



EletroMobilidade
Transição para a Eletromobilidade
nas Cidades Brasileiras

CADERNO TÉCNICO DE REFERÊNCIA

PARA ELETROMOBILIDADE NAS CIDADES BRASILEIRAS



VOLUME I

PROJETO TRANSIÇÃO PARA A **ELETROMOBILIDADE**
NAS CIDADES BRASILEIRAS



EletroMobilidade
Transição para a Eletromobilidade
nas Cidades Brasileiras

CADERNO TÉCNICO DE REFERÊNCIA

PARA ELETROMOBILIDADE NAS CIDADES BRASILEIRAS



VOLUME I

PROJETO TRANSIÇÃO PARA A **ELETROMOBILIDADE**
NAS CIDADES BRASILEIRAS

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

CADERNO TÉCNICO DE REFERÊNCIA

**PARA ELETROMOBILIDADE NAS
CIDADES BRASILEIRAS**

VOLUME I

PROJETO TRANSIÇÃO PARA A **ELETROMOBILIDADE**
NAS CIDADES BRASILEIRAS

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

Foto da capa

Laís Moraes – InPauta Comunicação

Caderno Técnico de Referência para Eletromobilidade nas cidades brasileiras (Volume I). Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR e Banco Mundial (autores). Fundo de Tecnologia Limpa - CTF (financiador) - Brasília, 2022.

ISBN: 978-65-87999-44-9

204p.

1. Eletromobilidade 2. Cidades brasileiras. I. Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR II. Banco Mundial III. Fundo de Tecnologia Limpa - CTF

CDU: 629.3. 908

SUMÁRIO

	LISTA DE SIGLAS	6
	SUMÁRIO EXECUTIVO	10
	INTRODUÇÃO	14
1.	O CONTEXTO NACIONAL DOS ÔNIBUS ELÉTRICOS	16
2.	IMPACTOS SOCIAIS, AMBIENTAIS E ECONÔMICOS	47
3.	PLANEJAMENTO DA ELETROMOBILIDADE	65
4.	MODELOS DE NEGÓCIOS PARA A ELETROMOBILIDADE	89
5.	MEIOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETOS	136
6.	MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO	156
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	167
8.	ANEXOS	170
9.	REFERÊNCIAS	184

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRT	<i>Bus rapid transit</i>
BYD	<i>Build Your Dreams</i>
Capex	<i>Capital expenditure</i> [custos de aquisição]
CMTC	Companhia Municipal de Transportes Coletivos
CO₂	Dióxido de carbono
Comfrota	Comitê Gestor do Programa de Acompanhamento da Substituição de Frotas por Alternativas Mais Limpas
Cofins	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CTR	Caderno Técnico de Referência
DOTS	Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável

EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FGV	Fundação Getúlio Vargas
Fundep	Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa
GdM	Gestão da Mobilidade
GEE	Gases de efeito estufa
GIZ	<i>Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i> [Agência Alemã de Cooperação Internacional]
GNV	Gás natural veicular
HVIP	<i>California's Hybrid and Zero-Emission Truck and Bus Voucher Incentive Project</i> [Projeto de Incentivo para Caminhões e Ônibus Híbridos e de Zero Emissão da Califórnia]
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICCT	<i>The International Council on Clean Transport</i> [Conselho Internacional de Transporte Limpo]
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
Idec	Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
IoT	<i>Internet of things</i> [internet das coisas]
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados

ITDP	Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento
LABMOB	Laboratório de Mobilidade Sustentável
LUL	<i>London Underground Limited</i>
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MP	Material particulado
NO_x	Óxidos de nitrogênio
NPS	Nível de pressão sonora
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
Opex	<i>Operational expenditure</i> [custos de operação]
PIS	Programa de Integração Social
PPP	Parceria público-privada
PNME	Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica
Proconve	Programa de Controle de Emissões Veiculares

Rise	Rede de Inovação do Setor Elétrico
Senai	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
TCO	<i>Total cost of ownership</i> [custo total de propriedade]
Teemp	<i>Transport Emissions Evaluation Models for Projects</i> [Modelos de Avaliação de Emissões do Transporte para Projetos]
Tumi	<i>Transformative Urban Mobility Initiative</i> [Iniciativa Transformadora de Mobilidade Urbana]
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
Unicamp	Universidade Estadual de Campinas
VLT	Veículo leve sobre trilhos
VPL	Valor presente líquido
WRI	<i>World Resources Institute</i>

SUMÁRIO

EXECUTIVO

O Caderno Técnico de Referência (CTR) para Eletromobidade nas Cidades Brasileiras (Volume I) busca contribuir com um conteúdo técnico confiável e sistematizado sobre projetos de ônibus elétricos a bateria e como planejá-los, implementá-los, operá-los e geri-los adequadamente. Muitas cidades ainda enfrentam dificuldades nesta área ou não sabem como dar início à transição para frotas com tecnologias mais limpas e emissão zero. Este caderno busca tornar este processo mais fácil, propondo ferramentas e recomendações de curto, médio e longo prazos para uma operação efetiva e em grande escala.

Apesar dos desafios para a introdução desta tecnologia, a transição bem-sucedida para ônibus elétricos a bateria já é realidade em diferentes cidades do Brasil e do mundo. Na América Latina, a frota elétrica cresceu 200% em cinco anos. Até 2040, os ônibus elétricos a bateria poderão ultrapassar 1,3 milhão de veículos. Além disto, poderão representar mais de 50% da frota total global de ônibus do planeta.

Por mais de meio século, o uso de motores movidos a combustíveis fósseis nas frotas urbanas foi a principal razão para o aumento da poluição atmosférica e de doenças relacionadas a ela. Além de contribuir para o aquecimento global, os veículos movidos a combustão também são os principais responsáveis pela emissão de gases poluentes locais, que podem causar doenças cardiovasculares e respiratórias, uma das principais causas de óbito no país.

Com a pandemia, o agravamento das ameaças ambientais e sanitárias somou-se à queda da demanda dos passageiros de transporte público coletivo, o que sujeitou os sistemas de transporte público no Brasil a conjunturas financeiras

bastante críticas. As lideranças municipais estão sendo desafiadas a mudar radicalmente a operação de seus sistemas de transporte para torná-los financeiramente e ambientalmente sustentáveis.

Contudo, muitos municípios ainda enfrentam desafios para uma adesão efetiva à eletromobilidade por causa de barreiras operacionais, financeiras e jurídicas. E ao dar início a esta transição, este caderno evidencia caminhos eficientes para superar estes obstáculos, especialmente os financeiros. O investimento inicial é alto, pode variar de 260 mil dólares americanos a 475 mil dólares americanos na América Latina. Por outro lado, os custos com a operação e manutenção de frotas elétricas (inclusive baterias e infraestruturas de recarga) têm o potencial de ser de até 70% inferiores aos dos ônibus convencionais a *diesel*.

Muitas cidades ainda estão compreendendo qual é o modelo mais apropriado para implementar um sistema de eletromobilidade que proporcione escalabilidade. A concepção de um modelo de negócios voltado à mitigação dos riscos de investimento para todas as partes é uma das principais recomendações oferecidas para acelerar a mudança. As recomendações propostas neste caderno têm como objetivo subsidiar a concepção destes modelos e adaptá-los ao contexto de cada cidade, a partir da análise de lições aprendidas até agora. A experiência de cidades pioneiras na América Latina, como Bogotá (Colômbia) e Santiago (Chile), demonstra que a separação contratual para implantação e operação dos ônibus elétricos entre entes públicos e privados é potencialmente vantajosa diante das incertezas que envolvem o estágio inicial de uma tecnologia ainda pouco difundida. O capítulo 3 apresentará tais experiências, as vantagens e limitações de cada modelagem de negócios para a introdução de frotas elétricas.

Tradicionalmente, os modelos de contratação tendem a conceder às empresas privadas a operação do sistema, ficando o poder público responsável pela fiscalização e gestão. Por

um lado, isto desonera as cidades dos custos do transporte público; por outro, responsabiliza apenas uma das partes envolvidas pelas inovações e pela qualidade do serviço. Uma alternativa a este modelo, abordada neste caderno técnico, seria o compartilhamento de atividades e riscos para dar maior sinergia e responsividade às demandas econômicas, sociais e ambientais de um projeto de ônibus elétricos, o que pode aprimorar a qualidade do serviço sem onerar ou sobrecarregar apenas uma das partes.

Os estágios de implementação de corredores ou linhas que usem ônibus elétricos devem prever o detalhamento do modelo de regulamentação; a definição do financiamento da frota; a definição da rota a ser eletrificada; a definição do tipo e localização das infraestruturas de recarga; o monitoramento e gestão da operação; a manutenção; e as atividades de suporte.

Neste caderno também será demonstrado que a elaboração do modelo de regulamentação do serviço de transporte a ser oferecido (seja por contrato de concessão, permissão ou autorização) requer alterações profundas para viabilizar a transição e garantir a implementação em escala nas cidades. Além de mudar o tipo de veículo que circula nas ruas, a transição para frotas com tecnologias mais limpas e de emissão zero demanda um planejamento em diversas etapas.

Em suma, implementar ônibus elétricos implica o planejamento de um novo sistema para o transporte público. Apesar dos desafios, é uma oportunidade para repensar e aprimorar a mobilidade urbana como um todo (e não apenas o serviço de transporte de passageiros).

Além da inovação tecnológica, as cidades que implementarem projetos de eletromobilidade serão capazes de oferecer meios para um desenvolvimento econômico e social mais equitativo e abrangente, beneficiando principalmente os grupos populacionais que mais dependem do transporte público: população de baixa renda, negros, mulheres, pessoas

com deficiência, idosos e crianças. Neste sentido, priorizar a eletrificação das rotas mais demandadas por este público equivale a investir na ampliação do acesso a oportunidades, com retornos sociais e econômicos relevantes.

Para garantir que o projeto gere resultados efetivos, este caderno fornece orientações para o planejamento da eletromobilidade de transporte público orientada para a descarbonização. As lições aprendidas e compartilhadas por cidades pioneiras na América Latina, como Santiago e Bogotá, demonstram que introduzir a eletromobilidade nas cidades brasileiras é possível. O caderno pretende indicar os caminhos mais recomendados e viáveis para uma transição exitosa para frotas de emissão zero.

INTRODUÇÃO

A eletromobilidade é uma das soluções mais poderosas para impulsionar um desenvolvimento urbano sustentável e inclusivo. Por mais de meio século, a primazia do transporte movido a combustíveis fósseis colaborou para moldar e expandir cidades poluídas e de difícil acesso.

Agora, as prefeituras têm a oportunidade de escrever um novo capítulo na história de suas cidades. O Caderno Técnico de Referência (CTR) para Eletromobilidade nas Cidades Brasileiras (Volume I) oferece subsídios para apoiar os municípios brasileiros na fase de transição. Apesar dos inúmeros benefícios sociais, econômicos e ambientais já rastreados e comprovados, os ônibus elétricos a bateria ainda são uma tecnologia cuja adoção enfrenta vários desafios. Neste contexto, o caderno tem os seguintes propósitos:

- Identificar e apresentar diretrizes e procedimentos para a transição, considerando características técnicas, benefícios, oportunidades e barreiras à eletrificação;
- Apresentar métodos orientativos e procedimentais para impulsionar uma transição nas cidades brasileiras, considerando questões estratégicas, institucionais, contratuais, operacionais e financeiras, além das principais restrições para a implementação da eletromobilidade;
- Indicar instrumentos e recomendações para uma efetiva implementação dos ônibus elétricos com procedimentos para avaliação e monitoramento dos impactos das externalidades ambientais e socioeconômicas.

Além do sumário executivo e de uma seção dedicada a considerações finais, o conteúdo do caderno está dividido em seis capítulos temáticos:

Capítulo 1. A eletromobilidade por ônibus e o contexto nacional: introduz as informações básicas sobre ônibus elétricos e um panorama do progresso nas cidades brasileiras. Em seguida apresenta as principais barreiras à adoção da tecnologia e as oportunidades que se apresentam, muitas delas baseadas em exemplos sobre o que algumas cidades estão fazendo (ou já fizeram) para viabilizar a substituição da frota.

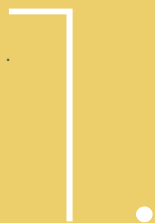
Capítulo 2. Impactos sociais, ambientais e econômicos: explora as externalidades que as cidades potencialmente teriam a partir da adoção de ônibus elétricos. Os impactos são analisados de maneira aprofundada e transversal em termos ambientais, sociais e econômicos.

Capítulo 3. Planejamento da eletromobilidade: oferece as principais recomendações e diretrizes para implementação de sistemas de ônibus elétricos, conciliando aspectos financeiros e técnicos da eletromobilidade com as especificidades socioeconômicas do município.

Capítulo 4. Modelos de negócios para a eletromobilidade: destaca as principais opções disponíveis de acordos entre as partes, indicando critérios para que as cidades escolham aquelas mais vantajosas e seguras para viabilizar a implementação de frotas elétricas em escala.

Capítulo 5. Meios de implementação de projetos: apresenta instrumentos político-regulatórios, mecanismos de governança para a operação do sistema e orientações para uma efetiva operacionalização.

Capítulo 6. Monitoramento e avaliação: indica os procedimentos para elaboração e/ou adoção de instrumentos para monitorar e avaliar a eficiência dos ônibus elétricos.



O CONTEXTO NACIONAL DOS ÔNIBUS ELÉTRICOS

Na busca por sustentabilidade, a eletromobilidade é uma solução pragmática e eficiente que contribui para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEEs), causadores das mudanças climáticas, e para a melhoria da qualidade do ar para a população.

Diferentes cidades do Brasil e do mundo começaram a apostar na eletrificação como tecnologia alternativa à mobilidade convencional baseada na queima de combustíveis fósseis. Na América Latina, a frota de ônibus elétricos passou de 731 para 2.482 veículos entre 2017 e 2021. Até 2022, o Brasil conta com 350 ônibus elétricos circulando em nove cidades das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, e um número cada vez maior de cidades está realizando testes para agregar permanentemente veículos elétricos à sua frota.

Este capítulo apresenta o panorama da transição para ônibus elétricos até 2021. Serão examinadas as experiências já implementadas e/ou em curso, com enfoque na trajetória das cidades mais avançadas na eletrificação no Brasil e no mundo, bem como as principais barreiras e oportunidades institucionais, financeiras, sociais e regulatórias que particularizam esta experiência.

A partir destes aspectos, o capítulo descreverá como cada uma destas cidades viabilizou o início da transição, destacando as influências (nacionais ou internacionais), boas práticas e políticas adotadas. Em seguida, será caracterizado o arranjo institucional em torno do processo de transição para a eletromobilidade, distinguindo a participação de atores públicos e privados nas esferas municipal, estadual e nacional. Por fim, será feito um balanço dos principais resultados evidenciados até agora para destacar as melhores experiências, os desafios enfrentados e suas conquistas.

1.1 POR QUE FAZER A TRANSIÇÃO PARA A ELETROMOBILIDADE?

É importante que as cidades adotem ações para cumprir seus compromissos de redução de emissões de poluentes. Entre 70% e 80% das emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes atmosféricos oriundos da queima de combustíveis fósseis são geradas em grandes centros urbanos, sobretudo no setor de transporte. As cidades correspondem a menos de 2% da área dos continentes, mas servem de residência para mais de 50% da população de todo o planeta .

Em 2016 foi assinado o Acordo de Paris, cujo principal objetivo era assegurar que o aumento da temperatura média global não ultrapassasse 2°C em relação aos níveis pré-industriais — preferencialmente, o limite deveria ser de 1,5°C. Entre os 195 países signatários, o Brasil assumiu o objetivo de cortar as emissões de GEEs em 37% até 2025, com o indicativo de redução de 43% até 2030 — ambos em comparação aos níveis de 2005. **Para atingir este objetivo, a eletromobilidade é um fator-chave e as cidades têm um papel fundamental como agentes de mudança.**

Promulgadas em 2015, as diretrizes da Nova Agenda Urbana da ONU preveem 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) com metas a serem cumpridas pelas cidades até 2030. O ODS 7 (Energia Limpa e Acessível) e o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) destacam a urgência da eletrificação do transporte público.

No setor de transporte urbano, a transição pode começar pelos ônibus que respondem a 86% das viagens no Brasil . Além de serem um dos maiores emissores de gases de efeito estufa junto aos veículos individuais motorizados, os ônibus convencionais a diesel emitem gases poluentes locais altamente nocivos para a saúde da população .

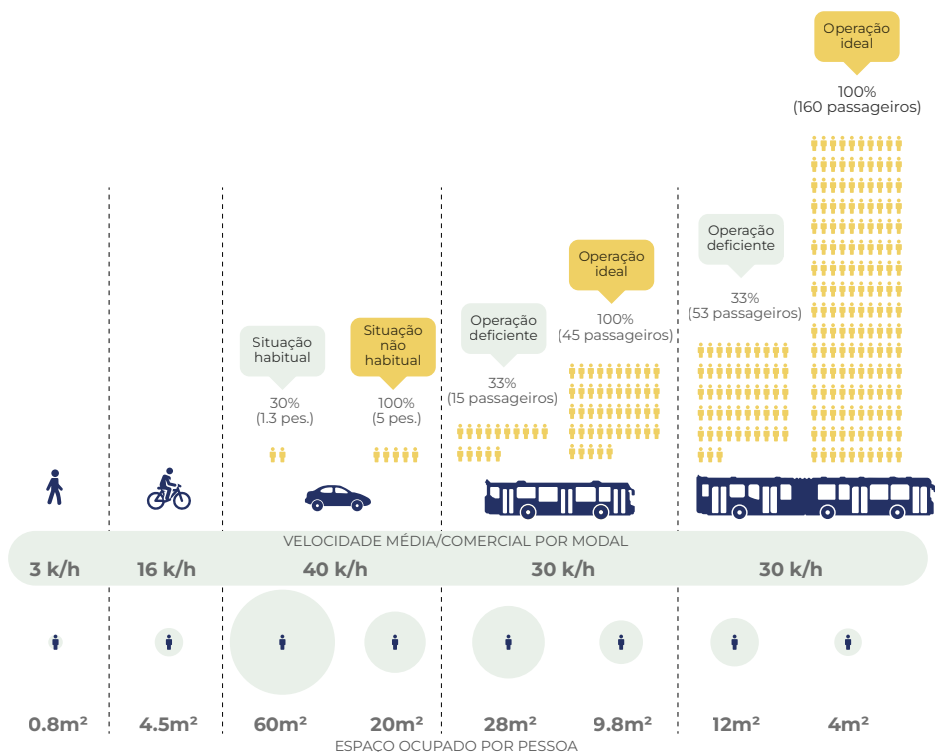


Em 2021, a frota de ônibus da cidade de São Paulo emitiu mais de cem toneladas de material particulado. O impacto da exposição ao ar poluído corresponde a fumar cinco cigarros por hora, segundo resultados de pesquisa liderada pelo professor Paulo Saldiva, da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP), que avaliou pulmões de 413 cadáveres autopsiados na capital paulista. Estas emissões degradam a qualidade de vida de diversos bairros, formando ilhas de calor e neblinas de fumaça (*smog*) que geram imenso desconforto térmico e potencializam seus efeitos ao dificultar a evaporação destes gases, mantendo-os concentrados e densos na altura das narinas.

A introdução de frotas elétricas oferece uma oportunidade para as cidades tornarem seus serviços de ônibus mais confortáveis, seguros e confiáveis, especialmente para as pessoas que mais dependem deles para se deslocarem no território — como é o caso das pessoas de baixa renda, pessoas com mobilidade reduzida, mulheres e pessoas negras. Estes benefícios serão aprofundados mais adiante no Capítulo 2.

Paralelamente, a eletromobilidade precisa ser priorizada em modos de transporte compartilhados, que sejam eficientes no uso do espaço viário e na quantidade de pessoas transportadas. Carros elétricos, por exemplo, utilizam uma tecnologia veicular menos poluente que a dos carros movidos a combustão, mas não contribuem para uma distribuição mais justa dos espaços públicos nas ruas e avenidas. A Figura 1 ilustra a eficiência do uso do espaço em transporte de acordo com o tipo de veículo. Observa-se que numa situação habitual de viagens em transporte individual motorizado com uma pessoa dirigindo, o espaço ocupado é de 60m^2 , enquanto numa operação ideal de transporte coletivo de 45 passageiros por ônibus, o espaço ocupado por pessoa cai para $9,8\text{m}^2$.

Figura 1 – Eficiência do uso do espaço em transporte por tipo de veículo



Fonte: Elaboração própria, baseada em ITDP (2015) .

Estima-se que sejam necessários cerca de 100 carros elétricos para proporcionar os mesmos benefícios oferecidos por um único ônibus elétrico de 18 metros (articulado). A cada mil ônibus elétricos circulando no espaço viário, são poupados 500 barris de diesel. Em contrapartida, mil carros elétricos a bateria evitam o uso de apenas 15 barris de petróleo .

A transição para a eletromobilidade também é um caminho para eliminar uma série de estigmas atribuídos ao longo do tempo ao transporte público por ônibus, como desconforto térmico e poluição sonora. Neste sentido, trata-se de uma oportunidade para estimular as cidades a promoverem uma transformação estrutural no planejamento de seus sistemas de transportes, tornando o espaço viário mais equitativo, seguro e integrado também para pedestres e ciclistas.

Figura 2 – A cidade de Shenzhen (China) foi pioneira na transição para uma frota de ônibus inteiramente elétrica e hoje colhe diversos benefícios



Crédito: ITDP China (2020).

A cidade de Shenzhen é hoje a principal referência em eletromobilidade no mundo. A eletrificação de sua frota foi acompanhada por uma política nacional de incentivos fiscais, regulamentação favorável e investimento robusto em tecnologia, o que tornou a cidade lócus de inovação e prosperidade para o transporte público, com muitas externalidades positivas. Em 2009, Shenzhen foi pioneira no mundo todo ao testar ônibus elétricos. Menos de uma década depois, em 2017, 100% de sua frota já havia sido eletrificada (cerca de 16,4 mil veículos). **A transição completa reduziu em 95% a dependência de combustíveis fósseis e, consequentemente, melhorou a qualidade do ar para os seus 12 milhões de habitantes .**

- Cerca de 1,3 milhão de toneladas de CO₂ deixaram de ser emitidas anualmente com a conversão total da frota.
- Outros gases poluentes, como óxidos de nitrogênio e material particulado, foram reduzidos em 431,6 toneladas.

1.2 A ELETROMOBILIDADE NO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS

O termo eletromobilidade refere-se ao emprego de tecnologias de motorização veicular que adotam a energia elétrica como força propulsora. Além dos ônibus elétricos, o termo abrange uma gama de outros veículos que já vêm sendo desenvolvidos pela indústria, tais como bicicletas elétricas, patinetes elétricas, carros elétricos, motocicletas elétricas e até caminhões elétricos. Termos diversos também são comumente usados para tratar de eletromobilidade: mobilidade elétrica, *e-mobility*, eletrificação do transporte, entre outros. A eletromobilidade no transporte público contempla ônibus híbridos elétricos e ônibus totalmente elétricos, que podem ser do tipo trólebus ou movidos a bateria (Figura 3).

Figura 3 – Trólebus em operação na Região Metropolitana de São Paulo (à esquerda) e ônibus elétrico a bateria em Maringá, no estado do Paraná (à direita)



Créditos: Renato Lobo (2018); Rafael Calabria (Idec, 2019).

Os trólebus são veículos que em sua parte superior têm cabos conectados a uma rede elétrica aérea que cobre todo o itinerário. Esta tecnologia é consolidada no Brasil desde os anos 1940. Cidades como Rio de Janeiro, Niterói, Araraquara, Recife, Belo Horizonte, Ribeirão Preto e Porto Alegre já usavam esta tecnologia em seus sistemas de transporte público por ônibus ao longo do século 20; até 2021, os trólebus estavam presentes



apenas na Região Metropolitana de São Paulo . Uma vantagem dos trólebus é que eles possuem autonomia garantida ao longo de todo o percurso. Contudo, carecem de flexibilidade para mudar a rota devido à rigidez da infraestrutura.

Autonomia é a capacidade que um veículo a bateria percorre considerando uma carga completa. Em geral, os ônibus elétricos a bateria adotados no Brasil e na América Latina têm autonomia média para trafegar aproximadamente de 250 km ininterruptos a cada recarga completa, usualmente feita na garagem.

Os ônibus movidos a bateria adotam uma tecnologia mais moderna que a dos trólebus. Eles têm maior flexibilidade para circular na cidade com mais independência, o que aumenta a capilaridade e eficiência do sistema de transporte público. **A bateria embarcada no veículo é geralmente composta por íons de lítio, elemento químico que apresenta elevada eficiência energética.** Isto permite ampliar a capacidade de manter os veículos em circulação sem a necessidade de recargas sequenciais. Além disto, também contam com um **sistema de frenagem regenerativa**, cuja energia usada no processo de desaceleração do motor é transferida para a bateria em forma de recarga, ampliando a eficiência e a autonomia das viagens.

Por que os ônibus elétricos a bateria têm maior potencial estratégico?

Os ônibus elétricos a bateria têm um enorme potencial para aprimorar os sistemas de transporte público de forma sustentável e equitativa. Eles estão se popularizando e ganhando escala graças a uma série de aprimoramentos:

- Capacidade de percorrer distâncias potencialmente mais longas, à medida que podem ser aprimorados, além da tecnologia das baterias, a capacitação dos motoristas para conduzir os veículos, os métodos de carregamento e as boas práticas de manutenção;

- À medida que a indústria atinge economias de escala, os custos de aquisição podem potencialmente diminuir;
- Tomada de decisão baseada em evidências com o aumento de dados e boas práticas compartilhadas entre as cidades;
- Melhor compreensão sobre como usar as tecnologias, à medida que mais cidades realizam projetos-piloto em contextos geográficos e econômicos diversos; e
- Oportunidades de financiamento podem ser viabilizadas por doações e programas inovadores de financiamento. As possibilidades neste setor são diversas e ainda pouco desenvolvidas, considerando as necessidades dos municípios.

As baterias podem ser carregadas mediante três tipos de infraestrutura.

A **recarga do tipo *plug-in* tradicional** é o método mais comum e usualmente mais acessível às cidades. Além disto, é o que faz uso menos intensivo de energia elétrica. Um cabo que sai do veículo é conectado a um interruptor instalado em um totem, o qual pode variar de tamanho, dependendo do fabricante e da potência elétrica. O tempo de recarga é variável, mas, em geral, leva de cinco a oito horas até atingir a carga total. Estas infraestruturas podem ser alocadas em garagens e/ou pontos específicos, comumente no início ou fim das rotas. Geralmente, uma infraestrutura do tipo *plug-in* pode alimentar um ou dois veículos simultaneamente. A potência média varia entre 25-150 kW. Apesar de a infraestrutura ser financeiramente mais acessível, o conjunto de baterias é mais caro em relação a outros métodos de recarga, como pantógrafo e sem fio. As baterias também são maiores e mais pesadas .

Figura 4 – Infraestrutura de recarga do tipo plug-in tradicional em Washington, D.C., nos Estados Unidos




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

Este método de recarga também é chamado de carregamento noturno, pois, muitas baterias são carregadas de madrugada para iniciar a operação no dia seguinte com a carga completa ou próxima a 100%. O carregamento noturno pode ser adotado também como alternativa de diminuição de custos, uma vez que o valor da energia elétrica tende a ser menor durante o período noturno. No entanto, isto não é uma regra, visto que o carregamento noturno é uma decisão operacional. Além do mais, as decisões sobre a periodicidade e o horário da recarga também costumam levar em consideração variações na tarifa de energia elétrica ao longo do dia, ou os momentos em que a rede elétrica se encontra menos sobrecarregada.

Estabelecer uma articulação eficiente entre os atores envolvidos nos processos que compõem a implementação deste tipo de infraestrutura é um aspecto fundamental a

ser trabalhado pelos municípios que optarem por este tipo de tecnologia. A articulação dos novos arranjos institucionais deve incluir os fornecedores e as concessionárias de distribuição e comercialização de eletricidade, de forma a entender e/ou adequar o modo mais efetivo de operacionalizar o carregador escolhido para alimentar o seu sistema. Na China, o maior mercado de ônibus elétricos e carregadores do mundo em 2021, o *plug-in* tradicional é o método mais popular.

Tabela 1 – Infraestruturas de recarga de ônibus elétricos a bateria

	 Plug-in tradicional	 Carregamento por pantógrafo	 Carregamento Indutivo
Como transfere a eletricidade?	Também conhecido como carregamento noturno. Método mais comum e acessível.	Contato entre um pantógrafo e as hastes instaladas no teto do veículo.	O carregamento indutivo ou por oportunidade usa um campo eletromagnético para transferir eletricidade.
Tempo de recarga	Lento: de 5 a 8 horas para atingir a carga total.	Rápido: de 5 a 20 minutos.	Rápido e dinâmico. De 20 minutos a 1 hora para atingir a carga total.
Onde se localiza?	No fim/início das rotas ou em garagens.	No fim/início das rotas; em garagens ou nas estações; e recarga ao longo da rota (no caso dos trólebus).	No fim/início das rotas, ao longo das rotas ou em garagens.

Fonte: Elaboração própria.

Outro tipo de infraestrutura de **recarga é o pantógrafo**, que segue uma lógica semelhante à da alimentação dos trólebus. Para os ônibus elétricos a bateria, o pantógrafo é uma infraestrutura pontual, que também fica usualmente

localizada nas garagens ou em pontos localizados ao longo das rotas, tal como as infraestruturas feitas pelos veículos.

A recarga por pantógrafo exige que o ônibus pare sob ou junto a um dispositivo de carregamento que, por meio de uma haste, conecta o conjunto de baterias à fonte alimentadora de eletricidade. O modo de recarga superior ou lateral dependerá de onde se localiza o conjunto de baterias na estrutura do veículo. Via de regra, os ônibus elétricos a bateria carregados por pantógrafo possuem baterias localizadas na parte superior. Estas baterias são menores do que aquelas usadas exclusivamente para recarga via *plug-in*, o que torna os veículos mais leves e espaçosos. A potência do carregador varia de 50-450 kW .

Figura 5 – Ônibus sendo recarregado via pantógrafo em Varsóvia, na Polônia



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

Com o pantógrafo, a recarga é feita em poucos minutos e permite que os ônibus sejam operados com maior rotatividade, ou seja, é reduzida a necessidade de que os veículos fiquem fora de serviço por conta da recarga. Para projetos de eletromobilidade em escala, nos quais os ônibus precisam percorrer muitos quilômetros por dia, este tipo de infraestrutura apresenta maiores vantagens de custo-benefício.

Por outro lado, apesar do conjunto de baterias ser mais barato em relação àquelas usadas na recarga via *plug-in*, a infraestrutura do pantógrafo é mais cara para aquisição e locação. Além disto, a recarga rápida pode ameaçar a autonomia e o prolongamento da vida útil da bateria. Ademais, exige maior capacidade da rede elétrica para alimentar os veículos com agilidade, principalmente em horários em que a tarifa é eventualmente mais alta.

O uso do pantógrafo é mais comum em cidades com frotas elétricas na Europa e na América do Norte, mas também está começando a se popularizar na China.

Por fim, existe a recarga **indutiva** — também chamada de recarga por oportunidade, ou sem fio. A recarga indutiva usa um campo eletromagnético subterrâneo para transferir a energia elétrica aos veículos. A recarga indutiva tende a ter custos mais altos e tempo de implantação mais longo, já que a infraestrutura cobre parcialmente trechos da rota operada pelos veículos. A potência varia entre 50-200 kW.

Figura 6 – Ônibus elétrico no estado de Washington, se aproxima de uma infraestrutura de carregamento indutivo embutida no solo



Fonte: The Philadelphia Inquirer (2021).

A tecnologia foi testada e adotada com sucesso em algumas cidades europeias, como Madrid (Espanha), Berlim e Mannheim (Alemanha), Londres (Reino Unido), Genebra (Suíça), dentre outras. E ainda em cidades da Coreia do Sul, como Seoul, Gumi e Daejeon, e dos Estados Unidos, como Long Beach (Califórnia), Wenatchee (Washington), e na linha de ônibus que liga o centro de Kansas City ao aeroporto (Kansas), para citar alguns exemplos.

1.3 A SUSTENTABILIDADE DA ELETROMOBILIDADE

Investir na eletromobilidade é urgente e permite, de uma só vez, responder a desafios urbanos de sustentabilidade, saúde, economia e acessibilidade.

A pandemia e as medidas de quarentena também intensificaram outros desafios. A diminuição significativa de usuários no transporte acentuou o desequilíbrio financeiro dos sistemas, muitos dos quais dependem de receitas tarifárias para se sustentarem. A redução média identificada foi da ordem de 80% na demanda e 25% nos serviços ofertados. No Rio de Janeiro, diversos operadores pediram recuperação judicial entre 2020 e 2021, o que gerou desemprego no setor e prejudicou a oferta e cobertura dos serviços de ônibus. O impacto foi maior para trabalhadores das “categorias essenciais”, que não puderam optar pelo trabalho remoto ou isolamento voluntário.

A operação de ônibus elétricos difere substancialmente da operação de ônibus a diesel, o que exigirá, no mínimo, que as cidades invistam em capacitação de pessoal para administrar, operar e manter veículos e infraestruturas correspondentes. O potencial dos ônibus elétricos para animar um complexo econômico inovador e próspero, com novos postos de trabalho articulados às atividades de pesquisa e inovação, é alto. As cidades podem oferecer oportunidades de recapacitação e requalificação a pessoas trabalhadoras, eventualmente afetadas pela crise, para se reinserirem no mercado de trabalho no setor de transporte de baixo carbono.

Até 2030, a previsão é de que pelo menos 15 milhões de empregos possam ser gerados pela descarbonização da economia em toda a América Latina. Uma transição efetiva ajuda a restaurar os ecossistemas e estimula a produção de energia elétrica limpa a partir de inovações tecnológicas em cadeia. No total, o número de empregos diretos e indiretos no continente pode chegar a 22,5 milhões. No Brasil, estima-se a criação de 7,1 milhões de empregos em um cenário de baixas emissões de carbono.

Além disso, as cidades geram benefícios simbólicos quando investem na eletromobilidade. A adesão a ônibus elétricos tem o potencial de reposicionar a imagem destas cidades, tornando-as referências mundiais na descarbonização do transporte.

Figura 7 – Os veículos elétricos que rodam em Santiago do Chile representam aproximadamente 10% da frota de ônibus do sistema RED Metropolitana



Crédito: MTT Chile (2020).

O Chile tem a terceira maior frota de ônibus elétricos do planeta (819), ficando atrás apenas da China e Colômbia. Até outubro de 2021, Santiago (a capital) já tinha um total de 776 ônibus elétricos a bateria em circulação, além de ter licitado outros 991 ônibus elétricos para incluir em sua frota, o que ampliará ainda mais a operação de veículos de emissão zero a partir de 2022. Os veículos elétricos representam 10% da frota total de ônibus. Os esforços para a eletrificação se beneficiaram da Estratégia Nacional de Eletromobilidade de 2017, que estabeleceu diretrizes em escala nacional. A lei determinou que 40% dos veículos particulares e 100% dos veículos de transporte público sejam elétricos até 2050.

Ganhos

- A transição para uma frota totalmente elétrica pode evitar cerca de 1.379 mortes prematuras até 2030, segundo dados divulgados pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (2019). Em nível nacional, a melhoria da qualidade do ar deve gerar benefícios anuais de US\$ 8 bilhões ao setor de saúde, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente do Chile.
- O governo do Chile estima que a operação e a manutenção da nova frota sejam, respectivamente, 70% e 37% mais econômicas que as dos ônibus movidos a diesel .
- A taxa de passageiros que burlavam o sistema e não pagavam as tarifas caiu de 25,8% em 2018 para 3% em 2019, demonstrando que investir na qualidade do serviço afeta positivamente a relação de confiabilidade entre operadores e usuários.
- Uma pesquisa com usuários revelou que os pontos mais elogiados da operação foram a percepção de menor poluição ambiental (83%), o ar-condicionado (72%), a suavidade da viagem (67%), o nível mais baixo de ruído (59%) e o conforto dos assentos (42%). Pelo menos 95% afirmaram, em entrevista, que os ônibus elétricos melhoraram a qualidade dos seus deslocamentos.
- Considerando a previsão de que 25% dos ônibus sejam elétricos até 2030, estima-se que o número de pessoas afetadas por doenças respiratórias caia de 40.613 em 2019 para 2.175 em 2030 graças à melhoria da qualidade do ar. A expectativa é que os níveis de mortalidade sejam zerados até lá, mantendo-se apenas os casos de licenças/afastamentos profissionais e dias de escola perdidos relacionados a este tipo de doença .
- Um acordo de redução tarifária com a empresa fornecedora de energia elétrica permitiu otimizar os custos de recarga das baterias.

1.4 PANORAMA NACIONAL

Em meados da última década, muitas cidades brasileiras deram início à transição para a eletromobilidade. Embora algumas ainda estejam em fase de planejamento, outras já implementaram e têm ônibus elétricos circulando permanentemente .

As diretrizes da Declaração de Ruas Verdes e Saudáveis têm pautado muitos dos programas de eletromobilidade planejados e executados no país. Um exemplo disto é São Paulo, que em 2018 conseguiu implementar um instrumento regulatório para a eletromobilidade alinhado às orientações da declaração (ver Lei do Clima n.º 16.802, de 17 jan. 2018, no Capítulo 5). Até junho de 2022, o Brasil já tinha 351 ônibus elétricos em operação — e o número aumenta se considerarmos os veículos elétricos usados em testes. Na América Latina, o Brasil é o quarto país com maior número de ônibus elétricos, atrás da Colômbia (1.165), Chile (819) e México (556) .

Ônibus elétricos já circulam em Brasília (Distrito Federal), Bauru (SP), Campinas (SP), Maringá (PR), São Paulo (SP), Região Metropolitana de São Paulo (SP), Baixada Santista (SP) e Salvador (BA). A maioria dos veículos em circulação é formada por trólebus (302), seguida por 48 ônibus a bateria. A Tabela 2 apresenta o quantitativo de ônibus elétricos, as respectivas tecnologias veiculares e os fabricantes por município.

Tabela 2 – Municípios brasileiros com ônibus elétricos permanentes na frota, tipos de veículos e fabricantes

Cidade	Total de veículos	Tipo de veículo				Fabricantes		
		Trólebus	Midi a bateria	Convencional a bateria	Articulado 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 Metropolitana de São Paulo (SP)	96	95	-	-	1	73	-	23
Santos (SP)	7	6	1	-	-	1	-	6
Volta Redonda (RJ)	3	-	-	3	-	3	-	-
Brasil	350	302	2	45	1	120	201	29

Fonte: Plataforma E-Bus Radar (junho, 2022).

No Brasil, diversas cidades têm realizado testes com ônibus elétricos, como São Paulo, Campinas, São José dos Campos, Curitiba, Rio de Janeiro, Niterói, Salvador e Brasília. Apesar da importância de testar a tecnologia em projetos-piloto, o tamanho e a quantidade de veículos em operação em 2021 nem sempre são suficientes para compreender todos os benefícios que os ônibus elétricos podem oferecer à população. Por este motivo, é necessário que os testes contem com o monitoramento da operação e com uma maior quantidade de veículos por frota, além de uma clara estratégia de transição.

No entanto, poucas cidades brasileiras avançaram na elaboração de planos que tratem da transição para frotas mais limpas em escala, com exceção da capital paulista. Desde a

adoção da Lei do Clima (n.º 16.802, de 17 jan. 2018), o processo de concessão para a operação de ônibus na cidade de São Paulo prevê diversas metas para viabilizar uma redução gradual das emissões de dióxido de carbono (CO₂), de material particulado (MP) e de óxidos de nitrogênio (NO_x) ao longo dos anos, com foco na eliminação até 2038.

Tabela 3 – Municípios brasileiros com ônibus elétricos permanentes na frota, tipos de veículos e fabricantes

País	Custo inicial de ônibus a diesel (em dólares americanos)	Custo inicial de BEB (em dólares americanos)	Varição percentual aproximada dos veículos elétricos
China	\$ 60,000–\$90,000	\$ 140,000–\$350,000	~ 250%
Europa	\$244,000–\$420,500	\$575,000–\$807,000	~ 110%
Índia	\$30,000–\$80,000	\$105,000–\$250,000	~ 220%
América Latina	\$200,000–\$225,000	\$260,000–\$475,000	~ 75%
América do Norte	\$300,000–\$510,000	\$550,000–\$1,200,000	~ 115%
Média global	~ \$210,000	~ \$480,000	~ 155%

Fonte: ITDP. De Santiago a Shenzhen (2022).

O alto custo inicial dos ônibus elétricos, que pode variar de 260 mil dólares americanos a 475 mil dólares americanos na América Latina, também pode impedir avanços na elaboração de planos e metas. Muitas cidades não se sentem capazes de levantar os recursos necessários para o investimento inicial de uma frota elétrica em escala. Por outro lado, sistemas com menos usuários e menor cobertura territorial podem iniciar com uma frota menor para perceber os impactos positivos e, normalmente, a articulação entre a prefeitura e as partes interessadas tende a ser menos complexa, o que facilita a tomada de decisões. Este é o caso relatado pela Secretaria de Mobilidade Urbana de São José dos Campos.

1.5 BARREIRAS E OPORTUNIDADES

Cidades pioneiras que iniciaram a implementação da eletromobilidade por ônibus enfrentaram alguns obstáculos durante o processo de transição. Se por um lado a existência de barreiras financeiras, jurídicas, tecnológicas e políticas torna a transição mais desafiadora, por outro lado, também oferece oportunidades valiosas para as cidades. Este subcapítulo apresenta um balanço das principais barreiras e oportunidades para as cidades planejarem seus projetos de transição com mais cautela e resolução.

1.5.1 Barreiras

O alto investimento inicial dos ônibus elétricos, que pode variar de 260 mil dólares americanos a 475 mil dólares americanos na América Latina, e da infraestrutura associada a eles pode desencorajar muitas cidades de planejar projetos de eletromobilidade. Mesmo que o custo total de propriedade (TCO, do inglês *total cost of ownership*) dos ônibus elétricos decresça ao longo do tempo em relação ao dos veículos a diesel, o critério de menor preço ainda pauta muitos dos processos administrativos e as linhas de crédito que viabilizam legalmente a aquisição e locação destas tecnologias. Contratos de longo prazo, sem cláusulas prevendo obrigatoriedade sobre incorporação de novas tecnologias, metas de redução de emissões de poluentes e parâmetros de qualidade orientados por critérios de emissão zero também reduzem a competitividade dos veículos elétricos e impõem dificuldades à escalabilidade da frota. Embora muitos projetos-piloto saiam do papel, eles não evoluem proporcionalmente à demanda pelo serviço e/ou conforme as metas estipuladas pela cidade, dada a robustez do investimento. São Paulo, por exemplo, é o município brasileiro que lidera o *ranking* com a maior quantidade de ônibus elétricos no país. Porém, estes veículos ainda correspondiam a apenas 1,5% da frota total em 2021.

O TCO inclui o custo vitalício da compra (custos de capital) e da manutenção (custos operacionais e de manutenção) de um ônibus, bem como os custos de instalação e manutenção da infraestrutura de carregamento.

Ônibus elétricos não vêm isolados. Planejar a incorporação destes veículos à frota significa custear e incorporar infraestruturas adicionais que viabilizem sua circulação, o que também impõe um desafio de padronização. Um exemplo disto são as infraestruturas de recarga: sua operação exige um planejamento tão cuidadoso quanto o dos próprios veículos. As cidades precisam de garagens amplas e arejadas para instalar estas infraestruturas (especialmente as do tipo *plug-in*, que são as que demandam maior espaço). Estas garagens ou estações de recarga também precisam ser bem-localizadas para expandir a circulação dos ônibus elétricos em diversas partes da cidade e garantir que as infraestruturas recebam energia elétrica suficiente para alimentar os veículos. Devido à nova forma de planejamento para a operação de frotas elétricas, as cidades podem considerá-las menos flexíveis que as frotas a diesel. Por exemplo, ônibus elétricos exigem adaptação de itinerários e frequência para o caso de rotas mais longas ou rotas que operem 24 horas por dia.

Os ônibus elétricos são uma tecnologia relativamente emergente e, em razão disto, a disponibilidade de profissionais qualificados para assumir cargos especializados em projetos de eletromobilidade é escassa. Este é um desafio que não afeta apenas as posições ligadas à operação dos veículos, os impactos são sentidos principalmente na área de gestão. No caso dos ônibus elétricos, a escassez de especialistas pode dificultar a elaboração de editais de contratação e especificação de veículos adequados para cada cidade. Ônibus elétricos a bateria têm desempenho variado a depender das condições térmicas, perfil e extensão das rotas e topografia, entre outros fatores.

Esta barreira também incide sobre a disponibilidade de profissionais para trabalhar com a manutenção dos veículos e seus respectivos componentes. Conforme mencionado

anteriormente, a falta de padronização de veículos e infraestruturas implica desafios à aprendizagem, além de variações de preço. Naturalmente, os fabricantes e fornecedores podem oferecer apoio técnico aos profissionais que lidarão com estes ativos, mas esta é uma solução paliativa se a padronização não for prevista na regulamentação e no modelo de negócios adotado pela cidade.

Os ônibus elétricos enfrentam escassez de fornecedores e dificuldade de revenda. Muitas cidades e operadores reduzem os gastos de manutenção de seus ônibus a diesel por meio da renovação da frota. Para tal, fazem uso de um mercado paralelo que lhes permite repassar os veículos a cidades menores quando eles atingem determinada idade. 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.

Embora a tecnologia veicular empregada nos veículos elétricos seja livre de emissões locais para se movimentar, a cadeia produtiva pode ser intensiva em emissões de carbono – principalmente na produção de baterias e nas fontes de energia usadas para geração de eletricidade. Em outras palavras, não havendo planejamento cuidadoso e abrangente, a poluição que deixa de ser emitida nas ruas é transferida para as usinas elétricas ou para as atividades de mineração e processamento de matérias-primas (como lítio, níquel e cobalto) para a produção de baterias. Além de ser um desafio ambiental, também tem se revelado uma questão geopolítica que envolve disputas territoriais extrativistas, denúncias de trabalho infantil e escravo e ameaças à permanência de povos originários.

Neste 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 , que determinam a estrutura, os princípios, os requisitos e as diretrizes que devem constar em estudos deste tipo.

De forma complementar, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) 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 disto, o descarte inadequado aumenta as emissões gerais ao longo da vida, o que pode ser evitado. Enquanto as empresas que oferecem PEV (pontos de entrega voluntária) 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.

Os métodos de reciclagem das baterias usadas em BEBs, no Brasil, ainda estão em desenvolvimento e atualmente adotam-se as seguintes soluções :

- 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 este 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.

Ônibus elétricos podem demandar cargas de eletricidade atípicas. Esta é uma barreira particularmente complexa, mas muitas cidades têm se dedicado a investir em redes inteligentes de transmissão e distribuição de energia (conhecidas como *smart grids*) para viabilizar o correto funcionamento da tecnologia, buscando evitar riscos de “apagões” em períodos com condições meteorológicas adversas. Mesmo assim, muitos operadores ainda ficam apreensivos quanto a possíveis variações nos custos da energia elétrica, conforme pode ser observado no *box* que contém a Figura 8.

1.5.2 Oportunidades

A experiência recente com a pandemia de covid-19 colocou à prova a eficiência e a viabilidade financeira de diversos sistemas de transporte público no Brasil e no mundo. Melhorar a qualidade do ar e reduzir emissões passou a ser vista como uma questão pública global. Muitas cidades depararam-se agora com a necessidade de reformular os contratos de concessão dos serviços de ônibus para adaptá-los à nova demanda, incentivadas pela sociedade a preverem mudanças tecnológicas que respondam aos desafios sanitários e às emergências climáticas.

A revisão dos contratos é crucial para viabilizar a eletromobilidade porque são eles que determinam questões técnicas e operacionais sobre como a frota será disponibilizada e como o serviço será prestado. Assim, revisar as condições de remuneração e penalizações, caso as obrigações não sejam cumpridas, pode ter uma função catalizadora da transição tecnológica.

Alguns incentivos à transição têm sido testados por algumas cidades, como a aplicação de multas pelo não cumprimento de renovação de frota que agregue qualidade ambiental ao sistema e a adoção de critérios de remuneração para os operadores que atendam a metas ambientais quantificáveis.

A redução da vigência contratual também é recomendada para garantir que os operadores sejam capazes de promover mudanças mais robustas nos curto e médio prazos. Via de regra, os modelos de contratação vigentes no país atribuem às empresas privadas a provisão, operação e manutenção do sistema, deixando ao poder público a responsabilidade por sua fiscalização e gestão. Separar os contratos por função (provisão, operação e manutenção da frota) é uma alternativa para amortizar e dividir os altos custos de investimento entre diferentes partes.

Ao mesmo tempo que a entrada de novos atores pode aumentar o nível de complexidade dos processos decisórios relativos à gestão, operação e manutenção da frota, ela permite, por outro lado, que as cidades diluam as despesas com capacitação técnica iniciais, pois, as partes envolvidas ficariam responsáveis pelas funções nas quais já tenham *expertise* real. A destinação das baterias ao término de sua vida útil, por exemplo, pode ficar a cargo de uma das partes (geralmente a fornecedora) com base em um arranjo de aluguel (*leasing*) de componentes. O modelo de negócios focado no compartilhamento de riscos também pode servir de apoio a um modelo de governança que responda a estes desafios de qualificação técnica. Com isto, cada parte envolvida ficaria responsável por investir e capacitar seus próprios recursos humanos de modo otimizado e especializado. Esta é uma oportunidade para estimular a formação e consolidação de novos nichos de mercado e empregos. Além disto, permite a reinserção no mercado de trabalho de profissionais que já atuavam no setor de transporte de passageiros urbanos e que tenham sido atingidos pela crise nos anos anteriores.

A ampliação da articulação entre as cidades e com a sociedade civil para promover troca de conhecimentos e capacitação profissional é uma oportunidade para que diferentes

segmentos da sociedade participem da transição. É o caso da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME), que congrega a academia, o setor produtivo e a sociedade civil para apoiar a formulação e execução de políticas de eletromobilidade; e da iniciativa *Transformative Urban Mobility Initiative (Tumi) E-Bus Mission*, que oferece mentoria a algumas cidades na elaboração de projetos-piloto e planejamento para a implementação de frotas em escala. A atividade de mentoria se diferencia de uma assessoria técnica; assiste à execução dos projetos ao longo de todo o processo, buscando solucionar os problemas identificados e encaminhar respectivas soluções sob demanda.

A PNME e a *Tumi E-bus Mission* são duas iniciativas que oferecem apoio técnico às cidades na adesão à eletromobilidade e ajudam a promover maior articulação entre elas. A PNME agrega mais de 30 instituições, entre as quais órgãos públicos, empresas privadas, instituições acadêmicas e organizações da sociedade civil. O principal objetivo é trocar conhecimentos para que todos os integrantes tenham acesso ao que há de mais moderno no campo da eletromobilidade. O Grupo de Trabalho de Ônibus Elétricos, por exemplo, concentra-se no debate e na proposição de instrumentos de políticas públicas e na regulação da eletromobilidade em nível nacional. A visão do grupo é fortalecer uma rede de conhecimentos que também seja propositiva e capaz de mudar a percepção das cidades para agir a favor da transição.

A *Tumi E-Bus Mission*, criada em 2019, apoia iniciativas de transição em 20 cidades. Trata-se de uma ação multi-institucional formada por organizações como C40, WRI, ITDP, GIZ e ONU-Habitat, entre outras. A Tumi também atua como facilitadora — isto é, oferece alternativas, caminhos e respostas aos desafios que as cidades enfrentam para implementar frotas elétricas. A meta é apoiar cem cidades até o final de 2022 e que até 2025 outras 500 cidades se sintam inspiradas a aderir à transição. Outra meta ambiciosa é ter 100 mil ônibus elétricos em circulação no mundo inteiro até 2025.

É fundamental a inclusão das empresas responsáveis pela comercialização e distribuição de energia elétrica nesta rede de governança. Novos arranjos de negócio podem ser negociados para viabilizar uma operação de ônibus elétricos mais eficiente e econômica, a exemplo do mercado livre de energia. Trata-se de um ambiente de negócios em que os participantes podem acordar livremente todas as condições comerciais, tais como fornecedor, preço, quantidade de energia contratada, período de suprimento e modo de pagamento, entre outras. Neste ambiente, por exemplo, negociar o preço a ser cobrado pela eletricidade necessária para a recarga das baterias diretamente com as concessionárias e de forma personalizada, conforme as demandas do serviço, o que mitiga o risco de variações tarifárias.

Figura 8 – A capacidade de fornecimento de eletricidade é uma variável financeira a ser considerada no custo total de propriedade dos ônibus elétricos



Fonte: Canva (banco de dados livre, s.d.).

Para a implementação de testes e projetos-piloto e para a realização de uma transição em larga escala para ônibus elétricos, é preciso avaliar e entender as fontes de energia que alimentarão o processo, a infraestrutura elétrica necessária e a capacidade da rede elétrica local. Isto pode ser um problema em muitos países devido à sua dependência de combustíveis fósseis para a geração de energia. No caso do Brasil, a matriz energética é predominantemente de fontes limpas (hidrelétricas, fontes fotovoltaicas, eólicas e biomassa, por exemplo), o que torna a eletromobilidade potencialmente mais sustentável.

Desde os anos de 2010, o país tem conquistado um aumento significativo na potência instalada de usinas de geração de energia eólica, solar e biomassa. Muitas cidades brasileiras apresentam altos índices de insolação, sobretudo as do Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, o que permite que as baterias dos ônibus sejam alimentadas favoravelmente por sistemas de recarga com painéis solares fotovoltaicos e maior eficiência energética.

Estudos feitos pela CPFL Energia em 2018 demonstram que o aumento no consumo de energia elétrica variaria entre 0,6% e 1,6% se a participação dos veículos elétricos na frota brasileira em 2030 for de 4% a 10%. Isto levaria a um impacto pouco significativo na rede de distribuição de energia elétrica do país. A carga adicional seria completamente absorvida pela capacidade atual do sistema elétrico. Nos testes realizados pela CPFL, mesmo se fossem incorporados até 5% de veículos elétricos à frota total, 80% das redes de distribuição não apresentariam nenhum problema.

No caso de sistemas com restrições na rede elétrica ou que busquem 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 elétrica para que tenham acesso a tarifas diferenciadas. O caso do Rio de Janeiro vale ser citado: em uma análise de viabilidade realizada em 2019 para a Casa Civil do Rio de Janeiro, no âmbito do Grupo de Trabalho de Ônibus Elétricos criado para dar apoio à cidade, foi utilizada a Ferramenta de Avaliação Técnico-Econômica de Ônibus Elétrico da EPE (ver item 6.1.3).

Os resultados demonstraram que um dos principais obstáculos financeiros para a implementação de ônibus elétricos do tipo convencional, Padron e/ou articulado era o valor da tarifa de energia elétrica. A empresa de distribuição de energia Light tinha a tarifa mais alta entre todas as distribuidoras brasileiras (R\$ 0,34/kWh), o que, segundo o estudo, impactava diretamente os custos de aquisição e operação. A conclusão é que a adoção do sistema só seria interessante e financeiramente viável se os valores fossem repactuados.

No Brasil já existe uma modalidade criada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) para promover o consumo de energia fora dos horários de pico por meio de tarifas mais baixas intitulada “Tarifa Branca”. Este método de cobrança diferenciada pode permitir que os operadores também tenham maior controle sobre a distribuição da demanda de energia.

Outra estratégia bastante comum tem sido o banco de baterias para o armazenamento estacionário de energia, conhecido como V2G (*vehicle to grid*). Neste sistema, os proprietários de veículos elétricos e/ou os operadores de ônibus elétricos recarregam as baterias durante períodos de baixa demanda e, posteriormente, reendem a energia para a rede elétrica nos horários de pico.

Como foi demonstrado, um dos maiores desafios enfrentados pelas cidades na implementação de frotas elétricas são os custos iniciais ainda elevados, que podem variar de 260 mil dólares americanos a 475 mil dólares americanos na América Latina, especialmente para a aquisição dos veículos. Além disto, para sistemas de transporte por ônibus financiados pela cobrança de tarifas (o modelo mais comum no Brasil), as barreiras financeiras são ainda mais desafiadoras. Por dependerem de um equilíbrio entre receita e custos, as melhorias e transformações no serviço ficam sujeitas quase sempre ao aumento na demanda dos passageiros. Reformar o sistema de mobilidade urbana como um todo prevê a implementação de medidas que impulsionem o transporte público por ônibus elétricos também a partir do desincentivo ao uso do carro, cujos impactos ambientais, sociais, econômicos e sanitários oneram de forma significativa a população, sem distinguir os motoristas de automóveis privados dos usuários de transporte público ou ativo. Os recursos arrecadados com a cobrança poderiam ser transferidos para um "fundo de eletromobilidade" que sirva de apoio às prefeituras para cobrir gastos com a operação, manutenção e modernização da frota. Trata-se de uma oportunidade valiosa para as cidades potencializarem os benefícios que um investimento robusto em frotas elétricas é capaz de proporcionar à população, tornando-o mais rápido, confiável e atrativo para novos usuários.

Por fim, mais de 80% das fontes usadas para a geração de energia elétrica no Brasil são renováveis. Esta é uma oportunidade valiosa para as cidades aproveitarem estes recursos ambientais limpos e sustentáveis para gerirem sua frota, ajudando o país a se posicionar como referência mundial em eletromobilidade 100% livre de emissões.

2.

IMPACTOS SOCIAIS, AMBIENTAIS E ECONÔMICOS

Este capítulo pretende explorar as possíveis externalidades positivas e negativas do ponto de vista social, ambiental e econômico relacionadas à adesão à eletromobilidade no transporte público em âmbito nacional e internacional, bem como as potenciais formas de mitigar os impactos negativos resultantes. A Tabela 4 apresenta uma síntese destes potenciais impactos positivos.

Tabela 4 – Síntese dos impactos ambientais, econômicos e sociais e respectivos benefícios

Tipos de impactos	Benefícios
Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> • Mudança para fontes energéticas limpas; • Melhoria da qualidade do ar graças à redução das emissões de gases poluentes locais e de efeito estufa; e • Redução da poluição sonora.
Sociais	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria da qualidade de vida da população; • Melhores condições de trabalho para motoristas de ônibus; • Geração de oportunidades no mercado de trabalho; • Ampliação da acessibilidade para usuários vulneráveis; • Redução de externalidades negativas relacionadas à saúde pública; • Redução dos congestionamentos, se a eletromobilidade for integrada a uma política de corredores de média e alta capacidade; e • Benefícios políticos relativos à percepção dos cidadãos sobre a melhoria na infraestrutura de transporte público.
Econômicos	<ul style="list-style-type: none"> • Fomento à competitividade entre operadores, fornecedores e fabricantes, entre outros; e • Custos mais baixos com a manutenção e operação das frotas.

Fonte: Elaboração própria.

A partir destas perspectivas, será apresentada uma reflexão aprofundada sobre como a eletrificação pode contribuir para melhorar a qualidade do transporte coletivo no país, além dos dados necessários para que as cidades monitorem e avaliem os impactos esperados dos ônibus. Serão descritos e caracterizados os impactos transversais esperados relativos à acessibilidade e à saúde pública por gênero e raça; ao mercado de trabalho; à qualidade atmosférica frente aos cuidados com a logística reversa; e ao fomento à atividade industrial, considerando as tecnologias mais recentes e emergentes.

2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que a poluição do ar seja responsável por 4 milhões de mortes prematuras a cada ano e que 98% das crianças em países de renda baixa e média estejam expostas a poluentes atmosféricos. Com a adoção de ônibus elétricos, as cidades têm uma oportunidade de reduzir drasticamente as emissões e o ruído provocado pelos motores à combustão, melhorando a qualidade de vida da população e do meio ambiente, sobretudo nos grandes centros, onde mais pessoas dependem do ônibus como meio de transporte .

As emissões potencialmente evitadas pelos ônibus elétricos a bateria são do tipo “local” ou “global”. Os primeiros impactam diretamente a área por onde os ônibus convencionais a diesel circulam e afetam fundamentalmente a saúde da população. A Tabela 5 apresenta alguns dos impactos negativos na saúde e na qualidade do ar que podem ser evitados com a substituição da frota a diesel pela elétrica.

Tabela 5 – Efeitos nocivos evitados pela eletrificação, considerando os principais poluentes veiculares locais

Poluente local evitado	Impacto evitado
CO (monóxido de carbono)	Atua no sangue reduzindo a oxigenação, podendo causar morte após determinado período de exposição.
NO _x (óxidos de nitrogênio)	Formação de dióxido de nitrogênio, <i>smog</i> fotoquímico e chuva ácida. São precursores do ozônio.
HC (hidrocarbonetos)	Combustíveis não queimados ou parcialmente queimados, formam o <i>smog</i> e compostos cancerígenos. São precursores do ozônio.
MP (material particulado)	Pode penetrar nas defesas do organismo, atingir os alvéolos pulmonares e causar irritações, asma, bronquite e câncer de pulmão. Além disto, provoca sujeira e degradação dos imóveis próximos aos corredores de transporte.
SO _x (óxidos de enxofre)	Precursores do ozônio, formando a chuva ácida e degradando vegetação e propriedades, além de provocarem diversos problemas de saúde.

Fonte: Elaboração própria, adaptada de Carvalho (2011, p. 20) .

Dados de 2019 demonstraram que inalar o ar de São Paulo equivale a fumar cinco cigarros derivados do tabaco por dia, dado o nível de poluição causada por dióxido de carbono (CO₂) e material particulado (MP) . Esta concentração é particularmente alta ao redor dos corredores de ônibus, que são uma infraestrutura primordial para transportar grandes quantidades de passageiros da cidade. Além do que, cerca de 12% das internações por doenças respiratórias em São Paulo são atribuídas aos poluentes descritos na Tabela 5 .

Por sua vez, a poluição sonora é uma das maiores responsáveis pela insônia e por transtornos do humor, além de provocar lesões auditivas e transtornos de ansiedade . A simples “ignição” do motor a combustão gera ruídos com altos decibéis. Em contraste, a tecnologia usada nos motores elétricos tem a vantagem de ser silenciosa, o que, por si só, é um benefício que as cidades podem oferecer aos usuários, motoristas e bairros pelos quais os veículos circulam.

Por outro lado, o “silêncio” dos ônibus elétricos poderiam causar problemas de segurança viária. Uma forma de mitigar este impacto é implementar sinalizações gráficas e avisos sonoros de segurança viária nas calçadas e travessias para pessoas com deficiência auditiva e visual. Em 2019, a *Transport for London* (TfL), o órgão responsável pelo sistema de transporte em Londres, implementou equipamentos com um alerta sonoro reconhecível que ajudasse a chamar a atenção de pessoas com deficiência visual ou parcialmente auditiva (além dos demais pedestres e ciclistas) para a presença de ônibus elétricos e, assim, evitar sinistros.

Um ônibus elétrico gera cerca de 5 decibéis a menos de ruído externo durante a aceleração do motor do que um veículo a diesel; e 7 decibéis a menos do que ônibus movidos a gás natural. A introdução de ônibus elétricos tem o potencial de melhorar o conforto dos usuários e as condições de trabalho das pessoas que dirigem os ônibus.

A substituição da frota de ônibus a diesel por elétricos terá impacto relevante na redução de emissões de GEE nos ambientes urbanos, mas é importante analisar a redução de emissões ao longo de toda a cadeia de produção e uso. É fundamental que a matriz geradora de eletricidade para alimentar as baterias dos ônibus seja limpa, o que confere ao Brasil vantagem comparativa aos demais países. A matriz pode ser aperfeiçoada ao contar com usinas híbridas de pequeno e médio porte, que utilizem mais de um tipo de fonte para a geração de eletricidade e, de preferência, que produzam eletricidade a partir de energia eólica e solar (que tem boa adaptação em pequenas distribuidoras). Ampliar o investimento nestas tecnologias pode, no longo prazo, incentivar uma cadeia produtiva de ônibus elétricos mais próxima da neutralização de carbono.

Uma vantagem para o Brasil é que temos uma das matrizes de energia mais limpas do mundo, contando com mais de 80% de energia elétrica de fontes renováveis. A energia eólica já responde por mais de 70% das novas usinas criadas em 2021, e a energia solar gerada por pequenas centrais cresceu mais de 2.000% entre 2018 e 2021.

A certificação de sustentabilidade das baterias de íons de lítio também é outro fator ambiental a ser analisado, já que a sua produção e reciclagem é mais intensiva em matérias-primas do que a produção de motores de combustão tradicionais. Até 2022, a maior parte do lítio era extraída de minas de rocha dura ou reservatórios subterrâneos de salmoura, predominantemente no Triângulo da América do Sul formado por países como Argentina, Chile e Bolívia. Parte da energia usada para extraí-lo de rochas duras e processá-lo ainda vem de combustíveis fósseis: para cada tonelada de lítio extraída, 15 toneladas de CO₂ são emitidas. Para efeito de comparação, cada tonelada de CO₂ se refere ao mesmo que um carro a gasolina emitiria rodando cerca de 4025km. E ainda, a produção de baterias de íons de lítio implica o uso de alto volume de água, correndo o risco de contaminar e esgotar reservatórios naturais.

Ao longo de 12 anos de vida útil, usar um ônibus elétrico em vez de um ônibus a diesel pode reduzir as emissões operacionais em 1.690 toneladas de carbono e 10 toneladas de óxidos de nitrogênio. Em média, considerando a vida útil dos veículos a bateria nos EUA, eles emitem 33% menos emissões de GEEs, 93% menos monóxido de carbono e 32% menos carbono negro que os veículos com motor de combustão interna. Na América Latina, a substituição da aquisição anual de ônibus convencionais por BEBs poderia reduzir em mais de 5,7 milhões de toneladas as emissões de CO₂ a cada ano, e em 124 mil toneladas de óxidos de nitrogênio.

Algumas soluções para mitigar o impacto de emissões e de potenciais riscos de contaminação na cadeia produtiva das baterias, com aprimoramentos e aprendizados operacionais no seu uso adequado, visam prolongar a sua vida útil. Em 2022, uma bateria de íons de lítio dura em média 15 anos. A



vida útil das baterias é mensurada pelo número de ciclos que ela pode completar ou pela durabilidade temporal estipulada pelo fabricante. Quando a capacidade de armazenamento atinge patamares inferiores a 80% do valor inicial, o seu desempenho fica inapropriado para utilização na operação de ônibus elétricos.

A capacitação de motoristas é uma maneira de prolongar a vida útil das baterias. O comando do piloto orientado por velocidades regulares e que evitem uma aceleração muito abrupta garante maior eficiência energética das baterias e ampliação da autonomia via frenagem regenerativa. Quando chegam ao fim da sua vida útil para operação nos veículos elétricos, fabricantes têm usado baterias no armazenamento estacionário de energia. Esta é uma tecnologia em contínuo desenvolvimento pela indústria para reforçar a oferta de recarga dos veículos elétricos em horários de maior demanda, o que, por exemplo, já foi testado na China e nos Estados Unidos .

2.2 IMPACTOS SOCIAIS

A maioria das comunidades de baixa renda depende de deslocamentos a pé e em bicicleta para acessar o transporte público em sua mobilidade diária. Os grupos sociais mais beneficiados pela eletrificação também são aqueles mais vulneráveis do ponto de vista da mobilidade — pessoas de baixa renda, pessoas negras (especialmente mulheres), pessoas com deficiência, idosos e crianças. As comunidades mais pobres são as que costumam sofrer mais sinistros de trânsito e complicações de saúde relacionadas à má qualidade do ar, agravadas pela dificuldade de acessar equipamentos de saúde . Com a redução das emissões locais do trânsito e da poluição sonora nestes bairros, o meio ambiente melhora para todos e o caminho até o transporte público torna-se mais agradável. Outro benefício importante é a melhoria da qualidade do serviço, especialmente se a adoção destas tecnologias priorizar as linhas de ônibus tradicionalmente mais deficientes

em segurança e conforto. Frequentemente, estas linhas de ônibus circulam nos bairros periféricos e/ou são linhas que conectam estes bairros ao centro.

Os idosos também são beneficiários diretos da eletrificação devido à baixa imunidade. Há indícios crescentes de que a poluição causada pela circulação dos ônibus a diesel contribui para acelerar a demência, por exemplo. Além disto, os idosos estão mais vulneráveis a doenças infectocontagiosas, cujo meio de transmissão se dá principalmente pelo ar. As crianças, por sua vez, estão expostas à poluição do ar tanto dentro quanto fora de casa. Elas são particularmente vulneráveis nos primeiros anos de vida, quando os pulmões, órgãos e cérebro ainda estão em desenvolvimento. Por terem uma frequência respiratória mais rápida que a dos adultos, inalam mais ar e, conseqüentemente, mais ar contaminado. Em alguns bairros, elas tendem a passar muito tempo fora de casa, brincando e praticando atividades num ambiente potencialmente inóspito para o seu desenvolvimento saudável.

Figura 9 – As mulheres representam pouco mais da metade das pessoas que usam transporte público por ônibus e são as que ficam mais expostas ao ar poluído (especialmente as mulheres negras e as que vivem na periferia)



Crédito: Combate Racismo Ambiental.



As mulheres brasileiras são grandes usuárias de transporte por ônibus. Em Belo Horizonte, 80% das pessoas que usam ônibus são mulheres. Em São Paulo, o estudo *Pesquisa de Hábitos e Intenções de Uso no Pós-Pandemia*, desenvolvido pela SPTrans em 2021, apontou que 57% dos passageiros eram mulheres jovens e negras da classe C, com ensino médio completo, ocupações no setor de comércio e renda média familiar de R\$ 2,4 mil.

Esta exposição não deriva apenas dos longos trajetos que geralmente precisam percorrer. Elas também se contaminam quando ficam esperando por muito tempo nos pontos de embarque; quando ficam “presas” dentro dos veículos em dias de temporal e alagamentos; ou quando trabalham como motoristas e estão diretamente sujeitas ao desconforto térmico, sonoro e atmosférico dos veículos convencionais.

Até chegarem a seus locais de destino, as mulheres estão sujeitas a respirar ar poluído por aproximadamente 38 minutos seguidos, considerando o tempo médio de deslocamento em diversas regiões metropolitanas do Brasil. Isto equivale a uma exposição de aproximadamente 1h20min para cada trajeto completo (ida e volta), conforme dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD/IBGE) para regiões metropolitanas, Censo demográfico/IBGE para capitais.

As mulheres negras também são as que residem mais distantes das estações de transporte público e, portanto, as que enfrentam mais dificuldades para acessar as oportunidades que uma cidade oferece. Apenas 8,5% das mulheres negras na Região Metropolitana de Fortaleza moram próximo a uma infraestrutura de transporte de média e alta capacidade, por exemplo. Na Região Metropolitana de Belo Horizonte, este percentual cai para 6,8%. O percentual mais alto no Brasil de mulheres negras que vivem próximo a uma rota de transporte de média e alta capacidade — na Região Metropolitana do Rio de Janeiro — não ultrapassa 15%.

A substituição de ônibus convencionais por ônibus elétricos geraria vantagens substanciais para o bem-estar desta parcela da nossa sociedade, que equivale a 27,8% da população brasileira (segundo dados da Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios do IBGE de 2018). Um projeto de eletrificação associado a corredores

exclusivos também tornaria seus deslocamentos mais rápidos, dignos e confiáveis, considerando suas necessidades de transporte. Muitas mulheres precisam realizar viagens diversas em horários fora do pico para dar conta de tarefas domésticas, cuidados com os(as) filhos(as) e atribuições do trabalho.

Todavia, as cidades devem estar cientes de que são necessárias melhorias sistêmicas para maximizar os benefícios dos ônibus elétricos. Há medidas essenciais que as cidades devem considerar para mitigar os impactos negativos sofridos por este público-alvo, paralelamente à substituição da frota:

- Pesquisas qualitativas regulares de satisfação das usuárias podem ajudar a entender como o serviço de ônibus elétricos está atendendo (ou não) às suas necessidades e anseios. Consequentemente, as cidades poderão introduzir, de forma mais consistente, eventuais ajustes e melhorias complementares.
- Cobertura de internet móvel nos ônibus elétricos e nos pontos de embarque permitem que as passageiras se distraiam e/ou mantenham comunicação adequada com filhos, enteados, parentes e pessoas amigas durante o percurso — especialmente em casos de emergência.
- Sistema eficaz de rastreamento dos ônibus elétricos ajudam a oferecer às usuárias um acompanhamento em tempo real do serviço, com maior previsibilidade de espera nos pontos de embarque.
- Abrigos adequados para a espera e melhoria das condições de iluminação pública no entorno dos pontos de ônibus podem proporcionar conforto e ajudará a mitigar eventuais ameaças à segurança das mulheres no trajeto entre o ponto de ônibus e sua casa (e vice-versa), especialmente à noite.
- Implementação de canais de comunicação e centros de atendimento à mulher é necessária como instrumento de cuidado e apoio às mulheres, principalmente em situações de importunação sexual e outros tipos de violência. Devem ser compostos de equipes multidisciplinares de mulheres assistentes sociais, psicólogas e advogadas nas estações e terminais de transporte público.

Figura 10 – A ausência do motor dianteiro nos ônibus elétricos beneficia diretamente a qualidade da jornada de trabalho e a saúde dos motoristas



Crédito: Pedro Bastos, ITDP Brasil (2021).

Motoristas de ônibus fazem parte de uma categoria essencial ao funcionamento adequado das cidades. Contudo, também está entre as mais afetadas pela crise de emprego no setor de transporte urbano de passageiros por ônibus, causada pela pandemia da Covid-19. Em 2020, o setor perdeu 67.025 postos de trabalho em todo o país, segundo dados da Confederação Nacional do Transporte, que inclui motoristas, cobradores, pessoal de manutenção dos veículos a diesel, dentre outras funções. Em setembro de 2020, o saldo ainda permanecia negativo: -20.470. Além disso, motoristas e cobradores constituem a categoria mais vitimada: entre abril de 2020 a março de 2021, as pessoas que trabalham nestas funções lideraram o *ranking* de encerramentos de contratos de trabalho por morte.

O emprego de uma tecnologia veicular menos ruidosa tem um potencial inestimável para melhorar a qualidade do ambiente de trabalho destas pessoas. Em 2019, mais de 3.500 profissionais do transporte público por ônibus em Belo Horizonte sofreram perda de audição por exposição a níveis de pressão sonora (NPS) acima de 82 decibéis, por pelo menos oito horas diárias. O máximo permitido pela NR 15, a norma que regulamenta situações de insalubridade de trabalhadores, é de 85 decibéis. Além de maior conforto acústico, os ônibus elétricos oferecem mais conforto térmico (o motor dos ônibus a diesel pode elevar a temperatura interna dos veículos a 50°C), o que ajuda a evitar distúrbios de sono, estresse, aumento da frequência cardíaca, pressão alta, distúrbios digestivos e dores de cabeça.

Outro benefício da adoção de ônibus elétricos é a possibilidade de reempregar motoristas e cobradores em funções mais qualificadas. Em termos de operação e manutenção, os veículos elétricos são bastante diferentes dos ônibus convencionais. A experiência dos atuais motoristas e cobradores no trânsito e em outras atividades relacionadas ao transporte público é um diferencial competitivo. Além do mais, priorizar estas pessoas significa oferecer-lhes a oportunidade de remunerações mais significativas a curto e médio prazos.

Neste sentido, quando planejarem a adoção de frotas elétricas, as cidades podem viabilizar iniciativas que custeiem a recapacitação e requalificação destes trabalhadores, visando à sua reinserção no mercado de trabalho em empregos verdes associados ao transporte.

Diversas iniciativas de capacitação importantes foram feitas em parceria com organizações públicas, privadas e da academia. Exemplos como o programa de pós-graduação em veículos híbridos e elétricos oferecido pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai-PR e Senai-SP), uma entidade de referência para educação de profissionais do setor automotivo. No Paraná, o Centro de Mobilidade Sustentável e Inteligente do Senai (Campus da Indústria de Curitiba) integra o Sistema da Federação de Indústrias do Estado do Paraná e, em parceria com a Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (Fundep) e o MCTI, promove um curso de aperfeiçoamento profissional em eletromobilidade (ROTA 2030 — FUNDEP, 2021). O curso aborda desde aspectos gerais de mobilidade urbana até componentes de veículos híbridos e elétricos, biocombustíveis e segurança em eletrificação veicular.

Tarifas acessíveis são primordiais para evitar a evasão de passageiros e a migração modal. Porém, o financiamento do transporte público por ônibus ainda depende, em grande parte, das tarifas pagas pelos usuários. Para ampliar as receitas e financiar a transição para tecnologias limpas, cidades estão implementando soluções como a locação de espaços para publicidade nos veículos, terminais, estações e pontos de ônibus; a cobrança pela circulação de automóveis em determinadas regiões da cidade; e a implementação de instrumentos de planejamento que revertam, em prol da comunidade, as contrapartidas financeiras pagas por intervenções no uso e ocupação do solo urbano.

Figura 11 – Volta Redonda foi pioneira ao eletrificar linhas de transporte público e torná-lo gratuito



Crédito: Jornal Destaque Popular (2020).

Volta Redonda, no interior do estado do Rio de Janeiro, é uma das cidades pioneiras na transição. Em 2018 incorporou três veículos elétricos à frota municipal, subsidiando o serviço em 100%. A operação dos ônibus elétricos públicos faz parte do programa Tarifa Comercial Zero. O "zero" também é empregado como analogia ao fato de oferecer à população um veículo com emissão zero de poluentes, além de ser silencioso e confortável. Volta Redonda é sede de uma siderúrgica que gera impactos ambientais. Portanto, é de extrema importância que a cidade adote compensações ambientais para os desgastes causados à população, à fauna e à flora do município .

Os veículos do programa Tarifa Comercial Zero operam em duas linhas entre os principais centros comerciais da cidade. Os ônibus elétricos são muito populares na cidade, tornando Volta Redonda um exemplo inspirador para municípios de médio e pequeno porte que desejem viabilizar um sistema de eletromobilidade equitativo e universal. Em 2019, o Tarifa Comercial Zero integrou o projeto vencedor do prêmio "Prefeito Empreendedor" em nível nacional, na categoria "Inclusão Produtiva e apoio ao Microempreendedor Individual", concedido pelo Sebrae .

Nos capítulos seguintes serão apresentadas, de forma mais aprofundada, algumas possibilidades de captação de recursos a partir dos caminhos de planejamento e da definição de modelo de negócios.

Em cidades como São Paulo, a Outorga Onerosa do Direito de Construir, também conhecida como "solo criado", é um instrumento que autoriza as pessoas proprietárias de imóveis a edificar acima do limite estabelecido pelo coeficiente de aproveitamento básico mediante pagamento de uma contrapartida financeira à prefeitura. Esta contrapartida financeira é destinada ao Fundo de Desenvolvimento Urbano, usado para custear projetos de interesse social — por exemplo, transporte público, ciclovias e calçadas. As cidades em processo de transição de frota podem criar mecanismos semelhantes para ampliar suas receitas, criando, inclusive, um fundo dedicado exclusivamente à eletromobilidade por meio de instrumentos de captura de valor.

2.3 IMPACTOS ECONÔMICOS

Uma das preocupações das cidades que desejam investir na eletromobilidade é o aumento das despesas com gestão, operação e manutenção da frota, além do risco de capital. Por outro lado, os impactos econômicos podem ser positivos em médio e longo prazo quando comparados aos mesmos gastos para manter uma frota a diesel.

Em primeiro lugar, os ônibus elétricos a bateria podem ser financeiramente mais eficientes porque demandam menos energia por quilômetro rodado que aqueles a diesel (comparando energia e combustível equivalentes).

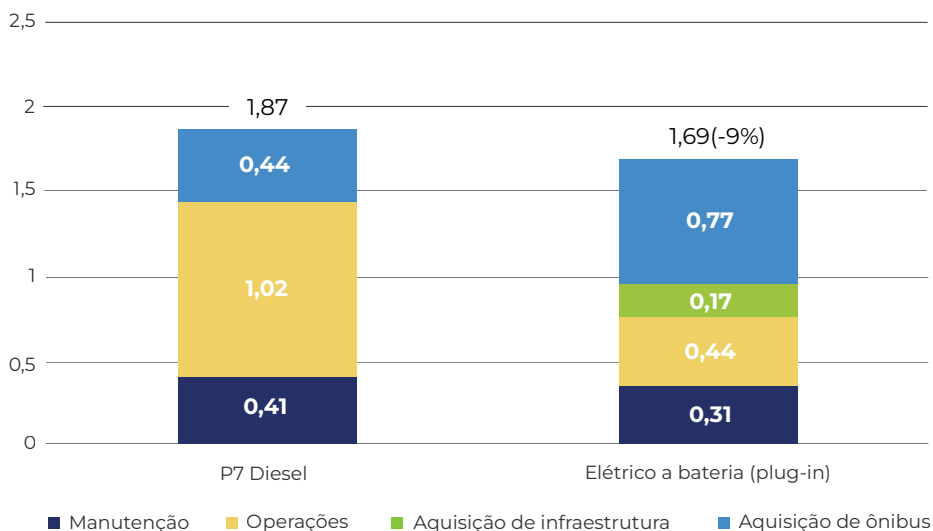
Um estudo de viabilidade realizado para a cidade de Monterrey (México) verificou que com 50 kWh (a energia equivalente a 5 litros de diesel ou 4,5 litros de GNV), um ônibus elétrico a bateria tem uma autonomia de 30 km, ao passo que um ônibus a diesel percorre 12 km, e um ônibus a GNV, apenas 8 km .

Embora os custos iniciais possam chegar ao dobro dos de um veículo a diesel, os gastos com energia por quilômetro rodado equivalem à metade . Em parte, isto se deve às tarifas de eletricidade serem mais baixas do que o valor cobrado por litro de diesel e à conversão mais eficiente de energia em movimento. Esse é um dos principais fatores que, a médio e a longo prazo, tornam os ônibus elétricos uma opção mais vantajosa e econômica.

Além disso, os custos de operação e manutenção dos ônibus elétricos a bateria podem ser inferiores do que os dos ônibus a diesel, pois o sistema de propulsão elétrica não exige o mesmo tipo de revisão que um motor a combustão, tampouco demanda a reposição frequente de peças após determinado período.

Na Figura 12 observa-se que o TCO para uma frota de São Paulo chega a ser 9% menor em relação a um modelo a *diesel*.

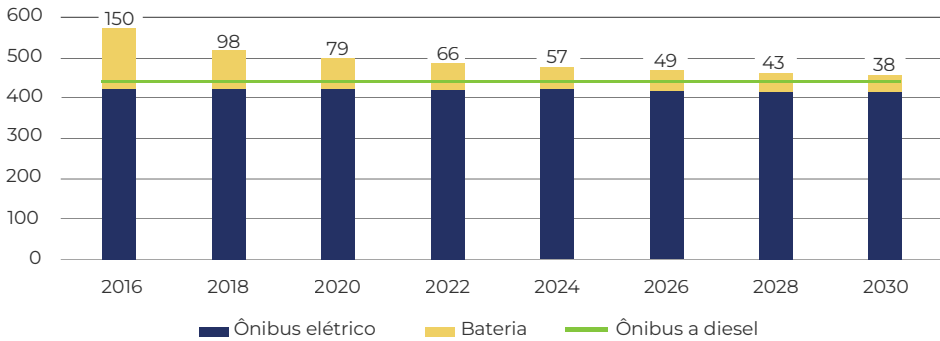
Figura 12 – Custo total de propriedade (acima de dez anos) de ônibus convencionais e elétricos em São Paulo em 2018 (em milhões de reais)



Fonte: Adaptado de Slowick *et al.* (2018, p. 14).

Embora os custos de aquisição de um ônibus elétrico sejam mais altos, podendo variar de 260 mil dólares americanos a 475 mil dólares americanos na América Latina, as despesas operacionais dos ônibus a diesel são duas vezes mais altas. O comparativo entre os dois TCOs mostra variações discretas entre ambas as tecnologias, mas com relativa vantagem para aquisição de infraestrutura e para manutenção.

Figura 13 – Previsão de custos de ônibus elétricos e a diesel no contexto europeu (em milhares de dólares estadunidenses)



Fonte: C40 Cities; WRI (2018) . Observação: ônibus elétrico a bateria com autonomia de 250 km. Preço inicial da bateria a 600 dólares/kWh.

Pelo cenário tendencial considerado no gráfico da Figura 13, apesar da barreira inicial, o preço de aquisição de chassis e carrocerias para ônibus elétricos tende a cair até 2030. Esta não necessariamente pode ser considerada uma tendência para outros países, mas é um indicativo importante. O valor total de um ônibus elétrico inclui o veículo e seus componentes, dos quais o principal é a bateria, que ainda tem custos desafiadores e determinantes para o valor final. O valor do veículo tende a permanecer constante ao longo do tempo.

A bateria, por sua vez, é o componente que mais pode favorecer o barateamento e, conseqüentemente, os ganhos em escala, as atualizações tecnológicas e a coleta contínua de informações sobre seu funcionamento, a expectativa é que as baterias fiquem cada vez mais acessíveis. Em 2016, uma bateria de íons de lítio custava, em média, US\$ 150 mil, mas,

em 2021, já custava quase a metade. Dados recentes divulgados pela Bloomberg revelaram que a variação do preço da bateria, em uma década, foi de 89%. Nesse contexto, a paridade competitiva com os ônibus a diesel será atingida entre 2026 e 2030. Nesse sentido, apesar de ser um investimento que ainda demanda um grande volume de recursos, as projeções mostram uma atenuação dos riscos em médio e longo prazo.

3.

PLANEJAMENTO DA ELETROMOBILIDADE

Este capítulo apresenta as recomendações iniciais de planejamento para a elaboração de projetos e propostas de estruturação da eletromobilidade por ônibus. Os objetivos são classificar os diferentes estágios de planejamento das cidades e indicar ações e procedimentos para auxiliá-las na adoção mais eficiente de ônibus elétricos em larga escala, considerando questões técnicas, institucionais, financeiras, sociais e políticas dos municípios.

3.1 CAMINHOS POLÍTICO-REGULATÓRIOS

Em âmbito nacional, a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei n.º 12.187/09), a Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei n.º 12.587/2012) e o Estatuto da MetrÓpole (Lei n.º 13.089/2015) oferecem diretrizes básicas para todos os estados e municípios sobre como mitigar os efeitos adversos do aquecimento global e da baixa qualidade do ar e planejar modos de transporte, visando ao desenvolvimento sustentável integrado.

Em escala municipal, os planos de desenvolvimento urbano integrado (PDUI) e de mobilidade urbana e a legislação ambiental indicam como as cidades devem planejar seus sistemas de transporte, mas ainda não é comum encontrar diretrizes de eletromobilidade nestes documentos. No entanto, alguns planos e legislações podem incluir mecanismos que favoreçam mudanças tecnológicas que orientem a transição da frota para tecnologias mais limpas. As cidades que fazem um inventário de emissões e que estabelecem metas de redução dispõem de caminhos político-regulatórios mais claros, capazes de orientar o planejamento dos sistemas de ônibus elétricos. A Tabela 6 apresenta os marcos jurídicos de mobilidade urbana de algumas cidades brasileiras até 2021 e indica quais dispõem de inventários e metas.

Tabela 6 – Marcos jurídicos de mobilidade urbana de algumas cidades brasileiras até 2021

Cidade	Marco jurídico	Possui inventário de emissões?	Possui meta de redução de emissões?
Brasília (DF)	<p>2020 — Plano de Mobilidade Urbana</p> <p>2021 — Plano de Mitigação Para Redução da Emissão de GEEs das Principais Fontes Emissoras no Território do DF</p>	2016	Sim
Belo Horizonte (MG)	<p>2006 — Decreto n.º 12.362/2006: Comitê Municipal Sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência</p> <p>2011 — Política Municipal de Mobilidade Urbana e Política Municipal de Mitigação dos Efeitos da Mudança Climática</p> <p>2012 — Plano Municipal de Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa</p> <p>2014 — Plano Diretor, com previsão de redução de emissões de gases poluentes como meta de caráter ambiental associado à mobilidade</p>	2008	Sim
Campinas (SP)	<p>2019 — Plano de Mobilidade Urbana</p> <p>2019 — Fundo de Desenvolvimento da Mobilidade</p> <p>2020 — Política Municipal de Enfrentamento dos Impactos da Mudança do Clima e da Poluição Atmosférica de Campinas</p>	2019	Não
Campo Grande (MS)	<p>2009 — Plano Diretor de Transporte e Mobilidade Urbana</p>	Não	Não

Cidade	Marco jurídico	Possui inventário de emissões?	Possui meta de redução de emissões?
Curitiba (PR)	2008 — Plano Municipal de Controle Ambiental e Desenvolvimento Sustentável 2008 — Plano de Mobilidade e Transporte Integrado 2020 — Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas	2016	Não
Florianópolis (SC)	2018 — Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado da Grande Florianópolis (PDUI)	Não	Não
Fortaleza (CE)	2015 — Plano de Mobilidade 2017 — Política de Desenvolvimento Urbano de Baixo Carbono 2017 — Política Municipal do Meio Ambiente	2019	Sim
Guarulhos (SP)	2019 — Plano de Mobilidade Urbana	Não	Não
Manaus (AM)	2015 — Plano de Mobilidade Urbana	Não	Não
Porto Alegre (RS)	2019 — Plano de Mobilidade Urbana	2015	Não
Rio de Janeiro (RJ)	2011 — Política Municipal Sobre 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 à Agenda 2030 2021 — Programa de Eliminação de Emissões de Gases Poluentes	2015	Sim

Cidade	Marco jurídico	Possui inventário de emissões?	Possui meta de redução de emissões?
Salvador (BA)	2015 — Política Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável 2018 — Plano de Mobilidade Urbana Sustentável	Não	Não
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 2021 — Atribuições da Secretaria Executiva de Mudanças Climáticas (Seclima) e Coordenação da secretaria para a execução de todas as políticas relacionadas ao clima	Sim	Sim
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. Adaptado de IEMA (2020b) .

A depender do contexto local, o grau de integração entre estas ações pode variar em termos de sinergia e de orientação à sustentabilidade. Devido a isto, recomenda-se aos municípios considerar o planejamento de ônibus elétricos como uma oportunidade para desenvolver diretrizes efetivas de Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS).

Figura 14 – Em São Paulo, o corredor de ônibus da Avenida Rebouças cumpre alguns dos princípios do DOTS, garantindo que a população tenha acesso rápido a oportunidades nas zonas sul e oeste da cidade



Crédito: IEMA (2019).

O Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS) tem orientado planos e projetos urbanos em diversas cidades do mundo todo. Esta abordagem estimula a criação de territórios que aproveitem o espaço de forma eficiente, promovendo vitalidade e diversidade urbanas e garantindo a proximidade e integração das pessoas com as demais áreas da cidade por meio do transporte. O DOTS se baseia nos seguintes princípios:

1. Compactar a área urbanizada para encurtar as distâncias;
2. Adensar a ocupação territorial de forma correspondente à capacidade do transporte coletivo;
3. Misturar os usos do solo para estimular a diversidade demográfica e de renda;
4. Repriorizar a distribuição do espaço viário;
5. Integrar as diversas regiões por meio de sistemas de transporte coletivo de qualidade;
6. Criar bairros que estimulem a caminhada; e
7. Priorizar redes de mobilidade por bicicleta.

Paralelamente às atividades relacionadas à substituição da frota em si, incluir um caminho político-regulatório no cronograma de planejamento permite a elaboração de ações que revejam a prioridade de distribuição do espaço viário, prevenindo a cobertura do serviço em escala e uma integração modal de qualidade que permita aos usuários acessar diferentes partes da cidade com segurança e agilidade. Para auxiliar o planejamento, as estratégias de Gestão da Mobilidade (GdM) podem ajudar consideravelmente as cidades a executarem este planejamento de forma mais consistente e sustentável (estratégias de GdM serão aprofundadas na seção 3.2. Aspectos institucionais e financeiros).

Figura 15 – Em Bruxelas, os esforços para encorajar uma mudança para o transporte público também ajudam a tornar as ruas mais agradáveis para as pessoas



Crédito: Eo Naya, Shutterstock (s.d.).

Gestão da Mobilidade (GdM) é um conjunto de estratégias que buscam aumentar a eficiência do sistema de transportes, tornando-o mais inclusivo e socialmente justo. Para tal, propõem reduzir o tráfego e o uso de veículos particulares e estimular a migração modal para o transporte público e para modos ativos (bicicleta e deslocamentos a pé). Medidas efetivas de GdM visam influenciar o comportamento dos usuários do espaço viário, orientando como, quando e onde devem ocorrer os deslocamentos. Desestimular o uso dos carros ainda é desafiador, mesmo em locais com oferta adequada de modos alternativos de transporte para cobrir os deslocamentos motorizados. Para enfrentar este desafio, a GdM lança mão de medidas que redistribuem o espaço viário equitativamente e precificam o uso do automóvel. Os recursos arrecadados podem alimentar um fundo público de eletromobilidade para financiar as frotas elétricas e despesas correspondentes.

A partir do impacto que as cidades querem gerar com o investimento, é interessante que elaborem cenários sobre como devem agir para viabilizar a transformação. A abordagem de planejamento Evitar-Mudar-Melhorar (ou A-S-I, do inglês *Avoid-Shift-Improve*) é uma estratégia recomendada para que cada município possa entender o que precisa evitar, mudar e melhorar para promover a adoção de ônibus elétricos. Esta abordagem contempla três pilares integrados para o transporte público, conforme ilustra a Figura 16.

Figura 16 – Abordagem integrada de planejamento de transportes: Evitar-Mudar-Melhorar



Fonte: Elaboração própria.

Evitar refere-se ao abandono de comportamentos e decisões que reiteram a ineficiência e a baixa inclusividade do sistema de mobilidade como um todo. Esta etapa prevê o diagnóstico do desempenho do sistema de mobilidade da cidade. Alguns indicadores e caminhos de avaliação são, entre outros: identificação dos comportamentos de transporte da população; matriz dos modos de transporte do município; frota de ônibus por tecnologia veicular; tempo médio de viagem por modo de transporte; perfil da infraestrutura de transportes e percentual de pessoas que residem próximas a rotas de transporte de média e alta capacidade (incluindo recortes de renda, raça e gênero). A partir deste diagnóstico, as cidades têm como mapear as principais ameaças e definir ações para evitá-las. Sabe-se que incorporar ônibus elétricos é uma medida fundamental para evitar a manutenção e expansão de frotas poluentes. Adicionalmente, com evidências em mão, as cidades têm ferramentas mais estratégicas para planejar a distribuição da frota elétrica conforme os pontos mais críticos identificados.

Mudar refere-se à concepção de ações para aprimorar a eficiência dos deslocamentos. A orientação é de orientar uma mudança modal baseada em menor consumo energético, incentivando as pessoas a usarem modos de transporte mais ecológicos e eficientes. Para uma política centrada em ônibus elétricos, são recomendadas ações eficazes para repriorizar a distribuição do espaço viário. Contudo, estas mudanças ainda impõem desafios para muitos municípios que se expandiram a partir de infraestruturas de transporte motorizado que até hoje ainda moldam o comportamento da população. As cidades interessadas em implementar medidas mais arrojadas de GdM podem catalisar estas mudanças.

Melhorar refere-se à estratégia para tornar o transporte público por ônibus elétricos mais atraente. É preciso que atributos como "conforto", "segurança" e "confiabilidade" tornem o transporte público por ônibus elétricos uma escolha intencional para os deslocamentos. Este pilar inclui o planejamento de instrumentos para verificar a satisfação dos usuários e profissionais envolvidos, assim como avaliações de desempenho dos veículos.

Uma vez mapeados os aspectos que as cidades precisam evitar, mudar e/ou melhorar, é hora de escolher o caminho

mais consistente e pragmático de planejamento. Os preparativos envolvem desde conversas iniciais com atores indispensáveis à governança até o planejamento das rotas mais cruciais para a introdução da tecnologia.

3.1.1 Potenciais parceiros

Identificar os potenciais atores que podem participar da governança da operação faz parte dos preparativos de planejamento. É a partir desta articulação inicial que as cidades fazem o planejamento e preveem um modelo de negócios apropriado. É importante frisar que muitos destes atores inicialmente abordados podem não permanecer vinculados ao projeto em médio e longo prazo. Por exemplo, uma prefeitura pode articular parceria com uma fabricante para realizar um projeto-piloto. Contudo, após a avaliação de desempenho dos veículos, pode concluir que os modelos oferecidos não são compatíveis com os desafios enfrentados pela cidade. Outra possibilidade de parceria se dá com funcionamento em rede, como a criação da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica. A PNME agrega mais de 30 instituições, incluindo órgãos governamentais, agências, indústria, academia e sociedade civil, o que potencializa a troca de informações entre parceiros e contribui com a consolidação de mecanismos de aprendizagem e de formação de competências. Assim, esta fase inicial tem a função de viabilizar um ponto de partida, e não necessariamente determinar compromissos.

3.1.2 Planejamento para receber ônibus elétricos

Toda cidade pode operar rotas elétricas. No entanto, cada uma seguirá caminhos próprios para sua adoção. **Uma forma cautelosa de avaliar como cada município ou região metropolitana precisa se preparar é por meio da realização de projetos-piloto.** A partir disto, o planejamento pode indicar fases orientadas por uma compreensão do comportamento rotineiro dos veículos em rotas de teste.

A primeira fase destina-se a planejar a rota pela qual o ônibus circulará. As cidades podem desenhar uma rota nova ou utilizar um itinerário já existente. É importante que o planejamento da rota esteja integrado a um planejamento de localização das infraestruturas de recarga e que seja pautado por critérios

de equidade e inclusão. Planejar desde o princípio uma rota que garanta a acessibilidade de pessoas de baixa renda, especialmente mulheres, é crucial para equilibrar a distribuição dos benefícios com foco em quem mais depende do transporte público. Outro critério para o planejamento das rotas é a priorização de linhas mais poluentes. Priorizar as linhas mais críticas com base nestes critérios é uma estratégia para maximizar os benefícios da transição até que o serviço seja escalável.

Figura 17 – Rota planejada para projeto-piloto no Rio de Janeiro beneficia a região de Madureira, a 20 quilômetros do Centro



Crédito: Pedro Bastos, ITDP Brasil (2021).

O planejamento do projeto piloto Rio de Janeiro é um exemplo de como as cidades devem priorizar rotas que privilegiem a população mais prejudicada pelo sistema de transporte público convencional. A prefeitura planejou uma rota experimental que atendesse à população de Madureira, na Zona Norte. Localizada a 20 quilômetros do Centro do Rio, a região é predominantemente habitada e frequentada por população negra, de renda média a baixa, além de ser um importante polo comercial e de serviços. A adoção de veículos elétricos à bateria nestes bairros é estratégica para compensar o desconforto ambiental que afeta o bem-estar dos moradores. A sensação térmica varia entre 40 °C e 50 °C, especialmente nos meses de verão.

A segunda fase é planejar a avaliação do desempenho de motoristas e técnicos para lidar adequadamente com os veículos e as infraestruturas. É recomendado que a fase inicial não preveja a presença de passageiros e ocorra sob a supervisão de pessoal capacitado. A formação de parcerias com fabricantes é uma alternativa para a capacitação e assistência básica durante o piloto e o primeiro ano de operação dos veículos. Além disto, esta fase deve prever uma experimentação do carregamento dos veículos, atentando-se ao tempo real para abastecer uma bateria, correspondente à disponibilidade e capacidade de eletricidade e localização das garagens e terminais.

A terceira fase deve prever o monitoramento do comportamento dos veículos ao circular em uma rota experimental. Este comportamento dependerá das condições topográficas ou viárias, bem como de condições específicas de temperatura e outros eventos meteorológicos. Ao contemplar o transporte de passageiros, também é possível testar o freio e a engrenagem dos motores nas paradas de embarque e desembarque, além de (especialmente) verificar em que medida a autonomia das baterias é preservada (ou não) ao longo do serviço. Embora os projetos-piloto tenham uma função operacional muito específica, eles permitem aos gestores identificar ações necessárias nos níveis táticos de planejamento. O nível tático é o responsável por eventuais correções necessárias às falhas verificadas durante o teste operacional. A partir dos resultados de desempenho, os gestores poderão rearticular os atores indispensáveis à operação, definir as responsabilidades e planejar a regulamentação para uma frota permanente.

3.1.3 Planejamento dos contratos para a adoção de ônibus elétricos

Cientes do que precisam fazer e das especificidades técnicas dos veículos e infraestruturas necessárias para viabilizar a operação adequada de frotas elétricas em cada contexto urbano, as cidades chegam à etapa da regulamentação do serviço. Isto implica criar uma regulamentação específica para ônibus elétricos ou, idealmente, rever a regulamentação vigente de modo a influenciar a substituição gradual da frota convencional por outra mais limpa e sustentável. Uma das principais recomendações é prever incentivos financeiros que aumentem a competitividade dos ônibus elétricos. Determinados modelos de negócios também são aconselhados para acelerar a transição.

Os contratos de concessão determinam questões técnicas e operacionais sobre como a frota será disponibilizada e como o serviço será prestado. Experiências nacionais e internacionais demonstram boas práticas durante o planejamento da elaboração/revisão dos contratos:

- **Separar contratos de provisão e operação para definir prazos condizentes com o tipo de serviço ofertado**

Em sua maioria, os modelos de contratação vigentes no país concedem às empresas privadas operação do sistema, incluindo o investimento na frota, ficando o poder público responsável por seu planejamento e fiscalização. Por um lado, isso desonera o gerenciamento da frota e da operação; por outro, responsabiliza apenas uma das partes envolvidas pelas inovações e pela qualidade do serviço. Planejar o compartilhamento das atividades e dos riscos dará maior sinergia e responsividade às demandas econômicas, sociais e ambientais relacionadas a um projeto de ônibus elétricos, o que pode aprimorar a qualidade do serviço. Tratamos mais sobre o tema no capítulo 5.

- **Estabelecer prazos de provisão ou posse dos veículos para ônibus elétricos**

Devido ao alto custo de aquisição dos veículos elétricos, um período de 15 anos é mais compatível com a amortização do investimento. Também corresponde ao *payback*, tempo para que o custo de aquisição do veículo elétrico seja totalmente recuperado.

- **Estipular prazos de operação inferiores a dez anos para garantir a incorporação de inovações e estabelecer maior competitividade**

Prazos de operação inferiores a dez anos estimularão os operadores a se planejarem antecipadamente para garantir as inovações conforme as regras contratuais.

- **Discriminar, no edital, o tipo de tecnologia a ser utilizada na frota (veículo elétrico a bateria) e demais especificações técnicas, com base nas evidências de desempenho coletadas na fase-piloto**

Geralmente, os contratos não definem quais ativos deverão ser adquiridos (marcas e modelos), mas sim as especificações técnicas a serem empregadas na prestação dos serviços. Observa-se, inclusive, grande variação em relação ao nível de detalhamento dependendo do perfil dos ativos a serem adquiridos. As evidências de desempenho coletadas na fase-piloto podem orientar o planejamento das especificações técnicas que melhor se adequem à operação na cidade.

- **Estabelecer e aplicar multas ou sanções vinculadas ao aprimoramento da qualidade do serviço**

Cerca de 60% dos contratos vigentes nas capitais brasileiras não apresentam critérios de remuneração capazes de gerar incentivos para o aprimoramento da qualidade do serviço ao usuário. Iniciativas mais arrojadas de aprimoramento da qualidade do serviço podem ficar em segundo plano ou acabar não sendo implementadas, sobretudo se não forem financeiramente vantajosas para os operadores.

- **Garantir que garagens e locais de abastecimento sejam cobertos e arejados para evitar a exposição dos veículos e da bateria a variações climáticas**

Para acomodar e carregar os ônibus elétricos de forma segura e eficiente, as cidades devem planejar garagens com tamanho adequado, cobertas e arejadas para evitar a exposição dos veículos e da bateria a variações climáticas.

- **Estabelecer treinamento regular aos funcionários e condutores com foco nas novas tecnologias adotadas**

O planejamento da capacitação de funcionários e condutores deve considerar os requisitos específicos do tipo de tecnologia. Até 2021, São Paulo era o único município que havia planejado um programa específico de capacitação para tecnologias ou ações orientadas à redução da emissão de poluentes. Fortaleza e Belém mencionam, em seus contratos, a necessidade de capacitação para aprimorar a qualidade do serviço, mas não especificam as ações a serem tomadas. No caso de ônibus elétricos, planejar estas medidas é fundamental para garantir um caminho político-regulatório favorável à expansão da frota.

3.2 ASPECTOS INSTITUCIONAIS E FINANCEIROS

Mesmo com a adoção de modelos de negócios que atraiam atores de diferentes setores para compor as fontes de investimento, é essencial que as cidades tenham ciência de todos os gastos envolvidos no custo total de propriedade dos ônibus elétricos. O desmembramento destes gastos em aquisição, implementação e suporte/manutenção também permitirá aos municípios monitorar isoladamente cada uma das variáveis, conforme ilustra a Tabela 7.

Tabela 7 – Variáveis financeiras no custo total de propriedade dos ônibus elétricos

Categoria	Aspecto	Descrição
Aquisição (ônibus e componentes)	Pagamento inicial/ financiamento de capital	Pagamento inicial, que pode vir de fundos ou subsídios existentes. Não inclui o financiamento que precisa ser devolvido.
	Pagamento(s) de empréstimo(s)/ financiamento de dívida	Pagamento(s) de empréstimos e juros correspondentes ao longo do cronograma especificado.
	Valor de revenda	Aplicável apenas quando a vida útil do veículo ultrapassar o prazo de operação do sistema, quando a opção é de aquisição.

Categoria	Aspecto	Descrição
Custos de operação (operações e manutenção)	Abastecimento com eletricidade	Despesa anual com tarifas de energia elétrica para recarregar as baterias.
	Outras operações	Custo anual de materiais adicionais necessários para as operações, como ar-condicionado.
	Manutenção dos ônibus	Custo anual de manutenção.
	Manutenção das infraestruturas	Custo anual de manutenção da infraestrutura de carregamento (tanto na rota quanto nas garagens).
	Revisão dos ônibus	Custos de revisão de ônibus e baterias, por exemplo, substituição de baterias em casos de falha antes do fim da vida útil programada.
Custos de destinação final	Destinação dos ônibus e componentes de recarga	Se a vida útil dos ônibus não ultrapassar o prazo de operação do sistema, deve ser previsto o custo de destinação dos veículos e componentes.
	Destinação de bateria	Custo de destinação da bateria. Se estiver sob garantia ou sob um sistema de descarte designado por contrato, os fabricantes podem ser responsáveis pela destinação.

Fonte: Elaboração própria.

Outro custo variável é a tributação vigente. No Brasil, quatro tributos principais incidem sobre os ônibus elétricos. Em sua maioria são tributos federais, mas que impactam o orçamento das cidades:

- **Imposto de Importação (II)**, tributado quando o ônibus entra no território nacional, quando importado, e com alíquota para o veículo elétrico completo (montado) de 35%;

- **Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI)**, atrelado a especificações técnicas e características do veículo, variando de 7% a 25%. O IPI da bateria de íons de lítio, por exemplo, corresponde a aproximadamente 15% do valor total;
- **Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (Cofins)**, que podem superar 15% quando somados; e
- **Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS)**, o único imposto estadual da lista, gerado quando uma mercadoria ou serviço circula dentro do estado ou fora dele, com alíquota de até 20% .

Diante das variáveis apresentadas, muitas cidades podem se julgar incapazes de arcar com o custo total de ônibus elétricos ou achar que lhes faltam as condições institucionais necessárias para atrair atores com alta capacidade de financiamento. Por outro lado, planejar medidas de GdM é uma maneira eficaz de fomentar uma captação de recursos inteligente e efetiva para custear e alimentar o programa de eletromobilidade.

Algumas das medidas mais comuns de GdM que as cidades podem planejar e adaptar são:

- **Gestão de estacionamentos:** tornar a administração dos estacionamentos públicos mais eficiente e mais bem monitorada pode gerar receitas para as cidades. Os exemplos da Zona Azul (sistema de estacionamento rotativo com regras específicas dependendo da região, dia e horário) já implementados no Brasil demonstram o potencial da estratégia para gerir vagas em vias públicas. Fora das vias públicas, a tributação de estacionamentos privados é uma estratégia a ser considerada para garantir que um percentual dos lucros seja repassado aos municípios, especificamente para investimento em transporte público. O mesmo pode ser aplicado aos estacionamentos comerciais, sendo opcional o repasse do custo para os usuários.

- **Medidas de precificação com cadastro social:** a instituição de “pedágios” para o acesso a determinadas áreas da cidade pode restringir alguns modos de transporte, mas também ampliar a segregação. Neste sentido, é interessante que as cidades façam um cadastro social da população isenta do pagamento das tarifas ou apta a receber descontos em função de sua renda, local de residência ou indisponibilidade de transporte alternativo. O cadastro social atuará como mitigador de uma possível ampliação das iniquidades causada pela precificação. Também é recomendável a viabilidade do cadastro ser integrado e validado junto a outros cadastros possivelmente existentes no sistema de proteção social de cada município.
- **Tributação pela posse de veículos excedentes:** a introdução de uma cobrança pela posse de veículos adicionais (por exemplo, a partir do terceiro ou quarto automóvel particular) constitui um imposto progressivo destinado a controlar o volume de tráfego.
- **Tarifação de grandes estabelecimentos comerciais:** a disponibilidade de transporte público é decisiva para o acesso a *shopping centers*, supermercados e lojas de departamentos, entre outros, que dependem diretamente do público consumidor. Cobrar uma tarifa destes estabelecimentos comerciais é uma maneira de arrecadar recursos para investir em melhorias no transporte público e, conseqüentemente, ampliar a acessibilidade da população a estes locais.

A precificação do transporte tem forte impacto no comportamento das pessoas. Por um lado, sua implementação e operação são custosas, além de serem medidas potencialmente impopulares. Por outro lado, tem capacidade efetiva de aumentar a receita, ajudando a criar uma fonte de recursos específica para compensar os custos iniciais e garantir ganhos em escala com os ônibus elétricos. Além do mais, colaboram para melhorar, manter ou criar alternativas de transportes para as pessoas que sofrem “restrições” devido à modalidade cobrada.

Figura 18 – Distritos de baixa emissão de carbono e precificação de congestionamento (na imagem, em Londres) são estratégias de GdM, cujas receitas podem ser usadas pelas cidades para financiar a eletromobilidade



Crédito: Frank Augstein/AP (2020).

Em 2003, Londres implementou uma tarifa de congestionamento para reduzir o tempo de deslocamento no centro da cidade, aumentar a confiabilidade dos ônibus e encorajar a população a adotar o transporte público como principal modo de deslocamento. A zona de cobrança tem 21 quilômetros quadrados. Neste perímetro, os motoristas são obrigados a pagar um valor fixo (£ 15 em 2020) para circular entre 7h e 22h todos os dias.

Desde o início, a cidade comprometeu-se a fornecer alternativas de transporte de alta qualidade em contrapartida. Para isto, adicionou 300 novos ônibus à rede, distribuídos em novos itinerários, no dia em que a precificação de congestionamento entrou em vigor.

Por lei, as receitas são alocadas para a melhoria da infraestrutura de transporte público, cicloviário e de pedestres — uma medida importante para garantir o apoio da população e manter a qualidade e confiabilidade destes modos de transporte.

- Receitas de pelo menos £ 100 milhões (US\$ 129 milhões) foram geradas todos os anos desde 2008. Entre 2014 e 2018, as receitas superaram £ 150 milhões (US\$ 194 milhões).
- Entre 2002 e 2014, o número de veículos particulares circulando dentro da zona de cobrança caiu 39%.
- Ano após ano, o número médio de acréscimo de passageiros de ônibus é da ordem de 29.000 durante os horários de pico da manhã.
- Os atrasos nos serviços de ônibus diminuiram em 50% .

3.3 CENÁRIOS PARA O PLANEJAMENTO DE CURTO, MÉDIO E LONGO PRAZOS NOS MUNICÍPIOS

Independentemente do contexto institucional, econômico, social e ambiental, é fundamental que as cidades mantenham seu foco em um planejamento de longo prazo, de modo que as iniciativas evoluam da fase de projetos-piloto e ganhem escalabilidade e sustentabilidade financeira.

Esta seção apresenta cenários de curto, médio e longo prazos para orientar os municípios em seus processos de transição.

O objetivo é guiar as cidades, destacando sua posição atual e como devem evoluir para garantir uma frota baseada em tecnologias limpas e saudáveis.

3.3.1 Planejamento de curto prazo

- Identificar as melhores rotas a serem atendidas por ônibus elétricos: para tal, é importante ter em mãos informações técnicas, como distâncias percorridas diariamente e topografia, e indicadores e métricas para medir o impacto social que a introdução de uma frota elétrica proporcionará à população logo no início da operação (no item 6.1 são apresentados alguns indicadores de monitoramento que a cidade pode adotar);
- Conhecer os modelos de financiamento existentes para aquisição de infraestrutura, veículos e baterias: ciente das possibilidades disponíveis, a cidade conseguirá traçar a viabilidade financeira da operação;
- Trocar experiências com cidades que já tenham implementado ônibus elétricos: isto ajudará a otimizar recursos e a explorar caminhos mais fáceis para evoluir rumo a uma frota em escala. Em 2022, a PNME e a *Tumi E-bus Mission* são dois programas que facilitam a articulação entre as cidades (ver item 5.1);
- Revisar a regulamentação do transporte público e prever obrigações e incentivos para a utilização de novas tecnologias por meio de metas, bônus, sanções ou multas aos operadores;
- Incluir estratégias de GdM para reorganizar o espaço viário, priorizando pedestres, ciclistas e ônibus elétricos e para implementar um fundo de eletromobilidade que ajude a custear o serviço.

3.3.2 Planejamento de médio prazo

- Engajar a população no planejamento das rotas: a definição dos itinerários pode enfrentar barreiras técnicas (por exemplo, a distância em relação às infraestruturas e garagens). Por outro lado, a cidade deve garantir que as demandas e necessidades de deslocamento sejam atendidas e que possíveis impactos negativos causados pelo novo sistema sejam evitados. Um sistema de ouvidoria pode ser criado ou aperfeiçoado nesta fase;
- Planejar uma transição em escala: inicialmente, a implementação pode ser iniciada com poucos veículos e, em seguida, identificar os recursos necessários para expandir a cobertura da tecnologia. É importante mapear atores financeiros, bancos e investidores potenciais para expandir a fonte de recursos que serão incorporados ao projeto nesta fase;
- Avaliar a escolha de uma infraestrutura mais cara de carregamento rápido (por exemplo, por pantógrafo ou indução) para otimizar a operação da frota: o conhecimento adquirido ao longo da primeira fase e a comprovação de que ônibus elétricos são eficientes e podem atender adequadamente às demandas de transporte público são vantagens competitivas para a cidade atrair novos atores dispostos a financiar arranjos mais robustos nesta fase e no futuro;
- Expandir as rotas elétricas e adequar-se aos novos desafios: bairros até então não atendidos na etapa inicial e que passem a ser incluídos no mapa da eletrificação podem apresentar características topográficas pouco favoráveis à circulação de veículos a bateria. A cidade precisará conciliar planos de operação modificados para áreas com características geográficas distintas;

- Implementar medidas de precificação de congestionamento e/ou estabelecer perímetros urbanos neutros em carbono;
- Monitorar o ciclo de vida das baterias e componentes, prevendo o momento adequado para trocas e/ou atualizações tecnológicas e respectiva capacitação de pessoal.

3.3.3 Planejamento de longo prazo

- Planejar a execução de uma frota 100% elétrica: para cada ônibus elétrico adquirido, o ideal é que determinado número de veículos a diesel ou GNV seja retirado de circulação. A substituição deve começar a partir dos veículos com tecnologias mais antigas. Isto garante que os benefícios dos ônibus elétricos sejam integralmente proporcionados aos usuários e à população;
- Estabelecer uma estratégia de comunicação transparente e ainda mais ampla com a população da sua cidade e de outras: é importante que haja um compromisso de comunicar ao público o progresso em relação às metas estabelecidas;
- Usar os recursos arrecadados pelas medidas de GdM para financiar a ampliação e a renovação da frota: deste modo, o sistema gozará de sustentabilidade financeira e ambiental.

4.

MODELOS DE NEGÓCIOS PARA A ELETROMOBILIDADE

A concepção, implantação e gestão de um modelo de negócios que viabilize financeiramente o uso de ônibus elétricos em qualquer município é um elemento-chave para que seja possível materializar o conjunto de benefícios detalhados nos capítulos precedentes de forma contínua e consistente a longo prazo.

Neste capítulo serão avaliados diferentes modelos de negócios concebidos para a implementação da eletromobilidade no transporte público por ônibus. A finalidade deste capítulo é apoiar o município na escolha de caminhos institucionais e financeiros que garantam a sustentabilidade da transição para a eletromobilidade em curto e longo prazo.

Serão abordados os critérios institucionais, contratuais, operacionais e financeiros que influenciam a formulação dos modelos de negócios. Serão analisados casos de referência nacionais e internacionais, destacando aspectos positivos e negativos, bem como potenciais adequações para a realidade das cidades brasileiras. Como exemplos, serão examinadas as experiências do Chile e da Colômbia com o modelo de *leasing* de ônibus ou de baterias. Além disto, serão explorados temas transversais sobre os impactos da energia e infraestrutura, da governança, do meio ambiente e da segurança energética na formulação dos modelos de negócios.

4.1 ELABORAÇÃO DE MODELOS DE NEGÓCIOS PARA ÔNIBUS ELÉTRICOS

Um dos principais desafios vivenciados pelas cidades é identificar um modelo de negócio que se adeque ao nível de complexidade exigido pela operação de frotas elétricas. A Tabela 8 apresenta uma possibilidade de processo de modelagem de negócios para ônibus elétricos, exemplificando fatores que determinarão como pagar, mobilizar capital e estruturar a implementação.

Tabela 8 – Planejamento e possibilidades de formulação do modelo de negócios para ônibus elétricos

Componentes de investimento	Fontes de recursos	Produtos financeiros	Mecanismos de prestação de serviços
Ativos tangíveis	Receitas de investimento	Capital	Contratos
Ônibus e baterias	Tarifas ou taxas de uso		Concessão do serviço de transporte coletivo de passageiros
Infraestrutura de recarga	Captura de valor de solo	Investidores privados diretos ou indiretos	Contratos de compra (públicos e privados)
Infraestrutura de fornecimento de energia elétrica	Propaganda nas estações e infraestrutura	Investidores públicos	<i>Leasing</i> de veículo, baterias e terrenos
Construções e infraestrutura adicional	Economias de operação		<i>Leasing</i> para compra de veículos e baterias
Ativos intangíveis	Incentivos	Dívida	Meios de implementação
Segurança	Subsídios	Empréstimos nacionais públicos ou privados	Pública
Localização eficiente			
Reputação do serviço	Incentivos fiscais	Empréstimos internacionais de fundos climáticos	Privada
Sustentabilidade			
Preço acessível	Investidores privados		Mista
Pesquisa e desenvolvimento		Títulos verdes	

Componentes de investimento	Fontes de recursos	Produtos financeiros	Mecanismos de prestação de serviços
Processos	Recursos próprios	Melhoria de crédito	Marco institucional
Estudos de viabilidade	Outras áreas do governo	Fundos de contingência	Planos e metas
Construção e instalação de infraestrutura	Receitas tributárias dedicadas à eletromobilidade	Contratos de fornecimento	Regulamentação e requisitos
Operação do serviço			
Capacitação profissional	Venda de ativos e sucateamento	Financiamento em condições preferenciais	Leis permissivas (zona de baixo carbono, títulos verdes)
Manutenção			

Fonte: Adaptado de WRI Brasil (2018) .

4.1.1 Primeiro passo

A elaboração de um modelo de negócios bem-sucedido partirá de um diagnóstico do sistema de transporte público por ônibus da cidade para avançar na eletromobilidade.

É preciso identificar as linhas de ônibus elegíveis para receber a tecnologia. O modelo de negócios proposto deve considerar os critérios de seleção das rotas, tais como impactos sociais, políticas urbanas e atração de novos usuários ao transporte público, entre outros.

Uma vez definidas as linhas e itinerários que serão operados com veículos elétricos, deverá ser realizado um diagnóstico sobre **as condições técnicas vigentes na área abrangida em relação à rede elétrica**. É preciso garantir que as rotas disponham de acesso à eletricidade para viabilizar o funcionamento correto da tecnologia. Algumas linhas são socialmente relevantes para receber a tecnologia, mas podem ser tecnicamente problemáticas. O modelo de negócios deve identificar previamente se serão necessários investimentos na rede

de transmissão para que as estruturas de recarga funcionem corretamente e atendam aquelas localidades.

Como os ônibus elétricos podem ser adotados para substituir toda a frota, ou apenas parte dela (operando paralelamente a veículos a diesel), **poderá ser apurado o tamanho da frota de veículos a diesel a ser substituída**, além da quilometragem média percorrida pelos ônibus elétricos em substituição aos ônibus a diesel.

Por fim, deverão ser mapeados e quantificados todos os ativos tangíveis complementares para garantir a operação contínua e eficiente dos veículos elétricos. Quantos pontos de recarga serão necessários e onde serão instalados? A depender das condições locais de distribuição de energia, um tipo de infraestrutura poderá funcionar melhor que outro. Nesta etapa, é fundamental que haja clareza sobre a infraestrutura mais adequada, a quantidade de equipamentos necessária e os arranjos de funcionamento.

4.1.2 Segundo passo

Uma vez mapeados os componentes de investimento, será necessário avaliar as fontes de recursos que poderão viabilizar sua implantação. Poderão ser abordadas as seguintes questões:

- O município dispõe de recursos para investir em eletromobidade? **Quais ativos o município poderá custear com recursos próprios, e quais necessitarão de aportes de atores privados**, independentemente da forma de remuneração?
- **Existem outras fontes de recursos disponíveis para implantação de um projeto de eletromobidade**, além dos recursos públicos ou da concessão a atores privados, tais como recursos provenientes de Fundos Climáticos, taxas cobradas do uso de vias públicas por motoristas de aplicativos ou motoristas em geral, taxas cobradas em estacionamentos rotativos ou outras fontes de recursos estabelecidas fora da operação do transporte público?

Vale notar que a fonte dos recursos não necessariamente corresponde à atribuição de responsabilidade por sua execução. Há exemplos de importantes projetos de infraestrutura em que o poder público dispunha dos recursos necessários para a implantação de determinado investimento, mas preferiu delegar a responsabilidade pela execução por meio de contratos de concessão à iniciativa privada. É o caso, por exemplo, da parceria público-privada para a implantação da Rodovia dos Tamoios ou da Linha 6 do Metrô, ambas no estado de São Paulo; e do Metrô de Salvador, no estado da Bahia. Nestes projetos, os governos de São Paulo e da Bahia custearam parte relevante dos investimentos iniciais por meio de PPPs, com transferências de capital para que a empresa concessionária implementasse os investimentos necessários na forma e nos prazos previstos em edital .

Na via inversa, em diversos projetos de infraestrutura, o poder público responsabilizou-se pela implantação de determinado ativo e, posteriormente, delegou sua operação para a iniciativa privada, cobrando uma outorga pelo direito de exploração. Exemplos conhecidos são o Rodoanel Trecho Oeste, no estado de São Paulo, e o Corredor ABD, na Região Metropolitana de São Paulo.

Os critérios que pautaram a decisão de separação entre a obrigação de pagamento e a responsabilidade pela implantação, como nos casos acima citados, visavam maior eficiência na gestão do projeto, evitando a segregação de responsabilidades entre múltiplos agentes. Em outros casos, observou-se a intenção de transferir riscos do setor público para a iniciativa privada.

A eficiência do modelo de gestão da implantação e a alocação adequada de riscos devem pautar a implantação de todos os componentes em um projeto de transição para eletromobilidade. Como exemplo, o município pode decidir arcar com os custos de implantação de uma melhoria na rede elétrica utilizando recursos públicos, ou transferir a atribuição de implementação de tal melhoria à iniciativa privada (a empresa de transmissão de energia ou a empresa

responsável pela operação dos veículos elétricos), notando-se que nestes casos permanecerá sob responsabilidade do poder público a fiscalização e regulação dos serviços delegados. Em outras palavras, entre todos os atores envolvidos na implantação de projetos de eletromobilidade, será essencial identificar quais são os mais aptos a assumir cada uma das responsabilidades atinentes à fase de implantação (compra de veículos, implantação de carregadores, execução de obras civis de suporte e integração de todos os componentes), operação e manutenção de eletromobilidade.

4.1.3 Terceiro passo

Uma vez identificadas as fontes de recursos e alocadas as responsabilidades para a efetivação dos aportes iniciais, o passo seguinte envolverá a definição da origem dos recursos que amortizarão e remunerarão os investimentos realizados por agentes privados. Parte desses recursos poderá advir da cobrança de tarifas dos usuários. Porém, conforme foi avaliado nos capítulos precedentes, os projetos de eletromobilidade não deveriam impactar de forma relevante as tarifas de uso do sistema de transporte público, sob pena de se fazer uma “política social às avessas”, que obrigaria as pessoas mais vulneráveis a arcar com a implantação de políticas públicas que favorecem a sociedade como um todo.

Logo, as tarifas pagas pelos usuários somente deverão responder pela parcela da amortização e remuneração dos investimentos até o limite de sua manutenção, ou seja, por meio da transferência da parcela dos recursos originalmente destinada à remuneração dos veículos a diesel para os ônibus elétricos. Contudo, o valor das tarifas pode não ser suficiente, o que exigiria a adoção de fontes complementares de recursos.

As fontes alternativas de recursos podem incluir as chamadas “receitas acessórias” (isto é, a exploração dos ativos de forma complementar à sua função central) para aumentar a arrecadação. Exemplos clássicos de receitas acessórias são a locação de espaços para atividades comerciais em pontos de ônibus ou estações de metrô, a locação de espaços para

publicidade e/ou a realização de propaganda na carroceria dos veículos elétricos. Este último mecanismo é estratégico, por exemplo, para associar a imagem da empresa patrocinadora a um modo de transporte ambientalmente correto e socialmente inclusivo, como os ônibus elétricos. As receitas acessórias diferenciam-se das receitas associadas à GdM por basearem-se no aproveitamento dos ativos operacionais do próprio sistema de mobilidade urbana para a geração de receitas complementares. Já as receitas associadas à Gestão de Mobilidade, conforme apresentados na seção 3.2. Aspectos institucionais e financeiros, provém (por exemplo) da propriedade ou do uso de automóveis particulares, ou seja, constituem fontes de recursos externas ao sistema de transporte público.

As fontes de recursos que serão usadas para remunerar e amortizar os investimentos realizados pela iniciativa privada podem incluir recursos do próprio município. O aporte de recursos pode ser feito na forma de uma “contraprestação pecuniária”, no caso de parcerias público-privadas (com base na Lei Federal n.º 11.079 de 2004); ou uma “subvenção ao usuário”, por meio de uma concessão comum firmada (com base na Lei Federal n.º 8.987 de 1995). Neste caso, a tarifa de uso do sistema paga pelos usuários é separada da tarifa de remuneração pelos serviços prestados pela empresa concessionária.

4.1.4 Quarto passo

Uma vez estabelecida a divisão de responsabilidades entre os múltiplos agentes envolvidos e as bases do modelo de remuneração de cada um, tais definições poderão ganhar materialidade em um conjunto de instrumentos jurídicos. Estes instrumentos envolvem desde a elaboração de um ou mais contratos de concessão até a definição de garantias, seguros e outros. Os mecanismos de prestação de serviços moldam as relações contratuais, legais e comerciais firmadas entre as partes, distribuindo e discriminando as responsabilidades de cada uma e alinhando seus interesses.

4.2 ANÁLISE DE MODELOS DE NEGÓCIOS PARA ÔNIBUS ELÉTRICOS

Os contratos de concessão do transporte público geralmente estabelecem a fiscalização e gestão dos serviços como atribuição dos municípios e o planejamento e operação como papel da iniciativa privada. A depender dos princípios estabelecidos nas normas de regulamentação, os contratos podem incluir cláusulas bastante restritivas que desencorajam o investimento em projetos de inovação mais ousados ou de alto risco.

Nos casos de maior rigidez, a baixa flexibilidade e a falta de sinergia entre as partes reduzem as oportunidades de ampliação do compartilhamento de riscos e de inovações que otimizem e modernizem o serviço, constituindo um dos principais entraves para a introdução de ônibus elétricos como inovação tecnológica .

Os modelos de negócio para ônibus elétricos são equivalentes aos modelos mais populares de contratação de serviços públicos de forma ampla: por um lado, aqueles cujo objeto delegado envolve desde o planejamento da implantação, programação e gestão da operação partindo-se “do zero”, conhecidos como projetos *greenfield*, mostrados na Tabela 9; por outro lado, há modelos de contratação em que os ativos que serão utilizados na concessão já foram implantados pelo Poder Público ou mesmo por empresas concessionárias precedentes, denominados projetos *brownfield*. Os projetos *brownfield* podem prever a renovação ou a modernização dos ativos previamente existentes ao longo do transcurso do prazo de contratação, como exemplificado na Tabela 10. Cada uma destas tipologias de modelos de

negócio procura atender a um objetivo específico de política pública, a partir do qual se procura definir o espaço de atuação privada e a forma de interação entre a iniciativa privada e o Poder Público. No caso da transição para a Eletromobilidade, não há fórmulas previamente definidas ou modelos que se mostrem necessariamente superiores ou preferíveis aos demais. Cada uma destas alternativas de modelos poderá ser adaptada a diferentes formas de participação da iniciativa privada na implantação, gestão, operação e manutenção de sistemas de transporte público que utilizem a modalidade de veículos elétricos.

As tabelas a seguir caracterizam alguns dos modelos aplicados no setor de infraestrutura que poderão ser utilizados como referência para definir a transição para a eletromobilidade. Nesta caracterização são apresentadas as principais funções exercidas por cada um dos agentes, públicos e privados, delimitando-se suas responsabilidades. Em seguida são apresentados exemplos específicos e indicados os principais pontos relevantes da norma de regulação. Os modelos de transição para a eletromobilidade, desenvolvidos nas seções 4.2.1 a 4.2.4, partem dos modelos mais amplos expostos nas tabelas a seguir.

Tabela 9 – Modalidades de contratação de serviços públicos não implementados (sistemas greenfield)

Modalidade	Características	Exemplos nacionais e internacionais	Normas de regulação
<p>Contrato de disponibilidade</p>	<p>Investidor privado constrói o sistema e transfere a operação para o poder concedente. Agentes públicos poderão delegar a operação a agentes especializados ou assumir a operação por meio de uma empresa pública. Parte da receita auferida pela administração do serviço remunera o investidor privado.</p> <p>A remuneração se dá pela locação do ativo ao Poder Público durante o prazo de vigência contratual ou por pagamentos vinculados à transferência de propriedade, se esta ocorre imediatamente após a conclusão das obras.</p>	<p>No Brasil, os principais contratos de disponibilidade foram firmados no setor de saneamento. A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), responsável pelo abastecimento de água e tratamento de esgoto no estado, realizou inúmeras licitações para a construção e manutenção de estações de tratamento de água e esgoto. No setor de transportes, as experiências mais comuns são internacionais. Por exemplo, na Inglaterra, com aeroportos e infraestrutura de base para sistemas de transporte público.</p>	<p>Marco técnico para o contrato de fornecimento, atendendo aos requisitos que serão necessários posteriormente para a prestação dos serviços. O marco técnico poderá ser objetivo, definindo com precisão o que deverá ser feito; ou flexível, quando a parte contratada propõe a melhor solução técnica para a infraestrutura a ser implementada.</p>

Modalidade	Características	Exemplos nacionais e internacionais	Normas de regulação
<p>Concessão comum ou patrocinada com reversão de ativos</p>	<p>Modelo clássico de concessão na área de transporte sobre trilhos. A concessionária recebe um projeto básico e é encarregada da implantação, operação e manutenção do sistema por um prazo definido. A propriedade dos ativos operacionais é do poder concedente, mas a concessionária mantém a posse deles, 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.</p>	<p>Exemplos Nacionais:</p> <p>Linha 4 do Metrô de São Paulo;</p> <p>Linha 6 do Metrô de São Paulo;</p> <p>Linhas 5 e 17 do Metrô de São Paulo;</p> <p>Linhas 1 e 2 do Metrô de Salvador.</p>	<p>A normatização dos projetos enfatiza tanto a qualidade do serviço que será ofertado ao usuário quanto a qualidade dos ativos a serem implementados. Como os ativos retornam ao poder público ao final do contrato, há uma observância mais rigorosa dos padrões de qualidade na implantação e das condições de manutenção.</p>

Modalidade	Características	Exemplos nacionais e internacionais	Normas de regulação
<p>Concessão comum ou permissão tradicional de transporte</p>	<p>Padrão em projetos de transporte urbano municipal motorizado em todo o Brasil. A concessionária realiza os investimentos, opera os serviços de acordo com a norma contratual e mantém a propriedade dos ativos por tempo indeterminado, inclusive ao final do contrato. Não há, no padrão dos contratos existentes, reversão de ativos em favor do poder concedente no término contratual, portanto não se aplica nenhuma forma de concessão.</p>	<p>Sistemas municipais de transporte público em São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Campinas e diversos outros municípios brasileiros.</p> <p>Em regiões metropolitanas observa-se a utilização deste modelo em São Paulo, Recife, Fortaleza e em outras partes do país.</p>	<p>Diferentes modelos normativos. O mais comum prevê um maior nível de planejamento e programação por parte do poder concedente, afetando diretamente a matriz de responsabilidades das partes. Geralmente, o foco da normatização é a qualidade dos serviços prestados, observando indicadores como ocupação máxima e intervalo entre partidas no horário de pico ou fora dele, entre outros. A normatização em relação à qualidade dos investimentos se reflete no tipo de veículo que será usado, na idade máxima e em temas correlatos.</p>

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 10: Modalidades de contratação de serviços públicos já implementados (*brownfield*)

Modalidade	Características	Exemplos nacionais e internacionais	Normas de regulação
Concessão da operação de ativos públicos	Modelo de concessão normalmente aplicado a projetos recém-construídos, em que o poder concedente desenvolve a infraestrutura e contrata a operação. Difere da terceirização devido ao risco de demanda assumido pelo ator privado, além de outros riscos de natureza operacional.	Comuns em concessões rodoviárias implantadas pelo poder público, que transfere a operação para a iniciativa privada. No setor de transportes, é comum na delegação de terminais urbanos à iniciativa privada, mas ainda experimental em projetos que envolvam a movimentação de passageiros.	Marco técnico para a operação. ¹ Novos investimentos durante a concessão são negociáveis, mas geralmente ficam sob responsabilidade do poder concedente.

1 O marco técnico da operação é composto por um conjunto de instrumentos normativos, assumam estes a forma de leis, decretos, resoluções e deliberações, ou assumam estes a forma de anexos de um contrato, onde se estabelece o conjunto de requisitos que o particular deverá cumprir ao assumir a prerrogativa de prestação de um serviço público essencial. Usualmente os marcos mais amplos possuem transversalidade entre diversos setores, como princípios constitucionais, ou diversos setores, como leis que regulamentam a outorga da prestação de determinados serviços públicos a particulares. Já o marco técnico contratual complementa a norma mais ampla com aspectos específicos do projeto a que se refere o Contrato de Concessão. Exemplos típicos são a idade máxima de veículos que poderá ser admitida para a operação, os intervalos máximos entre as partidas de determinada linha, o nível máximo de ocupação dos veículos ao longo de um determinado horário.

Modalidade	Características	Exemplos nacionais e internacionais	Normas de regulação
<p>Concessão para a renovação e operação de ativos públicos</p>	<p>Modelo amplamente utilizado para melhorar sistemas existentes, em que os ativos públicos utilizados na prestação dos serviços estejam em estado de degradação. A concessionária assume a operação e responsabiliza-se por melhorias contínuas ao longo do período de operação.</p>	<p>Supervias, no Rio de Janeiro</p> <p>CPTM Linhas 8 e 9, em São Paulo</p>	<p>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, geralmente, envolvem aporte do poder concedente.</p> <p>Exige uma agência reguladora forte.</p>

Fonte: Elaboração própria.

A escolha do tipo de contratação pública dependerá dos objetivos que se pretende atingir, a disponibilidade de recursos públicos, a existência de uma estrutura na administração pública adequada ao exercício de funções de operação, gestão, regulação e fiscalização dos serviços, conforme o caso, dentre outros. Ponderados todos estes elementos, será possível delinear e detalhar qual o modelo de negócio mais adequado a cada caso.

Muitas vezes os contratos envolverão a implantação e a operação de ativos pela iniciativa privada, ou seja, uma combinação de foco no contrato. Estes contratos usualmente assumem a forma de concessão comum (Lei Federal n° 8987/95) ou de parcerias público-privadas (Lei Federal n° 11.079/04). Nesses contratos enfatiza-se a importância de se avaliar extensivamente os seguintes elementos:

- Alocação adequada de riscos: os contratos deverão descrever em seu corpo em anexos técnicos específicos a íntegra dos principais riscos que poderão ocorrer no transcurso das fases de implantação e operação, os possíveis impactos de sua materialização e a alocação destes riscos, de acordo com a identificação do agente que esteja melhor preparado para recepcioná-lo. Recomenda-se que a íntegra dos riscos não seja alocada à iniciativa privada, mas sim compartilhada de forma equilibrada entre agentes públicos e privados;
- Indicadores de desempenho: deverão refletir de forma adequada o padrão de serviços que se pretende dar ao serviço público, estabelecendo mecanismos de bonificação por sua superação ou sanção pelo seu não atendimento;
- O sistema de pagamentos: identificar claramente se tarifário ou se baseado em recursos públicos (subsídios, aportes e contraprestação arcada pelo ente público);
- Sistema de equilíbrio econômico-financeiro, definindo quais eventos ensejam o direito das partes à recomposição do equilíbrio econômico-financeiro, qual a metodologia de cálculo do desequilíbrio e quais são as variáveis que poderão ser utilizadas como mecanismo para a recomposição do equilíbrio contratual.

Estes elementos-chave dos contratos firmados entre o Poder Público e a iniciativa privada devem ser endereçados de forma a criar um conjunto de incentivos positivos para o projeto. No contexto de operação pela iniciativa privada, a Tabela 11 apresenta os tipos de concessão mais comuns aplicáveis a projetos de eletromobilidade.

Tabela 11 – Tipos de concessão possíveis para projetos de eletromobilidade

Tipo de concessão	Comum	Patrocinada	Administrativa
Conceito	É a delegação de serviços públicos, de obras públicas e de permissões de serviços públicos, cuja remuneração se dará pela tarifa paga pelos usuários dos serviços de que trata a Lei Federal n.º 8.987/95.	É a delegação de serviços públicos ou de obras públicas de que trata a Lei Federal n.º 11.079/04, nos casos em que envolver, além da tarifa cobrada aos usuários, uma contraprestação pecuniária do parceiro público ao parceiro privado.	Contrato de prestação de serviços em que a administração pública seja usuária direta ou indireta, ainda que envolva a execução de obra ou o fornecimento de bens.
Remuneração	Via tarifa arrecadada.	Contraprestação paga pela administração pública + tarifa paga pelo usuário.	Contraprestação paga pela administração pública.
Relação com usuário final	A empresa Concessionária tem relação direta com o usuário final e faz a cobrança da tarifa.	O parceiro privado tem relação direta com o usuário final e faz a cobrança da tarifa.	O parceiro privado não tem relação direta com o usuário final, que é a administração pública.
Metas	Definidas em contrato.		
Regulação e fiscalização	Definidas em contrato, podendo incluir mecanismos de indicadores de desempenho.		

Fonte: Elaboração própria.

Os passos para a contratação de uma das modalidades e para a delegação de serviços obedecem ao caminho sintético ilustrado na Figura 19.

Figura 19 – Processo de delegação de serviços públicos



Fonte: Elaboração própria.

Para formular e avaliar a modalidade de negócios mais adequada para projetos de transporte público (que envolvam integral ou parcialmente componentes de ônibus elétricos), as cidades podem considerar as alternativas descritas abaixo como referência. Conforme são analisados exemplos em cidades brasileiras e latino-americanas, é importante notar que há adaptações destas quatro alternativas apresentadas.

4.2.1 Alternativa 1

Essa alternativa se refere à implantação e operação de ônibus elétricos sob responsabilidade integralmente pública. A implantação de frotas elétricas por meio da administração pública pode se apresentar como uma alternativa para dar início ao processo de transição para a eletromobilidade. Em estágios posteriores, o poder público poderia retomar modelos convencionais com maior nível de compartilhamento de responsabilidades com a iniciativa privada.

A primeira alternativa é a constituição de uma empresa pública dedicada a operar e implantar um sistema



de frotas elétricas. A empresa pública articulária também as organizações responsáveis pela operação e implantação de infraestruturas associadas.

Esta alternativa foi adotada no passado no Rio de Janeiro e em São Paulo para sistemas de ônibus convencionais e metroferroviários, por exemplo. A Companhia do Metropolitano de São Paulo e a CPTM foram fundadas com o objetivo de implantar, operar e manter o sistema metroferroviário paulista. O próprio sistema de ônibus de São Paulo já 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, ao passo que o Metrô Rio explorava as linhas 1 e 2 do sistema metroviário. Posteriormente, parte relevante destes sistemas foi delegada à iniciativa privada. Em São Paulo, as linhas 4, 5, 6, 17 e 18 do Metrô de São Paulo, além das linhas 8 e 9 da CPTM, foram objeto de delegação. No Rio de Janeiro, a operação da Flumitrens foi delegada para a atual Supervia, assim como o Metrô Rio, que também é gerenciado por uma concessionária privada. O sistema paulistano de transporte sobre pneus foi delegado à iniciativa privada no início da década de 1990. Em relação à adoção de ônibus elétricos, ainda não há exemplos em escala.

4.2.2 Alternativa 2

Esta alternativa se refere à implantação e operação de ônibus elétrico sob responsabilidade integral privada. **Esta alternativa é a mais comum nos contratos de prestação de serviços de transporte público.** Pautase pela delegação integral da operação à iniciativa privada. A delegação integral implica que todas as atividades pré-operacionais da frota elétrica, desde a elaboração dos projetos executivos (passando pela obtenção de recursos, os meios de implantação e a integração dos investimentos) até o início da efetiva operação e exploração comercial dos serviços seriam atribuídos à iniciativa privada.

Uma vez concluída a aquisição ou *leasing* dos ônibus elétricos e de seus componentes, a integração de sistemas e a preparação da operação, o operador se torna inteiramente responsável por gerir e explorar comercialmente o sistema — inclusive a manutenção e conservação dos ativos e a prestação de serviços relacionados à mobilidade urbana, entre outras responsabilidades.

Um dos principais riscos desta alternativa é associado aos custos de investimento, às flutuações de demanda, custos efetivos de operação e flutuações macroeconômicas. A maior parcela dos riscos é atribuída à iniciativa privada, uma vez que por ter os mecanismos de gestão e operação adequados, está melhor preparada para assumi-los.

Quanto à propriedade dos ativos, todos os elementos são tratados como bens vinculados, isto é, bens que estão afetados à prestação de um determinado serviço público essencial. Ao final da concessão, todos os ativos são mantidos em propriedade da iniciativa privada, exceto aqueles mandatoriamente revertidos ao poder concedente.

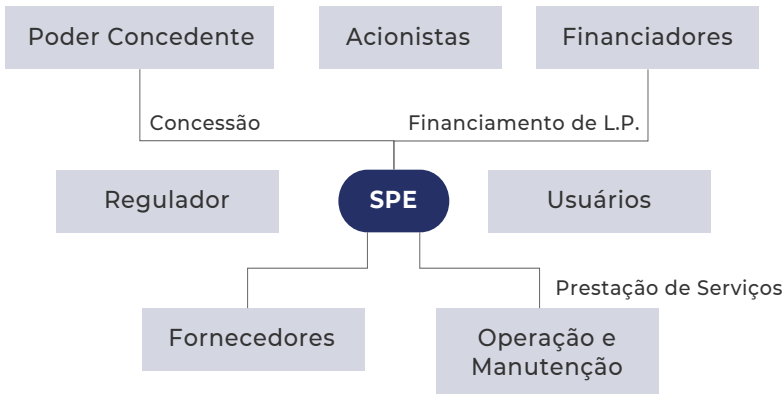
Adotando esta alternativa, as cidades conseguiriam desfrutar de excelentes benefícios financeiros, graças à forte assimetria na alocação de responsabilidades e riscos entre o poder concedente e a iniciativa privada, transferindo para esta grande parte dos deveres de investir, prestar um serviço público adequado, de acordo com os parâmetros de desempenho estabelecidos em contrato, manter os ativos em condições adequadas. Observa-se que ao final do contrato, o Poder Público receberá em transferência não onerosa a parte previamente estabelecida dos ativos operacionais utilizados na prestação dos serviços.

Para a iniciativa privada, a contrapartida necessária para a assunção é a necessidade de remunerar adequadamente o capital empregado no empreendimento. A Figura 20 apresenta de forma sintética quais os agentes envolvidos de forma direta na organização

deste modelo de negócios e quais as eventuais relações contratuais formais ou informais existentes. Em suma a tabela apresenta o (i) Poder Concedente que é o ente federado responsável pela prestação do serviço e que pode prestá-lo de forma direta ou delegá-lo ao particular nos termos do artigo 175 de CF; (ii) o vencedor da licitação vai se organizar e formar uma Sociedade de Propósito Específico (SPE), cujos acionistas serão aqueles que apresentaram proposta, essa SPE poderá tomar empréstimos com financiadores (Bancos) e dar em garantia o próprio serviço e ela será a responsável por prestar o serviço e se relacionar com os fornecedores e funcionários; (iii) o Regulador estabelece as regras e fiscaliza o Contrato de Concessão.

Nesta figura observa-se que há apenas uma relação contratual firmada, usualmente em uma das modalidades de contrato de concessão (comum ou patrocinada), delegando à iniciativa privada a íntegra das funções de investimento e prestação dos serviços aos usuários finais.

Figura 20 – Modelo de implantação e operação de ônibus elétricos sob responsabilidade integral privada em um único contrato



Fonte: Elaboração própria. Observação: LP – Longo prazo.

Em projetos de eletromobilidade que adotem esta condição, as atividades de aquisição, implantação,

integração de sistemas, operação e manutenção são diretamente executadas pela empresa contratada. Alguns exemplos são encontrados no Distrito Federal (DF), em Santos (SP), em Bauru (SP), em Maringá (PR) e em Campinas (SP). Em parte dos contratos firmados nestas cidades, investimentos na aquisição de veículos elétricos e sistemas de recarga já estavam previstos na equação financeira original. Com base no modelo, os investimentos posteriores e os acréscimos nos custos operacionais serão objeto de recomposição do equilíbrio financeiro. Vale notar que em todos estes casos, a eletromobilidade encontra-se em fase experimental. Os custos de aquisição, operação e manutenção destes sistemas serão incorridos pelas empresas operadoras, cabendo à iniciativa privada a revisão do equilíbrio econômico-financeiro inicial em decorrência dos acréscimos de custos de investimentos e decréscimo dos custos de operação, tendo em vista o menor custo variável por quilômetro percorrido por ônibus elétricos em comparação a veículos a diesel.

Figura 21 – Micro-ônibus elétricos a bateria já rodavam em Santos em 2017 e, após a revisão do contrato de concessão, retornaram às ruas em 2021



Créditos: Alexander Ferraz, A Tribuna (2017).

Cidades como Brasília, Maringá e Santos são referências municipais de implantação e operação de ônibus elétricos sob responsabilidade integral privada em um único contrato, exemplificando as formas como estes processos poderão ser implementados.

No Distrito Federal (DF), o processo de revisão da equação financeira contratual já incorporou a aquisição da frota de ônibus elétricos. Todavia, ela ainda não foi ajustada para incorporar os custos efetivos de longo prazo da operação da frota, o que compromete a transição em escala e a sustentabilidade financeira.

Em Maringá (PR), a operação ocorre em caráter experimental, não havendo indicação de que o contrato de concessão será reequilibrado para acomodar a introdução desta tecnologia em longo prazo.

Em Santos (SP), a aquisição de dois micro-ônibus elétricos a bateria foi realizada por uma empresa concessionária sem que tais investimentos afetem o cálculo da tarifa do usuário. A tarifa também incorpora a operação de trólebus, modalidade de ônibus elétrico que já estava em operação anteriormente à realização da licitação.

4.2.3 Alternativa 3

Essa alternativa se refere à responsabilidade compartilhada de implantação e operação de ônibus elétricos entre entes públicos e privados. **As cidades que adotarem essa alternativa poderão viabilizar a adoção de ônibus elétricos mediante licitação convencional para aquisição de veículos e implantação dos sistemas de recarga e eventual controle operacional**, regida pelos termos da Lei Federal n.º 8.666/1993². Essa contratação, conduzida pelo poder concedente, se dá por meio das especificações dos ativos a serem incorporados a um segundo contrato. Esses ativos serão considerados “bens vinculados” à delegação do serviço.

O segundo contrato, de operação, tem por objeto a construção de garagens, terminais, demais sistemas de arrecadação, controle, monitoramento, gestão e outros. Também implica, além da realização dos investimentos, a execução da operação e manutenção dos ativos operacionais, inclusive aqueles fornecidos no âmbito do primeiro contrato. Ao término do contrato, em tese, todos os bens serão mantidos sob propriedade da empresa operadora, à exceção daqueles bens vinculados à concessão inicialmente disponibilizados pelo poder concedente.

Como os bens vinculados à concessão do serviço serão revertidos ao poder concedente ao final do contrato, as regras relativas à manutenção e à condição operacional no momento de tal reversão poderão estar claramente definidas no contrato. O modelo segue, por exemplo, os moldes estabelecidos para a implantação da Linha 4 do Metrô de São Paulo.

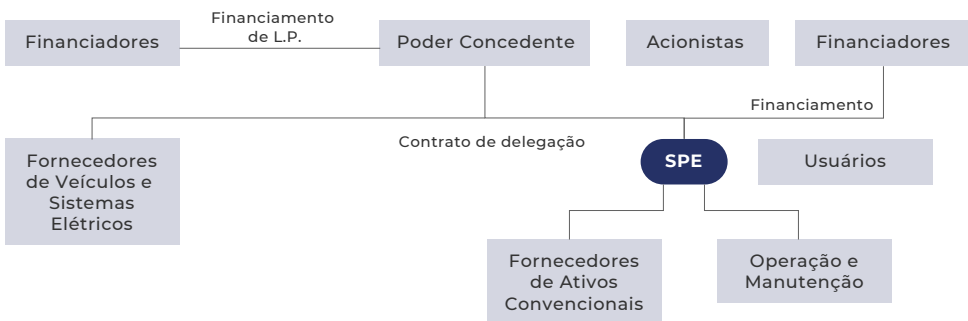
A Figura 22 a seguir apresenta a revisão do posicionamento dos principais atores em um novo arranjo contratual. Observa-se que o Poder Público poderá contratar financiamento de longo prazo para adquirir veículos elétricos, sistemas de recarga e realizar obras civis para a sua implantação, transferindo o uso destes ativos para a iniciativa privada no bojo do contrato de delegação dos serviços públicos que serão outorgados

² Nova Lei de Licitação, Lei federal nº 14.133/2021, foi publicada em 01.04.2021, sendo que a Lei 8666/1993 permanece em vigência até 01.04.2023

à iniciativa privada. A iniciativa privada opera estes ativos, prestando serviços aos usuários finais do sistema.

A Figura 22 mostra os atores oriundos de duas relações contratuais que acontecerão de forma paralela. Contrato 01: (i) Poder Concedente que é o ente federado responsável pela prestação do serviço e que pode prestá-lo de forma direta ou delega-lo ao particular nos termos do disposto no artigo 175, da Constituição Federal, bem como na Lei Federal nº 1.079/2004; (ii) O financiador onde o Poder Concedente vai tomar o empréstimo para adquirir ou locar os veículos (iii) Essa relação será estabelecida entre Poder Concedente (contratante) e Fornecedores de Veículos e sistemas elétricos e entrega-los ao vencedor da licitação de delegação do serviço, com regras específicas dessa entrega e respectiva devolução. Contrato 02: (i) Poder Concedente que é o ente federado responsável pela prestação do serviço e que pode prestá-lo de forma direta ou delega-lo ao particular nos termos do artigo 175, CF; (ii) O vencedor da licitação vai se organizar e formar uma Sociedade de Propósito Específico (SPE) cujos acionistas serão aqueles que apresentaram proposta; Essa SPE poderá tomar empréstimos com financiadores (Bancos) e dar em garantia o próprio serviço e ela será a responsável por prestar o serviço e se relacionar com os fornecedores e funcionários; (iii) O Regulador estabelece as regras e fiscaliza o Contrato de Concessão.

Figura 22 – Modelo de responsabilidade pela implantação e operação de ônibus elétricos compartilhada entre entes públicos e privados



Fonte: Elaboração própria. Observação: LP: Longo prazo.

Figura 23 – São José dos Campos segregou, por contrato, a aquisição de 12 veículos elétricos articulados fabricados pela BYD



Crédito: Cláudio Vieira, Prefeitura de São José dos Campos (2021).

Este modelo foi adotado pelo município de São José dos Campos no estado de São Paulo. A gestão municipal optou por segregar a aquisição dos ativos da operação em diferentes estruturas contratuais. Os veículos articulados elétricos, que serão operados no denominado “Corredor Verde”, foram adquiridos da fornecedora BYD, conforme especificações técnicas divulgadas pela prefeitura.

A aquisição incluiu, entre outros, a garantia de perfeita funcionalidade das baterias por um prazo de dez anos, assim como um amplo conjunto de manuais que visavam à necessária integração dos veículos aos demais contratos. O segundo contrato 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 para determinar os parâmetros técnicos e a compatibilidade entre sistemas, entre outros aspectos. Por fim, todos estes ativos serão transferidos por meio de contrato de concessão ao operador do lote 1 do Serviço de Transporte Público de São José dos Campos. O operador será responsável pela construção de garagens e infraestrutura administrativa, bem como pela operação dos serviços e manutenção dos ativos, inclusive aqueles transferidos pela municipalidade.

Vale notar que em São José dos Campos, a implantação e gestão de tecnologias, inclusive as bases de dados provenientes dos sistemas de bilhetagem eletrônica, deverão ser contratadas por meio de um processo apartado — ou seja, a empresa operadora da tecnologia em si é distinta daquela responsável pela prestação dos serviços de transporte de passageiros.

4.2.4 Alternativa 4

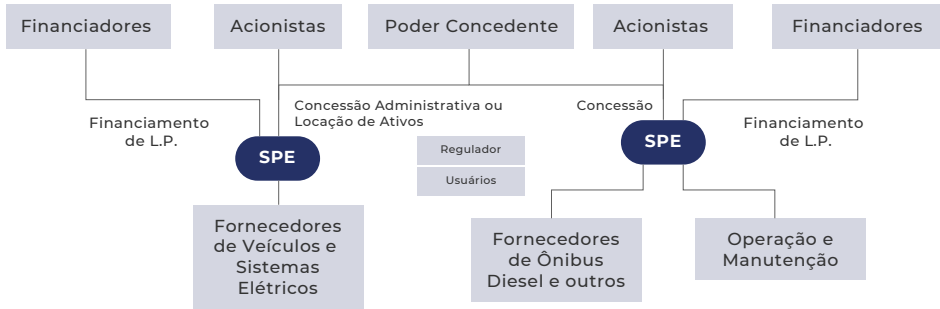
Esta alternativa se refere à implantação e operação de ônibus elétricos sob responsabilidade privada em dois contratos distintos. Este modelo segrega as atividades de implantação e operação dos veículos elétricos em dois contratos distintos delegados pelo Poder Público à iniciativa privada.

O primeiro contrato, voltado à implantação definirá o agente responsável pela implantação dos veículos e da 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 desde que envolva somente, ou, preponderantemente, a implantação de tais ativos. À medida que a manutenção dos sistemas e, eventualmente, a própria manutenção dos veículos forem incorporadas ao contrato, parcial ou completamente, o arranjo passaria a constituir uma parceria público-privada (PPP) administrativa, com remuneração de longo prazo.

O segundo contrato, de operação, envolve a construção de garagens, terminais, demais sistemas de arrecadação, controle, monitoramento, gestão e outros. Também implica, além da realização dos investimentos, voltados à prestação dos serviços que não estão inclusos no primeiro contrato, a execução integral da operação e da manutenção dos ativos operacionais, inclusive aqueles fornecidos no âmbito do primeiro contrato, devendo ser estabelecida a responsabilidade sobre o bem (ônibus) que estará sob sua guarda e utilização.

A Figura 24 apresenta os atores oriundos de duas relações contratuais distintas. Contrato 01: (i) Poder Concedente que é o ente federado responsável pela prestação do serviço e que pode prestá-lo de forma direta ou delegá-lo ao particular nos termos do artigo 175, CF; (ii) O vencedor da licitação vai se organizar e formar uma Sociedade de Propósito Específico (SPE) cujos acionistas serão aqueles que apresentaram proposta; Essa SPE poderá tomar empréstimos com financiadores (Bancos) e dar em garantia o próprio serviço e ela será a responsável por adquirir ou locar o bem (ônibus) e se relacionar com a Concessionária Prestadora do Serviço de Transporte. Contrato 02: (i) Poder Concedente que é o ente federado responsável pela prestação do serviço e que pode prestá-lo de forma direta ou delegá-lo ao particular nos termos do artigo 175, CF; (ii) O vencedor da licitação vai se organizar e formar uma Sociedade de Propósito Específico (SPE) cujos acionistas serão aqueles que apresentaram proposta; Essa SPE poderá tomar empréstimos com financiadores (Bancos) e dar em garantia o próprio serviço e ela será a responsável por prestar o serviço e se relacionar com os fornecedores e funcionários; (iii) O Regulador estabelece as regras e fiscaliza o Contrato de Concessão. Nesse modelo o Poder Concedente segrega os contratos de aquisição e/ou locação e o de prestação do serviço de transporte.

Figura 24 – Modelo de implantação e operação de ônibus elétricos sob responsabilidade privada em dois contratos distintos



Fonte: Elaboração própria. Observação: LP: Longo prazo.

Figura 25 – Estação de embarque e desembarque de passageiros do Transmilenio, Bogotá, Colômbia



Crédito: Rodrigo Laboissiere, Logit (2019).

Em 2019, a capital colombiana revisou seus contratos de concessão de seu sistema de BRT (*bus rapid transit*), o TransMilenio. Uma das principais inovações foi separar os serviços de provisão (*Capex*, investimentos em capital, ou custos de aquisição) e operação (*Opex*, despesas operacionais, ou custos de operação) da frota em contratos e processos licitatórios distintos .

Graças ao novo modelo de negócios, atores com maior capacidade financeira passaram a unir esforços com operadores locais na concessão do serviço, conferindo viabilidade e estabilidade. Por exemplo, a parceria da Volvo com dois operadores privados forneceu 300 ônibus elétricos híbridos para o TransMilenio. O custo dos ônibus foi separado das baterias: os operadores privados compraram os ônibus da Volvo e a cidade firmou um contrato de *leasing* para as baterias .

Em 2020, uma declaração concedida por Sofia Zarama Valenzuela, chefe de planejamento do TransMilenio (Bogotá, Colômbia), à WRI listou as principais vantagens observadas a partir da mudança :

- Continuidade do serviço: como a cidade pode manter o contrato de provisão, garante a transição adequada entre operadores atuais e futuros ao término dos contratos;
- Flexibilidade: diante de contingências com algum operador, o TransMilenio, na qualidade de ente gestor, pode passar a frota a outro operador sem a necessidade de renegociar contratos;
- Bancabilidade: a divisão dos riscos de operação e provisão ajuda a atrair investimentos para a renovação da frota; e
- Eficiência: a divisão permitiu que o TransMilenio adotasse uma frota mais limpa sem aumentar a tarifa.

Figura 26 – Inovação em modelo de negócios fez do Chile uma referência em eletromobilidade no mundo todo



Crédito: Banco Mundial (2019).

Em 2017, a capital chilena enfrentava problemas para renovar a frota do sistema Transantiago (atual RED). Os ônibus estavam perto de atingir a idade máxima permitida para continuar circulando. Estava prevista uma licitação para repor a frota, mas ela foi considerada deserta por falta de empresas interessadas. Santiago aproveitou a situação emergencial para rever seu modelo de negócios de forma a torná-lo mais atraente. Então, foram estabelecidos dois processos de licitação para a aquisição de 2 mil ônibus (incluindo ônibus elétricos).

Uma licitação foi direcionada ao fornecimento dos veículos em si, e outra à operação da frota. A cidade considerou que esta mudança contribuiria para expandir a continuidade operacional da frota, aumentar a competitividade, aprimorar a qualidade-padrão, promover tecnologias mais sustentáveis e reduzir os custos do sistema, segundo informações do *Directorio de Transporte Público de Santiago*.

Inspirado nas cidades chinesas, o novo modelo de Santiago buscou incluir outros atores na governança, criando um consórcio entre fabricantes de veículos e de chassis e entes financeiros. Neste acordo, o ente financeiro adquiriria o veículo do fabricante e o alugaria (via contrato de *leasing*) para a cidade ou operador.

Santiago obteve muito sucesso também ao incorporar incentivos e obrigações aos contratos, como especificar a tecnologia usada e garantir que um percentual da frota fosse de veículos de baixa ou zero emissão. Estima-se que a cidade invista US\$ 800 milhões por ano com recursos próprios.

4.3 CONTEXTO NACIONAL E OPORTUNIDADES ENCONTRADAS PARA OS MODELOS DE NEGÓCIOS

Ao avaliar a aplicabilidade das alternativas de modelos de negócios visando à transição para a eletromobilidade, é importante compreender como o contexto nacional define limites ou favorece determinado perfil de modelagem. O entendimento sobre os caminhos de menor resistência à implantação da eletromobilidade é um elemento-chave para o sucesso de seu estágio inicial, bem como para garantir a sustentabilidade da tecnologia em longo prazo, gerando o máximo benefício social.

Quanto à primeira alternativa de negócios (item 4.2.1), baseada no planejamento, implantação e operação por ente público, é relevante notar que em grande parte dos municípios brasileiros não há ente público que efetivamente opere serviços de transporte público. A criação de um ente específico com este propósito implicaria um número expressivo de medidas institucionais, tais como:

- Criação formal da empresa, com estatuto e regulamento, entre outros, e aprovação da Câmara de Vereadores;
- Definição de um plano de cargos e salários e realização de um processo seletivo para a contratação de funcionários; e
- Organização dos procedimentos internos para a contratação de ativos, do planejamento operacional e da operação propriamente dita.

Em virtude dos processos institucionais vigentes no Brasil, adotar um modelo de transição para a eletromobilidade que implique a criação de uma empresa pública pode ser um processo excessivamente longo e dispendioso. Ademais, na medida em que tais modelos organizacionais apresentam mais rigidez em sua organização interna, uma eventual transição para a operação por agentes privados para trazer mais inovação ao sistema pode gerar custos adicionais para o erário municipal.

Oportunidade 1: empresas públicas operadoras. Diversos municípios brasileiros contam, em sua estrutura administrativa indireta, com empresas que realizam o transporte de passageiros. Estas empresas geralmente gozam de *expertise* operacional consolidada, além de um quadro administrativo voltado à organização de serviços de transporte. Elas podem assumir, de forma simples e eficaz, o papel de catalisadores da transição para a eletromobilidade ao substituir a operação de veículos a diesel por veículos elétricos. Isto criaria uma base de dados sobre produtividade e custos que poderia ser relevante para futuras contratações privadas.

Figura 27 – Ônibus elétrico da BYD adquirido pela Unicamp para transporte de passageiros em seu campus em Campinas (SP)



Crédito: Antonio Scarpinetti, CPFL (2020).

Os ônibus elétricos que compõem a frota circular interna da Diretoria de Serviços de Transporte (Unitransp) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) são exemplos, em escala local, de como a operação de veículos elétricos pode ocorrer sob responsabilidade pública integral. Desde setembro de 2020, os veículos realizam o transporte de passageiros no *campus*. A operação é executada pelo Laboratório Vivo de Mobilidade Elétrica, parte do projeto *Campus Sustentável*, financiado com recursos provenientes da *holding* CPFL Energia, que distribui, gera e comercializa energia elétrica .

O projeto teve um custo total de R\$ 3,4 milhões e recebeu aportes do Escritório de Projetos Especiais, vinculado à Coordenadoria-Geral da Universidade. A iniciativa serve como base para observação dos custos de implantação, operação e avaliação da eficiência de ônibus elétricos. Além disto, alinha-se aos princípios de gestão de uma universidade de vanguarda que investe em ativos intangíveis de prestígio e boa reputação. O Projeto *Campus Sustentável* conta com outras frentes, como a substituição de equipamentos antigos por novos, que consomem menos energia elétrica; a gestão do consumo energético das edificações incorporando recursos de internet das coisas (IoT); e a instalação de unidades produtoras de energia fotovoltaica em vários pontos no *campus*.

Oportunidade 2: agente gestor de serviços públicos. As

ciudades que desejarem iniciar a transição para a eletromobilidade por meio de uma operação pública, mas não possuem uma Empresa Pública Municipal, ente integrante da Administração Indireta com autonomia Administrativa e Financeira, dedicada à Operação do Transporte Público, poderão adotar uma operação experimental por meio da gestão de nexos contratuais realizada por uma de suas Secretarias como a Secretaria de Obras ou de Transporte Público.

A Secretaria escolhida fica responsável pela contratação e integração de quatro conjuntos de contratos: (i) elaboração de estudos e projetos de adequação da infraestrutura à eletromobilidade; (ii) contratos de adequação da infraestrutura à eletromobilidade; (iii) aquisição de veículos e baterias para início da operação; e (iv) contratação de empresa para o fornecimento de mão de obra especializada para a prestação dos serviços públicos. A Figura 27 a seguir sintetiza o processo.

Figura 28 – Conjuntos de contratos sob responsabilidade do agente gestor público

Agente Gestor Público

Contrato 1: Empresa projetista especializada	Contrato 2: Fornecedor(es) de equipamentos e sistema	Contrato 3: Fornecedores de veículos e componentes	Contrato 4: Fornecedores de mão de obra
<p>Definição de rotas</p> <p>Identificação dos pontos de recarga</p> <p>Identificação dos horários de recarga</p> <p>Diagnóstico da rede e indicação de melhorias necessárias</p>	<p>Implantação das melhorias identificadas quanto à infraestrutura e seus pontos de recarga</p>	<p>Fornecimento de veículos, infraestruturas de recarga e baterias para a operação</p>	<p>Fornecimento de pessoal técnico, materiais e outros para a operação de veículos</p>

Fonte: Elaboração própria.

Conforme as cidades se sentirem mais seguras para adotar a eletromobilidade, a estrutura organizacional pode ser rapidamente desmobilizada. Neste sentido, os ativos adquiridos são transferidos para a iniciativa privada como bens públicos “afetados” por determinado contrato de concessão a ser licitado. Este foi o caso observado ao longo das décadas de 1980 a 2000 em que ocorreram as denominadas “privatizações” de empresas públicas de transporte coletivo de passageiros. Exemplos são a Companhia Municipal de Transportes Coletivos do Município de São Paulo (CMTC), e a Companhia de Transporte Urbano do Município do Recife (CTU). Em ambos os casos, as licitações para a outorga do direito de prestação do serviço público de transporte coletivo de passageiros foram combinadas à alienação dos ativos físicos previamente utilizados pela empresa pública para a prestação destes serviços.

Aplicações destes modelos também são usuais em transportes metroviários ou em trens de subúrbio, onde os ativos públicos previamente implantados para a prestação de um determinado serviço são vinculados, em uma fase posterior, à concessão para a prestação de serviços públicos por um agente privado. Na década de 1990 este modelo foi aplicado à concessão do sistema de trens de subúrbio da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, quando da concessão da

Flumitrens, e para a concessão do sistema metroviário do mesmo Município. Em anos mais recentes, em 2020, a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos cedeu o uso de ativos operacionais vinculados à prestação de serviços públicos para realizar a Concessão para Operação, Manutenção e Exploração Comercial das Linhas 8 e 9 daquele sistema.

Oportunidade 3: concessão de serviços públicos

Por sua vez, a indução à eletromobilidade por meio de contratos de concessão de serviços públicos, baseados na Lei Federal 8.987/95 quando concedidos em modalidade de concessão comum ou na Lei Federal 11.079/04, quando concedidos na modalidade de concessão patrocinada ou administrativa, vem se tornando o modelo de negócios mais adotado pelas cidades. Exemplos recentes incluem os Municípios de Santos e Bauru, no Estado de São Paulo, o Município de Londrina, no Estado do Paraná e o Distrito Federal. Para ser efetivado, o processo depende do estágio em que se encontram as relações privadas com o município, conforme demonstra a Tabela 12.

Tabela 12 – Alternativas de ação conforme o estágio contratual vigente nas relações entre o município e as empresas operadoras

Licitação de novos contratos	Atribuição de riscos ao ator público	Cálculo dos custos do sistema com base na tecnologia diesel ou em custos estimados pelo poder público. Revisões periódicas da equação financeira do contrato à medida que se consolidarem as variáveis de custos e produtividade.
	Atribuição de riscos ao ator privado	Cálculo dos custos e remuneração do sistema com base nos custos e na produtividade estimados pelo poder público, revisados pelo ator privado em processo de licitação. Variações de custos ou produtividade não ensejam o direito à revisão da equação do contrato.

Inclusão da eletromobilidade em contratos existentes	Prazo contratual remanescente superior à vida útil do veículo	Aditamento do contrato de concessão para incluir custos relacionados a estudos, projetos, implantação de infraestrutura adicional a cargo do ator privado, aquisição dos veículos e operação mediante reequilíbrio econômico-financeiro do contrato de concessão. Os bens investidos poderão ou não ser revertidos, dispensando a necessidade de indenização de ativos ao término do contrato.
	Prazo contratual remanescente inferior à vida útil do veículo	Aditamento do contrato de concessão para incluir custos equivalentes ao item precedente mediante reequilíbrio econômico-financeiro do contrato de concessão. Os bens investidos poderão ou não ser revertidos, devendo ser indenizados os investimentos não amortizados ao término do contrato.

Fonte: Elaboração própria.

Para contratos de concessão ou permissão vigentes, vale observar que o processo de aditamento e reestabelecimento do equilíbrio econômico-financeiro contratual precisa ser realizado por meio de negociação entre as partes. A imposição unilateral de investimentos por parte do município é pouco recomendada, porque tende a gerar repercussões indesejáveis sobre todas as demais esferas do contrato. Em tal processo de negociação, as partes deverão entender o que cada uma pode ganhar e/ou perder com a transição para a eletromobilidade.

Os processos de revisão do equilíbrio contratual na gestão dos serviços de transporte coletivo de passageiros devem ser devidamente planejados e estudados pelas partes. Os contornos trazidos pela legislação se somam ao acompanhamento dos órgãos de controle de forma que o processo de revisão do equilíbrio contratual deverá ser realizado de modo transparente e com informações confiáveis.

Por outro lado, diversos componentes de possíveis ganhos marginais podem atuar como catalisadores da rentabilidade de um negócio. Exemplos típicos são a revenda de veículos usados ou a negociação de grandes volumes de combustíveis, que podem representar ganho adicional à própria operação.

Não se deve motivar estes elementos como viabilizadores de projetos de mobilidade urbana, uma vez que a consequência direta da revenda de veículos a diesel para municípios menores e o uso intensivo de veículos a combustão é a clara piora da qualidade. E a impossibilidade de levar adiante tais ganhos marginais é algo que deve ser refletido nas novas modalidades financeiras.

Uma oportunidade é estipular neste mercado de revenda tecnologias mais eficientes em conformidade com as normas regulamentadoras sobre emissão de poluentes para motores a diesel (i.e., sistema Euro VI, previsto para entrar em vigor em 2022 no Brasil, na fase 8 do Programa de Controle de Emissões Veiculares [Proconve], do Conama [Conselho Nacional do Meio Ambiente]).

Em contrapartida às perdas de oportunidades marginais, as empresas operadoras passarão a gozar de *expertise* relevante e da atestação técnica necessária para participar de procedimentos licitatórios futuros em diversos municípios em que se planeje a transição. Assim, as partes deverão ponderar seus ganhos e perdas no processo de forma a criar um resultado de soma positiva para ambos os lados.

O terceiro modelo de negócios avaliado (item 4.2.3), no qual o poder público é responsável pela aquisição dos veículos, infraestruturas e baterias e pela concessão desses ativos a um operador privado na forma de bem público, também apresenta desafios e oportunidades. Um dos desafios observados é a existência de um corpo técnico qualificado capaz de desenvolver e integrar as interfaces de todas as responsabilidades a ele atribuídas.

Esse corpo técnico qualificado pode representar um custo para o município, o que deverá ser evidenciado na ponderação dos benefícios do projeto. Por outro lado, ao proceder dessa forma, o município reduz a parcela de investimentos realizados pelo operador privado, diminuindo proporcionalmente os

custos com amortização e remuneração de capital que deveriam ser futuramente considerados. Assim, a longo prazo, há um ganho nominal importante para o sistema, uma vez que o custo de financiamento direto da aquisição de veículos elétricos pelo Poder Público é, usualmente, inferior ao custo de remuneração do capital privado estabelecidos em contratos de concessão.

Do lado do setor privado, as empresas observarão os temas acima descritos — ou seja, a perda de oportunidades de ganhos marginais. De forma ainda mais relevante, precisarão prestar atenção à redução de seu escopo de serviços, uma vez que o fornecimento de veículos e infraestrutura deixarão de compor seu objeto contratual. Tal supressão de escopo deverá obrigar as empresas a se especializarem cada vez mais na gestão da operação dos serviços, e menos em seus aspectos administrativos. O resultado pode ser uma indução à mudança de perfil das empresas operadoras. Tal mudança poderá sofrer resistência em um primeiro momento, mas será potencialmente benéfica para todas as partes em longo prazo, à medida que as novas especializações resultarem em operações mais eficientes e menos onerosas para a cidade.

Por fim, o quarto modelo (item 4.2.4) segrega a implantação e operação do sistema em duas estruturas contratuais distintas, materializando a separação das funções financeiras e operacionais da operação do transporte público de passageiros. Isso oferece oportunidade para que novos atores sejam incorporados ao “ecossistema de mobilidade urbana”, tais como fundos de investimentos, empresas de distribuição de energia e entidades de natureza similar, como foi observado nos casos de Bogotá (Colômbia) e Santiago (Chile). Esses atores normalmente não participariam de um procedimento licitatório clássico, pois tendem a não possuir expertise operacional relevante. Por outro lado, a segregação transparente de atribuições viabiliza sua entrada no setor, criando uma dinâmica empresarial e induzindo cada um dos atores a uma maior especialização técnica.

Um ponto-chave a ser considerado é o acesso a linhas verdes de financiamento, tais como as Linhas Fundo Clima – Máquinas e Equipamentos Eficientes ou o Fundo Clima – Mobilidade Urbana. Em geral, os agentes financeiros oferecem resistência ao financiamento de empresas privadas com operações híbridas, isto é, que operem veículos elétricos e a diesel. Logo, a segregação contratual da compra e do financiamento de veículos elétricos oferece a vantagem de um acesso a linhas mais competitivas de crédito para a aquisição de tais veículos.

4.4 CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DE MODELOS DE NEGÓCIOS

Os critérios para a seleção do modelo de negócios para municípios em transição para a eletromobilidade devem ser analisados com atenção, considerando a possibilidade de que tal modelo venha a se tornar um dos elementos de eventual política pública voltada ao desenvolvimento da eletromobilidade municipal. Os principais critérios a serem observados seriam:

- Relevância (ou não) do ente responsável pela implantação e operação (público ou privado) em relação às variáveis financeiras do projeto, ou seja, demanda, receita tarifária, investimentos e custos operacionais;
- Minimização do esforço fiscal do ente público, ou seja, identificação de um modelo que gere o maior valor para os 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 ocorrer 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; e
- Minimização dos riscos incorridos pelo poder concedente no desenvolvimento do modelo proposto.

Conforme os critérios adotados, os resultados financeiros dependerão do perfil do ator responsável pela condução do empreendimento. Como regra, as empresas públicas devem atender aos estatutos do funcionalismo público, o que pode elevar consideravelmente os custos operacionais. 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 n.º 8.666 de 1993³. Esses princípios podem tornar os processos de aquisição de ativos, equipamentos, serviços e outros mais onerosos que aqueles realizados com mais liberdade pela iniciativa privada.

A partir destes critérios, a Tabela 13 compara os diferentes modelos, com o propósito de orientar as cidades a compreender sua aplicabilidade e nível de risco.

³ Nova Lei de Licitação, Lei federal nº 14.133/2021, foi publicada em 01.04.2021, sendo que a Lei 8666/1993 permanece em vigência até 01.04.2023.

Tabela 13 – Modelos de negócios: nomenclaturas, aplicabilidade e nível de risco

Modelo	Exemplos	Funcionamento	Vantagens	Riscos
Operação realizada integralmente pelo Poder Público, sem delegação a particulares	Universidade de Campinas Trólebus em São Paulo (CMTC)	Estruturação de uma empresa pública responsável pelo planejamento, programação, aquisição de ativos, operação e manutenção.	O poder público detém elevado grau de controle direto sobre o uso dos recursos empregados. Eventuais vantagens na estrutura tarifária do fornecimento de energia podem contribuir para a redução dos custos operacionais.	Incremento de custos de investimento e operação devido à rigidez das 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.

Modelo	Exemplos	Funcionamento	Vantagens	Riscos
<p>Concessão global</p>	<p>Contratos de concessão vigentes em São Paulo, Brasília, Curitiba e outros municípios ou regiões metropolitanas em migração para a eletromobilitade</p>	<p>Contratação de uma concessão única com o objeto de implantar, operar e manter o sistema de transporte público com veículos elétricos. A remuneração privada combina recursos recebidos ao longo da fase de implantação (aportes públicos) com recursos recebidos na fase de operação (remuneração tarifária e/ou contra-prestação pecuniária).</p>	<p>O poder público desembolsa recursos de acordo com marcos contratuais verificados (por exemplo, aquisição de veículos, sistemas e instalação).</p> <p>Os riscos de sobrecustos de implantação, gestão de interfaces e temas correlatos são atribuídos à iniciativa privada, limitando a exposição de recursos públicos no âmbito do projeto.</p>	<p>A governança pública limita-se às normas contratuais. O poder público não define quais serão os ativos adquiridos com base nos aportes. O concessionário assume a prestação do serviço por sua conta e risco. Há a possibilidade de que o custo privado de financiamento da aquisição de veículos seja mais elevado do que o custo público, afetando a TCO do Projeto.</p>

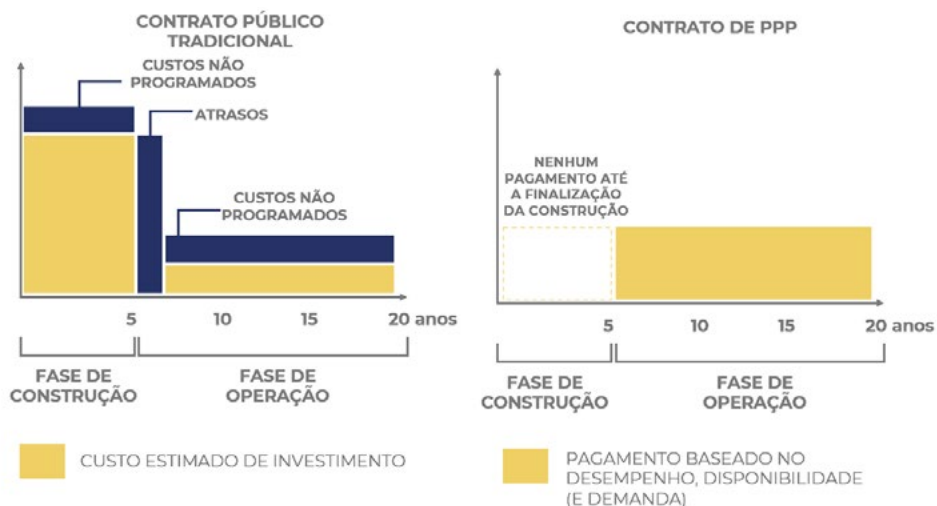
Modelo	Exemplos	Funcionamento	Vantagens	Riscos
Aquisição pública e operação privada	Município de São José dos Campos	O poder concedente adquire veículos e/ou sistemas de recarga e os cede ao operador privado na forma de bens vinculados à concessão. O operador privado é responsável por sua operação, manutenção e eventual renovação ao longo do termo contratual.	O poder público mantém controle direto sobre o uso dos recursos empregados.	<p>Necessidade de disponibilidade imediata de recursos públicos.</p> <p>A gestão de interfaces entre o fornecimento e as condições de utilização pode onerar os recursos públicos. O caso da Linha 4 do metrô de São Paulo indica que falhas em um contrato poderão resultar em elevadas penalidades para o poder público.</p>

Modelo	Exemplos	Funcionamento	Vantagens	Riscos
Contratos paralelos de longo prazo	Bogotá, Colômbia na renovação para eletromobilidade do Transmilenio, e Santiago, Chile em sua introdução à eletromobilidade	O poder concedente realiza contratações de longo prazo com base no modelo BLT [construção, arrendamento e transferência], no qual o investidor privado investe em veículos e sistemas e os aluga ao poder público (ou eventualmente ao segundo operador privado, contratado para realizar investimentos nos veículos a diesel, garagens e demais infraestruturas operacionais), 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. O caso de Metrô de Londres, por exemplo, sob gestão da LUL (<i>London Underground Limited</i>), evidenciou os riscos do modelo e as dificuldades de se gerenciar interfaces de contratos complexos, que, em última instância, recairão sobre o poder concedente.

Fonte: Elaboração própria.

A síntese dos critérios propostos estabelece o que é descrito como análise de *value for money* (VfM), explicada na Figura 28. Esta vertente analítica ajuda a estabelecer o melhor modelo de delegação de contratos para o poder público em termos financeiros. Ela explora os modelos com os menores níveis de esforço fiscal, riscos e complexidade regulatória para as cidades envolvidas no empreendimento.

Figura 29 – Visão convencional do VfM



Fonte: Elaboração própria.

A despeito dos diversos estudos e dos processos licitatórios em andamento, não havia até 2021 uma base de dados disponível que permitisse comparar os valores unitários efetivamente desembolsados pelas cidades para a aquisição direta com os custos globais contratados por meio de contratos de PPP, concessão comum ou locação de ativos.

Os custos não programados, os atrasos e os riscos assumidos pelas cidades podem gerar sobrecustos de 25% a 40% em relação ao orçamento previsto nos projetos básicos. Estes riscos são minimizados em um contrato de concessão global. Em contrapartida, deve-se ponderar que o custo de financiamento privado é, em diversos casos, superior ao custo de financiamento público. Há um risco relevante, inclusive, de operadores não possuírem condições de prestarem garantias aos financiadores para a aquisição de veículos elétricos novos.

Como segundo ponto de reflexão importante, um contrato de concessão que preveja a divisão de riscos entre as cidades e a iniciativa privada terá, como contrapartida, a necessidade de o poder concedente definir importantes garantias de cumprimento contratual.

5.

MEIOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETOS

Este capítulo indica os meios mais adequados e as ferramentas técnicas necessárias para as cidades estruturarem projetos de eletromobilidade, considerando a especificidade de cada realidade e baseando-se nas orientações iniciais de planejamento e modelos de negócio. Os principais aspectos abordados são:

- Mecanismos e instrumentos existentes de concessão de serviços públicos (e que oportunidades eles podem proporcionar para a adesão ao projeto de transição);
- Instrumentos de incentivo à indústria e capacidade técnica;
- Governança e capacidade de fornecimento de energia elétrica para alimentar o sistema de ônibus;
- Estado do sistema de transporte e infraestrutura existente, com potencial capacidade de expansão e resiliência;
- Acesso a financiamento, subsídios e capacidade de endividamento, entre outros atributos financeiros.

A finalidade adicional deste item é auxiliar os municípios a identificar e solucionar os principais problemas que, porventura possam impor obstáculos à implementação de projetos e propostas de eletromobilidade nos sistemas de transporte público. Por fim, serão examinadas maneiras de identificar e escolher o escopo e horizonte mais viáveis para a eletrificação, considerando os itens abordados anteriormente e questões de sustentabilidade social, econômica e financeira.

5.1 INSTRUMENTOS POLÍTICO-REGULATÓRIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO

As cidades vêm fazendo uso de diferentes instrumentos políticos, com grau variável de função e efetividade, em suas decisões relativas à adoção de ônibus elétricos. Estes instrumentos podem ter aspectos regulatórios, por exemplo, quando o poder público estabelece metas e padrões e monitora a qualidade do ar, normatizando atividades e aplicando multas, sanções e critérios de remuneração. A Lei do Clima (n.º 16.802, de 17 jan. 2018) de São Paulo é o caso mais significativo disto. Há também os planos diretores e/ou planos específicos de mobilidade urbana publicados por cada município. Os contratos de concessão do serviço também podem ser instrumentos reguladores: eles determinam questões técnicas e operacionais sobre como a frota será disponibilizada e como o serviço será prestado, além de destacarem questões econômicas e financeiras sobre como as empresas serão remuneradas e penalizadas caso haja descumprimento das obrigações contratuais estabelecidas.

Figura 30 – O trólebus ajuda a capital paulista a atender às metas previstas na Lei do Clima de 2018



Crédito: Folha de São Paulo (2021).

Em 2018, nova redação dada ao artigo 50 da Lei n.º 14.933/2009 (que instituiu a Lei do Clima no município de São Paulo) ofereceu diretrizes mais precisas sobre o uso de fontes motrizes de energia menos poluentes e menos geradoras de gases de efeito estufa na frota municipal de transporte coletivo urbano. A alteração resultou na Lei n.º 16.802 de janeiro de 2018, hoje uma diretriz crucial para guiar a transição da capital paulista rumo à descarbonização. As medidas determinam que, até 2038, o transporte coletivo por ônibus elimine suas emissões de dióxido de carbono (CO₂) e reduza em no mínimo 95% suas emissões de material particulado (MP) e óxidos de nitrogênio (NO_x) em relação ao ano de 2016.

Em setembro de 2019, São Paulo passou a celebrar novos contratos de operação do transporte coletivo por ônibus, prevendo mudanças em conformidade com as metas de redução de emissões propostas pela Lei do Clima. Avanços rumo à eletrificação estão acontecendo à medida que a frota de veículos a diesel também se moderniza. Dos 350 ônibus elétricos no país, 218 estão na capital paulista, e 96 em sua região metropolitana.

Para garantir a substituição foi criado o Comitê Gestor do Programa de Acompanhamento da Substituição de Frotas por Alternativas Mais Limpas (Comfrota). O programa tem cumprido um papel importante no acompanhamento da substituição dos veículos a diesel com base nas normas vigentes do Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve), sendo exemplo em escala nacional.

Um levantamento do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) comprovou os avanços. Em janeiro de 2021, 17% dos ônibus que rodavam na capital paulista eram modelos a diesel fabricados antes de 2012 (que seguem a fase P5), com sistemas menos eficazes de controle de poluentes. O percentual de veículos com este perfil caiu para 12% em agosto de 2021.

Há também instrumentos de caráter “cooperativo”, amplamente usados pelas cidades que se encontram na fase de transição. Estes instrumentos englobam uma série de medidas colaborativas entre a sociedade civil e lideranças municipais, cuja eficiência dependerá de como se combinam à política pública de eletromobilidade e do grau de sinergia entre os atores. A principal função destes instrumentos é

disponibilizar conhecimentos para persuadir as partes interessadas e engajar-se em prol da eletromobilidade.

Figura 31 – O Centro do Rio de Janeiro é região potencial para se tornar um “distrito de baixa emissão” e receber linhas de ônibus elétricos



Crédito: Pedro Bastos, ITDP Brasil (2021).

A Declaração de Ruas Verdes e Saudáveis da rede C40 é um termo de compromisso que reúne mais de cem cidades signatárias dispostas a adquirir apenas ônibus com emissão zero a partir de 2025 e garantir que pelo menos um bairro da cidade seja um distrito de baixa emissão de carbono até 2030. Este instrumento busca engajar lideranças municipais para criar uma pauta de ações efetivas de curto, médio e longo prazo. Não há medidas de controle e nem aplicação de sanções às cidades signatárias, mas sim diretrizes para o planejamento e a implementação de frotas elétricas, além de critérios para transformar as cidades em locais mais verdes, saudáveis e prósperos. O Programa Cidade pelo Clima do Rio de Janeiro nasceu a partir da adesão da capital fluminense ao compromisso.

No Brasil, o Rio de Janeiro foi a 28ª cidade a aderir à Declaração de Ruas Verdes e Saudáveis em 2019. A participação do Rio levou à criação do Programa Cidade pelo Clima (Decreto Rio n.º 46.079/2019), cujo objetivo é propor, planejar e integrar a execução de ações e projetos que visem reduzir os índices de carbono, monitorar as emissões de gases e reduzir os impactos da mudança do clima no perímetro municipal. Como produto, o Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática (PDS) materializa uma visão da cidade construída coletivamente para os próximos 30 anos, prevendo a descarbonização do transporte como meta e o Centro do Rio como “bairro neutro”.

Aspiração: a cidade estimulará o desenvolvimento urbano de baixo carbono, promovendo o uso de tecnologias limpas e eficiência energética e dinamizando a economia verde.

Metas:

- MCR3.1: “Alcançar em 2030 a redução de 20% das emissões de GEE do município em relação às emissões do ano-base 2017, não contemplando as emissões da siderurgia, e em 2050 a neutralização das emissões, por meio da implementação de estratégias de mitigação e compensação”;
- **MCR3.3: “Substituir 20% da frota do Serviço Público de Transporte de Passageiros por Ônibus por veículos não emissores, com impactos na redução da poluição do ar e em ruídos urbanos”;**
- MCR3.5: “Garantir que ao menos uma área da cidade tenha emissão zero de carbono”.

Outro instrumento com função similar é a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), que também oferece horizontes de ação aos municípios. A descarbonização da mobilidade urbana e o combate às mudanças climáticas integram, de forma transversal, todos os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), sobretudo os seguintes: ODS 5 (Igualdade de Gênero), ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima).

Race To Zero [Corrida para o Zero] é uma campanha global apoiada pela ONU que reúne lideranças municipais e atores não estatais (empresas e investidores) para apoiar a recuperação saudável e resiliente das cidades. Os municípios signatários da campanha assinam um termo de compromisso, chamado *Race to Resilience* e, em contrapartida, recebem suporte de conhecimento, são envolvidos em uma rede internacional de cidades com ônibus elétricos, conseguem negociar mais facilmente com financiadores e gozam de assistência no desenvolvimento do programa de eletrificação e supervisão das entregas previstas. Neste sentido, a campanha *Race To Zero* atua como instrumento facilitador para as cidades adquirirem recursos e se sentirem encorajadas a mudar. No Brasil, a cidade de Salvador tem recebido apoio da campanha para planejar e executar seu programa de eletromobilidade, que em 2021 ainda se encontrava em fase de testes.

Diante da escassez ou ausência de instrumentos de regulação, é recomendável que as cidades garantam que os contratos incentivem o uso de veículos elétricos, entendendo o potencial e os benefícios que eles oferecem às cidades. Os estímulos precisam ser incorporados aos editais de licitação ou à revisão dos contratos e podem ser fundamentais para a transição rumo a frotas limpas no Brasil. Em linhas gerais, os contratos devem garantir a competitividade, prever a redução ou eliminação da emissão de gases poluentes, a obrigatoriedade da incorporação de novas tecnologias com certificação de sustentabilidade e cláusulas que aprimorem a qualidade do serviço.

A Tabela 14 apresenta exemplos de boas práticas de cidades brasileiras identificados nos contratos vigentes em 13 capitais brasileiras até 2021. Estas boas práticas são recomendadas às cidades que estiverem em vias de revisar os contratos de concessão do serviço de transporte público nos territórios pelos quais são responsáveis.

Tabela 14 – Boas práticas de incentivo nos contratos brasileiros de concessão do serviço de transporte público por ônibus

<p>Ambientais</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Goiânia estabeleceu um Programa de Responsabilidade Ambiental para monitorar a meta de redução de 20% dos gases de efeito estufa emitidos em até cinco anos. • São Paulo definiu um Comitê Gestor para o Programa de Acompanhamento da Substituição de Frotas por Alternativas Mais Limpas; exigiu um relatório de emissão anual; e estabeleceu metas de redução de poluentes locais e globais em até 20 anos.
<p>Financeiras</p>	<ul style="list-style-type: none"> • São Paulo estabeleceu multas e incluiu critérios de remuneração relacionados às metas ambientais. • Fortaleza definiu multas caso a prestação do serviço não apresente inovações tecnológicas que agreguem qualidade ao sistema. • Belém, Curitiba, Porto Alegre e Recife introduziram critérios na fórmula da remuneração relacionados ao aprimoramento da qualidade do serviço ao usuário.
<p>Técnico-operacionais</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Goiânia e São Paulo decidiram 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. • Recife mencionou que a prioridade de renovação deve ser dos veículos mais velhos e que os veículos novos devem possuir selo verde. • Brasília e Goiânia destacaram a importância de locais cobertos e arejados para o abastecimento dos veículos. • São Paulo criou um programa de treinamento específico para tecnologias ou ações que levem à redução da emissão de poluentes.

Fonte: Elaboração própria, a partir de ITDP Brasil (2020a).

5.2 MECANISMOS DE GOVERNANÇA

A governança para a implementação de ônibus elétricos orientará as cidades sobre como delegar e atribuir responsabilidades entre as partes envolvidas no modelo de negócios. Ela ajudará a definir os processos para tomada de decisão, além de determinar como serão os investimentos de capital. Para tal, as cidades devem assegurar-se de que dispõem de capital humano qualificado, isto é, atores com as competências, conhecimentos e habilidades necessárias para realizar as atividades pelas quais serão responsáveis.

O conjunto destes componentes e a sinergia entre o poder público e estes atores permitirão às cidades gerir a operação da frota elétrica com excelência e consistência. A partir de um mapeamento de todas as competências, conhecimentos e habilidades exigidas para a execução das etapas do programa, as cidades terão insumos para definir os mecanismos mais adequados para fomentar e financiar o programa de eletromobilidade.

O principal ponto de discussão ao falar de governança está intrinsicamente ligada às questões de financiamento. A abordagem mais comum para investimentos de capital é a combinação de mecanismos de financiamento, como, concessões, subsídios, empréstimos para custeio de dívidas e contratos de aluguel, entre outros. Na Tabela 15, apresenta-se um comparativo de regimes comuns de financiamento para ônibus elétricos, destacando vantagens e considerações que as cidades podem levar em conta durante a implementação da governança do projeto.

Tabela 15 – Comparação de mecanismos de financiamento comuns para ônibus elétricos a bateria

Opções	Vantagens	Considerações
Custeio com recursos ou subsídios existentes	<ul style="list-style-type: none"> + Modelo comum e relativamente simples. + Os recursos não precisam ser reembolsados. + Atua como um catalisador para a transição. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto ônus inicial. - Exige um grande volume de recursos ou subsídios e, por isso, não é possível em todos os lugares. - Não leva necessariamente a uma transição da frota em grande escala.
Financiamento da dívida, inclusive por meio de empréstimos concessionais e títulos verdes	<ul style="list-style-type: none"> + Distribui os custos ao longo do tempo, permitindo menor ônus 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 envolver empréstimos de bancos de desenvolvimento nacionais e internacionais).
<i>Leasing</i> de componentes (baterias)	<ul style="list-style-type: none"> + Ao transformar alguns custos de capital em despesas operacionais, equilibra as despesas iniciais e contínuas. + Às vezes pode ser combinado a uma melhor manutenção ou substituição de componentes por parte dos fabricantes. + Permite a transição da frota em grande escala. 	<ul style="list-style-type: none"> - Envolve mais partes interessadas e responsabilidades divididas. - Atratividade do empreendimento e apetite do mercado.

Opções	Vantagens	Considerações
<i>Leasing operacional</i>	<ul style="list-style-type: none"> + Distribui o financiamento, permitindo menor concentração do ônus total em uma das partes. + Permite a transição da frota em grande escala. 	<ul style="list-style-type: none"> - Envolve mais partes interessadas e responsabilidades divididas. - Atratividade do empreendimento e apetite do mercado. - Pode aumentar em longo prazo à medida que mais partes se envolverem.
<i>Leasing financeiro</i>	<ul style="list-style-type: none"> + Distribui o financiamento, permitindo menor concentração do ônus total em uma das partes. + Pode ser uma opção muito mais robusta financeiramente. + Permite a transição da frota em grande escala. 	<ul style="list-style-type: none"> - Envolve mais partes interessadas e responsabilidades divididas. - Atratividade do empreendimento e apetite do mercado. - Pode aumentar em longo prazo à medida que mais partes se envolverem.

Fonte: Elaboração própria.

Devido aos custos iniciais mais altos dos ônibus elétricos, alguma forma de concessão ou financiamento orçamentário é necessária até que os custos atinjam mais paridade no futuro. Os itens a seguir aprofundam brevemente a análise de cada um dos regimes de financiamento listados na tabela anterior para orientar as cidades sobre qual mecanismo adotar.

Custeio com recursos ou subsídios existentes. Neste mecanismo, o operador assume os custos de capital por meio de apoio orçamentário direto ou subsídios. Compras diretas com recursos orçamentários públicos são relativamente comuns na Europa e nos Estados Unidos, onde o transporte público é gerido por entes estatais. No entanto, em regiões com recursos limitados, como pode ser o caso das cidades

brasileiras, esta opção geralmente se torna inviável. Quando as operações são terceirizadas, alguma forma de concessão de recursos ou apoio também pode ajudar a reduzir a necessidade de financiamento, visto que os governos frequentemente ajudam o setor privado a mitigar os riscos para a adoção de novas tecnologias ou inovações.

Tanto no caso do aporte direto quanto no custeio combinado com outros mecanismos de financiamento, é comum fazer uso de subsídios ou oportunidades financeiras semelhantes para a aquisição de ônibus elétricos. A compra direta com subsídios é especialmente importante (embora esteja em declínio) na China, onde os subsídios governamentais desde 2009 permitiram um crescimento exponencial dos mercados de ônibus elétricos e de novas tecnologias.

Financiamento da dívida, inclusive por meio de empréstimos concessionais e títulos verdes. Neste mecanismo, o órgão ou operador de transporte público utiliza empréstimos flexíveis para custos de capital, reembolsando o(s) credor(es) durante determinado período. Tais credores podem ser bancos de desenvolvimento nacionais e internacionais ou fundos ambientais internacionais, como o Fundo Verde do Clima [*Green Climate Fund*] ou o Fundo Global para o Meio Ambiente [*Global Environmental Facility*], cuja motivação é promover o desenvolvimento urbano e cumprir as metas de mudanças climáticas.

Empréstimos concessionais para os operadores oferecem condições de empréstimo flexíveis — como taxas de juros baixas ou cronogramas de reembolso mais longos — que representam uma alternativa financeiramente mais durável à compra definitiva.

Esse mecanismo foi usado em Curitiba (o operador comprou ônibus elétricos híbridos da Volvo com um empréstimo flexível do BNDES, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social do Brasil) e Bogotá (da mesma forma, os operadores

receberam apoio financeiro do banco colombiano Bancoldex, que recebeu apoio do Banco Interamericano de Desenvolvimento, do BNDES e da Agência Sueca de Crédito à Exportação). Uma parte dos empréstimos é destinada ao financiamento de capital, e a outra parte, ao financiamento da dívida. O montante do financiamento de capital determinará quanto das taxas de serviço do financiamento da dívida precisarão ser cobertas pelas despesas operacionais.

Esse mecanismo vem sendo cada vez mais usado à medida que mais e mais bancos de desenvolvimento trabalham com tais empréstimos e os custos de capital diminuem com a queda dos preços de baterias e infraestrutura de carregamento. TAMIL NADU, um estado no sul da Índia, está adquirindo ônibus elétricos por meio de um empréstimo do KfW (Banco Alemão de Desenvolvimento), com a maioria sendo implantada na capital, Chennai. Da mesma forma que os empréstimos concessionais e os mecanismos de subsídios, os títulos verdes são usados para reduzir restrições financeiras iniciais. Este mecanismo utiliza títulos verdes em que 95% dos rendimentos dos títulos contribuem para projetos ambientalmente benéficos — no caso, a eletrificação do transporte público. Este mecanismo inovador de financiamento já foi usado em Tianjin, na China e é cada vez mais comum na Suécia.

Leasing de componentes (baterias). Neste modelo, o operador ou a prefeitura aluga o ônibus e/ou bateria do fabricante ou fornecedor (muitas vezes com o apoio de um financiador terceiro, como um banco de desenvolvimento ou uma empresa de financiamento de nicho) para reduzir o risco financeiro inicial de um arrendamento próprio. O arranjo é denominado *leasing* de bateria. Ao separar a compra de alguns componentes (como infraestrutura) e o aluguel de outros componentes (como ônibus e/ou baterias), o custo inicial é comparável ao dos ônibus a diesel e GNV. Isso beneficia os fabricantes ao expandir o mercado de operadores de transporte interessados e capazes de custear a eletrificação dessa forma. Também beneficia os operadores, ao tornar os ônibus elétricos uma opção financeira viável tanto no início quanto durante a vida útil dos veículos.

Financiadores terceiros, como bancos de desenvolvimento, são motivados a apoiar projetos de eletrificação para atingir objetivos ambientais e sociais. Além disso, o contrato de *leasing* nem sempre é o único mecanismo financeiro — ele pode ser adotado paralelamente a subsídios ou empréstimos para reduzir ainda mais os custos iniciais. Este tipo de arranjo foi usado em Bogotá, Colômbia com a Volvo, em conjunto com um empréstimo aos operadores para a aquisição de ônibus elétricos híbridos, bem como em Park City, Utah, EUA, com a empresa Proterra.

Da mesma forma, em São Paulo, o *leasing* de bateria foi usado para adquirir 15 ônibus elétricos a bateria em 2018. Para o projeto-piloto, a BYD ajudou a financiar os veículos (com 20% de entrada e o restante em 60 meses, com taxas de mercado). A prefeitura celebrou um contrato de aluguel de bateria (R\$ 9.500,00/mês, equivalente a cerca de US\$ 1.700/mês) a ser pago em 15 anos. Desta maneira, os programas de financiamento podem não apenas ajudar a reduzir as barreiras para o financiamento da frota, mas também para o projeto-piloto inicial.

Além do benefício da redução dos custos iniciais, no caso das baterias, os acordos de *leasing* podem oferecer garantias de vida útil da bateria, garantias de desempenho da bateria e/ou substituição por baterias novas no meio da vida. A última opção é particularmente benéfica, pois, os operadores podem obter uma bateria com tecnologia mais avançada sem custos exorbitantes. Há informações relativamente limitadas sobre boas práticas de *leasing* de baterias em Bogotá e outras cidades, mas o interesse crescente por este modelo deve resultar em boas práticas nos próximos anos.

Leasing operacional. Neste modelo, uma terceira parte adquire os ativos acordados (por exemplo, ônibus) e aluga tais ativos e/ou infraestrutura para as operações. Um acordo de propriedade de serviço público pode ser uma forma de acordo de arrendamento (ou *leasing*) operacional. Cidades como Santiago, no Chile, e Portland, no estado de Oregon, nos EUA, utilizaram este modelo com empresas de serviços públicos que atuaram

como proprietários de ativos ou infraestrutura. Em Santiago, duas concessionárias distintas são proprietárias dos ônibus e os alugam aos operadores de transporte.

Diferentes variações deste modelo são cada vez mais populares. Ao separar os custos iniciais entre as várias partes interessadas, o modelo pode aliviar os desafios de alto custo de capital para o operador e fornecer diferentes benefícios às partes interessadas. Para o fabricante, isto aumenta as vendas; para o operador, acelera a eletrificação sem gerar enormes responsabilidades financeiras; para o proprietário dos ônibus/baterias (como uma concessionária de serviços públicos), gera receita adicional e cria um balanço patrimonial mais forte; e para o provedor de capital, expande sua autonomia no mercado de ônibus elétricos ao mesmo tempo que garante um retorno estável do locador.

Leasing financeiro. Há vários tipos de contratos de *leasing* financeiro, tais como locação direta, locação pós-venda e locação em confiança. O modelo é semelhante ao de um empréstimo e frequentemente envolve várias partes interessadas. Distingue-se do *leasing* de componentes (ônibus/baterias) e do *leasing* operacional ao incluir outra parte interessada com capital para o recurso de locação. Muitas vezes, a empresa de *leasing* financeiro adquire os ônibus com ou sem baterias e aluga a frota ao operador de ônibus, que paga o aluguel por um período determinado.

O contrato deve estipular que os ônibus sejam alugados com a bateria por determinado período (por exemplo, 15 anos); e que o locador deve fornecer uma troca de bateria após determinado período (sete ou oito anos), ou quando as baterias ultrapassarem certo percentual de sua capacidade inicial. O operador de ônibus paga o custo inicial e os juros dos ônibus, e a empresa de *leasing* financeiro tem receita garantida ao longo do tempo.

O exemplo mais notável de um acordo de *leasing* financeiro é o de Shenzhen na China, onde o governo municipal, a empresa de ônibus, o operador, a empresa de *leasing* financeiro e as empresas de produção de ônibus elétricos assinaram

um contrato de compra e venda de ônibus elétricos. Neste caso, a empresa de *leasing* financeiro adquiriu apenas os ônibus (não as baterias) e alugou a frota ao operador dos serviços, que passou a pagar um aluguel por prazo determinado (no caso, oito anos).

As baterias foram vendidas pela BYD ao *China Putian Information & Industry Group*, que recebeu pagamento pelos serviços da empresa de ônibus de Shenzhen. Neste cenário, o operador de ônibus tem a garantia de uma obrigação financeira lenta e longitudinal, pagando tanto o valor inicial quanto os juros dos ônibus, e a empresa de *leasing* financeiro tem rendimento garantido ao longo do tempo. Variações do mecanismo também foram usadas em Nova Iorque, EUA e em Varsóvia, Polônia.

5.3 ORIENTAÇÕES PARA A EFETIVA OPERACIONALIZAÇÃO

A transição para uma frota elétrica em larga escala depende de ações que permitam e facilitem a operação no dia a dia. Para garantir isto, é preciso coletar dados para tornar mais preditiva a operação do sistema, evitando a ocorrência de falhas, sinistros e demais irregularidades que prejudiquem a efetiva prestação do serviço.

A principal orientação que as cidades devem considerar é a necessidade de monitoramento da operação. Isto vale não apenas para a fase-piloto, mas também para quando os veículos estiverem circulando permanentemente. A operação permanente não isenta o serviço de falhas e irregularidades que impliquem a necessidade de rever o planejamento da frota, o planejamento das rotas e as especificações técnicas dos veículos. Quanto mais evidências forem coletadas, menores serão os riscos, em longo prazo, de uma transição problemática e ineficiente.

O monitoramento é fundamental para entender como os ônibus se comportarão diante do cenário local e das condições de elevação, variação topográfica e prioridade viária. À medida que a frota se expandir, será mais fácil efetivar a operação em áreas que, até então, não eram atendidas. Os dados coletados durante o monitoramento, se confiáveis e precisos, podem dispensar a execução de projetos-piloto nas futuras áreas atendidas.

Outra orientação primordial é garantir a **preservação da autonomia das baterias**. Algumas rotas podem ser mais ou menos desafiadoras quanto à autonomia (~250 km), a depender da distância em relação às garagens e à localização das infraestruturas de recarga. Isto envolve um planejamento minucioso entre otimização das rotas e carregamento dos veículos, de forma a evitar interrupções no serviço.

Esta preocupação também vale para o acesso à eletricidade em si. O aumento da frota pode interferir diretamente nas variações de carga da rede de distribuição, principalmente nos horários de pico e/ou nos meses mais quentes, quando o consumo de eletricidade também afeta o funcionamento regular da rede como um todo. **O ideal é que as cidades analisem previamente a possibilidade de comercialização da eletricidade por meio de um mercado livre para garantir que a frota seja abastecida adequadamente.** Outra orientação válida é assegurar que as infraestruturas de recarga adquiridas ou alugadas sejam compatíveis com o sistema elétrico da cidade.

Além disto, como abordado no item 1.4, uma das barreiras enfrentadas é a padronização das infraestruturas e demais componentes. A escassez de fornecedores e fabricantes favorece o aprendizado de motoristas e técnicos de operação

e manutenção. Conseqüentemente, influencia a forma como se relacionam e manipulam os equipamentos, pois, as cidades tendem a adquirir ou alugar equipamentos de um mesmo fabricante ou fornecedor. Por outro lado, a tendência é que o setor cresça e o poder de barganha das cidades e partes interessadas aumente para a aquisição e locação destas infraestruturas. O resultado previsto é que as cidades passem a economizar mais na compra destes ativos, mas que se vejam obrigadas a lidar com o ônus de manter infraestruturas com especificações distintas.

Para mitigar o desafio da padronização, foi criado o Sistema de Carga Combinada (em sua sigla em inglês CCS – *Combined Charging System*), que se baseia em padrões universais para veículos elétricos, para garantir uma interoperabilidade entre veículos e componentes de diferentes fabricantes. Mesmo com avanços de padronização no horizonte, **recomenda-se às cidades que busquem capacitação contínua para lidar com as novas tecnologias que surgirem**. Isto reduzirá a dependência de determinados fabricantes e fornecedores, ao mesmo tempo que investir na capacitação e treinamento contínuos de pessoal poderá ajudá-las a operar equipamentos de diferentes portes e especificidades.

Para motoristas, é importante ressaltar a capacitação orientada para maior aproveitamento energético das baterias. Apesar de os motores elétricos serem mais eficientes do que os motores a combustão, a aceleração inadequada pode requerer uma sobrecarga da bateria, reduzindo a autonomia e vida útil. Além disto, com um desaceleramento mais suave, a energia usada no processo de frenagem regenerativa tem maior potencial de ser revertida para recarregar a bateria, ampliando a sua autonomia.



Figura 32 – Empregar mulheres na condução dos veículos aumenta a paridade de gênero no setor de transportes e garante uma operação com menor probabilidade de sinistros e infrações

Crédito: Emol (2016)

As cidades devem incorporar metas progressivas de paridade de gênero na composição da força de trabalho responsável por operar os ônibus elétricos, principalmente na função de motoristas. Em 2021, o setor de transporte de passageiros contava com cerca de 2,2 milhões de trabalhadores, sendo apenas 17% mulheres. Além de ser uma estratégia fundamental para reverter um quadro predominantemente masculino, motoristas mulheres são proporcionalmente responsáveis por menos infrações, mortes e sinistros de trânsito .

Em Guadalajara no México, mais de metade das pessoas que conduzem ônibus elétricos são mulheres . No Chile, a licitação do Transantiago inovou ao premiar a melhor motorista entre as empresas concessionárias . O prêmio consiste em um incentivo financeiro e palestras em escolas e universidades para demonstrar a importância de uma maior inclusão de mulheres no setor de transportes. Esta é uma medida que as cidades podem (e devem) considerar para um nicho emergente, como o de ônibus elétricos, garantindo diversidade, equidade e inclusão.

As cidades também devem **garantir que a inclusão de ônibus elétricos seja acompanhada de medidas efetivas para evitar congestionamentos**. Os veículos com emissão zero resolvem, em grande medida, problemas relacionados à qualidade do ar. Por outro lado, são veículos que congestionam ruas e avenidas tanto quanto os ônibus a diesel. **A abordagem Evitar-Mudar-Melhorar deve guiar o planejamento na transição efetiva para frotas elétricas**. Não basta incorporar veículos com emissão zero ao sistema de transporte público, é preciso adaptar o sistema viário, com priorização de pedestres, ciclistas e ônibus elétricos. Esta medida tornará o sistema mais inclusivo e eficiente. Além do mais, cabe ressaltar uma justificativa técnica: quando os ônibus elétricos passam menos tempo em congestionamentos com o motor ligado, a autonomia das baterias é mais bem aproveitada. Por consequência, os ônibus podem fazer mais viagens e transportar mais pessoas, contribuindo para o melhor uso dos recursos investidos e menor impacto ambiental.

Por fim, uma última orientação é **assegurar o envolvimento da população, principalmente no planejamento das rotas**. Um transporte público de qualidade precisa ter seu foco na satisfação dos usuários. Este fator é crucial para fidelizar e atrair pessoas, principalmente as que são usuárias de outros modos de transporte que precisam ser desencorajados, como os carros. Apesar de as frotas elétricas demandarem uma rota otimizada para atender às suas necessidades operacionais, as cidades têm o dever de conciliar as demandas técnicas e as demandas dos usuários. Muitas rotas definidas a portas fechadas por tomadores de decisão não atendem satisfatoriamente ao dia a dia da população. É interessante que as cidades realizem regularmente pesquisas de opinião para identificar o perfil dos usuários das linhas e, desta maneira, adotar ajustes e melhorias que favoreçam a experiência de transporte.

6.

MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO

Este capítulo elencará os principais instrumentos para monitorar a eficiência dos ônibus elétricos que já foram utilizados em diversas regiões do Brasil, bem como em alguns países da América Latina e dos Estados Unidos. Também serão abordados os principais procedimentos para planejamento e estruturação de projetos, mobilização de financiamento, monitoramento e avaliação. Por fim, serão apresentadas recomendações adaptadas à realidade brasileira, articulando-as a resultados e análises apresentados nos itens anteriores.

6.1 FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO

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

A principal ferramenta de avaliação de ônibus elétricos são os projetos-piloto. Eles oferecem às cidades uma estimativa de como os ônibus elétricos se comportarão nos contextos locais e se serão capazes de atender às necessidades e expectativas daquela cidade ou região metropolitana, considerando seus desafios de transporte.

Neste sentido, os dados coletados durante um projeto-piloto são de extrema importância e determinarão se o desempenho observado se compara àquele esperado dos ônibus. As cidades devem planejar seus projetos-piloto para que, após a coleta de dados, possam revisar o planejamento, os modelos de negócios e a operação com base nas evidências produzidas. Também devem ser coletados dados para avaliar a tecnologia da frota existente, comparando ônibus convencionais e elétricos.

Os resultados destes projetos-piloto permitirão que as cidades façam os ajustes necessários aos contratos de aquisição, operação e manutenção dos ônibus a serem celebrados com

as empresas. O objetivo é assegurar que quaisquer alterações do sistema sejam garantidas. É também recomendável que, durante o projeto-piloto, seja investigada a percepção dos motoristas e passageiros em relação ao desempenho dos ônibus. Alguns indicadores são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Indicadores de avaliação de projetos-piloto com ônibus elétricos

<p>Dados gerais</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Características do veículo (por exemplo, modelo, peso, dimensões, capacidade da bateria etc.). • Condições climáticas da cidade ou local do teste. • Percepção qualitativa da satisfação de usuários e motoristas. <ul style="list-style-type: none"> - Iluminação interna. - Limpeza. - Ventilação e temperatura. - Visibilidade pela janela. - Disponibilidade de lugares para viajar. - Lotação/quantidade de passageiros. - Conforto dos assentos. - Nível de ruído interno. - Nível de vibração interna. - Estado de conservação. - Locais de embarque e desembarque. - Trabalho dos motoristas (para usuários). - Satisfação geral com a experiência.
<p>Dados de custos</p>	<p>Custos de capital</p> <ul style="list-style-type: none"> • Veículo. • Infraestruturas de recarga. <p>Custos de operação</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tarifa de energia elétrica. • Manutenção de ônibus. • Manutenção de infraestrutura.

Dados operacionais	<ul style="list-style-type: none"> • Condições topográficas. • Extensão percorrida com prioridade viária no trajeto planejado. • Número de pontos de embarque e desembarque. • Quilometragem diária percorrida por veículo. • Percurso médio diário. • Velocidade média por viagem. • Disponibilidade do veículo. • Consumo energético por viagem. • Passageiros transportados por viagem. • Índice de passageiros por km.
Dados de recarga	<ul style="list-style-type: none"> • Estado de carga por veículo (SoC). • Tempo médio gasto de recarga por veículo. • Custos com energia.
Dados de manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Motivo e duração das paradas para manutenção. • Quilometragem média entre falhas. • Índice de falhas por mês. • Percepção qualitativa dos desafios de manutenção e satisfação dos profissionais responsáveis por esta função.
Dados sobre benefícios ambientais	<ul style="list-style-type: none"> • Economia de energia. • Emissão evitada de gases de efeito estufa. • Emissão evitada de poluentes locais.

Fonte: Elaboração própria, com base nas atividades realizadas no âmbito do *Tumi E-bus Mission* e ITDP (2021).

Além dos projetos-piloto que podem ser elaborados por cada cidade à sua maneira, há ferramentas gratuitas que apoiam a simulação, avaliação e monitoramento de cenários. Ao planejar rotas novas ou ajustadas, os operadores do sistema devem monitorar os dados operacionais de rotas diferentes. Em cidades dos EUA, os projetos-piloto em King County no estado de Washington, e Albuquerque no Novo México enfrentaram desafios com o esgotamento da bateria devido ao clima e topografia (muito frio e montanhoso no primeiro caso, e muito quente no segundo). A observação destes dados nas fases iniciais (ou mesmo maduras) das frotas de ônibus elétricos pode ajudar a modelar os esforços, bem como outras formas de análise que possam ajustar o comportamento do operador, os requisitos da rota e

o planejamento do sistema. No Anexo 1 são elencadas as principais estratégias e ferramentas de avaliação e monitoramento disponíveis.

6.2 LIÇÕES APRENDIDAS

A incorporação de uma nova tecnologia, como a de ônibus elétricos, depende de uma série de fatores, desde a existência de instrumentos e arranjos normativos e regulatórios até a disponibilidade de recursos financeiros. Quando a transição é planejada para ocorrer em escala, a compreensão e consideração das oportunidades e condições locais ajudam o processo a avançar mais rapidamente. Compreender as forças motrizes internas e externas que afetam a oferta e demanda de ônibus elétricos e seus componentes também influencia a tomada de decisões.

Independentemente das ferramentas adotadas e/ou do estágio da transição, é importante ressaltar que as cidades que aderiram à eletromobilidade ainda estão aprendendo a lidar com os desafios de operar uma tecnologia que, até pouco tempo atrás, era incomum nos sistemas de transporte público.

Diante deste processo de aprendizado, há lições gerais compartilhadas em escala nacional e internacional que já se tornaram recomendações para as cidades em vias de implementar frotas elétricas. As lições listadas a seguir são transversais e sintetizam alguns dos temas apresentados ao longo deste caderno técnico.

6.2.1 Projetos-piloto

As cidades que realizaram projetos-piloto conseguiram identificar o nível de capacitação de seu corpo técnico e os principais gargalos para operar frotas elétricas adequadamente na prática. Com estes dados em mãos, planejar a implementação efetiva de um sistema de ônibus elétricos ficou menos desafiador. Além de otimizar os recursos, os projetos-piloto permitem experimentar a autonomia das baterias e a resistência dos veículos ao trafegar em condições locais realistas.

Ademais, constituem uma etapa de grande valia para as cidades testarem a qualidade da produção de diferentes fabricantes e, desta forma, identificarem as especificações técnicas mais apropriadas para suas condições urbanas locais. É recomendável que os projetos-piloto sejam monitorados sistematicamente por indicadores e métricas roteirizados (conforme as recomendações práticas no início deste capítulo).

6.2.2 Modelos de negócios

O compartilhamento dos riscos ajuda a superar os altos custos iniciais de aquisição de ônibus elétricos, garantindo que os veículos permaneçam acessíveis para todas as partes envolvidas — especialmente os usuários. Além disto, o modelo de separação dos contratos de provisão de ativos (veículos, infraestruturas de recarga, terrenos, entre outros) e operação facilitam a participação de novos atores com maior capacidade financeira para “encabeçar” o projeto, por meio de programas de financiamento e crédito mais robustos para viabilizar a eletrificação em escala.

As cidades também devem ter em mente que quem financiar e adquirir a frota e as infraestruturas deve ser remunerado separadamente por cada um dos componentes de investimento. Isto ajuda a reduzir o risco de o operador não recuperar o investimento realizado no negócio e permite utilizar economias de Capex para cobrir despesas de Opex.

6.2.3 Prazos e cronogramas

As cidades podem estabelecer expectativas claras com todos os atores envolvidos e elaborar cronogramas realistas. A etapa de diagnóstico (“A cidade está apta a receber ônibus elétricos?”) colabora tanto para definir o melhor modelo de negócios quanto para identificar eventuais limitações e oportunidades de financiamento logo no início do projeto (como capacidade de planejamento e apoio político).

As cidades que já aderiram à eletromobilidade aprenderam que cronogramas conservadores para cada etapa do processo de planejamento são fundamentais para não frustrar as

expectativas e, assim, permitir uma transição gradual, mas eficaz. Isto pode ajudar a evitar que recursos financeiros ou humanos sejam mal utilizados.

A duração dos contratos deve ser definida de forma a viabilizar a qualidade contínua do serviço, manter a previsibilidade dos investimentos e garantir a competitividade do processo licitatório. E a duração do contrato influencia uma maior ou menor flexibilidade para viabilizar alterações no setor de transportes por ônibus em resposta a novas exigências ambientais e tecnológicas, ou a mudanças estruturais nos padrões de mobilidade urbana. Ademais, afeta consideravelmente a disposição dos operadores de investir mais ou menos no serviço.

Assim, o tempo de provisão ou posse de veículos convencionais e elétricos precisa ser diferente em termos contratuais. Recomenda-se que a duração do contrato seja de até 15 anos para ônibus elétricos e até dez anos para outras tecnologias veiculares. Neste último caso, estipular prazos de operação inferiores a dez anos facilita a garantia de incorporação de atualizações tecnológicas e de maior competitividade.

Apesar de oferecerem maior segurança aos operadores, prazos longos também podem estimular o domínio de mercado por poucas empresas, em detrimento de melhorias para os usuários. Já os contratos mais curtos promovem uma maior concorrência no setor. Por outro lado, precisam ter custos de investimento adequados e podem demandar mais ações de gestão do poder público. Logo, a definição da duração do contrato exige um equilíbrio entre os condicionantes específicos de cada cidade.

6.2.4 Portfólio variado de receitas

Na maior parte dos contratos de concessão vigentes em cidades brasileiras, a remuneração é de natureza prioritária ou exclusivamente tarifária. Isto significa que quanto mais passageiros a cidade atrair, maiores serão os recursos

disponíveis para oferecer um serviço de qualidade e garantir sua remuneração. Contudo, é de suma importância que haja outras fontes de arrecadação. Oscilações de demanda ou crises sanitárias ameaçam a remuneração por meio de tarifas.

Conforme demonstram os Capítulos 2 e 3, as fontes adicionais podem ser subsídios governamentais; exploração comercial e/ou publicitária em pontos de ônibus, estações e terminais; incentivos de tributação; instrumentos de planejamento urbano que visem à captura de valorização imobiliária; ou medidas de GdM, como a precificação do congestionamento. As possibilidades são muitas e com graus variados de dificuldade de implementação. O que as cidades aprenderam é que, com criatividade e vontade política, é possível mudar não apenas o sistema de transporte público, mas também diversos outros aspectos da vida urbana, promovendo assim um planejamento urbano integrado e equitativo.

6.2.5 Políticas de incentivo

As cidades podem acelerar este processo com políticas e estratégias de incentivo articuladas — como é o caso do Chile e do México. Adicionalmente, a política deve ser alinhada a pautas ambientais e sanitárias, além de considerar interseccionalidades de gênero, raça e renda.

Como vimos, o modelo de negócios deve ser capaz de viabilizar a tecnologia em longo prazo, mesmo com custo inicial mais alto. Para que isto possa ocorrer, são necessários o engajamento e um alinhamento de diversos atores (governos, operadores, financiadores, fabricantes e fornecedores de tecnologia), para que a mudança seja benéfica e tenha riscos administráveis para cada um deles.

A melhoria da concorrência no mercado e dos processos de concessão pode promover a implantação de ônibus limpos. Cidades como Santiago (Chile) e Shenzhen (China) têm, por exemplo, incentivado a participação de terceiros,

como empresas de locação de veículos e energia, para compartilhar os encargos e riscos financeiros e expandir as possibilidades.

As fontes de receitas também envolvem outros atores. A cobrança de pedágio de veículos particulares, juntamente a outras medidas de GdM, podem ser usadas para financiar o sistema. Estes recursos devem ser administrados por uma entidade externa às concessionárias de fornecimento ou às empresas responsáveis pela operação de frota.

Garantir a competitividade e a concorrência nos contratos por meio da ausência de exigências de posse de garagem por parte das empresas concorrentes também permite a entrada e a participação de outras partes no processo, viabilizando o envolvimento de atores e fabricantes capazes de aquecer o mercado de veículos elétricos e seus componentes no país.

6.2.6 Fidelizam os usuários e ressignificam a imagem do transporte público

O transporte público por ônibus é historicamente estigmatizado por uma série de fatores culturais que desafiam as cidades engajadas em impulsionar frotas elétricas e dificultam a atração de novos usuários para garantir o equilíbrio financeiro do sistema. Neste sentido, uma das principais lições aprendidas pelas cidades que, em maior ou menor grau, enfrentaram desafios financeiros e sociais no transporte público (e que vêm conseguindo realizar a migração modal para o ônibus) são os fatores **“qualidade”** e **“inovação”**.

A **“qualidade”** do serviço (como sinônimo de conforto, confiabilidade e cobertura) é essencial para atrair a atenção do público-alvo mais propenso a optar pelo transporte individual em vez do ônibus. Se os ônibus circularem em vias segregadas, a probabilidade de reduzir o tempo de viagem confere ainda mais vantagens ao transporte público.

A **"inovação"** também tem se mostrado indiscutivelmente uma vantagem competitiva dos ônibus elétricos. Usuários e não usuários ficam curiosos para conhecerem a nova tecnologia e experimentá-la. Se as cidades souberem implementar planos de comunicação que informem a população, de forma eficiente, porque os ônibus elétricos são diferentes (além de seu maior conforto e qualidade, isto é, divulgando seus reais benefícios para a saúde e o meio ambiente), o engajamento da população poderá ser potencialmente maior, abrindo oportunidades para ressignificar a imagem do transporte público.

6.2.7 Capacitação regular

Programas de capacitação técnica devem ser atividades regulares e obrigatórias presentes nos modelos de negócios estipulados. Eles devem engajar gestores e operadores para garantir a eficiência no uso, no monitoramento e na fiscalização do sistema.

Os ônibus elétricos e seus componentes apresentam características de operação e manutenção específicas de acordo com cada fornecedor. Além disto, as condições climáticas e topográficas e o modo como os veículos são conduzidos (a depender da velocidade média) influenciam drasticamente o desempenho das baterias.

Os treinamentos devem sempre considerar a incorporação e o conhecimento de novas tecnologias para aprimorar o serviço e a eficiência energética. As capacitações e treinamentos também devem especificar a interação entre a equipe, os operadores e os parceiros, bem como o gerenciamento de novos equipamentos e tecnologias específicas.

Para os motoristas, por exemplo, é preciso considerar a distância máxima de rodagem em suas rotas a partir do nível da bateria, considerando o tempo de retorno à infraestrutura de recarga. Eles também precisam ser instruídos sobre

como prolongar a vida útil da bateria, conduzindo o veículo da melhor maneira possível. A frenagem regenerativa, um dos atributos de desempenho dos veículos elétricos, consegue aumentar a capacidade e a autonomia da bateria em até 20%. Contudo, é preciso saber operá-la adequadamente. Por isto, a capacitação tem se mostrado um elemento-chave para preservar a longevidade destes ativos.

6.2.8 Flexibilidade para implementar ônibus elétricos

As cidades médias brasileiras têm apresentado mais sucesso e facilidade para implementar ônibus elétricos quando comparadas aos grandes centros. Embora os ônibus elétricos sejam essenciais para mitigar problemas de acessibilidade e as mudanças climáticas nos grandes centros urbanos, onde estes desafios são maiores, a complexidade do planejamento e da escalabilidade são fatores que não afetam da mesma maneira as cidades médias. O alto custo de aquisição de ônibus elétricos acaba sendo compensado pela não necessidade de operar uma frota em grande escala. Em casos ideais, isto permite às prefeituras uma tomada de decisão mais ágil, abrindo oportunidades para que a revolução dos ônibus elétricos ganhe força a partir de locais onde, geralmente, inovações tecnológicas tendem a ser incorporadas posteriormente às capitais ou grandes cidades.

7.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cidades precisam aderir à eletromobilidade, e isto deve ocorrer a partir do transporte público por ônibus. A adoção em escala de uma tecnologia limpa e com potencial comprovado de se tornar financeiramente sustentável em médio e longo prazo é mais que necessária para reverter a situação econômica dos sistemas, que dependem quase exclusivamente das tarifas pagas pelos usuários e enfrentam desafios para se adaptarem às flutuações da demanda.

Além disso, o cenário de recuperação gradual pós-covid-19 também precisa, obrigatoriamente, oferecer soluções integradas para a melhoria da qualidade do ar e a preservação da saúde da população. A eletromobilidade é a oportunidade que as lideranças municipais possuem para oferecer um desenvolvimento urbano mais sustentável, saudável e inclusivo no futuro, com impactos efetivos e imediatos. Ademais, as cidades têm um papel crucial na intensificação de uma transição mais eficaz da matriz energética brasileira.

Algumas barreiras ainda desencorajam as cidades a aderirem à transição para a eletromobilidade no transporte público (inclusive questões tecnológicas de mercado, financeiras e regulatórias). Este Caderno Técnico de Referência visa contribuir para iluminar os caminhos pragmáticos que as cidades devem seguir para tornar a eletromobilidade uma possibilidade financeira e tecnicamente viável, socialmente responsável e ambientalmente adequada.

Ao longo dos capítulos foram apresentadas as principais estratégias e ferramentas usadas por cidades pioneiras (do Brasil e do mundo) que adotaram ônibus elétricos com sucesso. Promover a substituição da frota ainda não é uma tarefa simples. Para cada cidade, diferentes soluções precisarão ser pensadas e testadas conforme sua realidade geográfica, institucional, financeira e cultural.

As lições aprendidas demonstram que para atingir objetivos mais ambiciosos de descarbonização da frota serão necessárias ações em curto, médio e longo prazos, envolvendo todas as partes interessadas. Em especial, é fundamental que sejam adotadas medidas integradas e coordenadas

nos três níveis de governo (federal, estadual e municipal), e que tais medidas sejam articuladas com órgãos de fomento e financiamento, operadores e outros potenciais novos atores do mercado.

Diante destes desafios, a revisão da regulamentação desempenha um papel decisivo, capaz de influenciar a transição para ônibus elétricos no Brasil. Portanto, deve ser estruturada uma política para o segmento, com definição de regras específicas que estabeleçam incentivos financeiros, regulatórios, ambientais e operacionais. Os modelos de negócios são o primeiro passo. Eles precisam ser concebidos com o propósito de garantir flexibilidade, estabilidade, sustentabilidade e, principalmente, a continuidade do serviço.

O uso de ônibus elétricos não pode se restringir aos projetos-piloto. A adoção destes veículos deve evoluir em escala, ampliando a cobertura com foco no público-alvo e nos territórios mais vulneráveis. Para que isto seja possível, a elaboração de cenários, com metas claras e realistas (mas também arrojadas), precisa estar na ordem do dia.

Alguns instrumentos políticos, como a Declaração de Ruas Verdes e Saudáveis da rede C40 *Cities*, ilustram as metas assumidas pelas cidades em vias de transição. A Lei do Clima de São Paulo também é um ótimo exemplo de como as cidades podem se inspirar e se engajar para eliminar, em um horizonte de até 20 anos, os níveis de gases poluentes locais. Estes gases são os mais nocivos para a saúde humana, e a adoção de ônibus elétricos é a solução mais promissora e viável para mitigá-los.

Por fim, recomenda-se que sejam ampliadas e fortalecidas a troca de experiências e a colaboração entre as cidades. A maioria dos municípios que assumiram o compromisso ainda está aprendendo como realizar a transição da melhor maneira possível. A gestão compartilhada e transparente da informação, facilitada, em muitos casos por organizações da sociedade civil, auxiliará de forma relevante e impactante no planejamento e implementação efetiva do projeto de eletromobilidade de sua cidade.

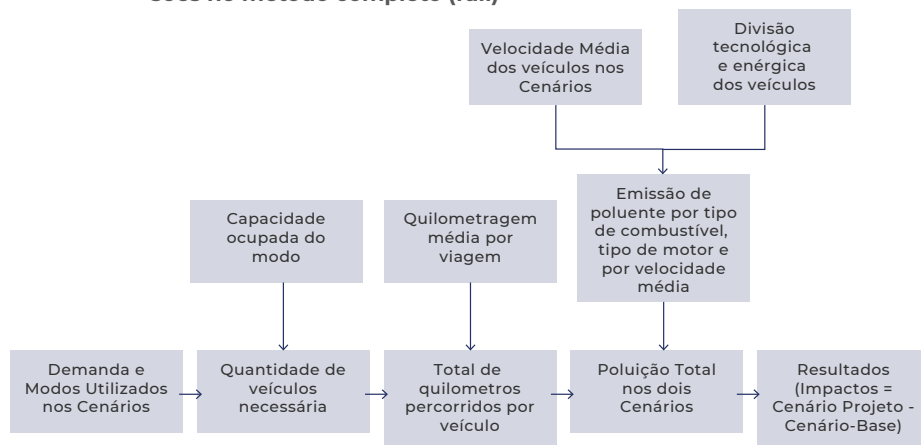
ANEXO 1: EXEMPLOS DE FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO

1. *Transport Emissions Evaluation Models for Projects (TEEMP)*

Desenvolvida pela *Clean Air Initiative for Asian Cities* e pelo ITDP, avalia o impacto de novos corredores de BRT a serem implementados ou em operação, em termos de emissões de gases de efeito estufa e de poluentes locais, considerando as diferentes tecnologias veiculares existentes e incluindo ônibus elétricos na frota.

Como funciona? O modelo TEEMP calcula o total de emissões evitadas com a implementação de um novo corredor de BRT. Para tal, são comparadas as emissões de um cenário-base, sem a implementação do projeto em questão, com as do cenário pós-projeto. O modelo TEEMP oferece tanto uma alternativa simples (método atalho, ou *shortcut*) quanto uma completa (método completo, ou *full*), conforme apresenta a Figura 32.

Figura 33– Fluxograma das etapas para cálculo de emissões no método completo (*full*)



Fonte: ITDP (2022).

Os impactos diretos da aplicação do TEEMP em ambas as alternativas resultam dos seguintes fatores:

- Transição modal resultante da implementação do projeto;
- Redução da quilometragem percorrida pela reorganização de linhas;
- Eficiência energética por meio da operação otimizada e do uso de combustíveis menos poluentes (em termos de poluentes locais);
- Veículos mais eficientes, em termos de gramas de CO₂ por passageiro por quilômetro, dada a frota renovada ou a maior capacidade do veículo;
- Estímulo a um desenvolvimento mais compacto a partir de eventuais alterações no uso do solo, o que diminui a dependência de automóveis privados, induz a transição modal e diminui as distâncias percorridas em cada deslocamento. Isto é considerado um impacto indireto secundário, porque depende da existência de políticas específicas.

Orientações: Para ser parametrizado em função da realidade tecnológica e energética local do Brasil, é recomendável complementar o preenchimento da planilha com:

- Dados atualizados do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários do Ministério de Meio Ambiente;
- Dados fornecidos pelo órgão gestor ou operador do transporte público na localidade estudada;
- Dados obtidos através da pesquisa de campo.

Particularidades: Disponível apenas na língua inglesa, com última atualização em 2015.

Como acessar? Arquivo Excel para download e preenchimento em: <https://www.itdp.org/2012/08/06/transport-emissions-evaluation-model-for-projects-teemp-brt/>.

2. PlanFrota: ferramenta para transporte limpo

Desenvolvida pelo IEMA com apoio do Instituto Clima e Sociedade (ICS) e parceria da SPTrans, a ferramenta permite a simulação de cenários que ilustram as emissões de dióxido de carbono (CO₂), material particulado (MP) e óxidos de nitrogênio (NO_x) — gases poluentes locais que são prejudiciais à saúde — em diferentes configurações tecnológicas de frotas de ônibus em uma rede de transporte.

Como funciona? O usuário escolhe o perfil da frota de ônibus para cálculo das emissões especificando tecnologia, combustível, uso de ar-condicionado e porte de cada veículo, considerando os anos de 2019 a 2038. Como cada tecnologia empregada nos ônibus e cada combustível emite diferentes poluentes de maneira mais ou menos intensa, a ferramenta avalia o impacto do uso de cada um deles nas emissões da cidade.

A ferramenta está sendo usada por operadores de ônibus para planejar a renovação da frota da cidade de São Paulo, conforme as metas de redução gradual previstas na Lei do Clima (16.802/2018). Além disso, a PlanFrota pode ser utilizada pela sociedade civil para acompanhar o processo de adoção de ônibus limpos e propor estratégias e soluções que respondam a este desafio.

Figura 34 – Interface da ferramenta

PORTE	FASE	COMBUSTÍVEL	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	
			l/lua para Diesel	m ³ /km para GNV
Motociclos	Euro III	Diesel	0,300	0,350
Motociclos	Euro III	Diesel	0,420	0,470
Motociclos	Euro III	Diesel	0,480	0,530
Motociclos	Euro III	Diesel	0,550	0,600
Motociclos (25ml)	Euro III	Diesel	0,710	0,800
Motociclos	Euro III	Diesel	0,900	0,900
Motociclos	Euro V	Diesel	0,300	0,350
Motociclos	Euro V	Diesel	0,400	0,470
Motociclos	Euro V	Diesel	0,460	0,530
Motociclos	Euro V	Diesel	0,550	0,630
Articulado (23ml)	Euro V	Diesel	0,750	0,800
Articulado (23ml)	Euro V	Diesel	0,750	0,800
Articulado	Euro V	Diesel	0,800	0,900
Motociclos	Euro VI	Diesel	0,400	0,350
Motociclos	Euro VI	Diesel	0,460	0,350
Motociclos	Euro VI	Diesel	0,550	0,630
Articulado (23ml)	Euro VI	Diesel	0,750	0,800
Articulado (23ml)	Euro VI	Diesel	0,750	0,800
Motociclos	Euro VI	Diesel	0,820	0,920
Motociclos	Euro VI	Diesel	0,530	0,441
Motociclos	GNV	GNV	0,579	0,582
Motociclos	GNV	GNV	0,693	0,668
Motociclos	GNV	GNV	0,991	0,794
Articulado (23ml)	GNV	GNV	0,954	1,006
Articulado (23ml)	GNV	GNV	0,945	1,071
Articulado (23ml)	GNV	GNV	1,008	1,134
Motociclos	Hibrido Euro V	Diesel	0,240	0,280
Motociclos	Hibrido Euro V	Diesel	0,200	0,376
Motociclos	Hibrido Euro V	Diesel	0,368	0,424
Motociclos	Hibrido Euro V	Diesel	0,440	0,504
Motociclos	Hibrido Euro V	Diesel	0,588	0,660

PORTE	POLUENTE	FACTOR DE EMISSÃO DO COMBUSTÍVEL			
		Diesel	GNV	GNV	GNV
Motociclos	MP	0,388	0,052	0,026	0,0005
Motociclos	MP	0,388	0,052	0,026	0,0005
Motociclos	MP	0,388	0,052	0,026	0,0005
Motociclos	MP	0,388	0,052	0,026	0,0005
Motociclos	MP	0,388	0,052	0,026	0,0005
Articulado (23ml)	MP	0,388	0,052	0,026	0,0005
Articulado (23ml)	MP	0,388	0,052	0,026	0,0005
Motociclos	MP	0,388	0,052	0,026	0,0005
Motociclos	NOx	20,982	6,575	1,112	0,179
Motociclos	NOx	20,982	6,575	1,112	0,179
Motociclos	NOx	20,982	6,575	1,112	0,179
Motociclos	NOx	20,982	6,575	1,112	0,179

DESCRIÇÃO:
 Fator de emissão por fase.
 Para o cálculo dos fatores de emissões GNV, utilize-se a seguinte fórmula:

$$g_{poluente} = \frac{g_{poluente}}{AVT_{motor}} \cdot \left[1 + \frac{g_{CO_2}}{g_{CO_2}} \cdot \left(\frac{g_{CO_2}}{g_{CO_2}} \right) \cdot \frac{m^3_{CO_2}}{kg_{carv}} \right]$$

sendo:

- [1] Emissão de poluente por trabalho realizado pelo motor GNV (R/C/P - (BAAW/CET38) = 0,0001 LMP/MWh ou 0,038 g/KWh/MWh)
- [2] Emissão de CO₂ por trabalho realizado pelo motor GNV (BAAW/CET38) = 0,0001 LMP/MWh ou 0,038 g/KWh/MWh
- [3] Fator de emissão de CO₂ para o GNV = 1899,0 (CO₂) / (Inventário Rodoviário/AMAU)
- [4] Volume específico do GNV (balanço Energético Nacional 2019/MAN) = 110,76 (m³/kg)

FONTES:
 Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, Ministério do Meio Ambiente, 2011, p. 35, tabela 8

COMBUSTÍVEL	DESCRIÇÃO DO COMBUSTÍVEL	FACTOR DE EMISSÃO DE CO ₂	FACTOR DE EMISSÃO DE CO ₂
	kg/l para Diesel	kgCO ₂ /l-combustível para Diesel	kgCO ₂ /m ³ -combustível para GNV
Diesel		0,840	2,071
GNV		0,740	1,993

DESCRIÇÃO:
 Descrição dos combustíveis e fatores de emissão para CO₂.

FONTES:
 Fator de emissão para ônibus diesel
 Edital de Licitação (SP/Trans, 2018)
 Anexo V - *Resúmenes Técnicos dos Veículos, Infraestruturas Rodovias de Guangxi e Hubei*
 Ambiente
 3.1.10 Metodologia para Cálculo das Emissões de Poluentes
 Fator de emissão para ônibus GNV
 1^o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, Ministério do Meio Ambiente, 2011, p. 35, tabela 8

Demanda dos combustíveis:
 Balanço Energético Nacional 2019 – Ano base 2018, Ministério de Minas e Energia.

Fonte: IEMA (2022).

Particularidades: Os resultados são baseados nos fatores de emissão da cidade de São Paulo e nos fatores de consumo para ônibus diesel por porte de veículos operados pela SP-Trans. A replicação para outros municípios exige adaptações na entrada de dados parametrizados.

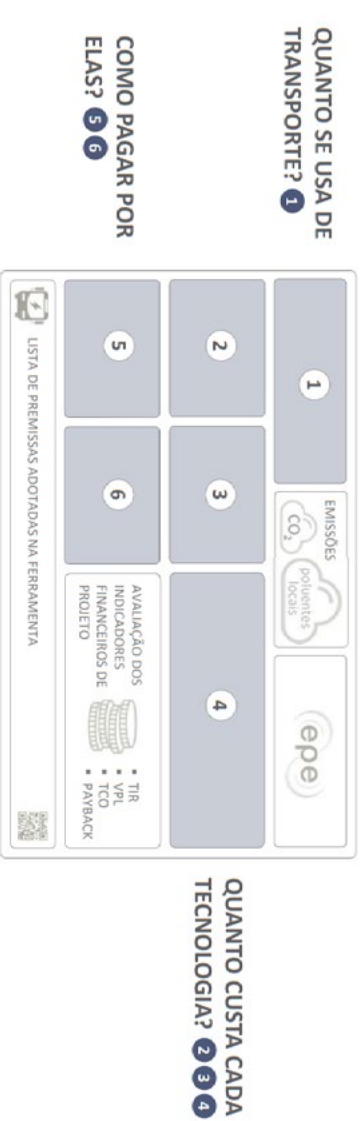
Como acessar? Arquivo Excel para *download* e preenchimento em: http://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2020/02/20200602_planfrotanosite.xlsx.

3. Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico

Desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), permite fazer uma avaliação técnico-econômica dos ônibus elétricos. Os principais dados gerados pelo simulador são a taxa interna de retorno, o custo total de propriedade (TCO), o valor presente líquido (VPL) e o tempo de retorno do investimento (*payback*).

Como funciona? A ferramenta exige a inserção de dados sobre a distância média percorrida e os dias de operação de ônibus por ano; o número de ônibus elétricos que a cidade deseja incorporar à frota; o preço do diesel; a distribuidora de energia elétrica; o custo de aquisição de um ônibus a diesel; e o custo de capital próprio (isto é, quanto a cidade espera de retorno nos seus investimentos).

Figura 35 – Interface da plataforma com agrupação temática de entrada de dados pelo usuário



Fonte: EPE (2022).

Particularidades: A lista de premissas adotadas na ferramenta pode apresentar variáveis que exigem atenção na hora do preenchimento. Por exemplo, a vida útil dos ônibus é considerada de 5 anos para modelos a diesel e 10 anos para o elétrico (o valor presente da tecnologia em 2022 estima vida útil de 15 anos). Outro exemplo é o preço do litro de diesel, cuja referência por estados data de janeiro de 2019.

Como acessar? Arquivo Excel para *download*, ou preenchimento on-line em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/simulador-para-avaliacao-de-viabilidade-de-onibus-eletrico>.

4. ImpactAr

Desenvolvida pelo WRI Brasil com apoio da *Children's Investment Fund Foundation* (CIFF), avalia os impactos na saúde em função da qualidade do ar e calcula os custos monetários associados a mudanças nos níveis de emissões das frotas. Oferece apoio à tomada de decisão para que as cidades mensurem mudanças na quantidade de hospitalizações e óbitos e nos custos financeiros e de bem-estar vinculados a alterações nos níveis de poluição atmosférica urbana.

Como funciona? A ferramenta é alimentada com informações sobre as frotas atual e projetada e fornece variações anuais nas emissões e níveis de concentração de material particulado (MP). Com estes dados, avalia o número de pessoas e casos epidemiológicos gerais de doenças cardiovasculares e respiratórias (fatais e não fatais) passíveis de risco em uma cidade e, por fim, calcula os seus custos.

Figura 36 – Interface da ferramenta

FLEET INPUTS


Step 1: Choose your city

City
Belo Horizonte

Step 2: Do you have information regarding your current and projected fleet of buses?

YES → go to step 3 NO → just press here

Step 3: Fill in the data regarding your current and your projected fleet

 **BUS FLEET**

CURRENT FLEET - SCENARIO 0			
Type of bus	Technology	Number of buses	Average annual traveled distance per bus (km)
Bus 1	Euro III		
Bus 2	Euro V		
Bus 3	Trolleybus		
Bus 4	Euro VI		
Bus 5	Euro V		
Total fleet		0	

PROJECTED FLEET - SCENARIO 1			
Type of bus	Technology	Number of buses	Average annual traveled distance per bus (km)
Bus 1	Euro II		
Bus 2	Euro V		
Bus 3	Trolleybus		
Bus 4	Electric		
Bus 5	Euro VI		
Total fleet		0	

Additional Step: Note, you should only fill these cells if you haven't filled the data required in Step 3, otherwise, keep the annual values of the table "Current Fleet" as "0".

Fonte: WRI (2022).

Particularidades: A ferramenta está disponível apenas para São Paulo, Belo Horizonte, Rio de Janeiro e Niterói, mas oferece um manual de replicação para outros municípios. Atualizada em 2022.

Como acessar? Arquivos Excel e nota técnica em inglês para *download* e preenchimento em: <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes/impactar-ferramenta-valoracao-impactos-qualidade-do-ar-saude-onibus-eletricos>.

5. Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use (Greet)

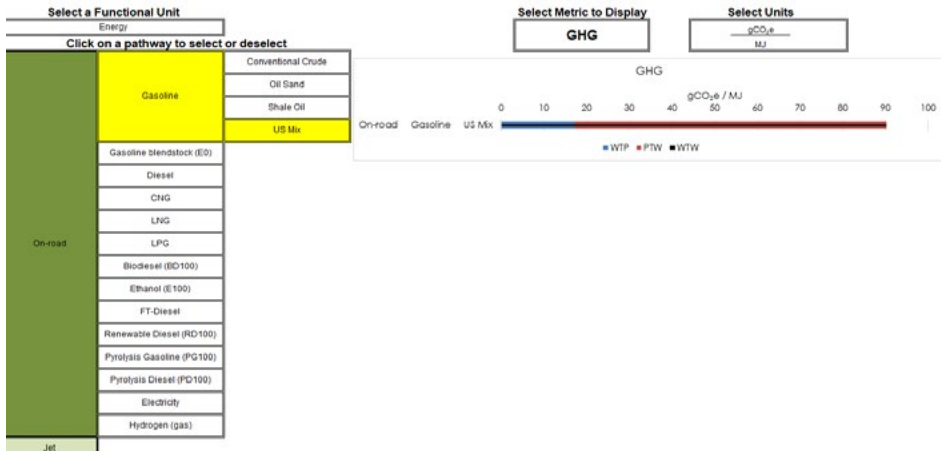
Desenvolvida pelo Laboratório Nacional Argonne da Universidade de Chicago, nos Estados Unidos, em parceria com o Gabinete Científico do Ministério de Energia dos EUA, a plataforma permite calcular o consumo total de energia de um veículo elétrico ou híbrido conforme o uso de fontes

renováveis ou não renováveis de seu motor. Além disso, pode modelar uma ampla gama de veículos, inclusive veículos híbridos, elétricos a bateria e a combustão interna.

Como funciona? A plataforma é composta por um conjunto de calculadoras com diferentes finalidades. Para o caso de veículos elétricos, destacam-se duas:

- Calculadora Greet WTW [*well-to-wheel*, ou do poço à roda]: descreve o uso de energia, as emissões de gases de efeito estufa, o consumo de água e as emissões de poluentes atmosféricos de diferentes tecnologias de veículos, usando análises WtW.
- Ferramenta Afleet [*Alternative Fuel Life-Cycle Environmental and Economic Transportation Tool*]: foi desenvolvida para estimar o uso de petróleo, as emissões de gases de efeito estufa, as emissões de poluentes atmosféricos e os custos de propriedade de veículos leves e pesados.

Figura 37 – Interface da ferramenta



Fonte: GREET (2022).

Particularidades: Disponível em inglês. Só pode ser usada no sistema operacional Windows com o Microsoft .Net Framework 4.5 instalado.

Como acessar? Software para download em: <https://greet.es.anl.gov/>.

6. E-Bus Radar

Desenvolvida pelo Laboratório de Mobilidade Sustentável (LABMOB) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em parceria com a rede C40, o ICCT e o IEMA, e apoio do iCS, monitora e promove a transparência de dados sobre a expansão de ônibus elétricos em cidades da América Latina por meio de um painel georreferenciado.

Figura 38 – Interface da plataforma E-BUS RADAR



Fonte: E-BUS RADAR (2022) .

Como funciona? A ferramenta monitora dados sobre as tecnologias veiculares adotadas, os fabricantes, as emissões evitadas e análises quantitativas complementares. Dados apresentados nas escalas América Latina, país e cidade.

Particularidades: Disponível em português, espanhol e inglês. Os dados são atualizados a cada seis meses. Em sua última atualização, passou a incorporar informações sobre cidades que licitaram frotas e/ou que estejam na iminência de implementá-las.

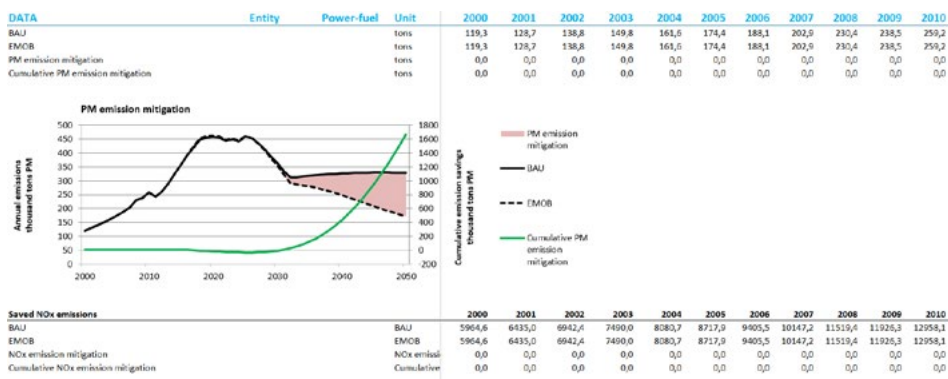
Como acessar? Visualização on-line em: <http://ebusradar.org>.

7. The eMob Calculator (Calculadora E-mob)

Desenvolvida pela ONU Meio Ambiente, estima o potencial de economia de energia e recursos financeiros com a mudança para a mobilidade elétrica, além de calcular a redução das emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos locais.

Como funciona? A ferramenta agrupa três calculadoras, cada uma para os seguintes modos: motocicletas, veículos leves (inclusive carros de passeio e veículos comerciais leves, como *pick-ups* e *vans* de entrega) e ônibus. O usuário deve inserir dados como projeções de crescimento do produto interno bruto (PIB) do país de referência, crescimento populacional, venda estimada de veículos, estimativas regionais sobre crescimento econômico, preço de combustíveis e pegada de carbono da matriz elétrica, entre outros. Para muitos dados, a ferramenta recomenda uma consulta à base de informações referenciais do Fundo Monetário Internacional e da própria ONU, por exemplo.

Figura 39 – Interface da calculadora



Fonte: UNEP (2022) .

Particularidades: Disponível em inglês. Em maio de 2022, a ferramenta estava sendo remodelada e não recomendada para uso e divulgação.

Como acessar? Arquivos Excel para *download* e preenchimento em: <https://www.unep.org/resources/toolkits-manuals-and-guides/emob-calculator>.

8. Total Cost of Ownership Estimator

Desenvolvida pelo Projeto de Incentivo para Caminhões e Ônibus Híbridos e de Zero Emissão na Califórnia (HVIP) [California's Hybrid and Zero-Emission Bus and Truck Voucher Incentive Project], a ferramenta fornece comparações entre os TCOs estimados de ônibus e caminhões médios e pesados com emissão zero ou quase zero e veículos movidos a combustíveis fósseis, tais como gasolina, diesel e gás natural veicular.

Como funciona? A ferramenta exige a inserção de dados sobre os veículos a serem comparados, tais como especificações técnicas, valor de compra do veículo e componentes, recebimento de incentivos ou deduções, impostos, entre outros.

Figura 40 – Interface da ferramenta

California HVIP Home Vehicles Purchasers Sellers Impact & Data

Step 1: Provide Fleet Details

Please enter the following information about the vehicles and fuel types in which you are interested, as well as information on your fleet and any incentive funding you plan to use.

Select the fuel type you currently use in your baseline vehicle(s) ⓘ	Select Baseline Fuel Type ↓
Select the clean fuel type you are interested in comparing to the baseline vehicle(s) you currently use ⓘ	Select Clean Fuel Type ↓
Select the vehicle type you are interested in ⓘ	Select Vehicle Type ↓
Are you participating in any state-level vehicle incentive program? If so, select which one from this list ⓘ	None ↓
Enter custom incentive funding amount	\$ <input type="text"/>

Fonte: HVIP (2022) .

Particularidades: Disponível em inglês. Os dados e resultados gerados limitam-se aos Estados Unidos.

Como acessar? Preenchimento on-line em inglês.

[1] ICCT. **Benefícios de tecnologias de ônibus em termos de emissões de poluentes do ar e do clima em São Paulo**. Relatório Técnico. 2019. Available at: <https://theicct.org/publications/beneficios-de-tecnologias-de-onibus-em-terminos-de-emissoes-de-poluentes-do-ar-e-do-clima>. Accessed in: June 2022.

[2] ITDP. **From Santiago to Shenzhen: How Electric Buses are Moving Cities**. Report. 2021. Available at: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/>Accessed in: June 2022.

[3] ICCT. **Benefícios de tecnologias de ônibus em termos de emissões de poluentes do ar e do clima em São Paulo**. Relatório Técnico. 2019. Available at: <https://theicct.org/publications/beneficios-de-tecnologias-de-onibus-em-terminos-de-emissoes-de-poluentes-do-ar-e-do-clima>. Accessed in: June 2022.

ITDP. **From Santiago to Shenzhen: How Electric Buses are Moving Cities**. Report. 2021. Available at: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/>Accessed in: June 2022.

[4] 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-terminos-de-emissoes-de-poluentes-do-ar-e-do-clima>. Acesso em: junho de 2022.

ITDP. **From Santiago to Shenzhen: How Electric Buses are Moving Cities**. Relatório. 2021. Disponível em: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/>Acesso em: junho de 2022.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID); MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Guia de eletromobilidade**. Orientações para estruturação de projetos no transporte coletivo por ônibus. Brasília, 2022. 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: junho de 2022.

- [5] E-BUS RADAR. **Plataforma de ônibus elétricos na América Latina**. Desenvolvido pelo LABMOB-UFRJ, em parceria com Zebra, C40, ICCT. 2021. Disponível em: ebusradar.org. Acesso em: junho de 2022.
- [6] ITDP. **From Santiago to Shenzhen: How Electric Buses are Moving Cities**. Relatório. 2021. Disponível em: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/>Acesso em: junho de 2022.
- [7] CARVALHO, C. H. R. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. **Texto para Discussão**, n.º 1606, Brasília, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). 2011. Disponível em: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/91332/1/664398472.pdf>. Acesso em: junho de 2022.
- [8] CARVALHO, C. H. R. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. **Texto para Discussão**, n.º 1606, Brasília, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). 2011. Disponível em: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/91332/1/664398472.pdf>. Acesso em: junho de 2022.

- [9] TAKANO, A. P. C. *et al.* Pleural anthracosis as an indicator of lifetime exposure to urban air pollution: An autopsy-based study in Sao Paulo. **Environmental Research**, 173, 23–32, 2019.
- [10] ITDP Brasil. **Eficiência do uso do espaço em transporte segundo veículo**. Infográfico, 2015. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/programas/desestimulo-ao-automovel/>. Acesso em: maio de 2022.
- [11] WILT, J. **Do Androids Dream of Electric Cars?** Public Transit in the Age of Google, Uber, and Elon Musk. Toronto: Between the Lines, 2020.
- [12] ITDP. **From Santiago to Shenzhen: How Electric Buses are Moving Cities**. Relatório. 2021. Disponível em: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/>Acesso em: junho de 2022.
- [13] E-BUS RADAR. **Plataforma de ônibus elétricos na América Latina**. Desenvolvido pelo LABMOB-UFRJ, em parceria com Zebra, C40, ICCT. 2021. Disponível em: ebusradar.org. Acesso em: junho de 2022.
- [14] BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID); MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Guia de eletromobilidade**. Orientações para estruturação de projetos no transporte coletivo por ônibus. Brasília, 2022.
- [15] ITDP. **From Santiago to Shenzhen: How Electric Buses are Moving Cities**. Relatório. 2021. Disponível em: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/>Acesso em: junho de 2022.

- [16] ITDP. **From Santiago to Shenzhen:** How Electric Buses are Moving Cities. Relatório. 2021. Disponível em: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/> Acesso em: junho de 2022.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID); MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Guia de eletromobilidade.** Orientações para estruturação de projetos no transporte coletivo por ônibus. Brasília, 2022.16 ITDP. **From Santiago to Shenzhen:** How Electric Buses are Moving Cities. Relatório. 2021. Disponível em: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/> Acesso em: junho de 2022.

- [17] BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID); MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Guia de eletromobilidade.** Orientações para estruturação de projetos no transporte coletivo por ônibus. Brasília, 2022.

- [18] ITDP. **From Santiago to Shenzhen:** How Electric Buses are Moving Cities. Relatório. 2021. Disponível em: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/> Acesso em: junho de 2022.

- [19] ITDP. **From Santiago to Shenzhen:** How Electric Buses are Moving Cities. Relatório. 2021. Disponível em: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/> Acesso em: junho de 2022.

- [20] NTU. **COVID-19 e o transporte público por ônibus:** impactos no setor e ações realizadas (16/03/20-15/04/20). Relatório. Disponível em: <https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub637231535674949776.pdf>. Acesso em: maio de 2022.

- [21] NTU. **COVID-19 e o transporte público por ônibus: impactos no setor e ações realizadas** (16/03/20-15/04/20). Relatório. Disponível em: <https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub637231535674949776.pdf>. Acesso em: maio de 2022.
- [22] IDB. **Jobs in a net-zero emissions future in Latin America and the Caribbean**. Relatório. 2020. Disponível em: <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Jobs-in-a-Net-Zero-Emissions-Future-in-Latin-America-and-the-Caribbean.pdf>. Acesso em: junho de 2022.
- [23] GRAMKOW, C.; MAGACHO, G. "O verde nas medidas para recuperação da economia nos EUA e reflexões para o Brasil". In: RONCAGLIA, A.; BARBOSA, N. (orgs). **Bidenomics nos trópicos**. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2021. 286p. ePub.
- [24] GOVERNO DO CHILE. **Plataforma de Electromovilidad**. Ministerio de Energía. 2021. Disponível em: <https://energia.gob.cl/electromovilidad/transporte-de-pasajeros/buses-electricos-red>. Acesso em: junho de 2022.
- [25] JEREZ, P. O. O. **Evaluación Económica Y Social De La Incorporación De Buses Eléctricos Al Transporte Público Urbano De Santiago**. Tese (doutorado em Engenharia Industrial). Universidad de Chile. 2019. Disponível em: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/171777/Evaluacion-economica-y-social-de-la-incorporacion-de-buses-electricos-al-transporte.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: junho de 2022.
- [26] C40 CITIES. **Urban Nature Declaration**. 2021b. Disponível em: c40.org/declarations/urban-nature-declaration/. Acesso em: junho de 2022.

PREFEITURA DE CURITIBA. **Com a C40, Curitiba dá mais um passo para conter crise climática.** Notícias, 14 de julho de 2021. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/com-a-c40-curitiba-da-mais-um-passo-para-conter-crise-climatica/59747>. Acesso em: junho de 2022.

[27] E-BUS RADAR. **Plataforma de ônibus elétricos na América Latina.** Desenvolvido pelo LABMOB-UFRJ, em parceria com Zebra, C40, ICCT. 2021. Disponível em: <http://ebusradar.org>. Acesso em: junho de 2022.

[28] PLATAFORMA NACIONAL DE MOBILIDADE ELÉTRICA (PNME). **Cenários de Eletrificação do Transporte Público no Brasil.** Webinário, 16 de dezembro. 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=9fwPBKksjQk>. Acesso em: junho de 2022.

[29] 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.

WRI BRASIL. **As barreiras a serem superadas para que os ônibus elétricos transformem as cidades.** Blogpost, 27 de junho. 2019. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/blog/2019/06/barreiras-serem-superadas-para-que-os-onibus-eletricos-transformem-cidades>. Acesso em: junho de 2022.²⁹ 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.

[30] E-BUS RADAR. **Plataforma de ônibus elétricos na América Latina.** Desenvolvido pelo LABMOB-UFRJ, em parceria com Zebra, C40, ICCT. 2021. Disponível em: ebusradar.org. Acesso em: junho de 2022.

- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] MIT CLIMATE PORTAL. **How much CO2 is emitted by manufacturing batteries?** February 16, 2022. Disponível em: <https://climate.mit.edu/ask-mit/how-much-co2-emitted-manufacturing-batteries>. Acesso em: junho de 2022.
- [34] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2009). NBR ISO 14040: Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=316462>. Acesso em: junho de 2022.
- [35] BRASIL (2010). Lei n.º 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: junho de 2022.
- [36] WORLD BANK (2019). 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 junho de 2022.
- [37] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **2031: Plano decenal de energia**. Brasília: MME/EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publica->

coes/Documents/PDE%202031_RevisaoPosCP_rvFinal.pdf. Acesso em: junho de 2022.

- [38] CPFL ENERGIA S.A. **Projeto Emotive**. 2018. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/3622>. Acesso em: junho de 2021.
- [39] ITDP. **From Santiago to Shenzhen: How Electric Buses are Moving Cities**. Relatório. 2021. Disponível em: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/>Acesso em: junho de 2022.
- [40] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Perguntas frequentas sobre Tarifa Branca. Ministério de Minas e Energia**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/tarifa-branca/perguntas-frequentes-sobre-tarifa-branca>. Acesso em: junho de 2022.
- [41] ITDP. **From Santiago to Shenzhen: How Electric Buses are Moving Cities**. Relatório. 2021. Disponível em: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/>Acesso em: junho de 2022.
- [42] CARVALHO, C. H. R. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. **Texto para Discussão**, n.º 1606, Brasília, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). 2011. Disponível em: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/91332/1/664398472.pdf>. Acesso em: junho de 2022.
- [43] TAKANO, A. P. C. et al. Pleural anthracosis as an indicator of lifetime exposure to urban air pollution: An autopsy-based study in Sao Paulo. **Environmental Research**, 173, 23–32, 2019.

[44] TAKANO, A. P. C. *et al.* Pleural anthracosis as an indicator of lifetime exposure to urban air pollution: An autopsy-based study in Sao Paulo. **Environmental Research**, 173, 23–32, 2019.

[45] ALDEIA, G. L. *et al.* Poluição sonora: uma ameaça à saúde? **Revista Saúde e Meio Ambiente – RESMA**, Três Lagoas, v. 9, n.3, p. 34-40, agosto/dezembro. 2019.

[46] BORÉN, S. *et al.* Preferences of Electric Buses in public Transport; Conclusions from Real Life Testing in Eight Swedish Municipalities. **International Journal of Environmental and Ecological Engineering**, 10(3), pp. 259–268. 2016. Disponível em: <https://publications.waset.org/10003929/pdf>. Acesso em: junho de 2022.

GODÍNEZ-ZAMORA, G. *et al.* Decarbonising the transport and energy sectors: Technical feasibility and socio-economic impacts in Costa Rica. **Energy Strategy Reviews**, 32. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100573>. Acesso em: junho de 2022.

KWON, Y. *et al.* What attributes do passengers value in electrified buses? **Energies**, 13(10), pp. 1–14. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13102646>. Acesso em: junho de 2022.46 BORÉN, S. *et al.* Preferences of Electric Buses in public Transport; Conclusions from Real Life Testing in Eight Swedish Municipalities. **International Journal of Environmental and Ecological Engineering**, 10(3), pp. 259–268. 2016. Disponível em: <https://publications.waset.org/10003929/pdf>. Acesso em: junho de 2022.

[47] TFL. Transport for London to trial innovative new bus sound to improve road. Notícia, 18 de dezembro. 2019. Disponível em: <https://tfl.gov.uk/info-for/media/press-releases/2019/december/tfl-to-trial-innovative-new-bus-sound-to-improve-road-safety>. Acesso em: junho de 2022.

[48] BORÉN, S. *et al.* Preferences of Electric Buses in public Transport; Conclusions from Real Life Testing in Eight Swedish Municipalities. **International Journal of Environmental and Ecological Engineering**, 10(3), pp. 259–268. 2016. Disponível em: <https://publications.waset.org/10003929/pdf>. Acesso em: junho de 2022.

GODÍNEZ-ZAMORA, G. *et al.* Decarbonising the transport and energy sectors: Technical feasibility and socio-economic impacts in Costa Rica. **Energy Strategy Reviews**, 32. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100573>. Acesso em: junho de 2022.

KWON, Y. *et al.* What attributes do passengers value in electrified buses? **Energies**, 13(10), pp. 1–14. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13102646>. Acesso em: junho de 2022. 48 BORÉN, S. *et al.* Preferences of Electric Buses in public Transport; Conclusions from Real Life Testing in Eight Swedish Municipalities. **International Journal of Environmental and Ecological Engineering**, 10(3), pp. 259–268. 2016. Disponível em: <https://publications.waset.org/10003929/pdf>. Acesso em: junho de 2022.

[49] BRASIL. **Entenda como a matriz elétrica brasileira está mudando**. Governo do Brasil, 30 de agosto. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/entenda-como-a-matriz-eletrica-brasileira-esta-mudando>. Acesso em: junho de 2022.

[50] MIT CLIMATE PORTAL. **How much CO₂ is emitted by manufacturing batteries?** February 16, 2022. Disponível em: <https://climate.mit.edu/ask-mit/how-much-co2-emitted-manufacturing-batteries>. Acesso em: junho de 2022.

THE GUARDIAN. **Child labour, toxic leaks: the price we could pay for a greener future**. Jan 3, 2021. Disponível

em: <https://www.theguardian.com/environment/2021/jan/03/child-labour-toxic-leaks-the-price-we-could-pay-for-a-greener-future>. Acesso em: junho de 2022. 50 MIT CLIMATE PORTAL. **How much CO2 is emitted by manufacturing batteries?** February 16, 2022. Disponível em: <https://climate.mit.edu/ask-mit/how-much-co2-emitted-manufacturing-batteries>. Acesso em: junho de 2022.

- [51] ITDP. **From Santiago to Shenzhen: How Electric Buses are Moving Cities**. Relatório. 2021. Disponível em: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/>Acesso em: junho de 2022.
- [52] BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID); MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Guia de eletromobilidade**. Orientações para estruturação de projetos no transporte coletivo por ônibus. Brasília, 2022. Acesso em: junho de 2022.
- [53] GRAMKOW, C.; MAGACHO, G. "O verde nas medidas para recuperação da economia nos EUA e reflexões para o Brasil".In: RONCAGLIA, A.; BARBOSA, N. (orgs). **Bidenomics nos trópicos**. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2021. 286p. ePub. alks, 2020. Disponível em: https://www.ted.com/talks/david_lammy_climate_justice_can_t_happen_without_racial_justice. Acesso em: junho de 2022.
- LANE, H. *et al.* Historical Redlining Is Associated with Present-Day Air Pollution Disparities in U.S. Cities. **Environ. Sci. Technol. Lett**, 9, 4, 345–350, 2022.53
- [54] LANDRIGAN, P. J. *et al.* Environmental Justice and the Health of Children. **Mt Sinai J Med.**, Mar-Apr; 77(2): 178–187, 2010.

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: junho de 2022.

UN ENVIRONMENT. **Global Environment Outlook - GEO-6: Healthy Planet, Healthy People**. Nairobi, 2019.

BOARETO, R. Política De Mobilidade Urbana transforma das cidades. **E-metropolis**, n. 44, p. 123–132, 2021.54
LANDRIGAN, P. J. *et al.* Environmental Justice and the Health of Children. **Mt Sinai J Med.**, Mar-Apr; 77(2): 178–187, 2010.

- [55] LANDRIGAN, P. J. *et al.* Environmental Justice and the Health of Children. **Mt Sinai J Med.**, Mar-Apr; 77(2): 178–187, 2010.

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: junho de 2022.

UN ENVIRONMENT. **Global Environment Outlook - GEO-6: Healthy Planet, Healthy People**. Nairobi, 2019. 55
LANDRIGAN, P. J. *et al.* Environmental Justice and the Health of Children. **Mt Sinai J Med.**, Mar-Apr; 77(2): 178–187, 2010.

BOARETO, R. Política De Mobilidade Urbana transforma das cidades. **E-metropolis**, n. 44, p. 123–132, 2021.

- [56] GÊNERO NÚMERO. **Maioria no transporte público, mulheres estão à margem das políticas de mobilidade**. Reportagem, 9 de março. 2017. Disponível em: <https://www.generonumero.media/maioria-no-trans>

porte-publico-mulheres-estao-a-margem-das-politicas-de-mobilidade/. Acesso em: junho de 2022.

- [57] SPTRANS. **Pesquisa da SPTrans aponta que mulheres são maioria dos passageiros de ônibus e que fazem menos teletrabalho**. Secretaria Especial de Comunicação da cidade de São Paulo, 26 de maio. 2021. Disponível em: <https://www.capital.sp.gov.br/noticia/pesquisa-da-sptrans-aponta-que-mulheres-sao-maioria-dos-passageiros-de-onibus-e-que-fazem-menos-teletrabalho>. Acesso em: junho de 2022.
- [58] Dados compilados pelos indicadores da plataforma MobilIDADOS, idealizada e gerenciada pelo ITDP Brasil. Disponível em: <https://mobilidados.org.br/>.
- [59] CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Painel CNT do Transporte — Rodoviário**. 2021. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/painel-cnt-transporte-rodoviario>. Acesso em: junho de 2022.
- [60] MEDEIROS, A. M. **Perda auditiva em trabalhadores do transporte urbano na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil**. Artigo. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00132314>. Acesso em: junho de 2022.
- [61] GRAMKOW, C.; MAGACHO, G. "O verde nas medidas para recuperação da economia nos EUA e reflexões para o Brasil". In: RONCAGLIA, A.; BARBOSA, N. (orgs). **Bidenomics nos trópicos**. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2021. 286p. ePub.
- [62] CARVALHO, R. P. L. **Tarifa comercial zero em Volta Redonda: a mobilidade urbana e a interligação dos centros comerciais através do ônibus elétrico**. Monografia (graduação em Administração). Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. 2020.

- [63] PREFEITURA DE VOLTA REDONDA. **Tarifa comercial zero contará com três ônibus elétricos até o final de setembro.** Notícias, 14 de agosto de 2019. Disponível em: <https://www.voltaredonda.rj.gov.br/cidade/31-noticias-em-destaque/smdet/1642-tarifa-comercial-zero-contar%C3%A1-com-tr%C3%AAs-%C3%B4nibus-el%C3%A9trico-at%C3%A9-o-final-de-setembro/>. Acesso em: junho de 2022.
- [64] ITDP. **From Santiago to Shenzhen: How Electric Buses are Moving Cities.** Relatório. 2021. Disponível em: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/>Acesso em: junho de 2022.
- [65] SLOWICK, P. *et al.* **Avaliação Internacional de Políticas Públicas para Eletromobilidade em Frotas Urbanas. Relatório** (PROMOB-E). Brasília: Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços; GIZ. 2018. Disponível em: <https://theicct.org/publication/avaliacao-internacional-de-politicas-publicas-para-eletromobilidade-em-frotas-urbanas/>. Acesso em: junho de 2022.
- [66] SLOWICK, P. *et al.* **Avaliação Internacional de Políticas Públicas para Eletromobilidade em Frotas Urbanas. Relatório** (PROMOB-E). Brasília: Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços; GIZ. 2018. Disponível em: <https://theicct.org/publication/avaliacao-internacional-de-politicas-publicas-para-eletromobilidade-em-frotas-urbanas/>. Acesso em: junho de 2022.
- [67] SLOWICK, P. *et al.* **Avaliação Internacional de Políticas Públicas para Eletromobilidade em Frotas Urbanas. Relatório** (PROMOB-E). Brasília: Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços; GIZ. 2018. Disponível em: <https://theicct.org/publication/avaliacao-internacional-de-politicas-publicas-para-eletromobilidade-em-frotas-urbanas/>. Acesso em: junho de 2022.

- [68] SLOWICK, P. *et al.* **Avaliação Internacional de Políticas Públicas para Eletromobilidade em Frotas Urbanas. Relatório** (PROMOB-E). Brasília: Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços; GIZ. 2018. Disponível em: <https://theicct.org/publication/avaliacao-internacional-de-politicas-publicas-para-eletromobilidade-em-frotas-urbanas/>. Acesso em: junho de 2022.
- [69] C40 CITIES; WRI. **Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2**. Relatório. 2018. Disponível em: <https://www.transformative-mobility.org/publications/electric-buses-in-cities-driving-towards-cleaner-air-and-lower-co2>. Acesso em: junho de 2022.
- [70] BLOOMBERG. **Battery Pack Prices Fall to an Average of \$132/kWh, But Rising Commodity Prices Start to Bite**. News, November 30, 2011. Disponível em: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-to-an-average-of-132-kwh-but-rising-commodity-prices-start-to-bite/>. Acesso em junho de 2022.
- [71] 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-introdução-de-onibus-nao-poluente-em-13-cidades-brasileiras](http://energiaeambiente.org.br/produto/analise-de-aspectos-fundamentais-para-a-introducao-de-onibus-nao-poluente-em-13-cidades-brasileiras). Acesso em: junho de 2022.
- [72] BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID); MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Gestão da demanda de mobilidade**. Global Environment Facility – GEF (financiador). Brasília: Editora IABS, 2020.
- [73] WRI BRASIL. **As barreiras a serem superadas para que os ônibus elétricos transformem as cidades**. Blogpost, 27 de junho. 2019. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/>

pt/blog/2019/06/barreiras-serem-superadas-para-que-os-onibus-eletricos-transformem-cidades. Acesso em: junho de 2022.

- [74] CITY MONITOR. **London congestion charge has been a huge success.** It's time to change it. Article, September 2, 2021. Disponível em: <https://citymonitor.ai/transport/london-congestion-charge-has-been-huge-success-it-s-time-change-it-3751>. Acesso em: junho de 2022.
- [75] WRI BRASIL. **Modelo de negócios para adoção de ônibus elétricos.** Apresentação. E-mob, Brasília, DF, 9 de maio. 2018. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/ArquivosPDF/eficiencia/eletromobilidade/Modelodenegociosparaadocao-deonibuseletricos.pdf>. Acesso em: junho de 2022.
- [76] Governo do Estado de São Paulo, Secretaria dos Transportes Metropolitanos, "Concorrência Internacional nº 004/2013, Processo STM Nº 000770/2012 - PPP da LINHA 6– Laranja"; e Governo do Estado da Bahia, Secretaria de Desenvolvimento Urbano, Edital Nº 01/2013, "Parceria público Privada na Modalidade de Concessão Patrocinada para implantação das obras civis e sistemas, fornecimento de material rodante, operação, manutenção e expansão do Sistema Metroviário de Salvador e Lauro de Freitas".
- [77] ITDP BRASIL. **O papel da regulamentação na transição para eletromobilidade.** Blogpost, 29 de junho. 2020b. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/o-papel-da-regulamentacao-na-transicao-para-eletromobilidade>. Acesso em: junho de 2022.
- [78] WRI BRASIL. **Contratos de concessão de Bogotá e Santiago são inspiração para transporte coletivo no Brasil.** Blogpost, 16 de novembro. 2020a. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/blog/cidades/mobilidade->

-urbana/contratos-concessao-bogota-santiago-inspiracao-transporte-coletivo-brasil. Acesso em: junho de 2022.

- [79] ITDP. **From Santiago to Shenzhen: How Electric Buses are Moving Cities**. Relatório. 2021. Disponível em: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/>Acesso em: junho de 2022.
- [80] WRI BRASIL. **Contratos de concessão de Bogotá e Santiago são inspiração para transporte coletivo no Brasil**. Blogpost, 16 de novembro. 2020a. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/blog/cidades/mobilidade-urbana/contratos-concessao-bogota-santiago-inspiracao-transporte-coletivo-brasil>. Acesso em: junho de 2022.
- [81] DIRECTORIO DE TRANSPORTE PUBLICO METROPOLITANO (DTPM). **Website**. Disponível em: <https://www.dtpm.cl/>. Acesso em: junho de 2022.
- [82] WRI BRASIL. **Contratos de concessão de Bogotá e Santiago são inspiração para transporte coletivo no Brasil**. Blogpost, 16 de novembro. 2020a. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/blog/cidades/mobilidade-urbana/contratos-concessao-bogota-santiago-inspiracao-transporte-coletivo-brasil>. Acesso em: junho de 2022.
- [83] UNICAMP. **Ônibus elétrico começa a circular na Unicamp**. Campinas, São Paulo, 15 de setembro. 2020. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/noticias/2020/09/15/onibus-eletrico-comeca-circular-na-unicamp>. Acesso em: junho de 2022.
- [84] ITDP Brasil. **Incentivos na regulamentação podem ser chave para eletrificação**. 2020a. Disponível em: <https://>

itdpbrasil.org/infografico-incentivos-na-regulamentacao-podem-ser-a-chave-para-a-eletrificacao/. Acesso em: junho de 2022.

- [85] BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID); MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Guia de eletromobilidade**. Orientações para estruturação de projetos no transporte coletivo por ônibus. Brasília, 2022.
- [86] BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID); MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Guia de eletromobilidade**. Orientações para estruturação de projetos no transporte coletivo por ônibus. Brasília, 2022.
- [87] 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**, 25(2), junho. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pcp/a/7HKfLVKNdYcSXMgpNfd6xZd/?lang=pt>. Acesso em: junho de 2022.
- [88] GOBIERNO DE CHILE (2018). **Agenda para la Política de Equidad de Género en Transportes**. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. 2018-2022. Disponível em: <https://www.subtrans.gob.cl/wp-content/uploads/2018/11/Agenda-PEGT-2018-2022.pdf>. Acesso em: junho de 2022.
- BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID). Transport Gender Lab (TGL). **Género y Transporte: Bogotá**. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18235/0001388>. Acesso em: junho de 2022.
- [89] BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID). Transport Gender Lab (TGL). Disponível em: <https://tglab.iadb.org/>

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID). Transport Gender Lab (TGL). **Gênero y Transporte: Bogotá**. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18235/0001388>. Acesso em: junho de 2022.

- [90] ITDP. **From Santiago to Shenzhen**: How Electric Buses are Moving Cities. Relatório. 2021. Disponível em: <https://www.itdp.org/publication/from-santiago-to-shenzhen-how-electric-buses-are-moving-cities/>. Acesso em: junho de 2022.
- [91] ITDP. Transport Emissions Evaluation Models for Projects (TEEMP). Disponível em: <https://www.itdp.org/2012/08/06/transport-emissions-evaluation-model-for-projects-teemp-brt/>. Acesso em: junho de 2022.
- [92] IEMA. PlanFrota: ferramenta para transporte limpo. Disponível em: http://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2020/02/20200602_planfrotanosite.xlsx. Acesso em: junho de 2022.
- [93] EPE. Guia de Usuário do Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/simulador-para-avaliacao-de-viabilidade-de-onibus-eletrico>. Acesso em: junho de 2022.
- [94] WRI. ImpactAr. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes/impactar-ferramenta-valoracao-impactos-qualidade-do-ar-saude-onibus-eletricos>. Acesso em: junho de 2022.
- [95] GREET. Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use. Disponível em: <https://greet.es.anl.gov/>. Acesso em: junho de 2022.
- [96] E-BUS RADAR. **Plataforma de ônibus elétricos na América Latina**. Desenvolvido pelo LABMOB-UFRJ,

em parceria com Zebra, C40, ICCT. 2021. Disponível em: <http://ebusradar.org>. Acesso em: junho de 2022.

[97] UNEP. The The eMob Calculator. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/toolkits-manuals-and-guides/emob-calculator>. Acesso em: junho de 2022.

[98] HVIP. Total Cost of Ownership Estimator. Disponível em: <https://californiahvip.org/>. Acesso em: junho de 2022.

Executor



Realização

