



Eletromobilidade no transporte coletivo: o caso da cidade de São Paulo



Eletromobilidade no transporte coletivo: o caso da cidade de São Paulo



Estudo elaborado pela WRI Brasil e UNICAMP
sob demanda Cooperação Alemã, através da
GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale
Zusammenarbeit GmbH) e do Ministério da
Economia (ME).

Autores:
WRI - Cristina Albuquerque
Virginia Tavares
Eduardo Siqueira
Berta Pinheiro

Unicamp:
Flavia Consoni
Tatiana Bermudez

ME
Dezembro de 2019

República Federativa do Brasil

Presidência da República

Jair Messias Bolsonaro

Ministro da Economia

Paulo Roberto Nunes Guedes

Secretário Especial de Produtividade, Emprego e Competitividade

Carlos Alexandre da Costa

Secretário de Desenvolvimento da Indústria, Comércio, Serviços e Inovação

Gustavo Leipnitz Ene

Apoio técnico

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

Diretor Nacional

Michael Rosenauer

Diretor do Projeto

Jens Giersdorf

Equipe coordenação e operação

ME - André Sequeira Tabuquini, Bruno de Almeida Ribeiro, Gustavo Duarte Victor, Igor Calvet, Leonardo Boselli da Motta, Marcelo Vasconcellos de Araújo Lima, Ricardo Zomer e Thomas Paris Caldellas

GIZ - Anna Palmeira, Bruno Carvalho, Fernando Fontes, Marcus Regis e Jens Giersdorf

Autores

Cristina Albuquerque, Virginia Tavares, Eduardo Siqueira e Berta Pinheiro (WRI)
Flavia Consoni e Tatiana Bermudez (Unicamp)

Coordenação técnica

Cristina Albuquerque

Revisão técnica

Amanda Ohara (GFA)

Coordenação de Comunicação

Anderson Facao (GIZ)

Projeto gráfico

João Neves

Diagramação

Erika Dixo

Publicado por

Projeto Sistemas de Propulsão Eficiente - PROMOB-e (Projeto de Cooperação Técnica bilateral entre a Secretaria de Desenvolvimento da Indústria, Comércio, Serviços e Inovação - SDIC e a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável (GIZ)

Contatos

SDCI/Ministério da Economia

Esplanada dos Ministérios BL J - Zona Cívico-Administrativa,

CEP: 70053-900, Brasília - DF, Brasil.

Telefone: +55 (61) 2027 - 7293

www.economia.gov.br

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

SCN Quadra 1 Bloco C Sala 1501 - 15º andar Ed. Brasília Trade Center,

CEP: 70711-902, Brasília-DF, Brasil.

Telefone: +55 (61) 2101-2170

www.giz.de/brasil

Informações legais

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

A duplicação ou reprodução de todo ou partes e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que o projeto PROMOB-e seja citado como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário consentimento por escrito do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços e da GIZ.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. TRANSPORTE COLETIVO: A TENDÊNCIA DA ELETRO-MOBILIDADE NO BRASIL E NO MUNDO	9
2.1 Visão geral sobre transporte coletivo no Brasil.....	9
2.2 A eletromobilidade no transporte coletivo no Brasil.....	10
2.3 A eletromobilidade no transporte coletivo no mundo.....	13
3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA ELETROMOBILIDADE NO TRANSPORTE COLETIVO EM SÃO PAULO	15
3.1 Factsheet do case SPTrans.....	15
3.2 A Lei de Mudanças Climáticas de São Paulo.....	16
3.3 Oportunidade: a Licitação do Transporte Público Coletivo.....	18
4. INSTRUMENTOS DE MODELO DE NEGÓCIOS PARA FOMENTAR A IMPLEMENTAÇÃO DE ÔNIBUS LIMPOS ...	20
4.1 A metodologia de modelo de negócios e seus componentes.....	20
4.2 A ferramenta de decisão: descrição da metodologia empregada.....	20
5. ETAPAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO DE NEGÓCIOS: O CASO DE SÃO PAULO	22
5.1 Apresentação e análise das etapas para implementação de ônibus limpos.....	22
5.1.1 Definição de uma meta.....	22
5.1.2 Planejamento da implementação.....	22
5.1.3 Definição da forma de investimento e amortização.....	23
5.1.4 Preparação da implementação dos ônibus na frota.....	23
5.1.5 Destinação final e sucateamento.....	23
5.2 Interlocução e planejamento dos atores.....	24
6. ANÁLISES ECONÔMICAS E AMBIENTAIS PARA O MODELO DE NEGÓCIOS DE SÃO PAULO	27
6.1 Apresentação das premissas de composição de frota.....	27
6.2 Apresentação e análise dos resultados de custos de renovação.....	29
6.2.1 Premissas adotadas.....	29
6.2.2 Resultados.....	30
6.3 Apresentação e análise dos resultados de emissões.....	31
6.3.1 Premissas adotadas.....	31
6.3.2 Resultados.....	32
6.3.3 Metas da lei de mudanças climáticas.....	33
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
8. REFERÊNCIAS.....	35
9. APÊNDICES	38
9.1 Apêndice 1.....	38
9.2 Apêndice 2.....	39
9.3 Apêndice 3.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Áreas operacionais e empresas do sistema estrutural de transporte público de ônibus na cidade de São Paulo (2018).....	15
Figura 2 Articulação de Políticas Ambientais e a Licitação de Sistema de Transporte Público Coletivo de São Paulo.....	19

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Membros do Comitê Gestor do “Programa de acompanhamento da substituição de frota por alternativas mais limpas”.....	17
Quadro 2 Parâmetros de entrada para análise de custos e emissões	21
Quadro 3 Relação de entrevistas.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Quilômetros de trilhos em doze capitais do Brasil (2017)	9
Tabela 2 Número estimado de ônibus de baixa emissão no Brasil (2018)	11
Tabela 3 Principais dados operacionais SPTrans (Julho de 2018)	15
Tabela 4 Metas de redução de emissões para o Transporte Urbano de Passageiros do município de São Paulo (2018)	17
Tabela 5 Emissões de GEE e poluentes locais totais por dia em São Paulo (2017)	26
Tabela 6 Frota total dos dois subsistemas analisados	27
Tabela 7 Parâmetros de entrada para análise dos custos	29
Tabela 8 Resultados dos anos previstos na lei	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Frota circulante por segmento de veículos no Brasil (2017)	10
Gráfico 2 Cronograma de redução de emissões de poluentes da frota (a partir do começo da nova licitação)	18
Gráfico 3 Composição da frota BaU	28
Gráfico 4 Composição da frota limpa	28
Gráfico 5 Custos financeiros e de capital anualizados	30
Gráfico 6 Custos operacionais anualizados	30
Gráfico 7 Comparativo dos custos totais anualizados	31
Gráfico 8 Evolução das emissões de CO ₂	32
Gráfico 9 Evolução das emissões de MP.....	32
Gráfico 10 Evolução das emissões de NO _x	32
Gráfico 11 Composição da frota nos anos previstos na lei	33

ABREVIATÖES

ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BYD	Build Your Dreams
CET	Companhia de Engenharia de Tráfego
CO₂	Dióxido de Carbono
CO_{2e}	Dióxido de Carbono Equivalente
EMTU/SP	Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEF	Fundo Global para o Meio Ambiente
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MME	Ministério de Minas e Energia
MP	Material Particulado
NOx	Óxidos de Nitrogênio
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
ONU	Organização das Nações Unidas
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
SETRANS	Sindicato das empresas de ônibus de Curitiba e Região Metropolitana
SMT	Secretaria Municipal de Mobilidade e Transporte
SPTans	São Paulo Transportes S/A
TCM	Tribunal de Contas do Município
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
URBS	Urbanização de Curitiba
UTFPR	Universidade Tecnológica de Paraná
WRI	World Resources Institute

1. INTRODUÇÃO

As emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Brasil são oriundas principalmente dos setores de mudança do uso da terra e agricultura, que representam respectivamente 51% e 22% das emissões totais brasileiras. Segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), no ano 2016, o segmento de transportes foi o maior emissor de GEE no Brasil dentro os setores analisados de energia, sendo responsável pela emissão de 204 MtCO_{2e} (39% do total) (Ferreira et al., 2018). Por exemplo, em cidades brasileiras como São Paulo e Belo Horizonte, os transportes representam mais de 75% das emissões do município (Belo Horizonte, 2015; São Paulo, 2012b).

A expectativa de crescimento da população urbana nos próximos anos, agrega a tal situação um estado de alerta. Segundo o Departamento de Assuntos Econômicos Sociais da Organização das Nações Unidas (ONU), cerca de 55% das pessoas do mundo reside nas cidades e a perspectiva é que esta porcentagem aumente para 68% em 2050, o que significa que as cidades vão receber mais de 2,5 milhões de habitantes adicionais (UN DESA, 2018). Este aumento maciço da população urbana irá implicar no aumento da demanda por infraestrutura, transporte e energia, importantes condutores de emissões de gases de efeito estufa e de poluentes locais.

Neste sentido, torna-se evidente a necessidade de minimizar os impactos ambientais relacionados as emissões do consumo de energia do setor de transportes. Duas linhas de atuação complementares se mostram interessantes. A primeira é reduzir o consumo de energia através de um sistema de transporte público eficiente. A segunda é assegurar que este sistema seja propulsionado por fontes de energia de baixa ou zero emissão de poluentes. Por isto, atualmente cidades de todo mundo estão adotando tecnologias limpas em suas frotas de ônibus urbanos.

No Brasil, a cidade de São Paulo assumiu um compromisso público de renovar sua frota de ônibus por tecnologias de

baixa emissão, através da Lei 14.933/09. O pioneirismo desta lei implica em uma série de barreiras a serem superadas. Isto porque a eletromobilidade, principalmente em países em desenvolvimento ainda enfrenta muitos desafios como, por exemplo, o alto custo inicial, a falta de conhecimento da tecnologia, a resistência dos operadores de ônibus e os atuais modelos de contratos de operação.

Este relatório, produzido pelo WRI Brasil e pela UNICAMP, dentro do escopo do projeto PROMOB-e¹, tem por objetivo apoiar a elaboração de modelos de negócios para a implementação da nova frota de ônibus limpos na cidade de São Paulo. Para isto, além de uma contextualização da eletromobilidade no Brasil, o relatório discorre também acerca da iniciativa da cidade de São Paulo de exigir legalmente a inclusão de ônibus limpos em sua frota. Em um segundo momento, o documento foca na elaboração de modelos de negócios, apresentando etapas para implementação e subsidiando as seções com informações técnicas e boas práticas.

Além desta introdução, este documento está estruturado em outras 6 seções principais. A próxima seção aborda um panorama sobre o transporte público coletivo e a eletromobilidade no Brasil e no mundo. A seção 3 apresenta o sistema de transporte coletivo e o histórico da Lei do Clima de São Paulo, exigência legal que determinou a substituição da frota de ônibus para cumprimento da redução de emissões de poluentes. Em seguida, a seção 4 apresenta a atuação do WRI no fomento das frotas limpas urbanas através da metodologia de modelo de negócios e da ferramenta de análise de renovação de frota. A seção 5 aborda as etapas para a implantação de um modelo de negócios, com um foco especial na cidade de São Paulo. Na seção 6 são apresentadas as análises econômica e ambiental para basear o modelo de negócios para renovação da frota de São Paulo. Por fim, na seção 7, são apresentadas as considerações finais deste estudo.

1 O PROMOB-e é um projeto de projeto de cooperação técnica executado pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) em parceria com o Ministério Alemão de Cooperação Econômica e para Desenvolvimento por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH que atua diretamente na consolidação da mobilidade elétrica no Brasil.

2. TRANSPORTE COLETIVO: A TENDÊNCIA DA ELETRO-MOBILIDADE NO BRASIL E NO MUNDO

2.1 VISÃO GERAL SOBRE TRANSPORTE COLETIVO NO BRASIL

O Transporte Público Coletivo no Brasil está composto principalmente por quatro modais de transporte: os Ônibus e os denominados Trilhos Urbanos que incluem Metrô, Trem e VLT (Veículo Leve sobre Trilhos). Contudo, só 12 cidades do país contam com os serviços de Trilhos Urbanos: São Paulo, Rio de Janeiro, Recife, Natal, Porto Alegre, Fortaleza, Brasília, Salvador, Maceió, João Pessoa, Belo Horizonte e Teresina. Na Tabela 1 se apresentam os quilômetros de trilhos destas cidades.

Tabela 1: Quilômetros de trilhos em doze capitais do Brasil (2017)

Cidade	Metrô	VLT	Trem	Total
São Paulo	89,8	-	258	347,9
Rio de Janeiro	58	28	220	306
Recife	39,5	-	31,9	71,4
Natal	-	-	56,2	56,2
Porto Alegre	43,9	-	-	43,9
Fortaleza	24,1	19,5	-	43,6
Brasília	42,4	-	-	42,4
Salvador	22,7	-	13,6	36,3
Maceió	-	-	32,1	32,1
João Pessoa	-	-	30	30
Belo Horizonte	28,2	-	-	28,2
Teresina	-	-	13,6	13,6

Fonte: Mobilize, 2017.

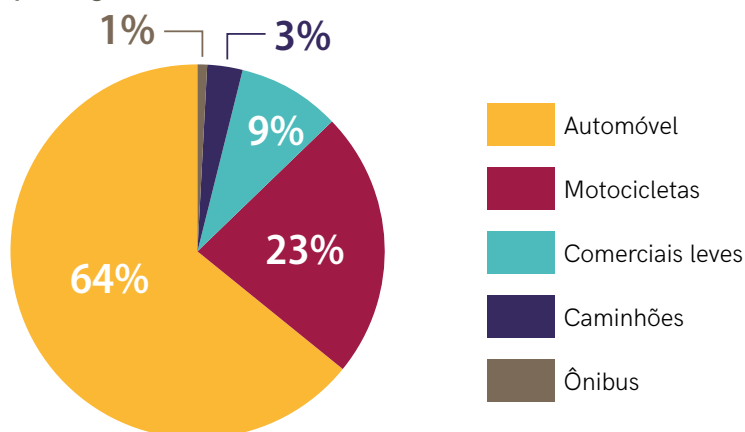
Neste contexto, os "Ônibus Urbanos", definidos como veículos automotores de transporte coletivo dentro do município, de uso intermunicipal nas regiões metropolitanas e os midi-ônibus (CETESB, 2016), são o modo de transporte coletivo mais representativo do país.

Segundo dados da NTU (Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos), os ônibus urbanos representam 86,3% da participação do total do transporte público coletivo, atendendo 3.313 municípios brasileiros, com uma frota de 107.000 ônibus, e um total de 39.585.078 passageiros transportados por dia, considerando 20,9% das gratuidades (NTU, 2018). Além disso, vale a pena salientar que o Brasil ocupa o terceiro lugar no número de ônibus do mundo, depois da China e da Índia.

Não obstante estes números, a participação dos ônibus no total da frota circulante no Brasil é de 1%², em contraste com a participação dos automóveis individuais que é de 64% (Sindipeças-Abipeças, 2018). O Gráfico 1 apresenta a porcentagem de participação da frota circulante no Brasil em 2017.

2 Esta porcentagem corresponde aos ônibus urbanos, ônibus rodoviários e micro-ônibus.

Gráfico 1: Frota circulante por segmento de veículos no Brasil (2017)



Fonte: elaborado pelo LEVE-UNICAMP com base nos dados de Sindipeças-Abipeças, 2018.

Estes dados evidenciam a necessidade de promover mudanças nos sistemas atuais de transporte terrestre, priorizando os sistemas de transporte público coletivo e desestimulando o transporte individual. Comparativamente, um ônibus urbano transporta uma maior quantidade de passageiros e ocupa menos espaço urbano, em relação aos veículos de uso individual.

Exercício realizado pela Folha de São Paulo em janeiro de 2016 permitiu verificar que o transporte coletivo, representado pelos ônibus, gera impacto significativamente menor no uso do espaço urbano. Para transportar 48 pessoas, com a média de São Paulo de 1,2 pessoas por veículo, são necessários: 40 carros que ocupam 840 metros quadrados, 48 bicicletas que ocupam 92 metros quadrados, ou um ônibus que ocupa 50 metros quadrados (Diário do Transporte, 2016a). Estes dados justificam o uso dos ônibus urbanos para contribuir na melhora dos problemas de mobilidade das grandes cidades.

Mas apenas a priorização do Transporte Público Coletivo mostra-se como insuficiente; também é necessário promover a substituição do combustível fóssil, no caso do óleo diesel, nas frotas urbanas, por combustíveis renováveis e/ou tecnologias de propulsão elétricas/híbridas. Esta substituição, ainda que ocorra de forma progressiva, é necessária para mitigar o impacto do transporte terrestre na saúde pública, ocasionada pela poluição sonora e pela exposição a poluentes atmosféricos locais.

2.2 A ELETROMOBILIDADE NO TRANSPORTE COLETIVO NO BRASIL

Segundo dados do Anuário da Indústria Automobilística Brasileira (2018), todos os ônibus produzidos e comercializados no Brasil utilizam o óleo diesel como combustível (ANFAVEA, 2018). De fato, o óleo diesel é o combustível mais consumido pelo transporte rodoviário com uma participação de 45,6% o qual é usado na sua totalidade por veículos pesados como ônibus, caminhões e alguns veículos comerciais leves (MME; EPE, 2018). No entanto, no Brasil há uma série de iniciativas e projetos demonstrativos que têm incorporado ônibus de baixa-emissão tais como: ônibus híbridos (tração elétrica/diesel/biocombustíveis); Trólebus; Ônibus Elétricos a Bateria; e Ônibus com Células de Combustível a Hidrogênio.

Embora não exista uma cifra oficial e consolidada do número de ônibus de baixa-emissão rodando no Brasil, é possível estimar que esta frota seja de cerca de 400 veículos. Trata-se de cálculos aproximados, que se apoiaram em informações fornecidas pelo Jornalista do Diário do Transporte, Adamo Bazani, e de entrevistas conduzidas para o presente relatório. A Tabela 2 traz maiores informações sobre esta frota, em termos de localização e tipos de veículos e inclui também os ônibus associados a projetos demonstrativos.

Tabela 2: Número estimado de ônibus de baixa emissão no Brasil (2018)

Cidade	Empresa	Trólebus	Híbrido	Elétrico a bateria	Ônibus com células de Hidrogênio
São Paulo (SP)	Ambiental Transportes Urbanos (SPTrans)	201	0	1	0
	Sambaíba Transportes Urbanos	0	2	0	0
	SPTrans (em demonstração)	0	0	1	0
	VIP Unidade (SPTrans)	0	1	0	0
	Transwolff ³	0	0	15	0
Corredor Metropolitano ABD (SP)	Metra/EMTU Ônibus com célula hidrogênio	86	8 + 1 Dual Bus	1 (Dual bus)	5 (Desativados)
Campinas (SP)	Itajaí Transportes Coletivos (EMDEC)	0	2	11	0
	Pádova Transportes Coletivos (EMDEC)	0	0	2	0
	VB Transportes (EMDEC)	0	1	0	0
Santos (SP)	Viação Piracicabana (CET Santos)	6	1	1	0
Curitiba (PR)	Consórcio Transbus/Transporte Coletivo Glória/Pontual (URBS)	0	30	0	0
	Projeto "Smart City Concepts in Curitiba"	0	2	0	0
Foz de Iguaçu (PR)	Itaipu Binacional/Parque Nacional das Cataratas	0	5	0	0
	Programa Veículo Elétrico Itaipu	0	1 (Etanol)	0	0
Brasília (DF)	Grupo Piracicabana/TCB Brasília	0	0	2	0
Florianópolis (SC)	Universidade Federal de Santa Catarina (Projeto de Pesquisa)	0	0	1	0
Rio de Janeiro (RJ)	Projeto "FURNAS-COPPE-UFRJ"	0	1 (Etanol)	1	1
Bauru (RJ)	Cidades sem limites	0	0	1	0
	Grande Bauru	0	0	1	0
Volta Redonda (RJ)	"Projeto Tarifa Comercial Zero" Prefeitura de Volta Redonda	0	0	1	0
Uberlândia (MG)	Viação São Miguel ⁴	0	0	8	0
Cuiabá (MT)	Prefeitura de Cuiabá ⁴	0	0	3	0
Maringá (PA)	Prefeitura de Maringá ⁴	0	0	2	0
Total		293	55	52	4
Total Ônibus de Baixa-Emissão: 404					

Fonte: Bermúdez, 2018.

Assim, o número de ônibus de baixa-emissão mostra-se pouco representativo em comparação à frota de ônibus a diesel, com destaque para os Trólebus, os quais representam cerca de 75% desta frota. Destaque especial para os Trólebus que funcionam em São Paulo e no Corredor Metropolitano ABD, operados pelas empresas Ambiental e Metra.

Em relação aos atores que atuam no segmento da Eletromobilidade no Transporte Público, têm destaque três montadoras com experiência nestas tecnologias alternativas, todas elas sediadas no Brasil: a Eletra, de capital nacional (São Paulo, SP), a Volvo, de capital sueco (Curitiba, PR) e a chinesa BYD (Campinas, SP). A seguir descrevem-se os principais produtos destas empresas.

3 As negociações para a entrega destes ônibus já foram encerradas pela BYD e se espera que estas unidades sejam entregues nos primeiros meses do 2019.

4 As negociações para a entrega destes ônibus já foram encerradas pela BYD e se espera que estas unidades sejam entregues nos primeiros meses do 2019.

A empresa **Eletra** Tecnologia de Tração Elétrica, é uma empresa brasileira que desenvolve e integra sistemas de tração elétrica para ônibus de baixa-emissão, principalmente: trólebus, ônibus híbrido e ônibus elétrico puro. Sua principal expertise é com os sistemas de tração elétrica para Trólebus, que operam conectados a uma rede aérea de distribuição elétrica. A empresa também desenvolveu um ônibus híbrido-série, o qual funciona com um motor elétrico e duas fontes de energia: um conjunto motor-gerador a diesel e um banco de baterias. O sistema de tração é similar ao Trólebus, mas a principal diferença é que não se alimenta de uma rede externa de energia e as baterias se carregam com frenagem regenerativa ou, se necessário, com o grupo motor gerador que pode funcionar com diesel, álcool ou gasolina.

Eletra também desenvolveu com tecnologia nacional um ônibus elétrico a baterias em parceria com as empresas japonesas Mitsubishi Heavy Industries e Mitsubishi Corporation. Este ônibus funciona com um motor elétrico, cuja fonte de energia consiste em um banco de baterias. Finalmente, como resultado da combinação entre estas tecnologias, a Eletra desenvolveu o Dual Bus o qual pode operar como híbrido (Grupo Gerador + Baterias), como Trólebus (Rede Aérea) ou como elétrico puro (Baterias). As baterias utilizadas são de íonlítio e seu carregamento ocorre a partir da frenagem regenerativa. Assim, a Eletra conseguiu padronizar os sistemas de tração para seus diferentes tipos de ônibus; o que muda é o sistema de abastecimento, que pode ocorrer a partir da rede elétrica, diesel, etanol ou baterias.

Por sua vez, a empresa de origem sueca **Volvo** começou suas operações no Brasil no ano de 1980 com a inauguração da fábrica em Curitiba (PR). Desde 2009, a Volvo começou a fabricação de ônibus híbridos-série a diesel. Este ônibus híbrido permite uma economia de combustível (diesel) de até 35% e consegue reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) entre 80%-90% em comparação com os Ônibus Euro III. A bateria é carregada pela frenagem regenerativa e não se realiza recarga externa. O motor elétrico só funciona no arranque e atinge 20 Km por hora. Depois desta velocidade, o motor a diesel passa a funcionar. Assim, os ônibus híbridos da Volvo não têm autonomia e seu uso é recomendado em corredores de baixa velocidade. Em 2018 estavam em circulação na cidade de Curitiba 30 ônibus híbridos da Volvo.

No ano 2016, a Volvo apresentou dois novos modelos de ônibus híbridos. O primeiro foi o ônibus híbrido articulado, como parte do projeto Smart City Concept in Curitiba, o qual conta com a participação dos governos de Curitiba e da Suécia. *"O híbrido articulado possui tecnologia de emissões Euro 6. Isso significa que a tecnologia de emissões Euro 6, somada à tecnologia híbrida, emite até 39% menos CO₂ e 50% menos material particulado (fumaça) e NO_x (óxidos nocivos à saúde) que os veículos similares Euro 5 movidos à diesel"* (Diário do Transporte, 2016b).

Em 2016, a Volvo apresentou um modelo de ônibus híbrido plug-in, o qual permite a recarga externa da bateria nos pontos de embarque e desembarque de passageiros, sendo que a carga total leva em torno de 6 minutos para ser concluída (Diário do Transporte, 2016c). A fabricação deste ônibus ocorreu graças a uma parceria global entre Volvo e a empresa alemã Siemens, tendo recebido o apoio de vários atores para fazer os testes tais como: a Prefeitura de Curitiba, a URBS (Urbanização de Curitiba), o SETRANS (Sindicato das empresas de ônibus de Curitiba e Região Metropolitana), a UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) e as empresas de transporte urbano Redentor, Cidade Sorriso e Glória.

Finalmente, temos a participação da empresa de origem chinesa **Build Your Dreams (BYD)**, fundada no ano 1995 com atividades no setor de tecnologia e energia, com a fabricação de baterias níquel-cádmio e baterias de íon-lítio para celulares. A partir de 2003 a BYD passou a atuar na fabricação de veículos e ônibus elétricos, com uma ênfase importante nas baterias de Fosfato de Ferro-Lítio.

Em 2014, a BYD instalou uma fábrica de ônibus elétricos e módulos fotovoltaicos em Campinas, São Paulo, e inaugurou sua planta de produção em abril de 2017. Atualmente (em 2018), apresenta capacidade para produzir 720 ônibus elétricos por ano em três turnos de operação. Esta empresa também prevê, para dezembro de 2018, a inauguração de uma planta de montagem de baterias de Fosfato de Ferro-Lítio na Zona Franca de Manaus (Amazonas).

O ônibus elétrico fabricado pela BYD é um articulado de 13,2 metros com bateria de fosfato de ferro-lítio, importada da China. Esta bateria tem uma vida útil de 15 anos sendo que, uma vez que seu uso em ônibus se encerre, a bateria ainda pode ser utilizada como estacionária ou alocada em sistemas de iluminação elétrica. A recuperação da energia da bateria é realizada por meio da frenagem regenerativa e a autonomia do ônibus é de 250 km com uma recarga de 4 a 5 horas.

A BYD tem realizado projetos de demonstração de seus ônibus em cidades como São Paulo, Campinas, Curitiba, Belo Horizonte, Porto Alegre, Brasília, Santos, Rio de Janeiro, Sorocaba, entre outras. Tem destaque os 13 ônibus elétricos da BYD que circulam na cidade de Campinas, 11 da empresa Itajaí Transporte Coletivo e 2 ônibus da empresa Pádova Coletivos, que se constituem na maior frota de ônibus elétricos de bateria no Brasil. Lembrando que a Cidade de Campinas ainda conta com dois ônibus híbridos da empresa Itajaí, conforme mostra a Tabela 2.

É importante salientar que estas três empresas trabalham com uma rede de fornecedores locais de componentes para ônibus, principalmente em relação ao chassi e carrocerias. Alguns fornecedores que apoiam a produção local deste tipo de ônibus incluem: WEG (motores elétricos); Mercedes Benz (chassis); Magneti Marelli (peças e componentes); Italsa, Caio, Marcopolo, Volare (empresa de carroçaria), entre outras.

Os projetos pilotos e de demonstração relacionados com a Eletromobilidade permitem testar as diferentes alternativas de ônibus em ambientes controlados, para identificar os benefícios destas tecnologias incluindo os ganhos ambientais e de manutenção, em comparação com os ônibus a diesel. Muitos destes projetos são realizados no âmbito local e estão sendo conduzidos em parceria entre universidades e operadores de ônibus, e contam com financiamento de governos locais e instituições governamentais.

Dentre os projetos demonstração mais representativos no Brasil, destacam-se:

Ônibus elétrico híbrido a etanol: este projeto conta com financiamento da agência federal Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e é liderado pela empresa Itaipu Binacional. O objetivo consiste em desenvolver um ônibus conceitual ou protótipo híbrido a etanol com bateria de sódio. O projeto está sendo conduzido em parceria com diferentes fornecedores sendo: Engenharia de integração: Eletra; Carroceria: Mascarello; Chassi: Tutto Transporti; Sistema de Tração e gerador (inversor-motor): WEG; Grupo Gerador: Motor de combustão Mitsubishi (Etanol); Controlador: Magneti Marelli; Baterias de Sódio: FZ Sonick; Ar condicionado: Euroar.

Este projeto encontra-se numa segunda fase que consiste em analisar o impacto na rede e gestão de energia. A Itaipu se encarga de desenvolver o "ônibus protótipo", em que necessariamente deve contemplar o uso de baterias de sódio e etanol, visto que esta tecnologia já contou com financiamento da Finep. Na fase seguinte, será lançado um edital, também pela Finep, para que empresas nacionais fabriquem 75 ônibus baseados neste protótipo desenvolvido pela Itaipu. Em entrevista com o Coordenador do Programa de Mobilidade Elétrica de Itaipu, a segunda fase do projeto deve ser finalizada em 2019.

Desenvolvimento e testes de ônibus urbanos com tração elétrica: este projeto foi financiado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e foi executado pela empresa Furnas Centrais Elétricas S/A em colaboração com a Universidade Federal de Rio de Janeiro (UFRJ/ COPPE) e a empresa Tracel Veículos Elétricos Ltda. O custo do projeto foi de R\$ 11.511.238 e o período de execução entre 2012-2018. Neste projeto de P&D foram desenvolvidos protótipos de ônibus para uso urbano com três tecnologias não poluentes (Furnas, 2017):

- **Ônibus híbrido elétrico/hidrogênio:** possui abastecimento das baterias de forma convencional e complementada por meio de pilhas a combustível alimentadas com hidrogênio, o que proporciona aumento da autonomia do veículo.

- **Ônibus híbrido elétrico/etanol:** possui um sistema que permite o uso da tração elétrica a partir da energia gerada por um sistema motor-gerador a etanol.
- **Ônibus com tração 100% elétrica:** possui sistema totalmente alimentado por baterias.

Ônibus elétrico a bateria na Universidade Federal de Santa Catarina: este projeto foi financiado pela FINEP que aportou um milhão de reais. Foi executado pelo Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (FOTOVOLTAICA-UFSC). A empresa Eletra fabricou o ônibus em parceria com as empresas WEG, Marcopolo e Mercedes.

Este ônibus elétrico é alimentado por uma estação de energia solar para fazer suas recargas. A energia para abastecer o ônibus é o excedente da quantidade produzida pela cobertura de células fotovoltaicas localizadas no Centro de Pesquisa. O ônibus circula entre o campus de Florianópolis (Trinidade) e o Centro Integrado de Pesquisa em Energia Solar no Sapiens Parque (Cachoeira do Bom Jesus), faz 5 viagens por dia, com um trajeto de 52 quilômetros, e circula aproximadamente 5.000 km/mês.

Projeto Ônibus Brasileiro a Hidrogênio: O Estado de São Paulo liderou a incorporação de três ônibus movidos à hidrogênio na frota vinculada à Secretaria dos Transportes Metropolitanos de São Paulo, com a coordenação da EMTU/SP (Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos). A coordenação nacional ficou sob responsabilidade do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), com a coordenação institucional do Ministério de Minas e Energia (MME) e recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF) e da FINEP (EMTU, 2016). Os ônibus foram desenvolvidos com tecnologia brasileira, mediante parceria entre as empresas nacionais e estrangeiras: AES Eletropaulo, Ballard Power Systems, Epri International Inc, Hydrogenics, Marcopolo, Nucellsys, Petrobras Distribuidora e Tutto Transporti. Além da fabricação dos ônibus, o projeto também desenvolveu e instalou uma estação de produção de hidrogênio por eletrolises. Estes ônibus operaram no período 2010-2014 e depois foram desativados porque nenhuma empresa operadora demonstrou interesse em continuar com este projeto.

2.3 A ELETROMOBILIDADE NO TRANSPORTE COLETIVO NO MUNDO

Os sistemas de transporte coletivo podem ser grandes propulsores na eletrificação da frota das cidades. Atualmente a frota de ônibus elétricos no mundo é estimada em 385.000 veículos, sendo que 99% deles estão na China (Bloomberg New Energy Finance, 2018).

A frota de ônibus elétricos a bateria e ônibus híbridos plug-in na Europa é de 2.163 ônibus e a dos Estados Unidos atinge 360 veículos (sem a inclusão dos trólebus), conforme dados de 2017 (Bloomberg New Energy Finance, 2018). Atualmente, apenas algumas cidades da América Latina possuem unidades

de ônibus elétricos e híbridos rodando comercialmente, com destaque para Bogotá e Medellín, na Colômbia; Campinas e Curitiba, Brasil; e Santiago do Chile. No entanto, o cenário latino-americano já apresenta uma nova tendência para a eletromobilidade, visto que Santiago adquiriu 100 ônibus elétricos e que Niterói (cidade da região metropolitana do Rio de Janeiro) está em processo para aquisição de 40 veículos (O Globo, 2018; Publimetro, 2018).

A maior frota pertence a Shenzhen, cidade no sul da China, que possui 100% de sua frota de ônibus eletrificada, totalizando 16.359 ônibus (WRI, 2018). A experiência de Shenzhen – que iniciou a eletrificação de sua frota em 2012, com 277 veículos – prova que o resultado desse investimento beneficia os cidadãos dentro e fora do ônibus, visto que a cidade cumpriu suas metas de melhoria da qualidade do ar em 2016 e 2017 (WRI, 2018).

Considerando o desafio global de tornar as cidades em locais mais verdes, mais saudáveis e mais prósperos para se viver, dessa forma melhorando a qualidade de vida de todos os cidadãos e ajudando no combate a ameaça das mudanças climática, o C40 propôs, em 2017 a *Fossil Fuel Free Streets Declaration*. Assinada por 26 prefeitos de diversas cidades ao redor do mundo, a declaração tem como principal objetivo que essas cidades adquiram somente ônibus com zero emissões a partir de 2025 (C40, [n.d.]). Esta é uma grande oportunidade para a expansão das frotas elétricas ao redor do mundo, visto é a tecnologia que tem se apresentado como a viável para operação no transporte público das cidades.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA ELETROMOBILIDADE NO TRANSPORTE COLETIVO EM SÃO PAULO

3.1 FACTSHEET DO CASE SPTRANS

Esta seção apresenta os principais dados relacionados com o Modelo de Negócio. O principal interlocutor neste caso de estudo é a empresa São Paulo Transportes S/A (SPTrans), responsável pela gestão do transporte público por ônibus no Município de São Paulo. As principais diretrizes da SPTrans são:

- Planejar e fiscalizar o serviço de transporte público de ônibus urbanos;
- Fomentar o desenvolvimento tecnológico com vistas ao conforto, acessibilidade e preservação do meio ambiente.

Alguns dos principais dados operacionais relacionados com a SPTrans são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Principais dados operacionais SPTrans (Julho de 2018)

Dados operacionais	Cifras
Passageiros transportados em dias úteis	10 milhões
Número de linhas	1.300
Linhas noturnas	150
Viagens programadas em dias úteis	200 mil
Terminais de transferência	32
Pontos de Parada	20 mil
Corredores	12 corredores com extensão de 256 km nos sentidos ida e volta
Trechos de vias exclusivas	415 trechos com extensão de 500 km nos sentidos ida e volta
Percurso monitorado anual	840 milhões de Km
Consumo médio anual de combustível	400 milhões de litros de diesel

Fonte: Neto, 2018.

O sistema municipal de transporte coletivo da cidade de São Paulo é composto por dois subsistemas (SPTrans, 2018a):

- Subsistema estrutural: composto por veículos de médio e grande porte (articulados, biarticulados e comuns), destinadas a atender altas demandas e integrar diversas regiões às áreas centrais da cidade. O subsistema estrutural

é composto pelas frotas do grupo estrutural e do grupo local de articulação regional;

- Subsistema local: composto predominantemente por ônibus comuns e de menor porte. O subsistema local é destinado a atender aos deslocamentos internos nos subcentros e sua frota é composta pelo grupo local de distribuição.

O sistema atual do transporte público de São Paulo divide a cidade em oito áreas operacionais e, para cada área, se estabeleceram lotes para consórcios e para as empresas. Cada área está identificada com uma cor diferente e os veículos seguem o mesmo padrão de cores, de acordo com o Manual de Identidade Visual. A zona do centro da cidade é atendida por todas as empresas. Na Figura 1 se apresentam estas áreas operacionais e as empresas do Sistema Estrutural.

Estas empresas têm 42 garagens distribuídas em todas as zonas da cidade. No Apêndice 1 se apresenta um quadro com as empresas e os endereços de cada garagem.

Figura 1: Áreas operacionais e empresas do sistema estrutural de transporte público de ônibus na cidade de São Paulo (2018)



Área	Zona	Consórcio	Empresas
1	Noroeste	Bandeirantes	Gato Preto Santa Brígida
2	Norte	-	Sambaíba
3	Nordeste	Plus	ETU Expandir VIP
4	Leste	-	Express Ambiental
5	Sudeste	-	Via Sul
6	Sul	Unisul	Cidade Dutra Mobibrasil Tupi
7	Sudoeste	Sete	Campo Belo Gatusa Transkuba VIP
8	Oeste	Sudoeste	Gato Preto Trasnspass

Fonte: Elaborada pelo LEVE-UNICAMP com base nos dados fornecidos pela equipe da SPTrans.

3.2 A LEI DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS DE SÃO PAULO

Alinhada com os objetivos globais de redução de emissões da Convenção-Quadro de Mudanças do Clima, a Política de Mudança do Clima de São Paulo, promulgada pela Lei 14.933/09 e conhecida como a Lei do Clima, estabeleceu como diretriz a promoção do uso de energias renováveis e a substituição gradual dos combustíveis fósseis por outros com menor potencial de emissão de gases de efeito estufa, de outros poluentes e de ruídos e a priorização da circulação do transporte coletivo sobre transporte individual (São Paulo, 2009).

O artigo 5 da lei determinou uma meta de redução de 30% das emissões antrópicas do município até o ano de 2012 (ano base 2005). Buscando atingir objetivos de longo prazo, a lei determinou também que dois anos antes do final de cada período de compromisso, sejam definidos novos objetivos (São Paulo, 2009).

Além disso, os artigos 30, 37 e 38 desta lei, estabelecem que as licitações e contratos administrativos do município devem incorporar critérios ambientais e de sustentabilidade nas especificações e avaliações de produtos e serviços. Neste sentido, é importante salientar que o serviço de transporte coletivo sobre pneus é outorgado pelo poder público a empresas privadas e cooperativas que, por meio de licitação, concorrem por áreas da cidade. Ao vencer, elas adquirem o direito de operar com exclusividade o sistema na região

especificada (Greenpeace, 2016). Especificamente no que tange à incorporação de ônibus menos poluentes, o artigo 50 da lei estabelece:

"Os programas, contratos e autorizações municipais de transportes públicos devem considerar redução progressiva do uso de combustíveis fósseis, ficando adotada a meta progressiva de redução de, pelo menos, 10% (dez por cento) a cada ano, a partir de 2009 e a utilização, em 2018, de combustível renovável não-fóssil por todos os ônibus do sistema de transporte público do Município".

Segundo entrevista 3⁵ com a SPTrans, São Paulo se vinculou ao Projeto C40 Cities (Cities Climate Leadership Group) em 2007, e, com o objetivo de apresentar propostas de sustentabilidade ambiental, se planejaram estas metas ambiciosas de redução de combustíveis fósseis no transporte público, sem levar em conta as verdadeiras possibilidades tecnológicas e financeiras. Além disso, esta lei foi feita sem realizar nenhum tipo de consulta pública, nem considerar a opinião de especialistas do setor de transportes públicos.

Como já era o esperado, estas metas não foram atingidas. Uma das principais razões foi o atraso na renovação dos contratos com as operadoras de transporte coletivo de São Paulo, pela qual estas empresas não estavam obrigadas a cumprir a lei pois não havia um processo de licitação que regulamentasse esta redução progressiva do uso de combustíveis fósseis.

Uma das iniciativas mais interessantes que surgiu como resposta à Lei do Clima foi o Programa Ecofrota. A Secretaria Municipal de Mobilidade e Transportes (SMT), a SPTrans e a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) lideraram a implementação deste programa e testaram diversas tecnologias que conseguiriam cumprir com as metas de emissão da lei como: Diesel de Cana de Açúcar, Etanol, Trólebus, Biometano/Gás Natural, Ônibus Híbrido, Elétrico a Bateria e com Células de Hidrogênio. O Programa começou em fevereiro de 2011 e até fevereiro de 2012 já contava com mais de 1.600 ônibus, divididos em 200 linhas que correspondiam ao 11% da frota total do município. Durante este período houve uma redução de 6,3% das emissões de poluentes locais e 6,7% das emissões de CO₂ (São Paulo, 2012a). Contudo, estas alternativas apresentavam barreiras operacionais, tecnológicas e econômicas que impediam sua implementação em toda a frota. No ano 2014, o Programa Ecofrota foi suspenso pela Prefeitura argumentando problemas técnicos e financeiros.

Pioneira entre as políticas municipais de mudanças climáticas no Brasil, as ambiciosas metas de redução de emissões estabelecidas pela lei não foram atingidas (Rede Nossa São

5 Vide quadro 3.

Paulo, 2014). Todavia, no ano de 2017, apenas pouco mais de 1% dos ônibus municipais atendiam a exigência legal. Isto porque, dos mais de 14 mil ônibus da frota somente os 201 trólebus, movidos a energia elétrica atendiam aos padrões exigidos no artigo 50 da Política de Mudança do Clima (Diário do transporte, 2017). Ou seja, apesar da definição de prazos e metas rígidos, pouco foi de fato alcançado. Além da falta de incentivos adequados, o principal empecilho foi a impossibilidade de exigir a substituição do uso de combustíveis fósseis nos contratos de concessão vigentes.

Diante disto, dois fatores representam uma nova oportunidade para o cumprimento das metas ambientais no município de São Paulo. Primeiro, a revisão das metas legais do uso de combustíveis fósseis na frota de ônibus publicada na Lei 16.802/18 a qual modifica o artigo 50 da Lei do Clima. Segundo, a vinculação destas metas ao novo edital de licitação dos ônibus do sistema de transporte coletivo.

Em janeiro de 2018, a nova redação do artigo 50 da Lei 14.933/09 publicada na Lei 16.802/18 definiu novas metas de redução de emissões da frota municipal de ônibus. Esta Lei: "Dá nova redação ao art. 50 da Lei nº 14.933/2009, que dispõe sobre o uso de fontes motrizes de energia menos poluentes e menos geradoras de gases do efeito estufa na frota de transporte coletivo urbano do Município de São Paulo e dá outras providências" (São Paulo, 2018a).

O principal objetivo desta lei é que determina que os operadores do Sistema de Transporte Urbano de Passageiros do Município de São Paulo devem promover a redução progressiva das emissões de dióxido de carbono (CO₂) de origem fóssil e de poluentes tóxicos emitidos na operação das suas respectivas frotas, com a utilização gradual de combustíveis e tecnologias mais limpas e sustentáveis.

Assim, a Lei estabelece metas de redução de emissões de forma gradual, num prazo de 10 e 20 anos, contados a partir do início da vigência da Lei. Todas estas metas consideram como base as emissões da frota no ano de 2016. As metas de redução de emissões apresentam-se na Tabela 4.

Tabela 4: Metas de redução de emissões para o Transporte Urbano de Passageiros do município de São Paulo (2018)

Parâmetro	Ao final de 10 anos	Ao final de 20 anos
CO ₂ (Dióxido de carbono de origem fóssil)	50%	100%
MP (Material particulado)	90%	95%
NO _x (Óxidos de Nitrogênio)	80%	95%

Fonte: São Paulo, 2018a

Esta lei também estabelece a criação de um "Comitê Gestor do Programa de Acompanhamento da Substituição de Frota por Alternativas Mais Limpas", o qual foi regulamentado pelo

Prefeito Bruno Covas no Decreto No. 58.323 de 16 de julho de 2018. Os principal objetivo deste Comitê é "Propor, estimular, acompanhar e fiscalizar a adoção de planos, programas e ações que viabilizem o cumprimento do Programa de Acompanhamento da Substituição de Frota por Alternativas Mais Limpas" (São Paulo, 2018b). A regulamentação deste Decreto implica que a Lei No. 16.802/2018 também é regulamentada, e que a partir do 16/07/18 entra em vigor. O Quadro 1 apresenta os membros deste Comitê.

Quadro 1: Membros do Comitê Gestor do "Programa de acompanhamento da substituição de frota por alternativas mais limpas".

Secretarias Municipais	Representantes de instituições, entidades, empresas, conselhos, associações ou segmentos
- Mobilidade e Transportes - Verde e do Meio Ambiente - Prefeituras Regionais - Infraestrutura Urbana e Obras - Fazenda - Relações Internacionais - Governo Municipal	- SPTrans - CET/SP - Empresas ou consórcios que operam os subsistemas Estrutural e Local - Entidades com representatividade legal do setor de transportes de passageiros de frete - Secretaria dos Transportes Metropolitanos do Estado de São Paulo - EMTU - Conselho Internacional para Iniciativas Ambientais Locais (ICLEI) - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) - USP - UNESP - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) - Greenpeace - ANTP - Força Sindical

Fonte: São Paulo, 2018b.

Para evitar o fracasso das metas ambientais definidas em 2009, a Prefeitura de São Paulo vinculou as novas exigências legais de redução de emissões ao edital de licitação dos serviços de transporte coletivo por ônibus. Lançado em abril de 2018, o edital permitirá assegurar o incentivo legal necessário para o cumprimento das metas. Por fim, se por um lado a atualização das metas ambientais e a vinculação destas ao

edital de licitação do transporte coletivo pretendem promover os mecanismos legais para o alcance destas metas, ainda existem outros desafios que precisam ser superados.

3.3 OPORTUNIDADE: A LICITAÇÃO DO TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO

Uma vez analisadas as leis ambientais que estabelecem metas de redução de emissões de poluentes na frota de transporte público coletivo de São Paulo, esta seção apresenta um breve histórico do processo de Licitação, o qual necessariamente está articulado ao cumprimento da legislação ambiental.

Originalmente, a licitação deveria ter ocorrido no ano de 2013, mas foi cancelada pelo Prefeito anterior Fernando Haddad devido às manifestações contra o reajuste dos valores das tarifas de ônibus e sobre a qualidade do serviço. Este processo só foi retomado em 2015, onde foi publicado o novo edital da licitação, o qual foi suspenso pelo Tribunal de Contas do Município (TCM), sinalizando diferentes irregularidades. Após todo um processo de negociações entre a Secretaria Municipal de Mobilidade e Transportes e o TCM, este último liberou a licitação em 2016. Contudo, devido à proximidade das eleições municipais, o Prefeito Haddad decidiu que a Licitação fosse liderada pela próxima administração.

Em 2017, a administração do Prefeito João Doria começou a gestão do Processo da Licitação, o qual foi liderado pela SMT, sob a coordenação do Secretário Sergio Avelleda e da SPTrans. Assim, em junho de 2017 foram apresentadas as diretrizes da nova licitação em diferentes Audiências Públicas Regionais.

Como explicado na seção anterior, o artigo 50 Lei 14.933/2009 ainda estava em vigência, e se a nova licitação fosse publicada, necessariamente deveria cumprir a Lei, e toda a frota de ônibus de São Paulo deveria incorporar combustíveis não fósseis ainda no ano de 2018, prazo este impossível de ser cumprido. Assim, em agosto de 2017 foi anunciado que a Licitação só seria publicada uma vez que fosse modificado o art. 50 da Lei do Clima, para evitar possíveis impugnações pelo não cumprimento da lei.

Finalmente, no mês de dezembro de 2017 houve um acordo entre diferentes vereadores do Município para aprovar o projeto de lei 300 que modifica o artigo 50 da Lei do Clima. Com esta perspectiva de modificação, foi publicada a minuta do edital em 21 de dezembro de 2017. Durante os primeiros meses de 2018, a Licitação entrou em um processo de Consulta Pública, que foi finalizada em 5 de março. Foram recebidas mais de 8.000 questionamentos e sugestões de melhora, por parte dos operadores de frota, empresas de ônibus e da sociedade civil de forma geral. Estes questionamentos foram respondidos em sua totalidade pela Secretaria de Transporte e Mobilidade e pela SPTrans. A publicação final da Licitação ocorreu no dia 24 de abril de 2018.

Entretanto o TCM suspendeu novamente a Licitação em 8 de junho, apontando 51 irregularidades, 20 impropriedades (irregularidades menos graves) e 19 recomendações (G1, 2018). Em 30 de julho a Secretaria de Mobilidade e Transportes confirmou que entregou ao TCM as respostas aos 90 questionamen-

tos feitos pelo órgão. As principais observações por parte do TCM estavam relacionadas com o valor da remuneração dos contratos e o prazo de concessão de 20 anos, o qual impacta diretamente o incentivo aos ônibus limpos. Isto porque, se por um lado este período é considerado muito longo pelo TCM, é o período necessário para que o investimento nos ônibus limpos se amortize conforme a literatura especializada.

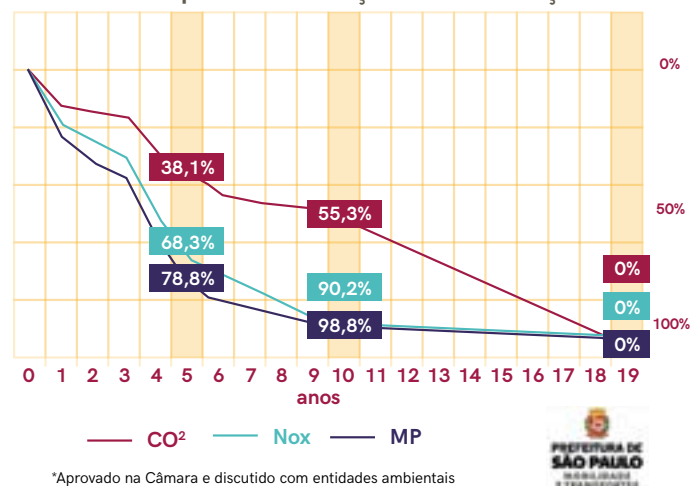
Em 24 de outubro de 2018, depois de analisar as respostas da SPTrans, o TCM liberou a Licitação. Finalmente, em 24 de novembro de 2018, a Licitação foi retomada pela Prefeitura, e a publicação dos novos Editais ocorreu em 6 de dezembro de 2018; a entrega das propostas está prevista para janeiro de 2019 (Diário do Transporte, 2018a).

Em relação às características da nova Licitação, esta abrange diferentes elementos associados à prestação do serviço de transporte público coletivo: alterações na rede de transporte; modernização dos ônibus; mudanças no modelo de remuneração; e metas anuais de redução de emissões e cronograma de substituição da frota por veículos mais limpos.

Neste sentido, a Licitação já está articulada às metas definidas pela Lei 16.802/2018 e estabelece um cronograma de redução de emissões de poluentes. Uma vez que o novo edital da licitação seja publicado e os contratos adjudicados, as concessionárias deverão apresentar um cronograma de substituição de frota, o qual deverá ser avaliado pela equipe técnica da SPTrans e pelo Comitê Gestor de acompanhamento. Uma vez aprovado o cronograma, a concessionária terá um prazo de 12 meses para iniciar a implementação da nova frota.

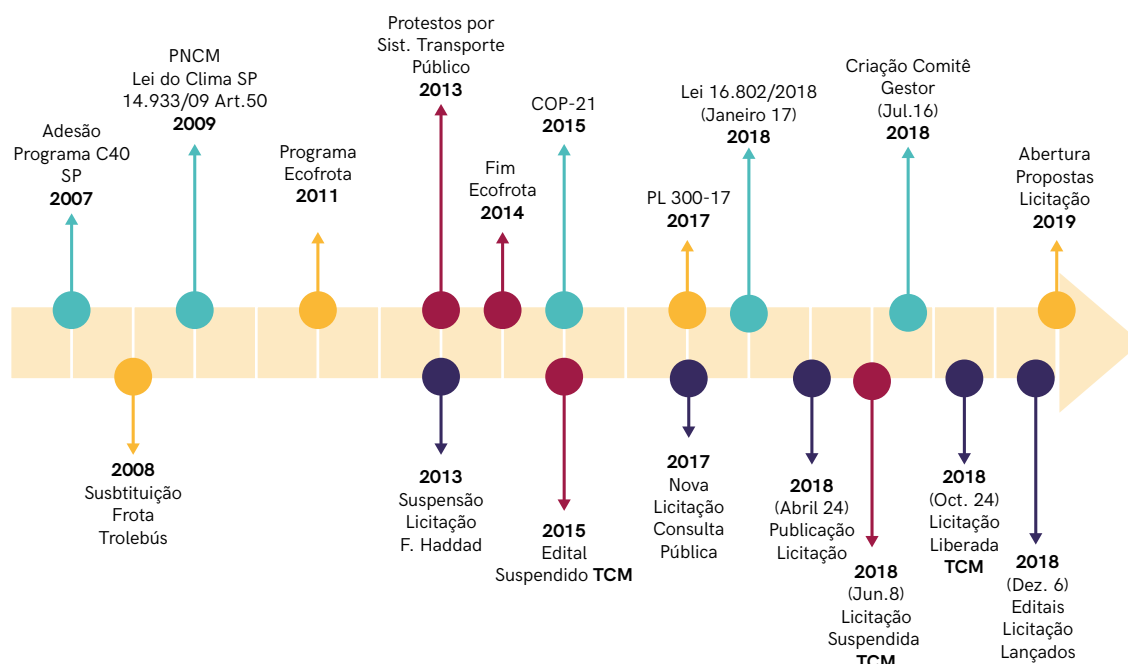
As alternativas energéticas possíveis são: Diesel a Cana de Açúcar; Biodiesel; Elétricos a Bateria; Elétricos Híbridos; e Biometano. O cronograma de redução de emissões é apresentado no Gráfico 2; já a Figura 2 apresenta a linha de tempo do processo da Licitação e da implementação de Leis ambientais do Município de São Paulo, com destaque para os principais eventos deste período.

Gráfico 2: Cronograma de redução de emissões de poluentes da frota (a partir do começo da nova licitação)



Fonte: SMT; SPTrans, 2017.

Figura 2: Articulação de Políticas Ambientais e a Licitação de Sistema de Transporte Público Coletivo de São Paulo



Fonte: Bermúdez, 2018.

4. INSTRUMENTOS DE MODELO DE NEGÓCIOS PARA FOMENTAR A IMPLEMENTAÇÃO DE ÔNIBUS LIMPOS

Além das dificuldades relacionadas ao ainda inicial desenvolvimento tecnológico, como o alto custo inicial e a incerteza operacional destas tecnologias; a adoção de tecnologias elétricas e híbridas nas frotas de ônibus urbanos esbarra também em barreiras relacionadas a ausência de incentivos adequados. Para superar estes desafios e tornar os ônibus limpos uma realidade global, o WRI auxilia cidades em todo mundo dando suporte baseado em uma metodologia de modelo de negócios e em uma ferramenta de análise de composição de frota, ambas apresentadas a seguir.

4.1 A METODOLOGIA DE MODELO DE NEGÓCIOS E SEUS COMPONENTES

A metodologia de modelo de negócios é baseada no processo de adoção de ônibus elétricos e híbridos em diferentes cidades ao redor do mundo. Com base na experiência destas cidades, a metodologia agrupa todos os elementos utilizados em quatro grandes categorias: componentes do investimento, que configuram principalmente os ativos a serem adquiridos; as fontes de recursos, que são as formas de obtenção de recursos sem endividamento; os produtos financeiros, formas de obtenção de recursos de terceiros com endividamento e; os mecanismos de entrega, que são as relações contratuais entre os diferentes atores do processo.

Cada uma destas quatro categorias contempla elementos que podem ser utilizados em diferentes combinações. É importante considerar que apesar desta metodologia organizar e indicar possibilidades de modelos de negócios o objetivo dela é que cada cidade, junto com seus representantes, estruture um modelo de negócios adequado a sua realidade local.

Por exemplo, nos componentes de investimento, estão representados elementos como os ônibus, baterias e estações de recarga. A composição de investimento a ser realizado irá depender, por exemplo, se a tecnologia do ônibus possui autonomia para operar apenas com recarga noturna ou se serão necessárias recargas de oportunidade. Ou seja, a tecnologia escolhida para a recarga dos ônibus irá pautar o investimento na infraestrutura de recarga. No caso das fontes de recursos, utilizadas para pagar pelo investimento realizado, a composição destes elementos pode incluir as receitas oriundas de propaganda nos ônibus e estações de recargas ou o direcionamento das economias operacionais conquistadas com as novas tecnologias.

Em relação a categoria de produtos financeiros, as opções podem ser empréstimos nacionais ou internacionais de fundos climáticos, de investidores privados, etc. Nesta categoria, a melhoria de crédito como fundos de contingência ou financiamentos em condições preferenciais também são alternativas. Já os mecanismos de entrega compõe desde a existência de planos governamentais que determinem ou incentivem a redução de emissões até os contratos de leasing, compra ou operação dos veículos.

4.2 A FERRAMENTA DE DECISÃO: DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA EMPREGADA

Conforme mencionado anteriormente, além da metodologia de modelo de negócios, o WRI também impulsiona a adoção de ônibus limpos através de uma ferramenta que compara os custos e as emissões de duas frotas de ônibus urbanos com diferentes características. Os resultados destas análises podem auxiliar os tomadores de decisão no planejamento e transição para frotas limpas através de três principais atributos da ferramenta:

- **Flexível:** permite a criação de diferentes composições de frota que variam conforme as tecnologias veiculares disponíveis no mercado. A partir disso, é possível obter uma perspectiva clara de como cada ônibus pode afetar os custos e emissões de uma frota.
- **Comparativa:** permite a comparação visual e objetiva das duas frotas através de gráficos e valores tanto para custos quanto para emissões, de forma a facilitar a interpretação dos resultados.
- **Robusta:** permite a inserção e calibração de dados de inventários de emissões locais, além de possuir uma base robusta de cálculos. A ferramenta oferece ainda alguns valores padrões para as variáveis necessárias, calibrados a partir da literatura científica e de experiências empíricas reportadas ao WRI.

Destaca-se que esta ferramenta fornece uma metodologia de fácil entendimento para as análises de custos e emissões de possíveis composições de frotas de ônibus urbanos. É importante salientar que estes resultados apontam possíveis opções de tecnologias a serem adotadas e que a decisão deve ser realizada entre os atores relevantes de forma estruturada e com uma visão de longo prazo.

No tocante a análise de custos, esta ferramenta permite analisar o custo total anualizado baseado na tecnologia e do número de ônibus de uma determinada frota. Esta análise é dividida em quatro componentes: (i) capital, referente aos custos de aquisição do bem; (ii) financeiro, que varia conforme o tipo de financiamento utilizado para aquisição do bem; (iii) manutenção, que inclui os custos mensais de manutenção do veículo e (iv) combustível, calculado a partir do preço do combustível, distância percorrida e rendimento do veículo.

Desta forma, o custo total anualizado de uma frota será a soma destes quatro componentes mencionados acima. Os mesmos são calculados ao transformar os custos referentes a cada tipo de veículo (diferentes em cada período) em uma série uniforme equivalente para toda a sua vida útil, mantendo-se o valor presente líquido quando se considera os custos de todos os períodos da vida útil do veículo.

A metodologia de cálculo das emissões considera cada tipo de ônibus que compõe a frota, uma vez que os parâmetros diferem para cada tecnologia. As emissões de dióxido de carbono (CO₂) e de poluentes locais de uma determinada frota variam em função consumo de combustível (L/100 km), fator de emissão (g/L ou g/kg_{diesel}), número de veículos e distância anual percorrida (km/ano). Os poluentes locais calculados são o óxido de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP).

O Quadro 2 apresenta os parâmetros de entrada e as variáveis que podem ser considerados nas análises destes quatro componentes. Além disto, um detalhamento das equações utilizadas na metodologia de cálculo de custos e emissões desta ferramenta está disponível no Quadro A2-1 e no Quadro A2-2 Apêndice 2 deste relatório.

Quadro 2: Parâmetros de entrada para análise de custos e emissões

Dados da frota de ônibus	Operação	Capital	Financeiro	Emissões
Número de ônibus	Manutenção: - Custo fixo anual de manutenção	Preço de aquisição do veículo	Fonte de financiamento	Fator de emissão de CO ₂
Tecnologia do motor			Taxa do financiamento	
Consumo de combustível	Combustível: - Custo do combustível	Vida útil do ônibus	Tempo do financiamento	Fator de emissão de MP
Distância anual percorrida	- Custo da eletricidade	Valor residual	Taxa de desconto	Fator de emissão de NOx
		Pagamento inicial		

Fonte: elaborado pelo WRI Brasil.

5. ETAPAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO DE NEGÓCIOS: O CASO DE SÃO PAULO

5.1 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DAS ETAPAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE ÔNIBUS LIMPOS

O processo de adoção da nova tecnologia segue 5 principais etapas:

- a definição de uma meta;
- planejamento da implementação;
- a definição da forma de investimento e amortização;
- a preparação da implementação dos ônibus na frota;
- destinação final e sucateamento.

As sessões a seguir, discutem os detalhes e as implicações de cada uma destas etapas com o objetivo de garantir que todos os componentes necessários sejam mapeados.

5.1.1 DEFINIÇÃO DE UMA META

Definir uma meta de redução de emissões a ser atingida é o passo inicial que irá orientar as outras etapas da implementação dos ônibus elétricos. Esta meta, que pode ser definida pelo poder público ou pelo próprio operador do transporte coletivo por ônibus, deve não só ser viável àquela realidade como estar conectada com a necessidade do sistema de transporte local.

Ao definir a meta a ser alcançada, é necessário considerar que os ônibus elétricos requerem um novo modelo operacional – cujas implicações ultrapassam os atores convencionais do atual sistema de transporte – com a participação, por exemplo, das companhias de energia e dos fabricantes da tecnologia elétrica. Além destes, cabe destacar que as externalidades positivas desta nova tecnologia, como a redução da emissão de ruído e poluentes também perpassam o sistema de transportes e se relacionam diretamente as áreas de saúde e meio ambiente. Dessa forma, o alinhamento institucional dos atores é importante nesta etapa para garantir que a meta estabelecida seja viável para todos os atores do processo e que considere as particularidades, objetivos e limitações de cada um deles.

Conforme citado, além da iniciativa do poder público, a implementação dos ônibus elétricos pode partir da definição de uma meta vinculada ao interesse de um operador de ônibus. Em função disso, a definição do responsável pela tomada de decisão é uma etapa fundamental nesse processo.

O estabelecimento de planos e leis municipais que respaldem a meta podem ser indutores do cumprimento da mesma. Assim, é necessário definir o arcabouço institucional que irá basear o processo de implementação. Além da definição da meta de redução de emissão a ser alcançada, esses planos e leis podem representar incentivos à implementação da frota limpa.

5.1.2 PLANEJAMENTO DA IMPLEMENTAÇÃO

O passo seguinte à definição da meta, é o planejamento da implementação. Para orientar a estruturação da implementação, propõem-se que todos os atores envolvidos no projeto desenvolvam coletivamente um cronograma para organizar e guiar as atividades ao longo desta etapa.

Nessa etapa devem ser definidos os ativos tangíveis, como o número de ônibus a serem implementados, o modelo de recarga e o planejamento da tarifa de energia a ser utilizada para recarga dos veículos. A definição do número de ônibus deverá estar de acordo com a meta de redução de emissões estipulada no item 5.1.1. A seleção da tecnologia de recarga deve considerar as diferentes implicações das condições de operação relacionada as duas principais formas de recarga: recarga nas garagens e terminais e a recarga de oportunidade. Ônibus com maior autonomia concentram sua infraestrutura de recarga nas garagens e terminais, o que exige um planejamento organizacional para realizar a recarga noturna do maior número de ônibus possível. Em contrapartida, os ônibus que utilizam recarga de oportunidade necessitam de infraestrutura ao longo da rota operacional, mas não requerem qualquer ajuste operacional significativo para realizar a recarga. O planejamento da tarifa de energia a ser utilizada para recarga dos veículos é fundamental, pois, entre outros fatores, o valor da energia varia não só conforme a quantidade de energia consumida, mas também em função do horário de consumo e do consumo total mensal previsto, por exemplo. Neste sentido, o planejamento adequado do consumo de energia e o alinhamento contratual com a distribuidora de energia são pontos importantes para assegurar o melhor custo possível da energia. Entre outras, essas definições irão respaldar a avaliação do investimento total dos ativos tangíveis.

Não obstante, apesar de não representarem diretamente uma implicação financeira ao projeto, os ativos intangíveis possuem um potencial significativo para garantir o sucesso

do investimento. Em primeiro lugar, destaca-se os benefícios de sustentabilidade ambiental relacionados a redução das emissões de poluentes. Além das emissões de gases de efeito estufa, os transportes contribuem significativamente para um dos principais desafios ambientais da atualidade: a qualidade do ar urbano. Neste sentido, visto que os ônibus elétricos não possuem emissões diretas, o reconhecimento e valorização dos benefícios da não-emissão destes poluentes é importante para subsidiar o convencimento e engajamento de novos atores. É preciso convencer outros setores não só das externalidades negativas dos combustíveis convencionais bem como do potencial significativo de melhoria ambiental e de saúde pública da eletromobilidade.

Além disso, outro ativo intangível é a criação de um branding de sustentabilidade, que pode beneficiar, por exemplo, a tomada de decisão feita por um órgão público. Neste caso, a implementação dos ônibus elétricos pode proporcionar a cidade um reconhecimento de responsabilidade ambiental importante, por exemplo para a identificação e apoio dos cidadãos à iniciativa e possibilitando também, o acesso da cidade à linhas de crédito preferenciais, como as oferecidas pelo Fundo Verde Climático (GEF, *Green Environment Fund*).

5.1.3 DEFINIÇÃO DA FORMA DE INVESTIMENTO E AMORTIZAÇÃO

O custo de aquisição de um ônibus elétrico é, em média 50% mais alto que um ônibus de tecnologia diesel. Ainda que os custos operacionais da tecnologia elétrica o tornem mais barato ao final da vida útil, superar a barreira do alto custo inicial ainda é um grande desafio para as cidades brasileiras.

Além da compra do veículo a partir do financiamento, como feito usualmente nos ônibus diesel, alguns modelos de negócios, como o leasing da bateria ou de todo o veículo estão surgindo para superar a barreira do alto custo inicial, oferecendo mais flexibilidade e redução dos riscos na implementação da nova tecnologia. Para garantir a viabilidade econômica dos ônibus elétricos, é importante que nesta etapa seja escolhido o modelo de negócio a ser utilizado.

Para avaliar a viabilidade de aquisição do veículo a partir do financiamento, o primeiro passo é levantar as opções de financiamento disponíveis. O impacto das condições de financiamento no valor final do veículo é bastante significativo. Desta forma, buscar condições de financiamento preferenciais, seja em bancos nacionais ou internacionais é uma forma de garantir a viabilidade econômica do projeto.

O leasing consiste no pagamento de uma taxa mensal pela disponibilidade da bateria ou do veículo todo e pode implicar ou não na compra do bem ao final do período acordado. Para isso, é necessário definir se haverá a compra ou não do bem ao final do contrato.

Se a bateria for comprada, é importante prever uma finalidade adequada do bem ao final do período de operação. Por representar parte significativa do valor total do veículo, avaliar possibilidades de segunda vida da bateria após a vida útil ope-

racional é importante para criar oportunidades futuras, tanto no cenário de financiamento quanto no leasing para compra.

Além de definir a forma de investimento, também é importante planejar nesta etapa, principalmente no caso da implementação do ônibus a partir de um órgão público, as fontes de recursos não reembolsáveis que serão utilizadas para pagar os investimentos. Além de fontes convencionais, como receitas de tarifas e propagandas, uma novidade nos casos dos ônibus elétricos é mapear a possibilidade de utilizar fundos de outras áreas do governo como secretaria de saúde e meio ambiente ou mesmo as economias operacionais dos novos ônibus.

5.1.4 PREPARAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DOS ÔNIBUS NA FROTA

Atualmente, a experiência da operação dos ônibus elétricos em diversas cidades permite destacar alguns pontos relevantes no processo de implementação com o intuito de maximizar as potencialidades e minimizar as incertezas associadas à nova tecnologia. A economia nos custos de combustível e manutenção dos ônibus elétricos são fundamentais para garantir a viabilidade econômica da tecnologia elétrica em relação a tecnologia diesel.

Neste sentido, para a implementação dos ônibus elétricos na frota, destaca-se a importância do treinamento e preparação dos futuros motoristas e da equipe responsável pela manutenção dos ônibus elétricos.

Adicionalmente, recomenda-se para a implementação dos ônibus elétricos a criação de indicadores de desempenho que permitam avaliar quais fatores influenciam na eficiência dos ônibus, identificando, por exemplo o impacto da rota e do motorista na eficiência dos veículos. Para o desenvolvimento destes indicadores sugere-se a troca de experiências com cidades que já operam a tecnologia.

Um outro ponto importante a se pensar ao inserir os ônibus elétricos na frota é identificar a melhor rota de operação. A tecnologia elétrica possui um dispositivo mecânico chamado de frenagem regenerativa que permite a geração da energia nos momentos de frenagem do veículo. Por isto, testar os ônibus elétricos em rotas com diferentes variações de declividade, em trânsito misto e segregado e com diferentes demandas são formas de identificar quais características de rota permitem usufruir ao máximo das potencialidades da nova tecnologia.

5.1.5 DESTINAÇÃO FINAL E SUCATEAMENTO

Ao final do período de operação dos ônibus elétricos é importante o planejamento para a destinação adequada aos materiais do veículo, principalmente de sua bateria. Isto porque, os benefícios ambientais adquiridos ao longo da operação dos veículos podem ser facilmente comprometidos pelo descarte incorreto de suas baterias, cujos componentes químicos podem atingir o lençol freático e, além de contaminar a flora e fauna, comprometer a qualidade de vida da população.

No Brasil, a Resolução CONAMA n 257/99 estabelece a obrigatoriedade de procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequada para bilhas e baterias. Segundo esta mesma resolução, os fabricantes e estabelecimentos que comercializam estes produtos são obrigados a aceitar dos usuários a devolução das unidades usadas. Portanto, uma alternativa para após o período de operação dos ônibus elétricos é retornar o produto ao fabricante, que fica responsável por uma destinação ambientalmente adequada.

Atualmente, a vida útil média esperada de uma bateria para operar em um ônibus elétricos é de aproximadamente 7 anos. Todavia, ao final deste período estas baterias ainda são capazes de atender a eficiência necessária para armazenamento estacionário de energia, podendo ser utilizado, por exemplo, em hospitais ou em sistemas geradores de energia fotovoltaica. Desta forma, o planejamento de uma segunda vida útil para as baterias, é uma outra possibilidade para a destinação das baterias após o período de operação no ônibus, conforme destacado no item 5.1.3.

Não obstante, é fundamental também planejar o destino do chassi e carroceria dos ônibus. Ainda que possuam características similares aos utilizados nos ônibus diesel, estas peças apresentarão um valor de revenda inferior, visto que dependem das baterias para operação. Portanto, é recomendado que seja feito o sucateamento adequado destas peças, o que pode ser aproveitado, inclusive como fonte de recursos para novos investimentos.

5.2 INTERLOCUÇÃO E PLANEJAMENTO DOS ATORES

Com o objetivo de conhecer a percepção dos diferentes atores que impactam/são impactados pela implementação de ônibus limpos ou ônibus de baixa-emissão no Município de São Paulo, foram conduzidas 11 entrevistas em profundidade, além do acompanhamento das reuniões com a equipe da SPTrans, conforme detalhes no Quadro 3.

Quadro 3: Relação de entrevistas

Data	Cidade	Empresa/ Instituição	Cargo do Entrevistado	Código da entrevista
06/04/18	São Paulo	Eletropaulo ⁶	Gerente do Planejamento do Sistema	Entrevista 1
24/04/18	Campinas	BYD	Vice-Presidente de Vendas	Entrevista 2
27/04/18	São Paulo	SPTrans	Superintendente de Engenharia Veicular e Mobilidade Especial	Entrevista 3
10/05/18	Brasília	Secretaria de Mobilidade	Secretario	Entrevista 4

11/05/18	Brasília	NTU	Diretor Técnico	Entrevista 5
11/05/18	Brasília	Piracicabana	Diretor Geral	Entrevista 6
24/05/18	São Paulo	Greenpeace	Coordenadores da Campanha do Clima e Energia	Entrevista 7
25/05/18	São Paulo	SPUrbanuss	Presidente	Entrevista 8
25/05/18	São Paulo	IEMA	Coordenador da Área de Emissões	Entrevista 9
15/06/18	São Paulo	Mercedes Benz	Gerente de Marketing	Entrevista 10
01/08/18	São Paulo	ABVE	Vice-Presidente de Pesados	Entrevista 11

Fonte: elaborado pelo LEVE-UNICAMP.

Para apresentar as percepções dos atores, criou-se as seguintes categorias: empresas de ônibus, empresas de energia elétrica, operadores de frota, associações de classe e organizações ambientais. Este detalhamento ocorre a seguir:

Empresas de ônibus: Como já foi mencionado, no Brasil, há três empresas de ônibus de baixa emissão: Eletra, BYD e Volvo. Estas empresas têm plantas produtivas no país, mas ainda não há uma demanda suficiente para incrementar a sua produção em grande escala. Contudo, a definição das metas de emissão definidas pela Lei Ambiental e pela Licitação de São Paulo, abrem uma oportunidade interessante de mercado para novas tecnologias de baixa-emissão. Além disso, outras cidades como Campinas, Belo Horizonte e Niterói estão conduzindo os próximos editais de transporte público de forma a implementar metas de redução de emissões de maneira similar como foi feito em São Paulo.

Uma das iniciativas em São Paulo para incorporar uma frota de ônibus elétricos a bateria, foi anunciada em 10 de dezembro de 2018 e consiste em um projeto piloto de 15 ônibus da empresa BYD, os quais serão operados pela empresa Transwolff. Estes ônibus operarão na linha 6030/10 Unisa-Campus 1 / Terminal Santo Amaro, cujo trajeto é de alto carregamento e vai exigir bastante do veículo. Este projeto piloto permitirá analisar a operação dos ônibus, a autonomia dos veículos e os custos de manutenção. Além disso, a energia para o carregamento dos veículos ocorrerá a partir de placas solares fotovoltaicas, as quais foram instaladas em uma fazenda em Araçatuba, no interior de São Paulo (Diário do Transporte, 2018b).

Em relação às empresas de ônibus a diesel, o Entrevistado 10 da Mercedes Benz, considera que ainda há muitas incertezas em relação ao uso dos ônibus elétricos a bateria, principalmente pelas condições tão exigentes da operação de São

⁶ Em 2018 a empresa de energia italiana ENEL adquiriu 73% da distribuidora de energia Eletropaulo; seis meses depois, o nome Eletropaulo foi substituído por Enel Distribuição São Paulo. Como a entrevista foi realizada antes desta aquisição, o nome Eletropaulo será mantido neste relatório.

Paulo, o custo da infraestrutura e o custo da energia que pode encarecer os cursos de forma geral. A empresa Mercedes Benz apresentou no Salão do Automóvel na Alemanha os modelos elétricos e-Citaro e Citaro Hybrid que utilizam baterias de lítio e supercapacitores respectivamente para gerar energia. Segundo o entrevistado: “a empresa quer oferecer maior segurança e confiança para os operadores, pelo qual precisam de um tempo maior para testar a tecnologia e procurar menores custos” (entrevistado 10, Mercedes Benz). Uma vez lançado o edital definitivo, a empresa vai tomar as decisões de investimento respectivas.

Empresas de energia elétrica: Um dos atores chave para impulsionar a mobilidade elétrica no transporte público são as empresas de energia elétrica, já que são as responsáveis pelo fornecimento da energia necessária para o carregamento dos ônibus. Contudo, os operadores de frota têm muitas incertezas em relação à disponibilidade de energia para o carregamento dos veículos. Frente a estes questionamentos, a empresa de energia tem se posicionado publicamente: “inclusive se todos os 15.000 ônibus de São Paulo forem trocados por ônibus elétricos, a empresa tem toda a capacidade de energia e potência para atender esta demanda”. O motivo deve-se ao fato das recargas serem realizadas nas garagens das concessionárias entre as 22:00 horas e as 4:00 horas, que são os horários fora do pico, em que o sistema se encontra ocioso (Entrevistado 1, da Eletropaulo).

Além disso, segundo estimativas da equipe da SPTrans, o consumo de energia de toda a frota do sistema é insignificante se comparada com a produção nacional de energia, a qual é principalmente proveniente de fontes renováveis: “só seriam necessárias 6 horas consecutivas do que a hidroelétrica de Capivara produz para abastecer os ônibus elétricos”.

Assim, a preocupação não é tanto com a produção de energia, mas sim com a logística de distribuição nos pontos de carregamento nas garagens e na necessidade de instalar subestações de energia elétrica. Frente a estes questionamentos, a SPTrans e a Eletropaulo, que foi adquirida pela italiana Enel em junho de 2018, estão fazendo estudos conjuntos para determinar as ações necessárias para garantir a disponibilidade de energia nas garagens.

Operadores de frota: Os operadores de frota também são atores chave para a implementação dos ônibus elétricos, já que são os que tomam a decisão final de compra. Segundo o entrevistado 6 da empresa Piracicabana de Brasília, “a compra dos ônibus elétricos a bateria da BYD foi uma iniciativa da empresa para inserir-se no contexto da mobilidade elétrica no transporte público. O objetivo é avaliar a tecnologia, fazer uma análise dos custos da energia e da manutenção e aprender da operação em condições de tráfego urbano, tanto em linhas curtas como de longa distância”. A empresa também vai implementar planos de ação e acompanhamento desde o início da operação para mensurar a satisfação do usuário e dos motoristas dos ônibus elétricos.

Os aspectos manifestados pelo operador da empresa Piracicabana são comuns aos dos operadores de frota que já incorporaram ônibus de baixa emissão na sua operação urbana: testar a tecnologia, conhecer os custos operacionais, inclusive o custo da energia e antecipar-se aos requerimentos das licitações dos governos locais que podem exigir metas de redução de emissões nas frotas de transporte público (Bermúdez, 2018).

Associações de classe: Apesar de algumas iniciativas de implementação de ônibus de baixa emissão por parte de operadores de frota em cidades como Brasília e Campinas, associações como a NTU (Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos) e a SPUrbanuss (Sindicato das empresas de Transporte Coletivo Urbano de Passageiros de São Paulo) têm manifestado diferentes incertezas por parte dos operadores de frota que representam.

Segundo o entrevistado 8 da SPUrbanuss, “*Há uma grande preocupação por parte dos operadores com a factibilidade e viabilidade econômica e financeira para cumprir com a licitação de São Paulo. Os operadores de frota são favoráveis às tecnologias de baixo impacto ambiental e de melhores motores, não há nenhum questionamento em relação à redução de poluentes como NOx e Material Particulado, que são os poluentes mais relacionados com a qualidade do ar e o impacto na saúde. Mas para os operadores há uma dificuldade enorme em cumprir com as metas de redução de CO₂, que têm a ver com o aquecimento global e os GEE*”.

Para os operadores, a Prefeitura não terá recursos suficientes para assumir os gastos adicionais decorrentes da mudança de frota, se responsabilizando pelas remunerações correspondentes. De acordo com o entrevistado 8 da SPUrbanuss: “a operação do sistema do transporte público de São Paulo é altamente onerosa, o custo anual do serviço é de R\$8 bilhões, dos quais R\$ 4,5 são da arrecadação e R\$ 3,5 são subsidiados pela Prefeitura”. Para o entrevistado 10 da empresa Mercedes Benz: “uma tecnologia como os ônibus elétricos pode encarecer ainda mais o subsídio e o custo do sistema de transporte de São Paulo, as tecnologias devem ser sustentáveis tanto do lado ambiental como financeiramente”.

As incertezas relacionadas sobre quem e como vai se pagar a conta da implementação destas novas tecnologias e especialmente da infraestrutura, também foram manifestadas pelo entrevistado 5 da NTU: “*a preocupação fundamental é se há sustentabilidade econômica e financeira no novo modelo de negócio. Os empresários fazem as contas e segundo o valor da tecnologia e os custos do serviço, definem uma tarifa técnica. Esta tarifa técnica em muitos casos é mais alta do que se cobra aos usuários, e a diferença deve ser coberta pelo poder público. Os empresários não têm total certeza de que as autoridades locais vão cumprir os contratos, já que no Brasil, o histórico mostra que os contratos não são respeitados e os operadores devem entrar na justiça para solucionar estes conflitos e receber sua correspondente remuneração*”.

Estes questionamentos são totalmente válidos e respondem em grande medida à cultura dos operadores de frota os quais estão familiarizados com um modelo de negócio baseado no diesel.

Por sua vez, a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), que representa os interesses de empresas de ônibus de baixa emissão, participou ativamente durante todo o processo tanto das audiências públicas da licitação como na definição da nova Lei 16.802/18. Entretanto, o entrevistado 11 da ABVE questiona o fato desta associação não ter sido incluída como membro do Comitê Gestor do Programa de Acompanhamento da substituição de frota por alternativas mais limpas. A participação da ABVE neste comitê é importante pelo papel ocupado pelas empresas de ônibus de baixa emissão, já que elas são fornecedoras deste tipo de tecnologia o qual deverá equipar o sistema de transporte público de São Paulo.

Organizações ambientais: O IEMA (Instituto de Energia e Meio Ambiente) elaborou o “Inventário de Emissões Atmosféricas do Transporte Rodoviário de Passageiros no Município de São Paulo”, onde foram calculadas as emissões de CO_{2e} e de poluentes locais como MP e NO_x por parte dos automóveis, ônibus e motocicletas. Segundo o entrevistado 9 do IEMA: *“este inventário busca responder as seguintes questões: quem emite? quanto emite? e como acontece esta emissão?”. O inventário é uma ferramenta fundamental para descobrir quem é o responsável pela poluição ambiental no Município de São Paulo”*.

Os resultados do inventário indicam que os automóveis são responsáveis por 72,6% das emissões de GEE, os ônibus urbanos por 23,8%, motocicletas 3,1% e ônibus rodoviários 0,5%, os quais são medidos em kilotoneladas de CO₂ e por dia. Quando se analisam os poluentes locais, os ônibus municipais são os responsáveis por uma maior parcela tanto de Material Particulado oriundo da combustão (MP_{comb}) como 80,1% e de NO_x com 77,8%. A Tabela 5 apresenta as emissões de poluentes por cada tipo de veículo.

Tabela 5: Emissões de GEE e poluentes locais totais por dia em São Paulo (2017)

Tipo de Veículo	MP _{comb} Total dia	NO _x Total dia	CO Total dia	CO _{2e}
Automóvel	12%	19%	71,3%	72,6%
Motocicletas	7,5%	2,4%	21,2%	3,10%
Ônibus Municipais	80,1%	77,8%	7,4%	23,80%

Fonte: Bermúdez (2018) com base nos dados de IEMA (2017).

Estes dados indicam que os ônibus municipais têm uma participação importante nas emissões de poluentes locais como MP e NO_x pelo qual é necessária a mudança para uma frota mais limpa. Além disso, os automóveis têm uma maior responsabilidade nas emissões de CO_{2e} e de CO, sendo necessário desestimular o uso de veículos individuais e promover a mudança de modal para o transporte público coletivo.

Segundo os entrevistados do Greenpeace, os quais participaram ativamente tanto na modificação do artigo 50 da Lei 14.933/09, como no processo de Licitação, os ônibus urbanos estão gerando altos níveis de poluição local o que impacta no número de internações e no aumento das mortes prematuras principalmente por doenças cardíacas e respiratórias. Neste sentido, consideram que as metas de emissão definidas pela Lei 16.802/18 e pela licitação, são razoáveis e correspondem à realidade do país e da cidade.

Assim, segundo as percepções identificadas nas entrevistas, o processo de implementação da licitação impõe grandes desafios a serem superados, já que há muitos interesses por trás e muitas incertezas relacionadas com a implementação de uma nova tecnologia como os ônibus elétricos. A análise do modelo de negócios tende a contribuir para diminuir estas incertezas e avaliar, econômica e ambientalmente, as diferentes alternativas para cumprir com as metas de emissão.

6. ANÁLISES ECONÔMICAS E AMBIENTAIS PARA O MODELO DE NEGÓCIOS DE SÃO PAULO

O presente capítulo tem como objetivo analisar os impactos econômicos e ambientais de diferentes composições de frota de ônibus urbanos para a cidade de São Paulo. Para tal, foram elaborados dois cenários com tecnologias distintas de ônibus e comparados entre si. Como pressuposto foi definido que um desses cenários atende as metas de emissões previstas na Lei de Mudanças Climáticas e o outro não.

6.1 APRESENTAÇÃO DAS PREMISSAS DE COMPOSIÇÃO DE FROTA

Conforme apresentado no Capítulo 3, a frota municipal é dividida em dois subsistemas: o estrutural e o local. A Tabela 6 apresenta a frota total utilizada para o cálculo dos cenários.

Tabela 6: Frota total dos dois subsistemas analisados

Subsistema	Frota operacional para o início da operação ⁷	Frota operacional dos anos subsequentes ⁸
Estrutural	8.396	7.728
Local	5.981	5.864
Total	14.377	13.592

Fonte: elaborada pelo WRI Brasil.

No ano seguinte ao início de operação (2018) a frota terá uma redução de 1017 ônibus. Essa redução se deve, principalmente, pela reestruturação das linhas, pela compra de ônibus com maior capacidade e por um aumento no percurso médio dos veículos. Essas modificações visam uma otimização da rede de transporte coletivo, garantindo mais eficiência, maior cobertura da rede e aumento da oferta de lugares (SPTrans, 2018b). Atualmente, a frota de transporte coletivo é composta por ônibus que utilizam as tecnologias EURO III, EURO V e Trólebus.

Para a elaboração do primeiro cenário utilizou-se o conceito *Business as Usual (BaU)*, que é a execução normal de operações padrões dentro de uma organização e forma um contraste com a introdução de novas tendências e mudanças. Assim, para a composição da frota BaU foi considerado que:

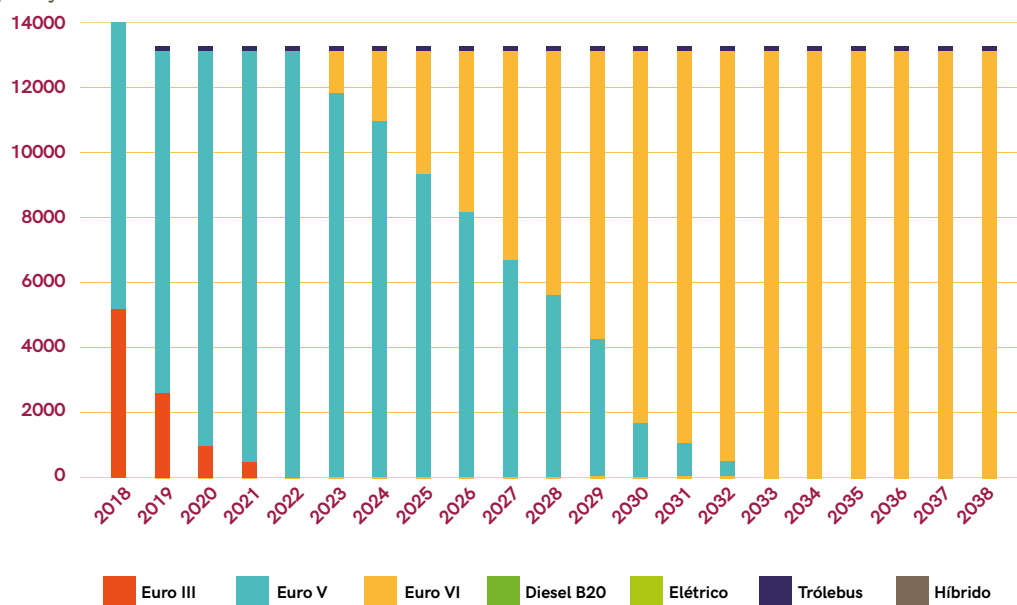
- de 2018 até 2023, a renovação da frota ocorre através da compra de ônibus EURO V;
- de 2023 até 2038, a renovação da frota passa a ser considerando a compra de ônibus EURO VI;
- a taxa de renovação, para cada ano, varia conforme a idade dos veículos que operam atualmente em São Paulo e que constam descritos na Assessoria do Cadastro da Frota e dos Operadores de novembro de 2018.

Com isso, o primeiro cenário foi desenvolvido com o objetivo de identificar os impactos ambientais e financeiros da renovação regular da frota de transporte coletivo da cidade, sem a inserção de tecnologias limpas. O Gráfico 3 ilustra a composição total da frota BaU.

⁷ Ano de início de operação para o presente trabalho foi considerado sendo 2018.

⁸ Anos subsequentes: 2019 a 2038.

Gráfico 3: Composição da frota BaU



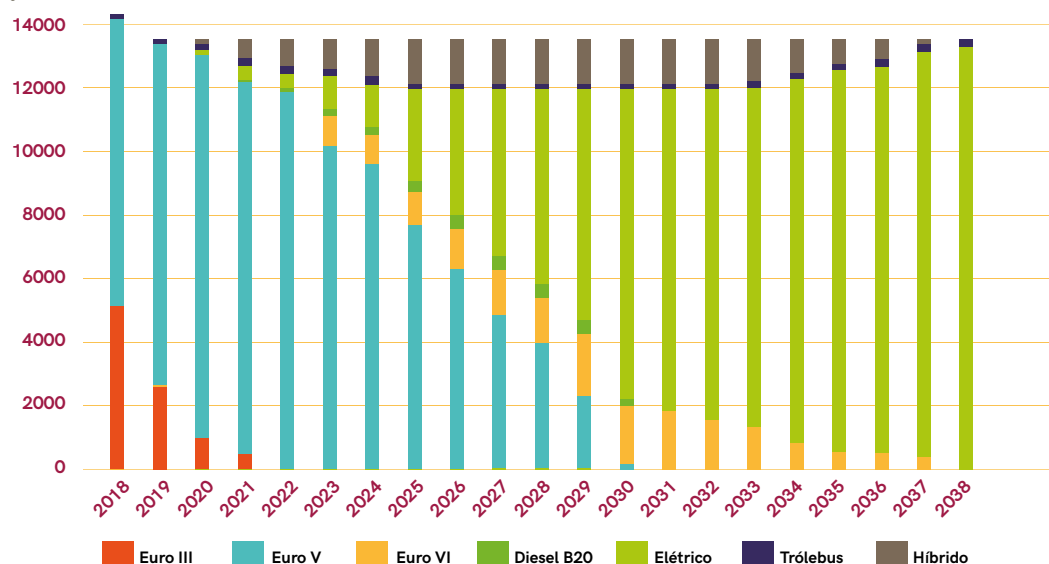
Seguindo esse padrão de renovação, a partir do ano 2020, os ônibus da tecnologia EURO III não serão mais utilizados na frota do subsistema local e a partir de 2022 essa tecnologia será extinta da frota. Somente o subsistema estrutural possui Trólebus em sua frota e esses veículos passam de 201 para 250 no ano de 2020. A partir de 2031 no subsistema local e 2033 no subsistema estrutural os veículos diesel são todos EURO VI. A composição detalhada da frota BaU está apresentada na Tabela A3-1 do Apêndice 3.

O segundo cenário de renovação (Gráfico 4) leva em consideração uma frota na qual gradualmente são inseridos ônibus com tecnologias limpas, alinhada com as exigências da Lei Municipal de Mudanças Climáticas. Por isto, garantiu-se que este cenário satisfaça as seguintes premissas:

- a renovação da frota será preferencialmente através da aquisição de veículos elétricos, híbridos e EURO VI;

- a redução total de dióxido de carbono (CO_2) deve atingir o percentual de 50% em 2028 e 100% em 2038;
- a redução total de material particulado (MP) deverá ser de 90% em 2028 e 95% em 2038;
- a redução total de óxido de nitrogênio (NO_x) deverá ser de 80% em 2028 e 95% em 2038;
- em alguns anos, uma parte da frota de veículos EURO V utiliza o combustível Biodiesel B20;
- a taxa de renovação, para cada ano, varia conforme a idade dos veículos que operam atualmente em São Paulo e que constam na *Assessoria do Cadastro da Frota e dos Operadores*.

Gráfico 4: Composição da frota limpa



Assim, também para o segundo cenário a tecnologia EURO III não é mais utilizada em ambos os subsistemas a partir do ano de 2022. As tecnologias consideradas limpas começam a ser introduzidas na frota a partir de 2020 no subsistema estrutural e de 2023 no local com o objetivo de garantir o tempo de adequação para os operadores previsto na licitação de transportes da cidade de São Paulo. Os Trólebus, da mesma forma que a frota BaU, operam somente no subsistema estrutural e têm um aumento na frota em 2020. Essa tecnologia opera ao longo dos 20 anos, compondo aproximadamente 3% da frota total no ano 2038. A utilização de ônibus elétricos aumenta gradualmente ao longo dos anos, de forma a compor 98% da frota total do sistema municipal de transporte em 2038. A composição da frota limpa para cada um dos anos e subsistemas avaliados está disponível na Tabela A3-2 do Apêndice 3.

Para ambos os cenários a tecnologia EURO VI entrará na composição de frota em 2023 conforme resolução do CONAMA que prevê implementação do PROCONVE 8 (Conama, 2017). Além disso, considerou-se que para a definição da frota, ano a ano, todos os ônibus que utilizam o combustível diesel, operam durante um período máximo de 10 anos, enquanto os veículos híbridos, durante 12 anos. Para os veículos elétricos, a vida útil considerada foi de 15 anos. Todavia, no subsistema local, pelo fato dos veículos predominantes serem do tipo miniônibus e midiônibus, a vida útil considerada para as tecnologias diesel foi de 8 anos.

Por fim, vale salientar que o subsistema local atualmente conta como uma predominância de veículos de menores dimensões (midiônibus e miniônibus) e, na renovação desse subsistema, optou-se por inserir gradualmente ônibus elétricos convencionais (12 metros). Tal consideração pode acarretar em um aumento da oferta desse subsistema. Da mesma maneira, os ônibus articulados e biarticulados do subsistema estrutural foram substituídos pelos mesmos ônibus elétricos convencionais, o que resulta em um equilíbrio do sistema total. Essa limitação deve-se à falta de informações dos custos de aquisição e operacionais para veículos elétricos do tipo miniônibus e articulados.

6.2 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DE CUSTOS DE RENOVAÇÃO

Para o presente estudo, os custos totais dos dois cenários foram desagregados em custos de aquisição (financeiro e de capital) e custos operacionais (combustível, manutenção e leasing).

Com o objetivo de minimizar o impacto que os altos custos da bateria do veículo elétrico produzem na análise, foi utilizada a opção de leasing para a bateria e considerada como um custo operacional. O leasing caracteriza-se por um contrato através do qual a arrendadora ou locadora (a empresa que se dedica à exploração de leasing) adquire um bem escolhido por seu cliente (bateria do veículo elétrico) para, em seguida, alugá-lo a este último, por um prazo determinado.

6.2.1 PREMISSAS ADOTADAS

Para análise comparativa dos custos foram considerados – para cada subsistema – os valores médios do custo de aquisição, tempo de vida útil, consumo de combustível e preço de manutenção para cada tecnologia de ônibus (Tabela 7).

Os valores do custo de aquisição, manutenção e consumo de combustível das tecnologias EURO III e EURO V foram calculados através da média ponderada da quantidade e do valor unitário conforme cada tipo de veículo (miniônibus, midiônibus, básico, padron, articulado e biarticulado). É importante destacar que esses valores diferem para os subsistemas pois em cada um deles existe a predominância de diferentes tipologias de veículos com preços e consumos diferentes. No subsistema estrutural há a predominância de veículos padron, básicos, articulados e biarticulados, ou seja, veículos maiores. Todavia, no subsistema local verifica-se a predominância de veículos de menores dimensões: miniônibus, midiônibus e básicos.

Para a tecnologia Biodiesel (B20), foram considerados os mesmos valores que a tecnologia EURO V, visto que estes veículos podem ser abastecidos, sem precisar de qualquer alteração, com combustível biodiesel 20%. Para os Trólebus foram considerados os valores referentes aos veículos que já operam na cidade de São Paulo.

Além disso, através de uma revisão na literatura científica obteve-se os valores para as tecnologias: EURO VI, Híbrido (ICCT, 2016; IEMA, 2015). Para os veículos elétricos, foram utilizados os dados operacionais fornecidos ao WRI Brasil pelos fabricantes e operadores de ônibus de cidades brasileiras.

Tabela 7: Parâmetros de entrada para análise dos custos

Tecnologia	Custo de aquisição (R\$)		Consumo		Local	
	Estrutural	Local	Estrutural	Local	Estrutural	Local
Euro III	524.412	266.577	0,57 L/km	0,35 L/km	45.878	23.267
Euro V	562.036	267.683	0,59 L/km	0,32 L/km	49.178	23.362
Euro VI	618.265		0,59 L/km		54.104	
Híbrido	707.084		0,42 L/km		73.778	
Elétrico	635.000 ⁹		1,30 kWh/km		16.977	
Trólebus	672.656		2,29 kWh/km		59.160	

Fonte: elaborado pelo WRI Brasil.

Para avaliar os custos financeiros foram analisadas algumas linhas de financiamento, que variam entre si na taxa de juros anual e no tempo de financiamento, considerando o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) como fonte de recursos. A opção que se mostrou mais atrativa foi a linha Finem – Mobilidade Urbana.

⁹ O valor referente ao ônibus elétrico considera apenas chassi e carroceria. A bateria do veículo é locada pela modalidade de leasing, como mencionado no início do subcapítulo.

O BNDES Finem é um produto com linhas de financiamento acima de R\$ 10 milhões voltadas para projetos de investimento. Os critérios de avaliação dos financiamentos priorizam os benefícios que o projeto irá gerar para a sociedade. Assim, a aquisição de ônibus elétricos possui condições financeiras especiais quanto a taxa de remuneração do banco. Enquanto um ônibus diesel possui uma taxa de remuneração do BNDES de 1,3% ao ano, para os elétricos essa taxa cai para 0,9% ao ano. Além da taxa de remuneração a taxa de juros é composta pelo custo financeiro (TLP e/ou custo de mercado) e a taxa de risco de crédito (variável conforme risco do cliente e prazo do financiamento). Para essa análise, foram considerados:

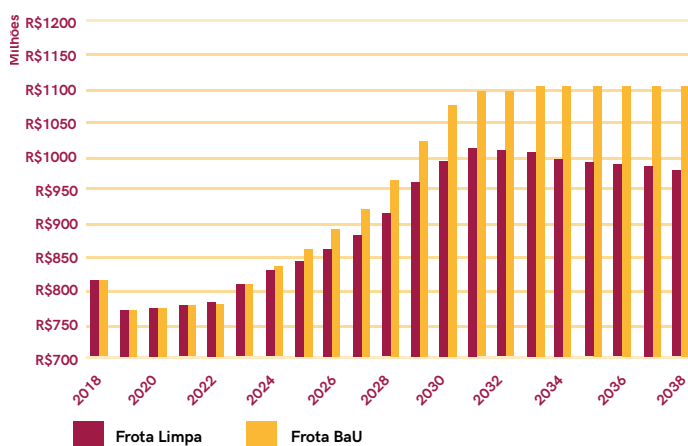
- custo financeiro: 7,4% a.a.¹⁰;
- taxa de remuneração: 1,3% a.a. para veículos diesel e 0,9% a.a. elétricos¹¹;
- taxa de risco de crédito: 1,0% a.a.¹².

O valor resultante para taxa anual de juros para os ônibus a diesel foi de 9,87% com um tempo de financiamento de 9 anos. Não obstante, para as tecnologias elétricas foi de 9,44% com a possibilidade de financiamento por 14 anos¹³.

6.2.2 RESULTADOS

Como resultados da análise dos custos financeiros e de capital anualizados, a frota composta por tecnologias limpas apresenta valores que, dependendo do ano, variam de 0,6 até 12% inferiores aos valores da frota BaU. Isso, deve-se ao fato de que o alto custo de aquisição da bateria do veículo elétrico (cerca de 60% do valor do ônibus completo) é atenuado através do leasing e considerado dentro dos custos operacionais. O Gráfico 5 ilustra a evolução dos custos financeiros e de capital ao longo dos 20 anos.

Gráfico 5: Custos financeiros e de capital anualizados



Fonte: elaborado pelo WRI Brasil.

A partir de 2023, a frota BaU começa a apresentar aumentos significativos nestes custos devido ao início da inserção de veículos EURO VI. Em 2028, a frota limpa já apresenta

um valor 5% (R\$ 47,9 milhões) inferior a frota BaU. Após 10 anos, essa diferença sobe para 12% (R\$ 127,5 milhões).

Percebe-se na frota BaU um crescimento do custo capital e financeiro muito pequeno a partir de 2031. Esses custos tornam-se constantes no ano de 2033 e representam 33,5% (R\$ 1,1 bilhões) do custo total anualizado que será apresentado posteriormente. Tal fato é consequência da composição da frota, a partir do ano citado, manter-se constante em ônibus de tecnologia EURO VI e Tróibus.

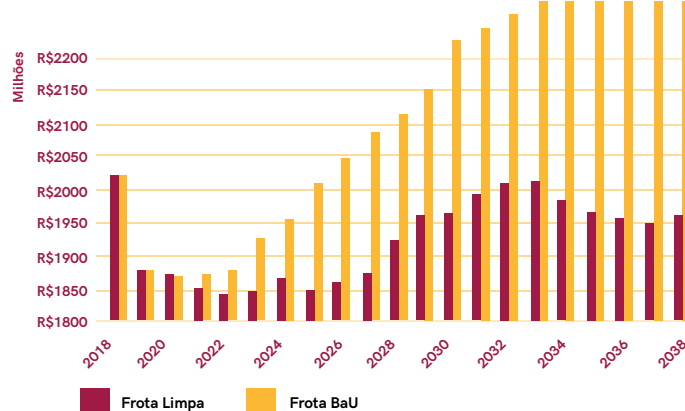
Já na frota limpa, a partir de 2031 os custos de capital e financeiros iniciam a decrescer gradualmente até o valor final, em 2038, de R\$ 979,0 milhões. Isso, deve-se à diminuição da quantidade de veículos EURO VI e híbridos na composição. Fato esse que permite uma inserção somente de veículos elétricos na frota limpa e acarreta em uma diminuição desses custos no sistema. A Tabela A3-3, do Apêndice 3 permite a visualização completa dos custos de capital e financeiros, durante um período de 20 anos.

Em relação aos custos operacionais anualizados (manutenção, combustível e leasing) a frota que considera tecnologias limpas apresenta uma economia considerável de recursos financeiros. Para a análise, considerou-se o preço médio do combustível diesel S10 de R\$ 3,33 para a distribuidora no mês de novembro de 2018 (ANP, 2018) e o valor de R\$ 0,45/kWh para o preço da eletricidade.

Tal precificação da eletricidade mostra-se coerente com o valor reportado no detalhamento da planilha tarifária do transporte coletivo, de dezembro de 2017, da cidade de São Paulo na qual o kWh para a operação dos Tróibus custa R\$ 0,45.

O Gráfico 6 representa o comparativo dos custos operacionais durante os 20 anos considerados neste estudo.

Gráfico 6: Custos operacionais anualizados



Fonte: elaborado pelo WRI Brasil.

¹⁰ Valor projetado da TLP a partir de out/2018.

¹¹ Remuneração do BNDES para Estados, municípios e Distrito Federal.

¹² Taxa de risco de crédito considerando um cenário sem garantia da União

¹³ Conforme recomendação do próprio BNDES, em geral, os financiamentos para ônibus urbanos duram até o penúltimo ano de vida útil do veículo.

O custo de combustível apresenta uma redução gradativa conforme ocorre o acréscimo de tecnologias mais limpas na frota. Quando a frota limpa é comparada com a frota BaU, a economia em 2028 é de 37% (R\$ 536,6 milhões) e de até 67% (R\$ 1,0 bilhão) em 2038, ano no qual a frota é totalmente composta por tecnologias elétricas.

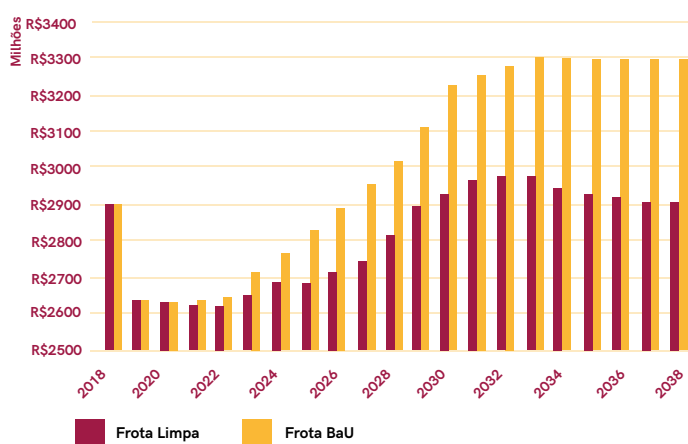
Para os custos de manutenção, a economia também é evidente. Em 2028, a frota limpa apresenta um valor 27% (R\$ 157,9 milhões) menor que a frota BaU. Já em 2038, com a renovação total da frota limpa para ônibus elétricos, a redução de custos é de 63% (R\$ 410,7 milhões).

O leasing para a bateria foi uma opção adotada a fim de minimizar os altos custos iniciais de aquisição dos ônibus elétricos. Essa alternativa considera o pagamento de um valor mensal fixo de R\$ 9.900/bateria durante o período de 10 anos com uma garantia de utilização do bem por 15 anos. No fim dos 15 anos, a bateria ainda é propriedade da empresa locadora e não do operador do sistema de ônibus. Os custos referentes ao leasing representam um total de R\$ 543,0 milhões em 2028 e chegam, em 2038, até R\$ 1,1 bilhões. Esse valor representa o leasing das baterias necessárias para os 13.342 ônibus elétricos da frota limpa.

Mesmo considerando o leasing na análise, o custo operacional anualizado mostra-se menor nas tecnologias limpas. Se avaliados separadamente, os custos de manutenção e combustível decrescem conforme a inserção dos veículos elétricos.

Por fim, a soma dos custos financeiro, capital e de operação resultam no custo total anualizado (Gráfico 7). Em 2028, a frota limpa representa uma redução de 7% (R\$ 199,5 milhões) em relação a frota BaU e em 2038, esse percentual atinge 12% (R\$ 390,3 milhões).

Gráfico 7: Comparativo dos custos totais anualizados



Fonte: elaborado pelo WRI Brasil.

Para que os custos totais sejam mais atrativos para a frota limpa é importante que o fabricante do ônibus elétrico garanta o funcionamento da bateria durante toda a vida útil do veículo. Isso, deve-se ao fato da bateria de um veículo elétrico corresponder a mais de 60% do valor total de aquisição do ônibus.

A comparação dos custos totais entre a frota limpa e a frota BaU na cidade de São Paulo evidencia que os altos custos de aquisição dos ônibus elétricos podem ser atenuados com alternativas financeiras como o leasing. Além disso, a economia com os custos de manutenção e combustível tornam a tecnologia elétrica viável e atrativa. As tabelas A3-4, A3-5, A3-6, A3-7 e A3-8 do Apêndice 3 deste documento mostram a evolução de todos os custos avaliados neste estudo.

A análise de custos da frota é de suma importância pois fornece subsídios para que os atores responsáveis mapeiem alternativas para seus modelos de negócios. Ao identificar o investimento necessário para a aquisição, o ator responsável pode buscar fontes de recursos adequadas para o investimento a ser realizado. Ao mesmo tempo, ao identificar a economia do custo operacional da nova tecnologia é possível buscar os produtos financeiros que o ajudarão a amortizar a dívida adquirida.

Vale salientar que a análise dos custos anualizados não representa um fluxo de caixa e apenas compara ano a ano duas frotas (com o mesmo número de veículos) nas quais suas composições são alteradas com base em duas premissas distintas.

6.3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DE EMISSÕES

Esta seção analisa o comportamento das emissões de dióxido de carbono (CO₂), óxido de nitrogênio (NO_x) e Material Particulado (MP) para as duas composições de frota (limpa e BaU) apresentadas no item 6.1.

6.3.1 PREMISSAS ADOTADAS

Nesta análise, a emissão de poluentes dos ônibus de uma frota é calculada a partir de três fatores principais: a quilometragem percorrida, o fator de emissão e o consumo do ônibus¹⁴. Para atingir as metas de redução de emissão da Lei de Mudanças Climáticas optou-se por, ao longo dos anos inserir ônibus com tecnologias mais eficientes e combustíveis mais limpos.

Conforme apresentado anteriormente na Tabela 7, as informações de consumo de combustível para as tecnologias foram adquiridas por meio de uma revisão da literatura, experiências relatadas ao próprio WRI e dos valores reportados pela SPTrans.

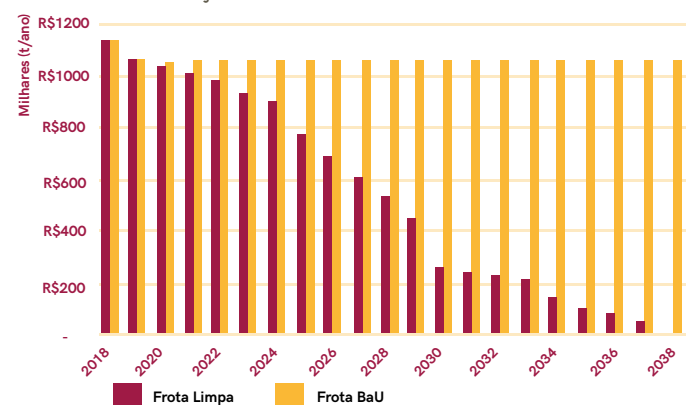
14 Existem outros fatores que irão influenciar na emissão dos ônibus como o número de passageiros, a rota e a idade do veículo. No entanto, estes detalhes não são captados nesta análise.

Os fatores de emissão para motores diesel EURO III e EURO V foram retirados do 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2013). Visto que as tecnologias híbridas, EURO VI e B20 não são apresentadas neste documento, seus fatores de emissões foram adaptados a partir de algumas premissas que constam no relatório do Programa Ecofrota (2012). A Tabela A3-9 do Apêndice 3 deste documento apresenta os fatores de emissões considerados.

6.3.2 RESULTADOS

Como resultados, o Gráfico 8 ilustra a evolução de 2018 até 2038 das emissões de CO₂, em toneladas (t) por ano, para as duas frota analisadas neste estudo. As tabelas A3-10, A3-11 e A3-12 do Apêndice 3 mostram a evolução ano a ano, para os poluentes analisados.

Gráfico 8: Evolução das emissões de CO₂



Fonte: elaborado pelo WRI Brasil.

A queda nas emissões no primeiro ano é resultado da redução do número total de ônibus previsto na licitação. No primeiro ano de operação com a nova licitação, o número de veículo irá reduzir de 14.917 para 13.592, mantendo-se constante em todos os anos seguintes.

É possível verificar que após o primeiro ano as emissões de CO₂ na frota BaU são praticamente constantes ao longo dos 20 anos. Apesar de ocorrer a substituição dos veículos EURO III para EURO V - até 2023 - e para EURO VI a partir de 2023, as emissões de CO₂ estão diretamente relacionadas com o uso do combustível diesel. Assim, apesar dos veículos EURO VI serem menos poluentes quando se considera as emissões de NO_x e MP, para CO₂ a taxa anual de emissões é constante a partir de 2022. Vale salientar que a frota BaU não atende as exigências de reduções de CO₂ previstas para 10 e 20 anos.

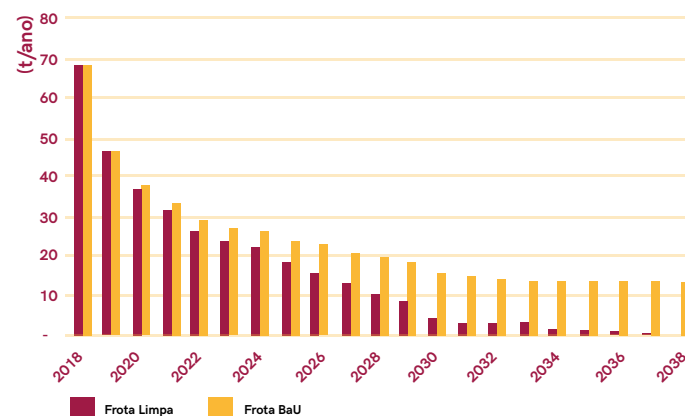
Não obstante, é possível verificar uma expressiva redução nas emissões de CO₂ da frota limpa conforme ocorre a inserção de tecnologias mais limpas. Em 2020, ano em que os primeiros veículos elétricos são inseridos na frota, a redução em comparação com a frota BaU é de 2% (18.900 t). Esse percentual atinge 49% (524.021 t) em 2028 e 100% (1.063.976 t) no final dos 20 anos.

No ano de 2028, a frota limpa total é composta por distintas tecnologias de ônibus com 53% (7.200) de veículos que ainda utilizam o diesel e 47% (6.392) de veículos elétricos. Mesmo com um percentual superior de veículos diesel, percebe-se uma redução expressiva de emissões em relação a frota BaU que é composta por 98% (13.342) de veículos a diesel. Além de atingir as metas previstas na Lei de Mudanças Climáticas.

É importante destacar que ao final deste subcapítulo, serão apresentados os valores de emissões da frota limpa em comparação com a frota-base de dezembro de 2016 da cidade de São Paulo. Tal comparativo objetiva garantir que a frota proposta no presente estudo atinge todas as metas de redução prevista na Lei de Mudanças Climáticas. Essa Lei, define como frota-base para avaliar os percentuais de redução a frota de dezembro de 2016 da cidade de São Paulo.

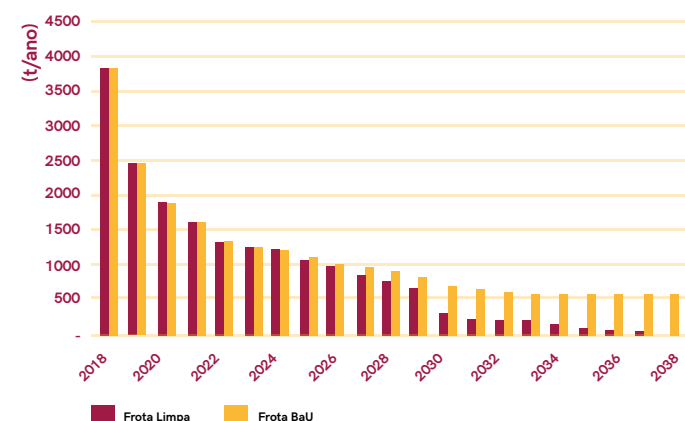
A evolução das emissões de MP e NO_x das frota Limpa e BaU podem ser visualizadas no Gráfico 9 e no Gráfico 10. É interessante notar que como a emissão destes poluentes depende primordialmente da tecnologia e não somente do combustível utilizado. Por conseguinte, a frota BaU também apresenta uma redução significativa destas emissões. Isto ocorre devido a renovação constante dos ônibus EURO III para EURO V nos primeiros 5 anos para a tecnologia EURO VI, nos anos seguintes.

Gráfico 9: Evolução das emissões de MP



Fonte: elaborado pelo WRI Brasil.

Gráfico 10: Evolução das emissões de NO_x



Fonte: elaborado pelo WRI Brasil.

Apesar das emissões de MP serem, em número, menores que as emissões de NO_x ambos poluentes possuem comportamento semelhante ao longo dos 20 anos. A primeira redução significativa de emissões ocorre em 2019 devido tanto pela redução de 5% (785) do número de ônibus da frota quanto pela renovação de 18% (2.653) veículos EURO III para EURO V.

No que tange as emissões de MP, em 2028 quando a frota limpa é comparada com a frota BaU é possível verificar uma redução de 48% (10 t). A partir de 2032, as emissões de MP da frota BaU estabilizam em 14 t/ano pois todos os veículos que compõem a frota são EURO VI. Todavia, as emissões da frota limpa continuam a decrescer até, em 2038, as emissões serem reduzidas em 100%.

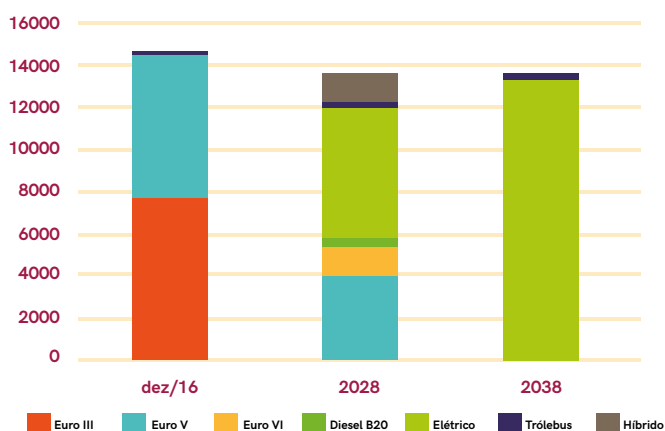
Em relação as emissões de NO_x, após 10 anos de inserções graduais de tecnologias limpas na frota, a redução estimada é de 14% (130 t) do poluente em relação a frota BaU. Após 10 anos, essa redução atinge 100%, o equivalente a 581 toneladas.

6.3.3 METAS DA LEI DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O artigo 1º da lei 16.802/18, que estipula uma nova redação ao artigo 50 da Lei de Mudanças Climáticas de São Paulo, prevê que todas as reduções exigidas na Lei e citadas no capítulo 3.2 deste documento devem ser relativas às emissões totais das frotas tendo como base o ano de 2016. Assim, buscou-se comparar a composição da frota limpa do presente estudo nos anos de 2028 e 2038 com a frota de dezembro de 2016 da cidade de São Paulo para garantir que todas as metas são atingidas.

A composição de tecnologia da frota pode ser visualizada no Gráfico 11 para o ano-base (2016), para 2028 e 2038, 10 anos e 20 anos após a o início da licitação de transportes da cidade de São Paulo.

Gráfico 11: Composição da frota nos anos previstos na lei



Fonte: elaborado pelo WRI Brasil.

Definida a composição de frota para os anos previstos na lei, foi possível estimar as emissões e verificar se a frota limpa atende as metas de emissões. Pode-se verificar na Tabela 8 que todas metas foram atingidas.

Tabela 8: Resultados dos anos previstos na lei

Poluentes	2016		2028		2038	
	t/ano	%	t/ano	%	t/ano	%
CO ₂	1.418.738	-	539.954	62	-	100
NO _x	5.893	-	775	87	-	100
MP	105	-	11	90	-	100

Fonte: elaborada pelo WRI Brasil.

É importante concluir que os resultados apontam que nos primeiros 10 anos, é possível atingir as metas de emissões com uma frota composta por diferentes tecnologias de ônibus. Fato esse que torna viável a inserção gradual de tecnologias limpas ao longo dos primeiros 10 anos. Para as metas relativas aos últimos 10 anos (2028 até 2038), é essencial a priorização de inserção dos ônibus elétricos pois os mesmos não apresentam emissões significativas dos poluentes analisados e são capazes de atingir as metas propostas para os 20 anos. Vale ressaltar que apesar do presente estudo considerar o ano de 2018 como início e, consequentemente, o prazo para cumprimento das metas em 2028 e 2038 a análise pode ser utilizada independente do ano inicial.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As emissões do setor de transportes, além de representarem uma parcela expressiva das emissões totais de gases de efeito estufa, impactam significativamente na qualidade do ar dos centros urbanos. Ao considerar a importância do setor de transportes para o desenvolvimento das cidades e a tendência de crescimento da população urbana, torna-se urgente minimizar os impactos ambientais deste setor.

Uma das alternativas para um transporte urbano sustentável é o incentivo a um sistema de transporte coletivo eficiente e que seja de baixa ou zero emissão. No entanto, a adoção de tecnologias limpas no transporte coletivo urbano ainda enfrenta alguns desafios. Destacam-se aqui o alto investimento inicial, as incertezas da nova tecnologia, a resistência dos operadores de ônibus e os atuais modelos de contratos de operação.

Este trabalho abordou as tendências da eletromobidade no Brasil e no mundo com um enfoque especial para a cidade de São Paulo, contextualizando seu transporte coletivo. A cidade destaca-se no caminho da eletromobidade pela Lei de Mudanças Climáticas e a recente licitação do transporte coletivo. Foram também ilustrados os instrumentos que o WRI Brasil adota para fomentar a implementação de ônibus: a metodologia do modelo de negócios e a ferramenta de decisão.

Além disso, foram definidas 5 etapas principais para a adoção da nova tecnologia com exemplos e boas práticas que podem ser adotadas pela cidade de São Paulo. São elas: (i) definição de uma meta; (ii) planejamento da implementação; (iii) definição da forma de investimento e amortização; (iv) preparação da implementação dos ônibus na frota e (v) destinação final e sucateamento.

Por fim, foi feita uma análise de custos e emissões esperados de duas composições de frota de ônibus da cidade de São Paulo ao longo de 20 anos. Em uma delas, a BaU foi considerada uma renovação anual ônibus de tecnologia EURO V e EURO VI. Já na chamada de frota limpa, foi considerado a renovação gradual dos ônibus atuais por ônibus de tecnologias limpas com o objetivo de atender as metas de emissões estipuladas na Lei 16.802/18.

Em relação aos resultados das emissões, os ganhos obtidos com a frota limpa são irrefutáveis. No décimo ano é possível verificar uma redução de emissão de 62% de CO₂, 90% de MP e 87% de NOx. No vigésimo ano de operação, todas essas emissões foram reduzidas em 100%. Adicionalmente, destaca-se outro benefício da renovação da frota com tecnologias limpas que é a redução do nível de ruído, tornando o trajeto mais agradável para os usuários do transporte coletivo.

No tocante a análise de custos, o custo anualizado da frota limpa pode atingir uma economia de até 17% quando comparado à frota BaU. Cabe ressaltar que no modelo de negócios analisado, o valor da bateria é incluído como um valor mensal nos custos operacionais. Isto permite uma redução dos custos totais de capital e financeiro, uma das principais barreiras à nova tecnologia.

Vale salientar que a análise apresentada não representa um fluxo de caixa da composição da frota e sim um comparativo através de 20 possibilidades de frota para cada subsistema (estrutural e local), ambas renovadas com premissas distintas. O objetivo foi comparar os custos anualizados da frota limpa e BaU para as 20 possibilidades de composição (representadas pelos anos de 2018 a 2038) e garantir a concordância com as metas de emissões estipuladas para a cidade.

Em síntese, destaca-se que os ônibus limpos apresentam potenciais benefícios econômicos e ambientais para as cidades. Não obstante, ainda que estas tecnologias se mostrem cada vez mais atrativas, é fundamental a implementação de políticas públicas para impulsionar esta transição. Neste sentido, as medidas adotadas pela cidade de São Paulo representam uma quebra de paradigma incentivando outras cidades neste caminho.

8. REFERÊNCIAS

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Sistema de levantamento de preços**. 2018. Disponível em: <http://anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Ultimos_Meses_Index.asp>. Acesso em: 8 ago 2018.

Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU). **Dados do transporte público por ônibus 2018**. Disponível em: <<https://www.ntu.org.br/novo/AreasInternas.aspx?idArea=7>>. Acesso em: 25 jul. 2018.

Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA). **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2018**. São Paulo. 2018. Disponível em: <<http://www.virapagina.com.br/anfavea2018/>>. Acesso em: 8 ago. 2018.

Belo Horizonte. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **3º Inventário municipal de emissões de gases de efeito estufa**. Belo Horizonte, 2015. Disponível: <http://www.pbh.gov.br/smpl/PUB_P015/Relatório+Final+Gases+Estufa.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2018.

Bermúdez, T. **Transiciones socio-técnicas hacia una movilidad de bajo carbono: un análisis del nicho de los buses de baja emisión para el caso de Brasil**. [s.l.]. Universidade Estadual de Campinas, 2018.

Bloomberg New Energy Finance. **Electric Buses in Cities - Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2**. 2018. Disponível em: <<https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2018/05/Electric-Buses-in-Cities-Report-BNEF-C40-Citi.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2018.

C40. **Fossil Fuel Free Streets Declaration**. [n.d.]. Disponível em: <<https://www.c40.org/other/fossil-fuel-free-streets-declaration>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2016**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2017/11/EMISSIONES-VEICULARES_09_nov.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2018.

Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Proposta de resolução para consulta pública**. 2017. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/proconve-promot/2017/consulta-publica/2017-10-proposta-conama-P8-%20final-mbv-v3.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2018.

Diário do transporte. **Ônibus consegue aproveitar melhor até 22 vezes mais o espaço urbano em relação ao carro**

para realidade de São Paulo. 2016a. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2016/01/24/onibus-consegue-aproveitar-melhor-ate-22-vezes-mais-o-espaco-urbano-em-relacao-ao-carro-para-realidade-de-sao-paulo/>>. Acesso em: 7 ago. 2018.

Diário do transporte. **Volvo apresenta ônibus híbrido articulado em Curitiba**. 2016b. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2016/03/18/volvo-apresenta-onibus-hibrido-articulado-em-curitiba/>>. Acesso em: 30 jul. 2018b.

Diário do transporte. **Volvo apresenta primeiro ônibus elétrico híbrido "plug-in" em Curitiba**. 2016c. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2016/06/29/volvo-apresenta-primeiro-onibus-eletrico-hibrido-plug-in-em-curitiba/>>. Acesso em: 30 jul. 2018.

Diário do transporte. **Comitê do Clima do Município de SP aprova documento com metas mais rígidas para poluição dos ônibus da capital**. 2017. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2017/09/12/comitedo-clima-do-municipio-de-sp-aprova-documento-com-metas-mais-rigidas-para-poluicao-dos-onibus-da-capital/>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

Diário do transporte. **Secretaria de Transportes entrega respostas ao TCM sobre licitação dos transportes barrada pelo órgão de contas**. 2018a. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2018/07/30/secretaria-de-transportes-entrega-respostas-ao-tcm-sobre-licitacao-dos-transportes-barrada-pelo-orgao-de-contas/>>. Acesso em: 5 ago. 2018.

Diário do Transporte. **Frota de 15 ônibus 100% elétricos de projeto-piloto estará em operação até março**. 2018b. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2018/12/10/toda-frota-de-15-onibus-100-eletricos-de-projeto-piloto-estara-em-operacao-ate-marco-diz-bruno-covas/>> Acesso em: 25 jul. 2018.

Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo (EMTU). **Ônibus Brasileiro Movido a Hidrogênio**. São Paulo. 2016. Disponível em: <<http://www.emtu.sp.gov.br/EMTU/pdf/p01emtu.pdf>>.

Ferreira, A. L. et al. **Emissões dos Setores de Energia, Processos Industriais e uso de produtos. SEEG Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Período 1970-2016. Documento de análise 2018**. São Paulo: [s.n.].

Furnas. **Projeto de ônibus elétrico é mostrado no Rio de Janeiro**. 2017. Disponível em: <<http://www.furnas.com.br/detalhesNoticiaExterna.aspx?Tp=N&idN=4626>>. Acesso em: 31 jul. 2018.

G1. **TCM vê irregularidades e suspende novo edital de licitação dos ônibus de SP**. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/tcm-ve-irregularidades-e-suspende-novo-edital-de-licitacao-do-transporte-publico-de-sp.ghtml>>. Acesso em: 29 nov. 2018.

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

Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA). **Inventário de Emissões Atmosféricas do Transporte Rodoviário de Passageiros no Município de São Paulo**. 2017. Disponível em: <<http://emissoes.energiaeambiente.org.br/>>. Acesso em: 29 out. 2018.

Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA). **Análise preliminar sobre a implantação do padrão EURO VI no Brasil**. 2015. Disponível em: <https://iema-site-staging.s3.amazonaws.com/Avalia%C3%A7%C3%A3o_EURO_VI_3.pdf>. Acesso em: 5 set. 2018.

International Council on Clean Transportation (ICCT). **Análise de custo-benefício da norma P-8 de emissões de veículos pesados no Brasil**. 2016. Disponível em: <<https://www.theicct.org/sites/default/files/P-8%20Portuguese%20White%20Paper%20vFinal.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2018.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários**. 2013. Disponível em: <<https://iema-site-staging.s3.amazonaws.com/2014-05-27inventario2013.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

Ministério de Minas e Energia (MME); Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2018**. Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2018.

Mobilize - mobilidade urbana sustentável. **Metrô avança (lentamente) em cidades brasileiras**. 2017. Disponível em: <<http://www.mobilize.org.br/noticias/10564/metros-avancam-lentamente-em-cidades-brasileiras.html>>. Acesso em: 30 jul. 2018.

Neto, S. S. **A experiência da SPTrans no uso de alternativas energéticas ao diesel e petróleo**. Apresentação da SPTrans feita no Seminário Internacional E-mob - Eletromobilidade aplicada ao Transporte Público por ônibus. Brasília, 9 maio 2018.

O Globo. **Frota mista de ônibus na Transoceanica reduzirá emissão de poluentes quase à metade**. 2018. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/bairros/frota-mista-de-onibus-na-transoceanica-reduzira-emissao-de-poluente-quase-metade-23240302>>. Acesso em: 28 nov. 2018.

Publimetro. **Ya están en Chile: 100 buses eléctricos para el Transantiago esperan el desembarque en puerto de San Antonio**. 2018. Disponível em: <<https://www.publimetro.cl/cl/noticias/2018/11/22/estan-chile-100-buses-electricos-transantiago-desembarque.html>>. Acesso em: 28 nov 2018.

Rede Nossa São Paulo. **Principais metas da lei de mudança do clima de São Paulo não estão sendo cumpridas**. 2014. Disponível em: <<https://www.nossasaopaulo.org.br/noticias/principais-metas-da-lei-de-mudanca-do-clima-de-sao-paulo-nao-estao-sendo-cumpridas>>. Acesso em: 9 jul. 2018.

São Paulo Transporte S.A (SPTrans). **Sistema de transporte coletivo**. 2018a. Disponível em: <http://www.sptrans.com.br/a_sptrans/sistema.aspx>. Acesso em: 4 set. 2018.

São Paulo Transporte S.A (SPTrans). **Nova licitação do transporte público coletivo**. 2018b. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/transportes/licitacao2017/consulta_publica/publicacao_edital_onibus.pdf>. Acesso em: 3 set. 2018.

São Paulo. Diário Oficial Cidade de São Paulo. **Lei Nº 14.933/2009: Política de Mudança do Clima de São Paulo**. 2009. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sp/s/sao-paulo/lei-ordinaria/2009/1493/14933/lei-ordinaria-n-14933-2009-institui-a-politica-de-mudanca-do-clima-no-municipio-de-sao-paulo>>. Acesso em: 6 jul. 2018.

São Paulo. Secretaria Municipal de Mobilidade e Transportes. **Programa Ecofrota - Sustentabilidade na Gestão do Transporte**. 2012a. Disponível em: <<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/transportes/noticias/?p=42088>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

São Paulo. Prefeitura do Município de São Paulo. Secretaria do Verde e Meio Ambiente. **Relatório Técnico - Produto 7B: atualização do inventário de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa do município de São Paulo dos anos de 2010 e 2011**. São Paulo, 2012b. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/meio_ambiente/INVEMI_P7B.PDF>. Acesso em: 9 jul. 2018.

São Paulo. Diário Oficial da Cidade de São Paulo. **Lei No. 16.802 de 17 de Janeiro de 2018**, 2018a. Disponível em: <<http://documentacao.camara.sp.gov.br/iah/fulltext/leis/L16802.pdf>>. Acesso em: 2 jul. 2018.

São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo. **Decreto No. 58.323 de 16 de Julho de 2018**, 2018b. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/199498843/dosp-cidade-17-07-2018-pg-1?ref=previous_button>. Acesso em: 4 ago. 2018

Secretaria de Mobilidade e Transportes (SMT); São Paulo Transporte S.A (SPTrans). **Nova Licitação do Transporte Público Coletivo**. São Paulo, 2017.

Sindipecas-Abipeças. **Relatório da frota circulante 2018**. São Paulo, 2018].

United Nations Department Of Economic And Social Affairs (UN DESA). **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-KeyFacts.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2018.

World Resources Institute (WRI). **How Did Shenzhen, China Build World's Largest Electric Bus Fleet?** 2018. Disponível em: <<https://www.wri.org/blog/2018/04/how-did-shenzhen-china-build-world-s-largest-electric-bus-fleet>>. Acesso em: 26 nov. 2018

9. APÊNDICES

9.1 APÊNDICE 1

Quadro A1-1: Lista de garagens com endereços das empresas de ônibus de São Paulo

Zona	Consórcio	Empresa/Endereço
1	Bandeirante	Viação Santa Brígida Ltda. - Av. Domingos S. Marques, 450
		Viação Gato Preto Ltda. - Av. Alexandre Mackenzie, 69
	Transnoroste	Spencer Transporte Rodoviário Ltda. - R. Andressa, 101
		Norte Buss Transporte Ltda. - R. Andressa, 101
2	-	Sambaiba Transportes Urbanos Ltda. - R. Elza Guimarães, 589
		Sambaiba Transportes Urbanos Ltda. - R. Ma. Amália L. Az, 1.705
		Sambaiba Transportes Urbanos Ltda. - R. João Simão Castro, 50
	Transnoroste	Spencer Transporte Rodoviário Ltda. - R. Porfírio Vera Cruz, 128
		Spencer Transporte Rodoviário Ltda. - R. Agenor Alves Meira, 320
		Norte Buss Transporte Ltda. - R. Antonelo Messina, 1.726
3	Plus	VIP Transportes Urbanos Ltda. 31 - R. Tibúrcio de Souza, 2.663
		VIP Transportes Urbanos Ltda. 32 - Av. Águia de Haia, 2.344
		VIP Transportes Urbanos Ltda. 33 - Av. Águia de Haia, 2.970
	-	Qualibus Transportes Ltda. - Av. Augusto Antunes, 780
		Transunião Transportes S/A - R. Tiburcio de Sousa, 2.083
	Plus	Expandir Empreendimentos e Participações Ltda. - Av. Celso Garcia, 142
4	-	Ambiental transportes Urbanos S.A. - R. Nestor de Barros, 289
		Express Transportes Urbanos Ltda. - R. Jaime Ribeiro Wright, 1.000
		Allibus Transportes Ltda. - Av. Joaquim Marra, 1.783
		Pêssego Transportes Ltda. - Av. Jacú Pêssego, 541
5	-	Via Sul Transportes Urbanos Ltda. - R. Iososuke Okaue, 488
		Via Sul Transportes Urbanos Ltda. - Av. do Cursino, 5.797
	Move SP e Imperial	Imperial Transportes Ltda. - R. Leandro Sevilha, 95
		Movebuss Soluções em Mobilidade Urbana Ltda. - R. Murta Campo, 405
6	Unisul	Viação Cidade Dutra - R. Elísia G. Barsellos, 93
		Tupi Transporte Urbanos Piratininga Ltda. - R. Jorge Duprat Figueiredo, 148
		Mobibrasil Ltda. - Estrada do Alvarenga, 4.000
		Mobibrasil Ltda. - Av. George Engº George Corbesier, 980
	-	Transwolff Transportes e Turismo Ltda. - Av. Senador Teotônio Vilela, 8.400
		A2 Transportes Ltda. - Estrada do Alvarenga, 999
7	Sete	Viação Campo Belo Ltda. G2 - Av. Carlos Lacerda, 255
		Viação Campo Belo Ltda. G1 - Estrada de Itapeirica, 1.290
		VIP Transportes Urbanos Ltda. - Av. de Pinedo, 414
		VIP Transportes Urbanos Ltda. - Estrada do M' Boi Mirim, 10.100
		Viação Gatusa Transportes Urbanos - Av. Guido Caloi, 1.200
		Transkuba Transportes Gerais Ltda. - R. Carlos Lacerda, 3.003
	-	Transwolff Transportes e Turismo Ltda. - Av. Olivia Guedes Penteado, 731

8	Sudoeste	Transppass Transporte de Passageiros Ltda. - Av. Torres de Oliveira, 435
		Transppass Transporte de Passageiros Ltda. - R. Cesar Cavas-si, 385
		Viação Gato Preto Ltda. - R. Alexandre Mackenzie, 69
		Viação Gato Preto Ltda. - Av. Cândido Portinari, 1.300
	-	Auto Viação Transcap Ltda. - R. Cabaxi, 27
		Alfa Rodobus S/A Transp, Adm. e Participações - R. Marco Gi-annini, 533

Fonte: elaborada pela UNICAMP com informações fornecidas pela SPTrans.

9.2 APÊNDICE 2

Quadro A2-1: Equações utilizadas na análise dos custos (não anualizados)

Custos	Equações
Capital (R\$)	VPL do custo de capital vitalício $= DP - BR + IF + \sum_{i=1}^L \frac{P_i}{(1+r)^i}$ DP = pagamento inicial BR = VPL do valor residual do ônibus (BRV) = $\frac{BRV}{(1+r)^L}$ IF = custo de infraestrutura Pi = parcela do pagamento referente a amortização r = taxa de desconto L = vida útil do ônibus
Financeiro (R\$)	VPL do financiamento vitalícia = $\sum_{i=1}^L \frac{I_i}{(1+r)^i}$ Ii = juros no ano i r = taxa de desconto L = vida útil do ônibus
Operacionais totais (R\$)	VPL operacional total = VPL do custo vitalício de combustível + VPL do custo vitalício de manutenção + VPL do leasing VPL do custo vitalício de combustível $= N \times d \times 0.01 \times FE \times FC \sum_{i=1}^L \frac{(1+p)^i}{(1+r)^i}$ N = número de ônibus (dentro de uma tecnologia) d = distância anual percorrida por cada ônibus FE = consumo de combustível (L/100km) FC = custo do combustível p = projeção do custo do combustível nos próximos anos r = taxa de desconto L = vida útil do ônibus

Operacionais
totais (R\$)

VPL do custo vitalício de manutenção

$$= N \sum_{i=1}^L \frac{(FAM)_i}{(1+r)^i}$$

N = número de ônibus (dentro de uma tecnologia)

FAM = custo fixo anual de manutenção

r = taxa de desconto

L = vida útil do veículo

VPL do leasing da bateria

$$= N \sum_{i=1}^L \frac{(LA)_i}{(1+r)^i}$$

N = número de ônibus (dentro de uma tecnologia)

LA = custo anual do leasing

r = taxa de desconto

L = vida útil do veículo

Fonte: elaborado pelo WRI Brasil.

Quadro A2-2: Equações utilizadas na análise das emissões

Poluentes	Equações
CO ₂ (ton/ano)	Emissões anuais de CO₂ = N × d × CC × e _{CO₂} N = número de veículos; d = distância anual percorrida por veículo; CC = consumo de combustível; e _{CO₂} = fator de emissão do CO ₂ .
MP (ton/ano)	Emissões anuais de MP = N × d × CC × e _{MP} N = número de veículos; d = distância anual percorrida por veículo; CC = consumo de combustível; e _{CO₂} = fator de emissão do MP.

NOx (ton/ano)	Emissões anuais de NOx = $N \times d \times CC \times e_{NOx}$ N = número de veículos; d = distância anual percorrida por veículo; CC = consumo de combustível; e_{CO_2} = fator de emissão do NO_x.
---------------	---

Fonte: elaborado pelo WRI Brasil.

9.3 APÊNDICE 3

COMPOSIÇÃO DA FROTA

Tabela A3-1: Composição da Frota total Business as Usual

Ano	Euro V	Euro VI	Trólebus	Total
2018	8.936	-	201	9.137
2019	10.804	-	201	11.005
2020	12.275	-	250	12.525
2021	12.794	-	250	13.044
2022	13.342	-	250	13.592
2023	11.879	1.463	250	13.592
2024	10.918	2.424	250	13.592
2025	9.315	4.027	250	13.592
2026	8.108	5.234	250	13.592
2027	6.766	6.576	250	13.592
2028	5.693	7.649	250	13.592
2029	4.059	9.283	250	13.592
2030	1.765	11.577	250	13.592
2031	1.067	12.275	250	13.592
2032	548	12.794	250	13.592
2033	-	13.342	250	13.592
2034	-	13.342	250	13.592
2035	-	13.342	250	13.592
2036	-	13.342	250	13.592
2037	-	13.342	250	13.592
2038	-	13.342	250	13.592

Fonte: elaborada pelo WRI Brasil.

Tabela A3-2: Composição da Frota total limpa

Ano	Euro III	Euro V	Euro VI	Biodiesel B20	Elétrico	Trólebus	Híbrido	Total
2018	5.240	8.936	-	-	-	201	-	14.377
2019	2.587	10.804	-	-	-	201	-	13.592
2020	1.067	11.959	-	50	150	250	116	13.592
2021	548	11.909	-	100	350	250	435	13.592
2022	-	11.859	-	150	550	250	783	13.592
2023	-	10.296	790	250	1.023	250	983	13.592
2024	-	9.285	1.040	300	1.517	250	1.200	13.592

2025	-	7.632	1.140	350	2.820	250	1.400	13.592
2026	-	6.375	1.240	400	3.927	250	1.400	13.592
2027	-	5.033	1.440	400	5.069	250	1.400	13.592
2028	-	3.960	1.440	400	6.142	250	1.400	13.592
2029	-	2.326	1.840	400	7.376	250	1.400	13.592
2030	-	232	1.840	200	9.670	250	1.400	13.592
2031	-	-	1.840	-	10.102	250	1.400	13.592
2032	-	-	1.550	-	10.392	250	1.400	13.592
2033	-	-	1.450	-	10.608	250	1.284	13.592
2034	-	-	950	-	11.427	250	965	13.592
2035	-	-	800	-	11.925	250	617	13.592
2036	-	-	700	-	12.225	250	417	13.592
2037	-	-	600	-	12.542	250	200	13.592
2038	-	-	-	-	13.342	250	-	13.592

Fonte: elaborada pelo WRI Brasil.

CUSTO DA FROTA

Tabela A3-3: Custo financeiro e de capital anualizados

Ano	Frota Limpa (R\$)	Frota BaU (R\$)
2018	817.075.925	817.075.925
2019	773.063.070	773.063.070
2020	775.516.384	774.908.075
2021	780.227.511	777.488.135
2022	785.315.743	780.212.360
2023	809.770.231	810.063.858
2024	832.748.601	836.626.212
2025	846.066.436	862.273.513
2026	864.256.209	891.045.121
2027	885.061.399	922.795.867
2028	917.684.838	965.676.135
2029	964.762.009	1.024.549.137
2030	995.063.133	1.076.778.655
2031	1.010.930.598	1.098.715.581
2032	1.008.158.482	1.102.557.583
2033	1.006.020.690	1.106.614.262
2034	997.990.982	1.106.614.262
2035	993.011.458	1.106.614.262
2036	990.017.815	1.106.614.262
2037	986.850.963	1.106.614.262
2038	979.077.809	1.106.614.262

Fonte: elaborada pelo WRI Brasil.

Tabela A3-4: Custo de combustível anualizado

Ano	Frota Limpa (R\$)	Frota BaU (R\$)
2018	1.435.866.539	1.435.866.539
2019	1.348.838.105	1.348.838.105
2020	1.321.650.863	1.339.171.116
2021	1.294.647.900	1.341.682.447
2022	1.266.699.269	1.344.334.103
2023	1.356.163.144	1.367.132.577
2024	1.200.620.422	1.380.590.762
2025	1.099.039.601	1.407.111.691
2026	1.031.115.300	1.425.016.618
2027	963.042.463	1.444.976.298
2028	920.422.180	1.457.117.669
2029	858.209.087	1.477.009.317
2030	708.792.818	1.511.574.396
2031	695.629.473	1.520.772.476
2032	686.792.968	1.530.332.734
2033	677.900.206	1.540.427.189
2034	617.828.357	1.540.427.189
2035	587.190.250	1.540.427.189
2036	568.327.283	1.540.427.189
2037	548.607.619	1.540.427.189
2038	508.772.180	1.540.427.189

Fonte: elaborada pelo WRI Brasil.

Tabela A3-5: Custo de manutenção anualizado

Ano	Frota Limpa (R\$)	Frota BaU (R\$)
2018	543.614.948	543.614.948
2019	514.425.744	514.425.744
2020	514.092.282	516.070.826
2021	517.212.120	517.787.289
2022	521.141.062	519.599.662
2023	531.558.756	551.136.042
2024	519.878.358	576.477.063
2025	492.487.967	606.334.376
2026	470.520.342	635.108.793
2027	449.234.251	666.942.643
2028	437.915.096	704.032.555
2029	419.891.623	756.239.348
2030	369.452.107	809.295.523
2031	366.693.531	829.460.181
2032	364.164.195	836.159.014
2033	356.703.012	843.232.155
2034	320.019.578	843.232.155
2035	294.683.478	843.232.155
2036	279.610.399	843.232.155
2037	263.571.691	843.232.155
2038	241.297.134	843.232.155

Fonte: elaborada pelo WRI Brasil.

Tabela A3-6: Custo de leasing anualizado

Ano	Frota Limpa (R\$)	Frota BaU (R\$)
2018	-	-
2019	-	-
2020	23.944.769	-
2021	30.944.362	-
2022	48.626.855	-
2023	17.682.493	-
2024	134.121.706	-
2025	249.323.145	-
2026	347.195.741	-
2027	448.162.774	-
2028	543.029.346	-
2029	652.130.326	-
2030	854.948.515	-
2031	893.142.699	-
2032	918.782.313	-
2033	937.879.405	-
2034	1.010.364.463	-
2035	1.054.318.619	-
2036	1.080.842.358	-
2037	1.108.869.108	-
2038	1.179.599.079	-

Fonte: elaborada pelo WRI Brasil.

Tabela A3-7: Custo de operação anualizado (manutenção, combustível e leasing)

Ano	Frota Limpa (R\$)	Frota BaU (R\$)
2018	1.979.481.488	1.979.481.488
2019	1.863.263.849	1.863.263.849
2020	1.859.687.914	1.855.241.942
2021	1.842.804.382	1.859.469.736
2022	1.836.467.186	1.863.933.764
2023	1.905.404.393	1.918.268.619
2024	1.854.620.486	1.957.067.824
2025	1.840.850.714	2.013.446.067
2026	1.848.831.384	2.060.125.411
2027	1.860.439.488	2.111.918.941
2028	1.901.366.622	2.161.150.224
2029	1.930.231.036	2.233.248.665
2030	1.933.193.440	2.320.869.920
2031	1.955.465.703	2.350.232.657
2032	1.969.739.476	2.366.491.748
2033	1.972.482.624	2.383.659.344
2034	1.948.212.398	2.383.659.344
2035	1.936.192.347	2.383.659.344
2036	1.928.780.039	2.383.659.344
2037	1.921.048.419	2.383.659.344
2038	1.929.668.393	2.383.659.344

Fonte: elaborada pelo WRI Brasil.

Tabela A3-8: Custo total anualizado

Ano	Frota Limpa (R\$)	Frota BaU (R\$)
2018	2.796.557.413	2.796.557.413
2019	2.636.326.919	2.636.326.919
2020	2.635.204.298	2.630.150.017
2021	2.623.031.893	2.636.957.871
2022	2.621.782.929	2.644.146.124
2023	2.713.556.447	2.728.332.478
2024	2.687.369.087	2.793.694.036
2025	2.686.917.150	2.875.719.580
2026	2.713.087.592	2.951.170.532
2027	2.745.500.887	3.034.714.808
2028	2.819.051.461	3.126.826.359
2029	2.894.993.045	3.257.797.802
2030	2.928.256.573	3.397.648.574
2031	2.966.396.301	3.448.948.238
2032	2.977.897.958	3.469.049.331
2033	2.978.503.314	3.490.273.606
2034	2.946.203.379	3.490.273.606
2035	2.929.203.805	3.490.273.606
2036	2.918.797.854	3.490.273.606
2037	2.907.899.382	3.490.273.606
2038	2.908.746.202	3.490.273.606

Fonte: elaborada pelo WRI Brasil.

EMISSIONES DA FROTA

Tabela A3-9: Fator de emissão para ônibus urbanos por tecnologia

Poluentes (g/L)	Tecnologias						
	Euro III	Euro V	Euro VI	B20	Híbrido	Elétrico	Trólebus
CO ₂	2671,00	2671,00	2671,00	2431,00	2671,00	0	0
NO _x	18,11	3,37	1,46	18,11	3,66	0	0
MP	0,30	0,07	0,03	0,06	0,04	0	0

Fonte: elaborada pelo WRI Brasil.

Tabela A3-10: Emissões anuais de CO₂

Ano	Frota Limpa (t/ano)	Frota BaU (t/ano)
2018	1.139.859	1.139.859
2019	1.070.137	1.070.137
2020	1.040.918	1.059.839
2021	1.012.921	1.061.851
2022	984.167	1.063.976
2023	939.392	1.063.976
2024	901.696	1.063.976
2025	781.539	1.063.976
2026	694.141	1.063.976
2027	605.832	1.063.976
2028	539.954	1.063.976

2029	453.619	1.063.976
2030	267.869	1.063.976
2031	245.518	1.063.976
2032	229.862	1.063.976
2033	216.350	1.063.976
2034	144.063	1.063.976
2035	104.730	1.063.976
2036	80.746	1.063.976
2037	55.573	1.063.976
2038	-	1.063.976

Fonte: elaborada pelo WRI Brasil.

Tabela A3-11: Emissões anuais de Material Particulado

Ano	Frota Limpa (t/ano)	Frota BaU (t/ano)
2018	68	68
2019	47	47
2020	37	38
2021	32	34
2022	26	29
2023	24	27
2024	22	26
2025	19	24
2026	16	23
2027	13	21
2028	10,50	20
2029	9	19
2030	4	16
2031	3	15
2032	3	14
2033	3	14
2034	2	14
2035	1	14
2036	1	14
2037	1	14
2038	-	14

Fonte: elaborada pelo WRI Brasil.

Tabela A3-12: Emissões anuais de NOx

Ano	Frota Limpa (t/ano)	Frota BaU (t/ano)
2018	3.823	3.823
2019	2.478	2.478
2020	1.908	1.903
2021	1.628	1.630
2022	1.332	1.342
2023	1.273	1.254
2024	1.228	1.201

2025	1.086	1.098
2026	984	1.029
2027	858	952
2028	775	904
2029	650	827
2030	304	693
2031	215	657
2032	206	620
2033	192	581
2034	134	581
2035	93	581
2036	68	581
2037	42	581
2038	-	581

Fonte: elaborada pelo WRI Brasil.

PROMOB-e

Realização:



Por meio da:



MINISTÉRIO DA
ECONOMIA

