>.</p> <p>A operadora comprou ônibus elétricos híbridos da Volvo com um empréstimo flexível do BNDES. Os empréstimos oferecem taxas de juros baixas ou cronogramas de reembolso mais extensos.</p>
Campinas	Criação de uma área neutra em emissões de poluentes, além de planejamento de exigências e incentivos para ampliação da frota de elétricos.	<p>A área de zero emissões está sendo desenhada para a circulação exclusiva de ônibus elétricos e veículos neutros, projetada para a demanda de 339 ônibus que circulam por 34 linhas na área central da cidade (PNME, 2020).</p> <p>Essa região da cidade compõe uma área de 3 km² e é responsável por 1/3 das viagens realizadas no município por transporte público. Campinas espera reduzir com essa ação a emissão de 32% dos gases de efeito estufa (GEEs).</p>

Fonte: Elaboração própria.

6.3 LIÇÕES APRENDIDAS

Os casos apresentados demonstram que há diversas lições a serem aprendidas e incorporadas de acordo com os contextos locais. Os principais pontos elencados a partir da análise de *benchmarking* realizada são citados a seguir:

- I. **Modelos de negócios com separação entre provisão e operação do serviço:** modelos de negócios inovadores podem ajudar a mitigar e descentralizar melhor os riscos para superar os altos custos iniciais de aquisição dos ônibus elétricos. Separar provisão e operação também pode ajudar a determinar as economias de custos de longo prazo antecipadas nas decisões de compra, garantindo que os veículos permaneçam acessíveis para operadoras e usuários.
- II. **Prazos e cronogramas realistas:** outra lição aprendida é a importância de se determinar expectativas claras entre o setor público, os operadores e os demais atores envolvidos, e desenvolver cronogramas realistas. Para isso, é necessário compreender as limitações e oportunidades existentes para os governos e agências com financiamento público no início do projeto, tais como a capacidade de planejamento, financiamento e apoio político.

- III. Sustentabilidade financeira do sistema:** diagnosticar os atores existentes, os modelos de negócios e as potenciais linhas de financiamento para a infraestrutura, veículos e baterias com diferentes entidades financeiras, bancos e outros investidores interessados em ajudar a planejar um financiamento sustentável e autogerido.
- IV. Políticas de incentivo e envolvimento de mais atores:** políticas intersetoriais e estratégias de incentivo em todos os níveis de governo têm se mostrado cruciais para engajar e pressionar atores estratégicos na transição para os ônibus elétricos. Essas políticas e estratégias também são cruciais para direcionar as diretrizes de aquisição e adaptação de infraestrutura correspondente e *smart grids*.
- V. Qualidade para o usuário:** é recomendável que a gestão, planejamento e controle do sistema fiquem a cargo do ente público, permitindo o controle da qualidade do serviço e a estruturação de um esquema de remuneração ao setor privado para melhor alocação dos recursos e maior financiamento do sistema. A transparência de informações é o primeiro passo, tanto entre ente público e privado quanto para com a população.
- VI. Operação qualificada e garantia de manutenção:** os ônibus elétricos e seus componentes apresentam características de operação e manutenção específicas de acordo com cada fornecedor. Essas informações precisam ser consideradas no quadro de técnicos e responsáveis pelo dia a dia dessas atividades. Nesse sentido, é de suma importância que capacitações técnicas sejam atividades regulares obrigatórias presentes nos modelos de negócios estipulados.

7.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transição para a eletromobilidade na frota de ônibus urbanos no Brasil requer planejamento de longo prazo para viabilizar a substituição gradual dos veículos. Apesar dos desafios, esse processo tem grande potencial de melhorar a qualidade de vida da população nas cidades brasileiras.

Este estudo é uma contribuição para a compreensão das principais ferramentas e estratégias que podem permitir a introdução bem-sucedida de novas tecnologias e inovações para eletrificação dos ônibus. Explora as principais barreiras e oportunidades no contexto nacional e em outros países do mundo. O estudo envolveu a coleta de informações a partir de entrevistas com atores-chave em âmbito nacional, bem como diversas fontes secundárias de informações para sistematizar o caminho político, tecnológico, social e industrial para a implantação de ônibus elétricos nas cidades brasileiras.

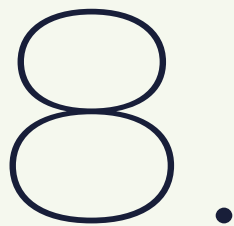
Para atingir esses objetivos, é a atuação em curto, médio e longo prazos de todas as partes interessadas. As ações devem ser integradas e coordenadas nos três níveis de governo (federal, estadual e municipal), agências de fomento e financiamento, operadores e outros potenciais novos atores do mercado.

Revisar a regulamentação também cumpre um papel decisivo para influenciar a transição para ônibus elétricos no Brasil. É recomendável estruturar uma política para o segmento, com definição de regras específicas que estabeleçam incentivos financeiros, regulatórios, ambientais e operacionais. A definição do modelo de negócios é o primeiro passo a ser dado. Este precisa ser desenhado buscando garantir flexibilidade, estabilidade, sustentabilidade, continuidade do serviço e eficiência.

A adoção de uma nova tecnologia é sempre acompanhada por receios; logo, é preciso divulgar e ampliar o conhecimento a respeito dos principais aspectos envolvidos (tipos de veículos e componentes, infraestrutura e outros). Do mesmo modo, sinalizar para o mercado ainda incipiente no Brasil sobre as oportunidades dos modelos de negócios existentes e boas práticas em cidades que já realizaram a transição.

A carência de estruturas de governança, monitoramento e transparência, contando com dados abundantes, precisos e confiáveis para apoiar a gestão pública na eletrificação dos sistemas de transporte público, ainda é entrave para a completa renovação da frota. Será preciso ainda que a troca de experiências e colaboração entre cidades seja ampliada, além de identificar potencialidades e articular oferta e demanda por meio da coordenação de ações do governo federal, estados, prefeituras e fabricantes. A gestão efetiva da informação e o uso de dados são relevantes nesse planejamento, considerando as linhas e áreas para a transição energética.

O cenário de recuperação pós-Covid-19 indica ainda uma situação delicada e restritiva na situação econômica e financeira dos países e cidades. Entretanto, também apresenta uma oportunidade de replanejamento e redesenho otimizado de gastos e investimentos em transportes orientados para soluções mais limpas em longo prazo. Finalmente, ressalta alguns dos benefícios que a mobilidade elétrica pode oferecer.



REFERÊNCIAS

- [1] AGÊNCIA ALEMÃ DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL – GIZ; MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS – MDIC. **Sistematização de Iniciativas de Mobilidade Elétrica no Brasil**. MDIC: Brasília, novembro, 2018. Disponível em: http://www.ipdeletron.org.br/wwwroot/pdf-publicacoes/55/Sistematizacao_de_Iniciativas_de_Mobilidade_Eletrica_no_Brasil.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Recarga de veículos elétricos**: levantamento de informações do corredor elétrico do Sul do Brasil. Relatório. 2019. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/documents/10184/0/Recarga+de+Ve%C3%ADculos+El%C3%A9tricos+Levantamento+de+informa%C3%A7%C3%B5es+do+Corredor+El%C3%A9trico+Sul+do+Brasil/fad49adf-0e06-062e-ef11-814e-6232f372?version=1.0>. Acesso em: jun. 2022.
- [3] ALMEIDA, N. D. V. *et al.* As relações de gênero e as percepções dos/das motoristas no âmbito do sistema de trânsito. **Psicologia**: ciência e profissão, v. 25, n. 2, junho, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pcp/a/7HKfLVKNdYcSXMgpNfd6xZd/?lang=pt>. Acesso em: jun. 2022.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 14040**: avaliação do ciclo de vida. Princípios e estrutura. 2009. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=316462>. Acesso em: jun. 2022.
- [5] AVELLEDA, S. **Não basta a eletrificação dos ônibus, é preciso simultaneamente melhorar a qualidade dos serviços**. ANTP, 8 jan. 2020. Disponível em: <http://antp.org.br/noticias/destaques/nao-basta-a-eletrificacao-dos-onibus-e-preciso-simultaneamente-melhorar-a-qualidade-dos-servicos.html>. Acesso em: jun. 2022.
- [6] BAK, D.-B. *et al.* Strategies for Implementing E-buses Lines by Charging Type – Daegu City, South Korea. **Sustainability**, v. 10, n. 10, p. 3386, 2018. Acesso em: jun. 2022.

- [7] BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID). Transport Gender Lab (TGL). **Gênero y Transporte**: Bogotá. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18235/0001388>. Acesso em: jun. 2022.
- [8] BARASSA, E. **A construção de uma agenda para a eletromobilidade no Brasil**: competências tecnológicas e governança. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. 2019.
- [9] BARASSA, E. *et al.* **1º Anuário Brasileiro da Mobilidade Elétrica**. Brasília: PNME/Deutsche Zusammenarbeit/GIZ/ICS. 2021. Disponível em: <https://www.pnme.org.br/biblioteca/1o-anuario-brasileiro-da-mobilidade-eletrica/>. Acesso em: jun. 2022.
- [10] BARCZAK, R.; DUARTE, F. Impactos ambientais da mobilidade urbana: cinco categorias de medidas mitigadoras. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 4, n. 1, p. 13–32, 2012.
- [11] BI, Z. *et al.* Integrated Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost Model for Comparing Plug-in versus Wireless Charging for an Electric Bus System. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 2, p. 344-355, Abril, 2018.
- [12] BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. **Electric Buses in Cities** – Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2. 2018. Disponível em: <https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/2018/05/Electric-Buses-in-Cities-Report-BNEF-C40-Citi.pdf>. Acesso em: jun. 2022.
- [13] BOGOTÁ. **Concession contract for urban mass transport public services**. PUBLIC TENDER Nº. 007. Documento privado. 2022.
- [14] BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: jun. 2022.
- [15] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. 2011. Disponível em: <https://bit.ly/3ymyoth>. Acesso em: jun. 2022.
- [16] BRASIL. **Plano Setorial de Transportes e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima**. 2013. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/Biblioteca/PSTM.pdf>. Acesso em: jun. 2022.
- [17] BRASIL. Ministério das Cidades. **Guia TPC**: orientações para seleção de tecnologias e implementação de projetos de transporte público coletivo. 2018. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/ArquivosPDF/guiatpc.pdf>. Acesso em: jun. 2022.

- [18] C40CITIES. **Declaração de Ruas Livres de Combustíveis Fósseis**. 2019. Disponível em: https://c40.org/wp-content/uploads/2021/07/1581_POR_FFFS_declaration_FINAL.original.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [19] C40 CITIES. **Plano Municipal de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas**. 2020. Disponível em: <https://mid.curitiba.pr.gov.br/2020/00306556.pdf>. Acesso em: jun. 2022.
- [20] CALIFORNIA HVIP. **Total Cost of Ownership Estimator**. 2021. Disponível em: <https://californiahvip.org/tco/>. Acesso em: jun. 2022.
- [21] CARVALHO, C. H. R. Desafios da Mobilidade Urbana no Brasil. **Texto para Discussão 2198**, Ipea, Brasília, maio, 2016. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6664/1/td_2198.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [22] CARVALHO, C. H. R. Emissões relativas de poluentes do transporte urbano. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**. Ipea, 5 jun., 2011. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5574/1/BRU_n05_emiss%C3%B5es.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [23] CASTRO, B. H. R. *et al.* Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. **BNDES Setorial**, n. 37, mar. 2013, p. 443-496. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1511>. Acesso em: jun. 2022.
- [24] CASTRO, B. H. R.; FERREIRA, T. T. Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. **BNDES Setorial**, n. 32, set. 2010, p. 267-310. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1764>. Acesso em: jun. 2022.
- [25] COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE – CEPAL. **La implementación del Transantiago en Chile y su impacto en el mercado laboral del sector transporte**. 2017. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43408/1/S1701289_es.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [26] COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE – CEPAL. **Mecanismos de incentivo à inovação em energias limpas no Brasil: caminhos para um grande impulso energético**. 2020. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45944/4/S2000347_pt.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [27] CONSONI, F. *et al.* **Estudo de Governança e Políticas Públicas para Veículos Elétricos**. Projeto Sistemas de Propulsão Eficiente – Promob-e. 2018. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4278022/mod_resource/content/1/PROMOB-e%20%20Estudo%20de%20Governanca.pdf. Acesso em: jun. 2022.

- [28] CPFL ENERGIA S.A. **Projeto Emotive**. 2018. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/3622>. Acesso em: jun. 2022.
- [29] D'AGOSTO, M. **Transporte, uso de energia e impactos ambientais: uma abordagem introdutória**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- [30] DIRECTORIO DE TRANSPORTE PÚBLICO METROPOLITANO – DTPM. **Licitación de Concesión de Uso de Vías**. 2020. Disponível em: <https://www.dtpm.cl/index.php/licitacion-de-concesion-de-uso-de-vias-n-lp-cuv001-2019>. Acesso em: jun. 2022.
- [31] E-BUS RADAR. **Plataforma de Ônibus Elétricos na América Latina**. Realização de Labmob – UFRJ. Parceria de C40, ZEBRA e ICCT. 2022. Disponível em: <https://www.ebusradar.org/>. Acesso em: jun. 2022.
- [32] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz elétrica brasileira**. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 29 jun. 2022.
- [33] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico**. 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/simulador-para-avaliacao-de-viabilidade-de-onibus-eletrico>. Acesso em: jun. 2022.
- [34] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Nota Técnica - Avaliação Técnico-Econômica de Ônibus Elétrico no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-480/topico-527/NT%20SEE-SDB%20-%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20T%C3%A9cnico-Econ%C3%B4mica%20de%20%C3%94nibus%20El%C3%A9trico%20no%20Brasil.pdf>. Acesso em: jun. 2022.
- [35] FBMC. **Brasil Carbono Zero em 2060**. Relatório do Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC) para a Presidência da República. 2018. Disponível em: http://centroclima.coppe.ufrj.br/images/documentos/Relatório_Brasil_CarbonoZero_2060_final_1.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [36] FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇA DO CLIMA – FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – FGV. **Boletim de Conjuntura do Setor Energético**. 2019. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/setembro_-2019_v4.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [37] GAO, Z. *et al.* Battery Capacity and Recharging Needs for Electric Buses in City Transit Services. **Energy**, v. 122, p. 588-600. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312952414_Battery_capacity_and_recharging_needs_for_electric_buses_in_city_transit_service. Acesso em: jun. 2022.

- [38] GOBIERNO DE CHILE. **Agenda para la Política de Equidad de Género en Transportes**. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. 2018-2022. 2018. Disponível em: <https://www.subtrans.gob.cl/wp-content/uploads/2018/11/Agenda-PEGT-2018-2022.pdf>. Acesso em: jun. 2022.
- [39] GOVERNO FEDERAL. **Rota 2030 – Mobilidade e Logística**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/setor-automotivo/rota-2030-mobilidade-e-logistica>. Acesso em: jun. 2022.
- [40] GRAMKOW, C.; MAGACHO, G. “O verde nas medidas para recuperação da economia nos EUA e reflexões para o Brasil”. In: RONCAGLIA, A.; BARBOSA, N. (Org.). **Bidenomics nos trópicos**. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2021. 286p. ePub.
- [41] GRISOLI, R. P. S. **Comparação das emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol de cana-de-açúcar no Brasil e os critérios da diretiva europeia para energias renováveis**. 2011. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [42] HOUBADDI, A. *et al.* Optimal Scheduling to Manage an Electric Bus Fleet Overnight Charging. **Energies**, v. 12, n. 14, p. 2.727, 2019.
- [43] INSTITUTE FOR TRANSPORTATION AND DEVELOPMENT POLICY – ITDP. **Transport Emissions Evaluation Model for Projects (TEEMP) BRT**. 2012. Disponível em: <https://www.itdp.org/2012/08/06/transport-emissions-evaluation-model-for-projects-teemp-brt/>. Acesso em: jun. 2022.
- [44] INSTITUTE FOR TRANSPORTATION AND DEVELOPMENT POLICY – ITDP. **De Santiago a Shenzhen: como os ônibus elétricos estão movendo as cidades**. Relatório. Traduzido para o português. 2021. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/como-os-onibus-eletricos-estao-movendo-as-cidades/>. Acesso em: jun. 2022.
- [45] INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE – IEMA. **Oportunidades e desafios para ônibus não poluentes** | planejamento da infraestrutura | micromobilidade compartilhada. 2020a. Disponível em: <http://energiaeambiente.org.br/boletim/oportunidades-e-desafios-para-onibus-nao-poluente-planejamento-da-infraestrutura-micromobilidade-compartilhada>. Acesso em: jun. 2022.
- [46] INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE – IEMA. **Análise de aspectos fundamentais para a introdução de ônibus não poluentes em 13 cidades brasileiras**. 2020b. Disponível em: <http://energiaeambiente.org.br/produto/analise-de-aspectos-fundamentais-para-a-introducao-de-onibus-nao-poluente-em-13-cidades-brasileiras>. Acesso em: jun. 2022.

- [47] INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE – IEMA. **Transição da indústria automotiva brasileira.** Desafios e perspectivas para uma conversão alinhada à mobilidade inclusiva e de baixas emissões. 2021. Disponível em: https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2021/06/PT_IEMA_rosaluxemburgo_transicaoenergeticaindustriaautomotiva.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [48] INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE – IEMA. **PlanFrota:** ferramenta para transporte limpo. (s.d.). Disponível em: <http://energiaeambiente.org.br/produto/planfrota-ferramenta-para-transporte-limpo>. Acesso em: jun. 2022.
- [49] INSTITUTO DE POLÍTICAS DE TRANSPORTE & DESENVOLVIMENTO BRASIL – ITDP BRASIL. **Padrão de Qualidade BRT.** 2014. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/padrao-de-qualidade-brt/>. Acesso em: jun. 2022.
- [50] INSTITUTO DE POLÍTICAS DE TRANSPORTE & DESENVOLVIMENTO BRASIL – ITDP BRASIL. **Estatísticas Nacionais e Políticas de Mobilidade Urbana.** Boletim MobilIDADOS, 5. 2019. Disponível em: https://itdpbrasil.org/wp-content/uploads/2019/12/Boletim5_MobilIDADOS.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [51] INSTITUTO DE POLÍTICAS DE TRANSPORTE & DESENVOLVIMENTO BRASIL – ITDP BRASIL. **Incentivos na regulamentação podem ser chave para eletrificação.** Infográfico, 2 jul. 2020a. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/infografico-incentivos-na-regulamentacao-podem-ser-a-chave-para-a-eletrificacao/>. Acesso em: jun. 2022.
- [52] INSTITUTO DE POLÍTICAS DE TRANSPORTE & DESENVOLVIMENTO BRASIL – ITDP BRASIL. **Ônibus elétricos estão movendo cidades.** Infográfico, fev. 2020b. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/infografico-onibus-eletricos-estao-movendo-as-cidades/>. Acesso em: jun. 2022.
- [53] INSTITUTO DE POLÍTICAS DE TRANSPORTE & DESENVOLVIMENTO BRASIL – ITDP BRASIL. **Os ônibus elétricos estão chegando e podem tornar as nossas cidades mais sustentáveis.** Blogpost, 19 fev. 2020c. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/os-onibus-eletricos-estao-chegando-e-podem-tornar-as-nossas-cidades-mais-sustentaveis/>. Acesso em: jun. 2022.
- [54] INSTITUTO DE POLÍTICAS DE TRANSPORTE & DESENVOLVIMENTO BRASIL – ITDP BRASIL. **Operacionalização de frotas elétricas.** Webinar. 2020d. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/itdp-apresenta-lico-es-aprendidas-durante-a-eletrificacao-de-frotas-de-onibus-na-china/>. Acesso em: jun. 2022.
- [55] INSTITUTO DE POLÍTICAS DE TRANSPORTE & DESENVOLVIMENTO BRASIL – ITDP BRASIL. **A ilusão da mobilidade padrão.** Boletim

MobilIDADOS, 8. 2021. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/boletim-8-mobilidados-a-ilusao-da-mobilidade-padrao/>. Acesso em: jun. 2022.

- [56] INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION – ICCT. **Financing the Transition to Soot-free Urban Bus Fleets**. 2017. Disponível em: https://theicct.org/sites/default/files/publications/Soot-Free-Bus-Financing_ICCT-Report_11102017_vF.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [57] INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION – ICCT. **Effects of Battery Manufacturing on Electric Vehicle Life-cycle Greenhouse Gas Emissions**. 2018. Disponível em: https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [58] INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION – ICCT. **Benefícios de tecnologias de ônibus em termos de emissões de poluentes do ar e do clima em São Paulo**. Relatório Técnico. 2019. Disponível em: <https://theicct.org/publications/beneficios-de-tecnologias-de-onibus-em-termos-de-emissoes-de-poluentes-do-ar-e-do-clima>. Acesso em: jun. 2022.
- [59] INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION – ICCT. **Avaliação Internacional de Políticas Públicas para Eletromobilidade em Frotas Urbanas**. 2020a. Disponível em: <https://theicct.org/publications/avalia%C3%A7%C3%A3o-internacional-de-pol%C3%ADticas-p%C3%ABlicas-para-eletromobilidade-em-frotas-urbanas>. Acesso em: jun. 2022.
- [60] INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION – ICCT. **Preparing to Succeed: fleet-wide planning is key in the transition to electric buses**. 2020b. Disponível em: <https://theicct.org/blog/staff/fleet-wide-planning-key-to-ebus-transition-jul2020>. Acesso em: jun. 2022.
- [61] JWA, K.; LIM, O. Comparative Life Cycle Assessment of Lithium-ion Battery Electric Bus and Diesel Bus From Well to Wheel. **Energy Procedia**, v. 145, July 2018, p. 223-227, 2017.
- [62] LAJUNEN, A. Lifecycle costs and charging requirements of electric buses with different charging methods. **Journal of cleaner production**, v. 172, p. 56-67, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.066>. Acesso em: jun. 2022.
- [63] LAMMY, D. **Climate justice can't happen without racial justice**. TED Talks. 2020. Disponível em: https://www.ted.com/talks/david_lammy_climate_justice_can_t_happen_without_racial_justice. Acesso em: jun. 2022.

- [64] LANDRIGAN, P. J. *et al.* Environmental Justice and the Health of Children. **Mt Sinai J Med.**, Mar-Apr; v. 77, n. 2, p. 178–187, 2010.
- [65] MACHADO, L. *et al.* **Mobilidade Urbana: diagnóstico e visão geral do tema.** BNDES. 2021. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/18220/1/PRCapLiv214820_Mobilidade%20Urbana_compl_P_BD.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [66] MELIN, H. E. **Analysis of the climate impact of lithium-ion batteries and how to measure it. Circular Energy Store.** Comissioned by Transport & Environment. Report, July 2019. Disponível em: https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2019_11_Analysis_CO2_footprint_lithium-ion_batteries.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [67] OHARA, A.; GOLDEMBERG, J.; BARATA, L. **O enfrentamento de crises hídricas: o papel das energias renováveis na construção de uma matriz energética resiliente e de menor custo.** Panorama da Energia. 2021.
- [68] ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL – OMM. **Confinamentos e restrições de viagens causaram “queda dramática” nas emissões de poluentes.** 2021. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2021/09/1761892>. Acesso em: jun. 2022.
- [69] PEREIRA, R. H. *et al.* Tendências e desigualdades da mobilidade urbana no Brasil I: o uso do transporte coletivo e individual. **Texto para Discussão 2673**, Ipea, Brasília, julho. 2021. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=38324&Itemid=457. Acesso em: jun. 2022.
- [70] PLATAFORMA NACIONAL DE MOBILIDADE ELÉTRICA – PNME. **Mapeamento e Diagnóstico das Iniciativas sobre Mobilidade Elétrica no Brasil a partir de 2018.** 2018. Disponível em: <https://www.pnme.org.br/biblioteca/mapeamento-e-diagnostico-das-iniciativas-sobre-mobilidade-eletrica-no-brasil/>. Acesso em: jun. 2022.
- [71] PLATAFORMA NACIONAL DE MOBILIDADE ELÉTRICA – PNME. **Factsheet.** 2021. Disponível em: https://www.pnme.org.br/wp-content/uploads/2021/07/Factsheet-PNME_Jul21_resumido.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [72] PREFEITURA DE CURITIBA. **Ajuste fiscal garante investimentos para Curitiba.** Notícias, 24 jul. 2020. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/ajuste-fiscal-garante-investimentos-para-curitiba/56730>. Acesso em: 29 jun. 2022.
- [73] PREFEITURA DE CURITIBA. **Novo Inter 2: Curitiba rumo à eletromobilidade.** 2021. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/especiais/novo-inter-2-caminho-aberto-a-eletromobilidade/18>. Acesso em: jun. 2022.

- [74] PREFEITURA DE SALVADOR. **Usuários de Salvador aprovam operação dos ônibus elétricos.** Notícias, 15 outubro. 2021. Disponível em: <http://www.mobilidade.salvador.ba.gov.br/index.php/noticias/827-usuarios-de-salvador-aprovam-operacao-dos-onibus-eletricos>. Acesso em: 29 jun. 2022.
- [75] PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. **São José terá frota 100% elétrica no transporte coletivo urbano.** Notícias, 3 mar. 2022a. Disponível em: <https://www.sjc.sp.gov.br/noticias/2022/marco/03/sao-jose-tera-frota-100-eletrica-no-transporte-coletivo-urbano/>. Acesso em: 28 jun. 2022.
- [76] PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. **Informações sobre o projeto Linha Verde, iniciativa inédita de desenvolvimento urbano.** 2022b. Disponível em: <https://www.sjc.sp.gov.br/servicos/gestao-administrativa-e-financas/linha-verde/>. Acesso em: 28 jun. 2022.
- [77] PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática.** 2021. Disponível em: http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/12937849/4337195/PDSCOMPLETO_0406_errata_09062021compactado.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [78] PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Prefeitura lança Distrito de Baixa Emissão no Centro para melhorar a qualidade de vida da população.** Notícias, 29 jun. 2022. Disponível em: <https://prefeitura.rio/fazenda/prefeitura-lanca-distrito-de-baixa-emissao-no-centro-para-melhorar-a-qualidade-de-vida-da-populacao/>. Acesso em: 29 jun. 2022.
- [79] PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE – PNUMA. **Movilidad eléctrica: avances en América Latina y el Caribe.** 2021. Disponível em: <https://movelatam.org/4ta-edicion/>. Acesso em: jun. 2022.
- [80] RED METROPOLITANA DE MOVILIDAD. Con la incorporación de 115 nuevos buses eléctricos, más de la mitad de la flota del eje alameda cuenta con red estándar. **Notícias**, 15 de agosto, 2020. Disponível em: <https://www.red.cl/red-comunica/mejoras-del-sistema/con-la-incorporacion-de-115-nuevos-buses-electricos-mas-de-la-mitad-de-la-flota-del-eje-alameda-cuenta-con-estandar-red/> Acesso em: jun. 2022.
- [81] SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. 2012. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br>. Acesso em: jun. 2022.
- [82] SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS – SNIR. **Logística Reversa.** 2021. Disponível em: <https://sinir.gov.br/logistica-reversa>. Acesso em: jun. 2022.
- [83] SOUZA LIMA, G. *et al.* Mobilidade elétrica: o ônibus elétrico aplicado ao transporte público no Brasil. **Revista dos Transportes Públicos (ANTP)**, ano 41, 2º quadrimestre. 2019. Disponível em: <http://files.antp.org.br/2019/7/29/rtp152-4.pdf>. Acesso em: jun. 2022.

- [84] THE C40 KNOWLEDGE HUB. **How to Shift Your Bus Fleet to Zero Emissions By Procuring Only Electric Buses**. 2020. Disponível em: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/How-to-shift-your-bus-fleet-to-zero-emission-by-procuring-only-electric-buses?language=en_US. Acesso em: jun. 2022.
- [85] THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF PUBLIC TRANSPORT – UITP. **Policy Brief - The impact of electric buses on urban life**. 2019. Disponível em: <https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/06/UITP-policybrief-June2019-V6-WEB-OK.pdf>. Acesso em: jun. 2022.
- [86] THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF PUBLIC TRANSPORT – UITP. **Caso de Santiago de Chile: aprendizaje de la operación y mantenimiento de una flota de autobuses eléctricos**. 2020.
- [87] UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE. **Race To Zero Campaign**. 2020. Disponível em: <https://unfccc.int/climate-action/race-to-zero-campaign#eq-6>. Acesso em: jun. 2022.
- [88] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. Environment, n.d. Electric buses. 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/explore-topics/transport/what-we-do/electric-mobility/electric-buses>. Acesso em: jun. 2022.
- [89] WORLD BANK. **Green Your Bus Ride Clean Buses in Latin America**. Report, 2019. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/410331548180859451/pdf/133929-WP-PUBLIC-P-164403-Summary-Report-Green-Your-Bus-Ride.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2022.
- [90] WORLD BANK. **Lessons from Chile's Experience with E-mobility The Integration of E-Buses in Santiago**. 2020. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/656661600060762104/pdf/Lessons-from-Chile-s-Experience-with-E-mobility-The-Integration-of-E-Buses-in-Santiago.pdf>. Acesso em: jun. 2022.
- [91] WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Air pollution and child health**. Report. 2018. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/air-pollution-and-child-health>. Acesso em: jun. 2022.
- [92] WORLD RESOURCES INSTITUTE – WRI. **How to Enable Electric Bus Adoption in Cities Worldwide**. 2019a. Disponível em: <https://www.wri.org/research/how-enable-electric-bus-adoption-cities-worldwide>. Acesso em: jun. 2022.
- [93] WORLD RESOURCES INSTITUTE – WRI. **Financing Electric and Hybrid-electric Buses**. 2019b. Disponível em: <https://wrirosscities.org/sites/default/files/financing-electric-hybrid-electric-buses.pdf>. Acesso em: jun. 2022.
- [94] WORLD RESOURCES INSTITUTE – WRI. **Financing hybrid electric buses**. 2020. Disponível em: <https://wrirosscities.org/sites/default/files/financing-electric-hybrid-electric-buses.pdf>. Acesso em: jun. 2022.

- [95] WORLD RESOURCES INSTITUTE BRASIL – WRI BRASIL. **As barreiras a serem superadas para que os ônibus elétricos transformem as cidades.** 2019. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/blog/2019/06/barreiras-serem-superadas-para-que-os-onibus-eletricos-transformem-cidades>. Acesso em: jun. 2022.
- [96] WORLD RESOURCES INSTITUTE BRASIL – WRI BRASIL. **ImpactAr - Ferramenta de valoração dos impactos da qualidade do ar na saúde para mudanças de frota no Brasil.** 2020. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes/impactar-ferramenta-valoracao-impactos-qualidade-do-ar-saude-frota-onibus-eletrico>. Acesso em: jun. 2022.
- [97] WORLD RESOURCES INSTITUTE BRASIL – WRI BRASIL. **Incentivos tributários podem fomentar a transição para ônibus elétricos a bateria no Brasil.** 2021. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/blog/cidades/incentivos-tributarios-podem-fomentar-transicao-para-onibus-eletricos-bateria-no-brasil>. Acesso em: jun. 2022.
- [98] WU, X. *et al.* Air pollution and Covid-19 mortality in the United States: strengths and limitations of an ecological regression design. **Sci Adv.**, Nov 4, v. 6, n. 45, 2020.
- [99] ZERO EMISSION BUS RAPID DEPLOYMENT ACCELERATOR. **Accelerating a market transition in Latin America: new business models for electric bus deployment.** 2021. Disponível em: <https://movelatam.org/download/accelerating-a-market-transition-in-latin-america-new-business-models-for-electric-bus-deployment/>. Acesso em: jun. 2022.
- [100] ZERO EMISSION URBAN BUS SYSTEM – ZeEUS. **Report #2: an updated overview of electric buses in Europe.** 2017. Disponível em: <https://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-report-2017-2018-final.pdf>. Acesso em: jun. 2022.

9.

ANEXO

ATORES-CHAVE ENTREVISTADOS

Nome	Instituição	Cargo	Data
Ana Cristina Wallmann Zornig	Seplad – Curitiba	Superintendente da Secretaria de Planejamento e Administração	Agosto/2021
André Aranha Ribeiro	Emdec – Campinas	Assessor Executivo da presidência da Empresa Municipal de Desenvolvimento de Campinas	Agosto/2021
Carlos Eduardo Cardoso Douglas Luchesi Erivelton de Abreu Alves Rafael Hoelz Pereira Sílvia Morigi	Enel X	Especialista em <i>e-City</i> Especialista B2G Especialista em Desenvolvimento de Negócios Gestor Corporativo e Especialista em <i>e-City</i> Especialista em <i>Marketing & Sales</i>	Agosto/2021
Claus Nakata	Marcopolo Next	Gerente de Desenvolvimento de Negócios	Agosto/2021
Cristina Albuquerque	WRI Brasil	Gerente de Mobilidade Urbana	Agosto/2021
Diogo Pires Ferreira	Prefeitura de Salvador	Assessor de Mobilidade Urbana da Prefeitura de Salvador	Agosto/2021
Gabriel Tenenbaum	SMTR – Rio de Janeiro	Gerente de Projetos Estratégicos da Secretaria Municipal de Transportes	Agosto/2021
Ilan Cuperstein	C40	Diretor Executivo Regional para a América Latina	Agosto/2021
José Paiva	Semob – Distrito Federal	Subsecretário de Planejamento da Mobilidade da Secretaria de Transporte e Mobilidade do Distrito Federal	Agosto/2021

Nome	Instituição	Cargo	Data
Luana Schmitt Montero	Suderf – Região Metropolitana de Florianópolis	Assessora Técnica da Superintendência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Florianópolis	Setembro/2021
Luiz Saboia	Citinova – Fortaleza	Presidente da Fundação de Ciência, Tecnologia e Inovação de Fortaleza	Agosto/2021
Marcello Schneider	BYD	Diretor de Assuntos Institucionais e Corporativos	Agosto/2021
Marcus Regis	PNME	Coordenador-Geral	Agosto/2021
Marília Neves	PNME	Coordenadora Técnica, responsável pelo GT de ônibus	Setembro/2021
Paulo Guimarães	Prefeitura de São José dos Campos	Secretário de Mobilidade Urbana de São José dos Campos	Agosto/2021
Paulo Henrique do Nascimento Martins	IMMU – Manaus	Diretor-presidente do Instituto Municipal de Mobilidade Urbana de Manaus	Agosto/2021
Rodrigo Pimenta	BHTrans – Belo Horizonte	Assessor da Diretoria de Transporte Público – DTP	Agosto/2021
Simão Neto	SPTrans – São Paulo	Superintendente de Engenharia Veicular e Mobilidade Especial da SPTrans	Agosto/2021
Thomas Maltese Bianca Macêdo	C40 Zebra	Gerente-Geral do Projeto Zebra Gerente de Investimentos e Parcerias do Zebra pela C40 Cities	Agosto/2021
Víctor Andrade	Labmob/UFRJ	Coordenador E-Bus Radar	Agosto/2021



EletoMobilidade

Transição para a Eletromobilidade
nas Cidades Brasileiras

Executor



Realização



MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL 