



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS TRINDADE  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS

Lucas Silveira dos Santos

**VIABILIDADE DE MODELOS DE NEGÓCIO DE ÔNIBUS ELÉTRICOS DE  
FRETAMENTO USANDO DINÂMICA DE SISTEMAS**

Florianópolis  
2023

Lucas Silveira dos Santos

**VIABILIDADE DE MODELOS DE NEGÓCIO DE ÔNIBUS ELÉTRICOS DE  
FRETAMENTO USANDO DINÂMICA DE SISTEMAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetida ao Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Grau de Engenheiro Eletricista com habilitação em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Mauricio Uriona Maldonado, Dr.

Florianópolis  
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santos, Lucas Silveira dos  
Viabilidade de modelos de negócio de ônibus elétricos de  
fretamento usando dinâmica de sistemas / Lucas Silveira dos  
Santos ; orientador, Mauricio Uriona Maldonado, 2023.  
133 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia de Produção Elétrica, Florianópolis,  
2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Elétrica. 2. Ônibus Elétricos.  
3. Dinâmica de Sistemas. 4. Modelos de Negócio. I.  
Maldonado, Mauricio Uriona. II. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Produção  
Elétrica. III. Título.

Lucas Silveira dos Santos

**VIABILIDADE DE MODELOS DE NEGÓCIO DE ÔNIBUS ELÉTRICOS DE  
FRETAMENTO USANDO DINÂMICA DE SISTEMAS**

Florianópolis, 22 de junho de 2023.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliado e aprovado pela banca  
examinadora composta dos seguintes membros:

Prof.(a) Mauricio Uriona Maldonado, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Daniel Christian Henrique, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Tainara Volan, Ma.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certifico que esta é a versão final do Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado pelo autor e julgado adequado por mim e pelos demais membros da  
banca para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção Elétrica.

---

Prof. Mauricio Uriona Maldonado, Dr.  
Orientador

Este trabalho é dedicado a todos que de alguma forma  
contribuíram para a conclusão desta etapa.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiramente meus pais, Ondino e Valmira, por todo o amor, compreensão e incentivo ao estudo desde sempre. Sem vocês nada seria possível.

A minha namorada, Ana Paula, e família, por todo o apoio, carinho e paciência durante esta etapa.

Aos meus amigos de faculdade, em especial ao Guilherme Rauber, Ezequiel Vieira, Lucas Vambommel, Juliano Becker e Juliano Matias, pelas incontáveis horas de estudos, comemorações, lamentações e momentos inesquecíveis que levarei comigo para o resto da vida. Ainda que difícil, a jornada foi muito mais agradável na companhia de vocês.

Ao meu orientador Prof. Dr. Mauricio Maldonado por ter aceitado este desafio, pelo suporte e parceria prestados ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca, por terem aceitado este convite e disponibilizado seu tempo para leitura deste trabalho.

Por fim, a todos que eu eventualmente tenha me esquecido mas que contribuíram para desenvolvimento desta etapa, seja através de uma palavra de incentivo, uma dica em momento oportuno ou apenas um desejo de boa sorte.

*"A educação tem raízes amargas, mas os seus frutos são doces."  
(Aristóteles)*

## RESUMO

Com as crescentes preocupações acerca de questões ambientais, mudanças climáticas e o caráter finito do petróleo, torna-se necessário buscar alternativas que mitiguem tais questionamentos. Nesse contexto, o objetivo geral deste estudo é realizar uma simulação que prevê a difusão de ônibus elétricos de fretamento e sua oferta para um cliente, a fim de verificar qual modelo de negócio é mais rentável. Para atingir esse objetivo, foi utilizado o método de simulação em dinâmica de sistemas no software Vensim. Essa abordagem permite modelar o comportamento dinâmico do sistema, considerando as interações complexas entre as variáveis e os feedbacks presentes no ambiente. A simulação permite testar diferentes cenários e analisar os resultados de forma dinâmica. Os resultados obtidos indicaram que o modelo de aluguel dos ônibus elétricos apresentou os melhores indicadores econômicos, demonstrando maior rentabilidade que o modelo alternativo. Em conclusão, a utilização da dinâmica de sistemas como ferramenta de simulação permite uma análise abrangente da difusão de novas tecnologias, possibilitando alterar variáveis presentes no modelo a avaliar o impacto geral destas mudanças.

**Palavras-chave:** Ônibus Elétricos; Dinâmica de Sistemas; Modelos de Negócio.

## **ABSTRACT**

As concerns about environmental issues, climate change, and the finite nature of oil grow, it becomes necessary to find alternatives that address these concerns. In this context, the overall objective of this study is to conduct a simulation that predicts the diffusion of electric charter buses and their supply to a client to determine which business model is more profitable. To achieve this objective, a system dynamics simulation method was used in Vensim software. This approach allows for modeling the dynamic behavior of the system, taking into account the complex interactions between variables and feedback loops present in the environment. The simulation enables testing different scenarios and dynamically analyzing the results. The results showed that the rental model of electric buses had the best economic indicators, demonstrating greater profitability than the alternative model. In conclusion, the use of system dynamics as a simulation tool allows for a comprehensive analysis of the diffusion of new technologies, enabling the alteration of variables present in the model to evaluate the overall impact of these changes.

**Keywords:** Electric Buses; System Dynamics; Business Models.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estágios do Processo de Decisão . . . . .	20
Figura 2 – Classificação de Indivíduos . . . . .	22
Figura 3 – Curva acumulada com efeito dos imitadores e inovadores . . . . .	25
Figura 4 – Gráfico da curva de adotantes . . . . .	26
Figura 5 – Gráfico da taxa de adoção . . . . .	27
Figura 6 – Tipos de Veículos Elétricos . . . . .	32
Figura 7 – Preço do quilowatt-hora das baterias de íon de Lítio a nível mundial (2010 - 2018) . . . . .	34
Figura 8 – Estimativas do Custo Total de Propriedade em São Paulo . . . . .	35
Figura 9 – Visão interna e externa do Yutong E12 . . . . .	39
Figura 10 – Visão interna e externa do BYD C9 . . . . .	41
Figura 11 – Modelo Proterra ZX5 35-Foot . . . . .	42
Figura 12 – Ônibus realizando o carregamento em uma estação pantógrafa . . . . .	43
Figura 13 – Isenção do IPVA para VEs no território brasileiro . . . . .	61
Figura 14 – Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos . . . . .	69
Figura 15 – Modelo completo no Vensim . . . . .	74
Figura 16 – Submodelo de População e Demanda . . . . .	77
Figura 17 – Submodelo de Ônibus . . . . .	79
Figura 18 – Submodelo de Estações de Recarga . . . . .	81
Figura 19 – Receitas e Custos Totais do Modelo de Venda . . . . .	85
Figura 20 – Taxa de Compra de Ônibus no Modelo de Venda . . . . .	86
Figura 21 – Taxa de Venda de Ônibus no Modelo de Venda . . . . .	86
Figura 22 – Taxa de Compra de Ônibus no Modelo de Aluguel . . . . .	89
Figura 23 – Taxa de Venda de Ônibus no Modelo de Aluguel . . . . .	89
Figura 24 – Taxa de Compra de Ônibus no Modelo de Aluguel com alteração no número de adotantes . . . . .	90
Figura 25 – Taxa de Venda de Ônibus no Modelo de Aluguel com alteração no número de adotantes . . . . .	91
Figura 26 – Parâmetros escolhidos na Análise de Sensibilidade . . . . .	92
Figura 27 – Análise de Sensibilidade para o Modelo de Venda . . . . .	93
Figura 28 – Análise de Sensibilidade para o Modelo de Aluguel . . . . .	93

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de Veículos Elétricos (VEs) e modais correspondentes. . . .	31
Quadro 2 – Padrão Tecnológico dos Ônibus Elétricos Brasileiros . . . . .	37
Quadro 3 – Principais fabricantes mundiais de ônibus elétricos em 2018 . . . .	38
Quadro 4 – Principais Aspectos Regulatórios e Legais para Fretamento a nível nacional . . . . .	57
Quadro 5 – Agentes, atuação e responsabilidades no contexto da mobilidade .	65

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANTT	Agencia Nacional de Transportes Terrestres
ANVES	Associação Nacional de Veículos Elétricos e Sustentáveis
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
BYD	Build Your Dreams
CA	Corrente Alternada
CAPEX	Capital Expenditure
CC	Corrente Contínua
CORFO	Manufacturing Development Corporation
CSSL	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido
EA	Estimação Algébrica
EMV	Estimativa por Máxima Verossimilhança
FAME	Faster Adoption and Manufacturing of (Hybrid &) Electric Vehicles
FTA	Administração Federal de Trânsito dos EUA
GEE	Gases de Efeito Estufa
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
IRPJ	Imposto sobre a Renda de Pessoas Jurídicas
KERS	Kinetic Energy Recovery System
LoNo	Programa de Veículos com Baixa ou Nenhuma Emissão
MQNL	Mínimos Quadrados Não Lineares
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
MWp	megawatts-pico
NEV	New Energy Vehicles
OPEX	Operational Expenditure
PL	Projeto de Lei
RN	Resolução Normativa
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
SISMOT	Sistema de Cadastro dos Motoristas das Empresas Permissionárias ou Autorizatárias
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TVTC	Thousands of Vehicles, Tens of Cities
VEs	Veículos Elétricos
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	14
1.2	OBJETIVOS	16
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>16</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>16</b>
1.3	JUSTIFICATIVA	16
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>19</b>
2.1	TEORIA DA DIFUSÃO DAS INOVAÇÕES	19
2.2	MODELO DE BASS	24
2.3	DINÂMICA DE SISTEMAS	29
<b>3</b>	<b>MOBILIDADE ELÉTRICA E VEÍCULOS ELÉTRICOS</b>	<b>31</b>
3.1	CONTEXTO INICIAL	31
3.2	ÔNIBUS ELÉTRICOS	36
<b>3.2.1</b>	<b>Principais Fabricantes</b>	<b>38</b>
3.2.1.1	Yutong	39
3.2.1.2	BYD	40
3.2.1.3	Proterra	41
<b>3.2.2</b>	<b>Estratégias para a Recarga de Ônibus Elétricos</b>	<b>42</b>
3.3	BENCHMARKING REGULATÓRIO	44
<b>3.3.1</b>	<b>Políticas e Subsídios na China para Ônibus Elétricos</b>	<b>44</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Programa FAME na Índia</b>	<b>45</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Programa de Veículos com baixa ou nenhuma emissão da Administração Federal de Trânsito dos EUA</b>	<b>46</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Políticas direcionadas à Infraestrutura de Recarga</b>	<b>46</b>
3.4	CASES DE ESTUDO PELO MUNDO	48
<b>3.4.1</b>	<b>Coreia do Sul</b>	<b>48</b>
<b>3.4.2</b>	<b>China</b>	<b>49</b>
<b>3.4.3</b>	<b>América Latina</b>	<b>50</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Brasil</b>	<b>53</b>
3.5	LEGISLAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO	56
<b>3.5.1</b>	<b>Transporte em Regime de Fretamento</b>	<b>57</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Resolução Normativa ANEEL Nº 819 e Resolução Normativa ANEEL Nº 1000</b>	<b>58</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Lei Nº 13.755 (Rota 2030)</b>	<b>59</b>
<b>3.5.4</b>	<b>Subsídios Governamentais</b>	<b>60</b>
<b>3.5.5</b>	<b>Projetos de Chamada Estratégica</b>	<b>62</b>

3.6	MODELOS DE NEGÓCIO . . . . .	63
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA . . . . .</b>	<b>67</b>
4.1	ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO . . . . .	67
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS . . . . .	67
4.3	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO . . . . .	68
<b>5</b>	<b>CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO . . . . .</b>	<b>72</b>
5.1	CASO MODELADO . . . . .	72
5.2	CENÁRIOS E MODELOS DE NEGÓCIO . . . . .	75
5.3	POPULAÇÃO E DEMANDA . . . . .	76
5.4	ÔNIBUS . . . . .	79
5.5	ESTAÇÕES DE RECARGA . . . . .	80
<b>6</b>	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>83</b>
6.1	MODELO DE VENDA . . . . .	83
6.2	MODELO DE ALUGUEL . . . . .	87
6.3	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE . . . . .	91
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES . . . . .</b>	<b>95</b>
7.1	CONCLUSÃO . . . . .	95
7.2	RECOMENDAÇÕES . . . . .	96
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>98</b>
	<b>ANEXO A – FLUXOS DE CAIXA DO MODELO DE VENDA . . . . .</b>	<b>113</b>
	<b>ANEXO B – FLUXOS DE CAIXA DO MODELO DE ALUGUEL . . . . .</b>	<b>115</b>
	<b>ANEXO C – EQUAÇÕES DO MODELO DE VENDA . . . . .</b>	<b>119</b>
	<b>ANEXO D – EQUAÇÕES DO MODELO DE ALUGUEL . . . . .</b>	<b>127</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A mobilidade elétrica vem ganhando espaço dentro de academia, indústria e meio político atualmente. Ainda que possa parecer uma tecnologia recente, de acordo com Energy (2014), veículos elétricos têm origem contemporânea aos veículos convencionais a combustão, chegando inclusive a representar parcela significativa no total de veículos nos Estados Unidos da América no início do século XX.

Fatores como a baixa no preço do combustível somados a sua fácil oferta contribuíram, entretanto, para uma diminuição na atratividade destes veículos. A baixa disponibilidade de energia elétrica necessária para o seu carregamento, juntamente de uma reduzida autonomia na distância a ser percorrida pelo veículo por questões tecnológicas também contribuíram para a redução na adesão deste tipo de transporte.

Por fim, melhorias na tecnologia dos veículos a combustão (como os sistemas de partida elétrica, por exemplo) contribuíram para que estes veículos fossem a alternativa em mobilidade mais atrativa tecnológica e financeiramente à época.

A crise petrolífera de 1973, contudo, reacendeu o debate. A diminuição na oferta do petróleo com o sucessivo aumento em seu preço possibilitou que discussões acerca da necessidade de substituição de combustíveis fósseis para o setor de transportes surgissem. O caráter finito do petróleo é extremamente relevante quando se trata do setor de transportes. Estudos apontam para uma crise no fornecimento de petróleo ainda neste século, com previsões para o esgotamento das reservas mundiais em até 53 anos, conforme DiLallo (2014) mesmo com projeções otimistas que considerem a descoberta de novos poços petrolíferos. Desta forma, é essencial que os países se adequem às novas tecnologias, desde a geração de energia até as tecnologias destinadas a mobilidade.

Não obstante, preocupações envolvendo questões ambientais nas últimas décadas também contribuíram para que alternativas buscando uma menor emissão de gases poluentes à atmosfera fossem buscadas. Picheta (2021) defende que há um aumento na concentração de gás carbônico na atmosfera em comparação ao período pré-industrial, sendo a queima de combustíveis fósseis uma de suas principais razões.

Concomitantemente, o setor de transportes é um dos grandes contribuintes para este cenário com emissões que representam até 23% do total de emissões de  $CO_2$ . Nesta contribuição, aproximadamente 72% são advindas do transporte rodoviário. Atualmente, ônibus movidos a combustíveis fósseis são responsáveis por grande parte das emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE) nas cidades onde circulam. Conforme documento publicado na 24ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, o setor de transportes é responsável por até um quarto das emissões globais de GEE. Dentro deste setor, os ônibus representam 5% das emissões de  $CO_2$  no planeta,

conforme (BRITO, 2018), de forma que a eletrificação do transporte público se torna interessante do ponto de vista da mitigação das emissões de GEE.

O Brasil pretende atingir 45% de renováveis na matriz energética de 2030 e emissões líquidas zero de GEE até o horizonte de 2060, como meta estabelecida no Acordo de Paris firmado em 2016. Entre outros compromissos assumidos pelo país, há a redução de 37% e 43% de suas emissões de GEE até 2030 e 2035, respectivamente, em relação ao ano base de 2005. No setor de transportes, são necessárias políticas em diversas áreas para alcançar esse conjunto de metas, incluindo políticas eficazes e sustentáveis para promover a transição para um sistema de transporte mais limpo e de baixa emissão de carbono. Medidas como a promoção do transporte público, incentivo ao uso de veículos elétricos, investimentos em infraestrutura de recarga e melhoria na eficiência energética dos veículos desempenham um papel fundamental neste processo (BARASSA; CRUZ; MORAES, 2020).

Neste contexto, ônibus movidos a energia elétrica têm se mostrados mais eficiente que os equivalentes a diesel e representam uma alternativa menos poluente, de forma que já estão sendo adotados em localidades espalhadas pelo planeta, segundo (MALKOV *et al.*, 2020).

A eletrificação do setor de transporte, além do enfrentamento às mudanças climáticas e do afastamento do petróleo, também traz diversas vantagens técnicas aos operadores das frotas. Entre os principais ganhos estão a redução do custo de manutenção dos veículos e o menor custo da energia se comparada ao diesel (LIMA; BRIZON, 2019), em que, se tratando de uma frota com uso intenso – numerosas viagens e alta quilometragem – esses benefícios são potencializados. Essa redução de custo pode, então, ser revertida em melhorias na qualidade do serviço ou tarifas mais baixas para os usuários.

Contudo, esta redução de Operational Expenditure (OPEX) (*operational expenditure*, ou despesas operacionais) nem sempre são suficientes para superar o Capital Expenditure (CAPEX) (*capital expenditure*, ou investimento inicial) da operação. Por isso é necessário a implantação de planos de negócio robustos que estejam alinhados com as tecnologias e desafios envolvidos na transição para a mobilidade elétrica. Além disso, há a necessidade de um forte posicionamento do Estado, com incentivos fiscais, leis e o fomento à pesquisas, de forma a legitimar e traçar objetivos concretos a serem alcançados (LI; ZHU *et al.*, 2021).

Neste contexto surge a pergunta norteadora deste trabalho: quais são os modelos de negócios aplicáveis para a introdução de uma frota de ônibus elétricos de fretamento e qual a sua viabilidade?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é avaliar sob viés financeiro a aplicabilidade dos modelos de negócios para frotas de ônibus elétricos de fretamento.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos contemplam as seguintes etapas:

- a) **Etapa 1:** Identificar tendências de mercado e de infraestrutura tecnológica para frotas de ônibus elétricos;
- b) **Etapa 2:** Definir o marco atual regulatório e de modelos de negócio para frotas de ônibus elétricos; e
- c) **Etapa 3:** Avaliar a viabilidade econômica dos modelos de negócio levantados.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo Perini (2015), o transporte público de passageiros é extremamente relevante para a sociedade no contexto de mobilidade urbana. Independentemente da necessidade, seja a trabalho ou lazer, ele permite que as pessoas cheguem ao destino desejado. Sendo de elevada importância para as atividades cotidianas da população, problemas inerentes ao seu funcionamento como superlotação, congestionamentos e falta de pontualidade causam uma má experiência a quem precisa recorrer à sua utilização.

Ainda de acordo com Perini (2015), neste contexto de elevada importância no cotidiano das pessoas que algumas empresas vêm fretando o transporte de funcionários, visando um transporte mais cômodo, rápido, pontual e seguro. Além de um possível ganho em produtividade de funcionários, o transporte de fretamento também contribui para uma redução no número de veículos em suas instalações. Esta redução, inclusive, ao substituir um veículo particular reduz os gastos de funcionários com deslocamento e traz benefícios para a mobilidade urbana em geral.

Tratando-se de mobilidade urbana e segundo Barontini (2023), alternativas em mobilidade elétrica já representam uma tendência global de forma que diversas montadoras já manifestaram interesse em sua total implementação para os próximos anos. Não obstante, países em diferentes continentes também emitiram opiniões a respeito, definindo datas para o encerramento na venda de veículos a combustão e já oferecendo incentivos como a redução de impostos a fim de subsidiar este tipo de transporte, conforme (ABNETT, 2022).

No Brasil, não será diferente. Iniciativas por aqui que buscam aumentar a inserção deste tipo de veículos na frota brasileira também já estão presentes. Projetos referentes a sua implantação aparecem por todo o país envolvendo parcerias público-privadas. Em alguns estados há a isenção do pagamento de Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) para estes veículos e algumas prefeituras oferecem incentivo como isenção da necessidade de participar do rodízio de veículos ou até mesmo o pagamento por estacionar em vagas públicas. Tais iniciativas demonstram que o poder público brasileiro está ciente acerca do tema e já busca alternativas que buscam incentivar sua adoção por parte da população.

Conseqüentemente, uma das maiores preocupações quando se fala a respeito de mobilidade elétrica é uma infraestrutura adequada que permita o carregamento destes veículos, pois de nada adianta um usuário adquirir um veículo se não tem onde carregá-lo. Carregadores em locais públicos aumentam o grau de confiabilidade quanto à utilização deste tipo de veículos, especialmente no que diz respeito ao já manifestado receio de ficar sem carga durante seu trajeto, conforme (HAGENMAIER *et al.*, 2021).

Neste contexto, a existência de modelos de negócios robustos que viabilizem uma implantação efetiva deste tipo de veículo é necessária quando se pensa em uma eventual troca completa da frota de veículos. Um dos primeiros passos para se convencer um usuário de trocar um veículo o qual ele já está acostumado por algo que até então possa parecer uma incógnita passa pelo processo de convencimento de que a mobilidade elétrica já consegue atender as suas necessidades atuais e não é apenas uma ideia para anos vindouros.

Estadão (2021) ilustra um exemplo de como parcerias entre o poder público e o setor privado ajudam na difusão de tais ideias. Na cidade de Fortaleza existe o projeto Vamo Fortaleza, um sistema de *carsharing* em que o usuário agenda a utilização de um veículo elétrico. Em relação ao seu uso, mais de 5.000 pessoas já estão cadastradas na plataforma, sendo contabilizados mais de 8.000 deslocamentos que geraram uma economia de aproximadamente 13 toneladas de  $CO_2$ .

Alinhado ao contexto do estudo deste trabalho, Hising (2023) expõe que a cidade de São Paulo, visando reduzir a poluição e alcançar metas na redução de emissão de gases poluentes, obteve, em 2023, aprovação de um financiamento de R\$ 2,5 bilhões por dois bancos internacionais para a aquisição de ônibus elétricos. Em contrapartida, a prefeitura deverá investir R\$ 616 milhões na atualização da frota. A meta estabelecida pela administração municipal é que até 2024 circulem na cidade 2,6 mil ônibus elétricos, representando 20% da frota total. Segundo estimativas, este montante de R\$ 2,5 bilhões possibilitará a compra de mil veículos elétricos. Inclusive, desde outubro de 2022 a SPTrans, responsável pelo transporte coletivo da capital paulista, proibiu a aquisição de veículos movidos a diesel. Na época, inclusive, a cidade já contava com 219 ônibus elétricos de uma frota superior a 14 mil veículos.

Segundo Trindade (2023b), a prefeitura de Curitiba anunciou a aquisição dos primeiros 70 ônibus elétricos como parte do plano estratégico de eletrificação e modernização do transporte público da cidade. Esses ônibus serão incorporados à frota da cidade de maio a junho de 2024. O primeiro lote de ônibus elétricos para transporte público será comprado pela prefeitura com fundos próprios de R\$ 200 milhões. De acordo com o Programa de Mobilidade Sustentável de Curitiba, essa ação é um marco no processo de implementação de eletromobilidade em larga escala na cidade. Dos 70 ônibus que serão comprados, 28 serão elétricos articulados para a linha Interbairros II, e os outros 42 serão modelos Padron (convencional) para distribuição pela Rede Integrada. A meta estabelecida pela prefeitura da cidade é que, no médio prazo, até 2030, 33% da frota local de ônibus opere sem emissões; visando alcançar 100% até 2050, alinhando-se ao Plano de Ação Climática (PlanClima) e às iniciativas globais de sustentabilidade.

O anúncio destas metas de transição energética pela prefeitura de Curitiba é de grande importância, especialmente pelo fato da cidade ser considerada uma referência no transporte público. A postura da capital paulista também reforça a tendência de migração para a eletromobilidade devido aos números expressivos da frota municipal. Sendo assim, é esperado que outras cidades de todo o país comecem a divulgar seus próprios planos de descarbonização e eletrificação do transporte público, visto que esse setor tem um potencial significativo para impulsionar a mobilidade elétrica.

Ainda que existam modelos de negócios já pensados para a utilização de veículos elétricos e algumas cidades já possuam ônibus elétricos em sua frota operacional, não existem, até então, alternativas sólidas no Brasil voltadas especificamente para a utilização de veículos elétricos de fretamento, o que representa uma oportunidade de mercado ao se considerar o caráter inovador deste segmento.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está composto por 7 capítulos. O primeiro apresenta o problema, objetivos e justificativa. O segundo capítulo, o referencial teórico incluindo as principais teorias e conceitos. O terceiro capítulo discorre a respeito de veículos elétricos. O quarto, sobre o método de pesquisa e procedimentos metodológicos. O quinto capítulo fala sobre a construção do modelo de simulação, o sexto discute os resultados e a conclusão e recomendações são exibidas no sétimo e último capítulo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem por objetivo elucidar questões importantes inerentes aos componentes do objeto de estudo deste trabalho de conclusão de curso, subsidiando ao leitor um embasamento teórico que possibilite a compreensão do ecossistema aqui envolvido.

### 2.1 TEORIA DA DIFUSÃO DAS INOVAÇÕES

Inicialmente estudado no final do século XIX por Gabriel Tarde, um sociólogo francês, foi no meio-oeste dos Estados Unidos e nas décadas de 1920 e 1930 que o estudo da difusão de inovações obteve considerável desenvolvimento, especialmente no campo da sociologia rural. Como a tecnologia agrícola avançava rapidamente, os pesquisadores direcionaram sua atenção para a análise da adoção de sementes, equipamentos e técnicas híbridas por parte dos agricultores independentes.

Sendo empregada no planejamento e condução de investigações voltadas para a compreensão e avaliação do processo de difusão da inovação, o sucesso desse estudo feito por Rogers (1962) e a solidez do arcabouço teórico subjacente impulsionaram a disseminação da Difusão das Inovações como um referencial teórico relevante na condução de estudos com abordagens diversas, como, por exemplo, a realização deste trabalho.

Rogers (1962) propõe que toda inovação, independentemente de sua natureza, atravessa o processo conhecido como "difusão". Desta forma, a avaliação do sucesso de uma inovação demanda compreensão aprofundada de sua difusão. A difusão é definida como o processo pelo qual uma inovação é transmitida ao longo do tempo, por meio de canais de comunicação específicos, entre os membros de um sistema social.

Atualmente, a lei da difusão da inovação - que também é conhecida como Curva da Difusão da Inovação - busca explicar o processo pelo qual novas ideias e práticas são adotadas, muitas vezes ao longo de extensos períodos de tempo. A forma como as inovações são comunicadas às diversas partes da sociedade e as opiniões subjetivas associadas a elas desempenham um papel crucial na velocidade com que a difusão, ou seja, a disseminação, ocorre.

Neste contexto, Rogers (1962) elenca cinco elementos-chave na difusão de inovações, a saber:

1. Inovação: está intrinsecamente relacionada ao conhecimento atual da unidade analisada. Qualquer ideia, prática ou objeto que seja percebido como novo por um indivíduo ou uma empresa pode ser considerado uma inovação digna de estudo.
2. Adotantes: basicamente, são a unidade básica de análise em grande parte dos

estudos. Ainda que na maioria dos casos sejam indivíduos, entidades como empresas, hospitais e escolas ou até mesmo nações também são passíveis de análise.

3. Canais de comunicação: desempenham um papel fundamental na transferência de informações de uma unidade para outra. Para que a difusão ocorra, é necessário estabelecer padrões ou capacidades de comunicação entre as partes envolvidas.
4. Tempo: A adoção de inovações requer a passagem do tempo já que raramente são adotadas instantaneamente.
5. Sistema Social: é composto por uma combinação de influências internas, como as relações sociais fortes e fracas ou a proximidade com os líderes de opinião e influências externas como os meios de comunicação de massa e os mandatos organizacionais. No sistema social, desempenham-se diversos papéis e a combinação desses papéis representa a influência total em um potencial adotante.

Os elementos citados anteriormente, dessa forma, exercem influência no processo de difusão e devem ser compreendidos adequadamente para potencializar a aceitação das inovações.

Ao enfatizar a importância das pessoas no processo de avaliação das inovações, a Difusão das Inovações discutida por Rogers (1962) reconhece que a percepção em relação à inovação pode sofrer modificações ao longo do tempo. Sendo assim, ocorre por meio dos processos de interação nos quais as pessoas e a própria inovação estão envolvidas. É essencial compreender, portanto, o processo de difusão da inovação e as transformações que ocorrem no que diz respeito à sua adoção. O que é considerado inovador está intrinsecamente ligado à percepção das pessoas, os potenciais adotantes, em relação às transformações proporcionadas pela inovação.

O processo de difusão, então, ocorre por meio de um processo de tomada de decisão constituído por cinco etapas, conforme a Figura 1.

Figura 1 – Estágios do Processo de Decisão



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Rogers (1962)

A etapa inicial, Conhecimento, consiste na ocasião em que o potencial cliente tem o contato inicial com o produto ou serviço a ser ofertado. Neste estágio, o cliente

ainda não possui informações adequadas que estimulem o desejo de utilização da solução. Dessa forma, os responsáveis pela solução devem aumentar a conscientização sobre os benefícios de sua utilização.

Na etapa de Persuasão, ocorre o momento em que o potencial usuário ou cliente se mostra receptivo à ideia de fazer uma compra. Nesse estágio, eles estão em busca de informações que os auxiliarão em sua decisão final. Os profissionais envolvidos na divulgação do produto devem realizar esforço a fim de convencer o cliente a fazer uso do produto ou serviço.

A etapa intermediária é a de que o potencial usuário ou cliente terá que tomar uma Decisão. Aqui, eles irão refletir sobre os aspectos positivos e negativos da adoção e, então, optarão por aceitar ou rejeitar a inovação. Rogers (1962) afirma que esta é a fase que apresenta maiores dificuldades na obtenção de dados. Tal fato ocorre, segundo o autor, devido ao caráter impulsivo de muitos usuários, de forma que muitas aquisições de produtos não seguem decisões racionais, tomando decisões com base em experiências pessoais e sentimentos subjacentes. Em síntese, é difícil obter uma compreensão precisa do processo de tomada de decisão, uma vez que os motivos declarados podem não ser representativos dos motivos reais.

Sequencialmente temos a etapa de Implementação, ou seja, após tomar a decisão de aderir a um produto ou serviço, naturalmente se espera que o usuário ou comprador faça uso desta solução. Nesta fase o cliente avalia se o produto é verdadeiramente útil ou não. Além disso, há a possibilidade de que eles possam buscar informações adicionais para apoiar o uso do produto ou para obter um melhor entendimento do mesmo no contexto inserido. Esta etapa destaca a necessidade dos responsáveis pelo produto considerarem minuciosamente o processo de pós-compra, sendo levantadas questões acerca de como o usuário pode acessar informações úteis no ambiente pós-venda. Sendo assim, a qualidade da experiência de implementação depende também da facilidade de acesso e da qualidade dessas informações.

No estágio final de Confirmação ocorre a avaliação do usuário em relação à sua decisão, decidindo se irá continuar utilizando o produto ou abandoná-lo. Esta fase só é concluída quando há o abandono do produto, sendo processo contínuo em casos contrários. A nível de exemplificação e adaptando ao contexto deste trabalho, ao comprar um veículo - como um ônibus elétrico - é altamente provável que continue utilizando-o por vários anos, ainda que eventualmente seja possível vendê-lo e adquirir um novo. Também é comum que esta etapa envolva uma análise pessoal do produto, bem como a influência social: o usuário buscará confirmação de pessoas ao seu redor que confirmem a realização de uma escolha acertada.

Rogers (1962) também afirma que durante o processo de aplicação da Difusão da Inovação é crucial compreender os potenciais usuários e seu processo de tomada de decisão. Na tomada de decisão, fatores importantes incluem o tomador de decisão

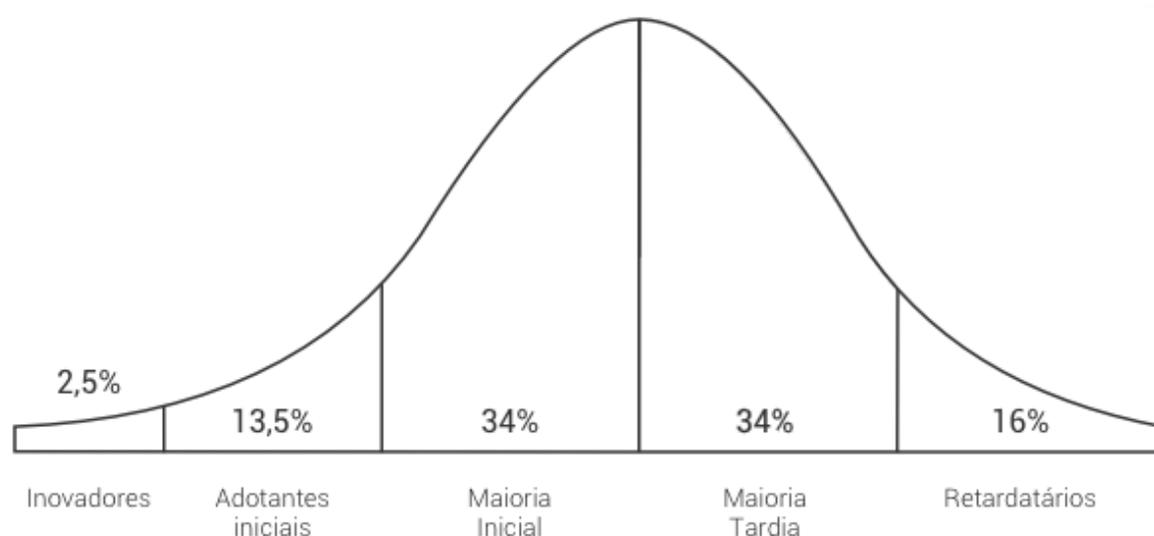
e a natureza livre e voluntária da implementação da decisão. Sendo assim, a partir de tais considerações o autor identificou os seguintes fatores de decisão de inovação:

1. Decisão da inovação opcional: realizada por indivíduo que se destaca de alguma forma dos demais dentro de um sistema social. Pode ocorrer em um contexto de indivíduo que está testando produto para uso pessoal ou até mesmo para sua organização;
2. Decisão de inovação coletiva: tomada de forma coletiva pelos indivíduos de um sistema social, como, por exemplo, a adoção de determinado *software* por todos os setores de uma empresa;
3. Decisão de inovação da autoridade: realizada por indivíduos que possam ter posição de poder ou influência e que afetam todo um sistema social. Tais indivíduos possuem a capacidade de tomar decisões que serão aplicadas a um grupo amplo como uma comunidade, por exemplo.

Não obstante, Rogers (1962) também elenca 5 (cinco) distintas formas de classificar indivíduos dentro de um sistema social com base na sua relação com a inovação. Estas categorias permitem uma segmentação e compreensão mais precisa dos diferentes grupos de usuários envolvidos no processo de adoção e utilização da inovação.

Como o autor defende que a distribuição entre os adotantes aproxima-se da normalidade, elas podem ser representadas através de um gráfico de distribuição normal conforme a Figura 2.

Figura 2 – Classificação de Indivíduos



Fonte: Carvalho (2020) e Rogers (1962)

Os indivíduos possuem as seguintes particularidades, então:

1. **Inovadores:** são os pioneiros na adoção de uma nova tecnologia ou produto. Caracterizam-se por estar dispostos a assumir riscos, pertencerem à classe social mais alta, terem considerável liquidez financeira, serem altamente sociáveis e terem um contato próximo com fontes científicas e interação com outros inovadores. A disposição desses indivíduos em assumir riscos resulta na adoção de tecnologias que podem apresentar falhas, embora sua capacidade financeira os auxilie a lidar com essas eventualidades.
2. **Adotantes Iniciais:** detêm o mais elevado grau de liderança de opinião em comparação com as outras categorias de adotantes. Em geral, possuem um *status* social mais elevado, desfrutam de maior liquidez financeira - assim como os inovadores - e são mais socialmente avançados em relação aos adotantes tardios. Todavia, em contraste com os inovadores, adotam uma postura mais discreta em suas escolhas de adoção, pois reconhecem que uma escolha criteriosa contribuirá para manter sua posição central de comunicação.
3. **Maioria Inicial:** adotam uma inovação após um período de tempo variável. Este intervalo de adoção é consideravelmente mais prolongado em comparação aos "inovadores" e "adotantes iniciais". A "maioria inicial" tende a demonstrar um ritmo mais lento no processo de adoção, possuindo um status social acima da média. Além disso, mantêm contato com os indivíduos que adotam a inovação de maneira mais precoce, porém raramente ocupam posições de liderança de opinião em um sistema.
4. **Maioria Tardia:** adquirem um produto ou inovação após a maioria da população já tê-lo adotado. Esses indivíduos abordam a inovação com um alto grau de ceticismo. A "maioria tardia" geralmente possui um status social abaixo da média, apresenta recursos financeiros limitados e mantém contato com outros indivíduos tanto da maioria tardia quanto da maioria inicial. Além disso, possuem pouca influência ou liderança de opinião.
5. **Retardatários:** são os últimos a adotarem uma inovação. Diferentemente de algumas das categorias anteriores, os indivíduos dessa categoria demonstram pouca ou nenhuma liderança de opinião. Os retardatários geralmente tendem a valorizar as "tradições", apresentando provavelmente o menor status social e a menor liquidez financeira. Além disso, seu círculo de contato está restrito apenas a familiares e amigos próximos.

Em síntese, o entendimento da teoria da difusão de inovações de Rogers é fundamental para compreender o Modelo de Bass a ser discutido na seção seguinte.

A teoria de Rogers fornece uma base conceitual sólida sobre como as inovações se espalham em uma população e os fatores que influenciam a adoção.

## 2.2 MODELO DE BASS

Conforme comentado ao final da seção anterior, o modelo apresentado por Bass (1969) é uma extensão da Teoria de Difusão das Inovações, oferecendo um método matemático para prever e simular a difusão de uma inovação ao longo do tempo.

Desde sua publicação, o Modelo de Bass é amplamente reconhecido como um dos modelos matemáticos de maior aplicação no estudo da difusão de novos produtos. Sua elaboração e seu comportamento lógico estão alinhados de maneira consistente com múltiplos estudos realizados no campo da ciência social, e sua eficácia tem sido extensivamente corroborada ao longo de um extenso período de tempo (WRIGHT; CHARIETT, 1995).

No processo de difusão do uso de um novo produto, o modelo de Bass (1969) surge a partir de uma hipótese comportamental. Essa hipótese pressupõe a existência de dois tipos de consumidores que irão determinar a maneira como a demanda pelo produto se desenvolve.

O primeiro tipo consiste naqueles indivíduos que decidem adotar o produto de forma independente, ou seja, sem receber influência direta de outros consumidores. No entanto, eles podem ser motivados por outros meios, como a comunicação de massa. Tais consumidores são conhecidos como **inovadores**. O segundo tipo de consumidor é composto por aqueles que são influenciados pela pressão social do ambiente e são suscetíveis à influência dos consumidores que já adquiriram o produto, sendo estes consumidores denominados **imitadores**.

Considerando o contexto apresentado por Rogers (1962) e os cinco tipos de indivíduos (Inovadores, Adotantes Iniciais, Maioria Inicial, Maioria Tardia e Retardatários), os quatro últimos são representados pelos **imitadores** definidos por Bass (1969). Também conhecidos pela alcunha de adotantes boca a boca, estes adotantes representam grupos cuja adoção é notoriamente influenciada por pressões do sistema social em que estão inseridos e em compensação, o grupo de inovadores não sofre influência das adoções anteriores.

A soma dos adotantes pertencentes às categorias mencionadas representará a taxa de adoção de uma determinada tecnologia durante o período em questão. Adicionalmente, a distribuição temporal das categorias de adotantes, conforme ilustrado na Figura 3 é representada pela curva de Gauss apresentada na Figura 5. Os valores acumulados da taxa de adoção exibidos na Figura 5, por sua vez, representam os adotantes absolutos e formam a curva em formato S exposta na Curva 1 da Figura 4. Inclusive, esta curva em formato de S inicia com um rápido crescimento, seguido por um ponto de inflexão e, posteriormente, uma desaceleração no aumento dos adotantes

acumulados até que o sistema atinja sua saturação.

Figura 3 – Curva acumulada com efeito dos imitadores e inovadores



Fonte: Adaptado de Morecroft (2015)

Morecroft (2015) também afirma que as curvas de tipo S são identificadas não apenas na difusão de produtos, mas também em várias áreas do conhecimento como, por exemplo, sistemas ecológicos e biológicos. Concomitantemente, quando a relação entre as vendas acumuladas e o tamanho do mercado cresce, a saturação de mercado se aproxima de 100%, indicando que quase todos os consumidores ou nicho de mercado já possuem o produto. Em consequência disso, o modelo de Bass é particularmente útil para prever o comportamento futuro de adoção da tecnologia ou produto em questão. No entanto, é importante ressaltar que o modelo deve ser construído antes que o estado de difusão atinja a saturação.

É possível, então, simplificar o modelo apresentado por Bass (1969) através da Equação 1

$$\frac{\partial N(t)}{\partial t} = p(M - N(t)) + qMN(t) \quad (1)$$

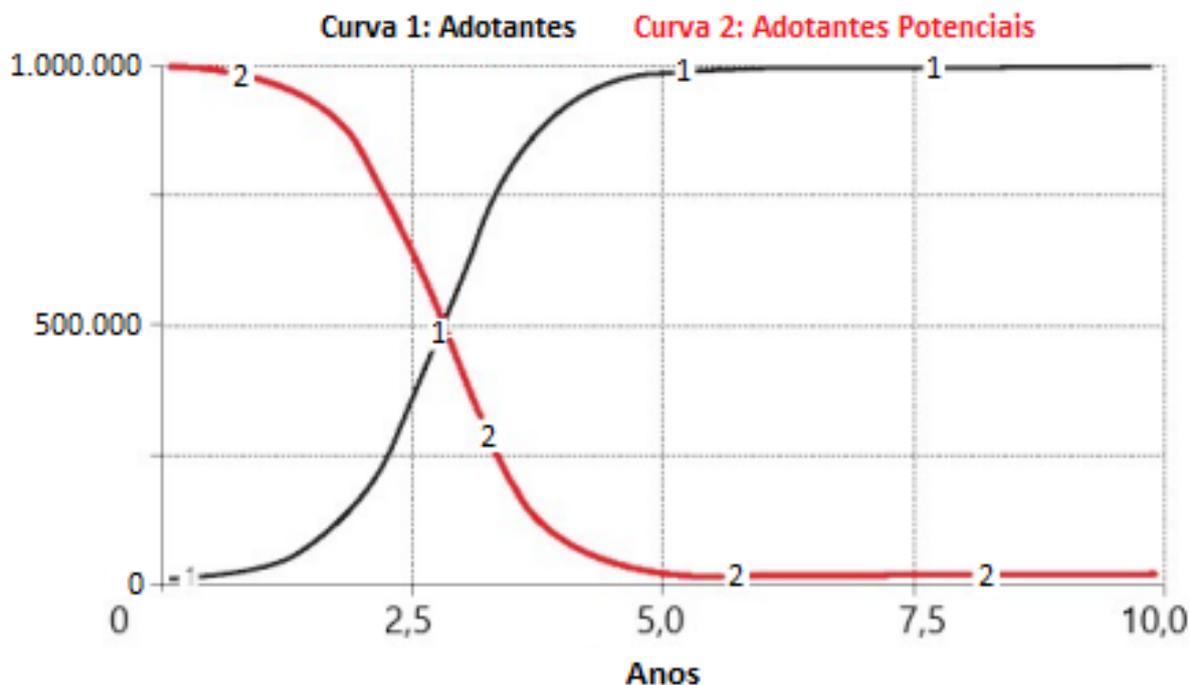
Sendo:

$N(t)$ : Número de adotantes de uma solução no tempo  $t$ ;

$p$ : coeficiente de inovação, representa a porcentagem do mercado que adota o produto quando há a ausência de influência boca a boca;

$q$ : coeficiente de imitação, representa a porcentagem do mercado quando há influência da comunicação boca a boca;

Figura 4 – Gráfico da curva de adotantes



Fonte: Adaptado de Morecroft (2015)

$M$ : potencial total do mercado, é o número máximo de pessoas que podem potencialmente adotar a solução;

Diversos trabalhos posteriores discutiram o modelo sugerido por Bass (1969), de forma que o próprio autor publicou revisões posteriores no modelo originalmente publicado para aumentar sua eficácia. Sendo assim, este trabalho fez uso de uma destas variações sugeridas por Bass, Mahajan e Eitan (1990) exibida na Equação 2.

$$N(t) = m \left[ \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} \right] \quad (2)$$

Sendo:

$N(t)$ : quantidade de vendas no período de tempo  $t$ ;

$m$ : tamanho potencial de mercado

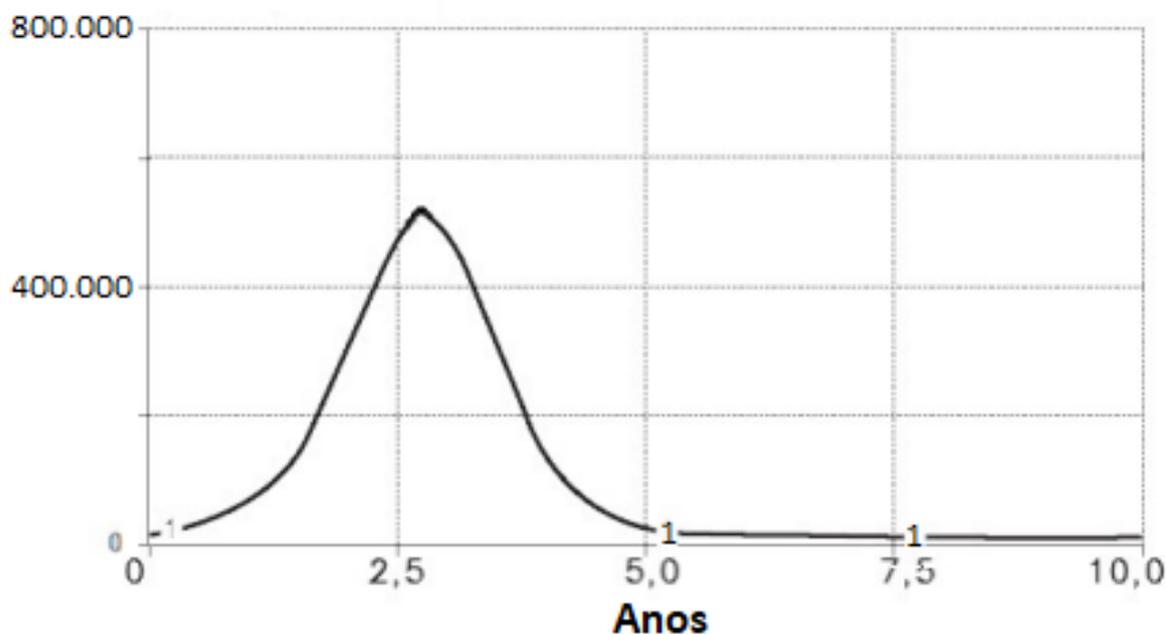
$p$ : coeficiente de inovação, mede a influência dos inovadores no processo de adoção, ou seja, aqueles que adotam a solução no início de sua oferta;

$q$ : coeficiente de imitação, mede a influência dos imitadores, isto é, quem adota o produto após observar os inovadores;

$t$ : representa o tempo, a quantidade de tempo decorrida desde o lançamento da solução.

A função em questão é fundamentada na hipótese de que a taxa de adoção é diretamente proporcional ao produto do número de não adotantes pelo número de ado-

Figura 5 – Gráfico da taxa de adoção



Fonte: Adaptado de Morecroft (2015)

tantes existentes. Incorporada à função, há uma expressão exponencial que decresce conforme o tempo transcorre. Isso implica que a taxa inicial de adoção é substancial, porém diminui gradualmente à medida que mais indivíduos adotam o produto. A divisão entre as duas partes da equação é introduzida para considerar a interação entre não adotantes e adotantes, a fim de manter a taxa de adoção equilibrada. Além disso, essa divisão evita a contagem duplicada de adotantes, uma vez que uma pessoa não pode ser simultaneamente classificada como adotante e não adotante. Em resumo, essa formulação é empregada para modelar a taxa de adoção de um produto ao longo do tempo, levando em consideração os coeficientes de inovação e imitação, bem como o limite máximo de adoção.

No trabalho publicado por Bass, Mahajan e Eitan (1990) foram sugeridos alguns métodos estimativos que auxiliassem na estimação dos parâmetros  $q$  e  $m$ . Entre as sugestões comparadas estão o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) (Mínimos Quadrados Ordinários), Estimativa por Máxima Verossimilhança (EMV) (Estimativa por Máxima Verossimilhança), Mínimos Quadrados Não Lineares (MQNL) (Mínimos Quadrados não Lineares) e Estimação Algébrica (EA) (Estimação Algébrica). A conclusão foi de que o MQNL era o que apresentava melhores estimativas e previsões além de ser de relativamente fácil implementação.

Neste contexto, o método utilizado para encontrar os parâmetros  $q$  e  $m$  utilizados na simulação desenvolvida neste trabalho foi o de MQNL através da programação de

um código na linguagem de programação Python.

Quanto a aplicação do Modelo de Bass em si, um aspecto notável de sua utilização reside no comportamento de seus resultados, os quais se mostram, até os dias atuais, altamente consistentes com vários estudos no campo das ciências sociais, conforme Wright e Chariett (1995). Aplicando no contexto nacional, existem aplicações na indústria automobilística por Ribeiro e Scarpel (2007) e indústria de motocicletas por Figueiredo (2011).

Ainda assim, alguns trabalhos posteriores tecem críticas ao modelo. Baran (2010), por exemplo, afirma que o modelo apresentado possui um caráter abrangente e não considera aspectos específicos, como o custo associado à adoção da inovação. Maier (1995) propõe que o modelo original não possui utilidade na compreensão das intrincadas e dinâmicas estruturas de retroalimentação, uma vez que não estabelece qualquer relação entre as decisões organizacionais e a disseminação do novo produto no mercado. Tanny e Derzko (1988) também apresentam críticas ao modelo original de difusão de Bass ao indicarem que a estrutura comunicativa do modelo se encontra deficiente em sua completude.

A existência destes pormenores, então, motivou estudiosos do tema a sugerirem alternativas que resolvessem tais questões. Dessa forma, o trabalho apresentado por Sterman (2000) aborda a aplicação da dinâmica de sistemas visando aprimorar o modelo de difusão de Bass. Nele, é apresentado um estudo de caso que ilustra a utilização da dinâmica de sistemas para melhorar a capacidade de previsão da adoção de um novo produto. Uma das limitações discutidas é a suposição de que a taxa de adoção permanece constante ao longo do tempo, ignorando a possibilidade de variação em função de fatores como o preço do produto, o nível de concorrência e o contexto econômico geral. Além disso, outra limitação do modelo de Bass é a ausência de consideração da influência do marketing e de outros fatores na adoção dos novos produtos. Sabe-se que na realidade, a adoção de um novo produto é influenciada por uma série de variáveis e estratégias de marketing desempenham um papel fundamental nesse processo. Por exemplo, campanhas publicitárias bem-sucedidas podem acelerar a taxa de adoção, enquanto estratégias de preço podem afetar a atratividade do produto no mercado. Além disso, o contexto econômico e o nível de competição também têm impacto direto na taxa de adoção, podendo acelerá-la ou retardá-la.

Em suma, embora o modelo de Bass seja uma ferramenta útil, suas limitações ressaltam a importância de explorar abordagens mais sofisticadas, como a dinâmica de sistemas - que será discutida na próxima subseção - para uma melhor compreensão e previsão da adoção de novos produtos.

## 2.3 DINÂMICA DE SISTEMAS

A técnica de Dinâmica de Sistemas foi desenvolvida em 1961 por Jay Forrester (1961), professor do Massachusetts Institute of Technology. Foi criada com o propósito de simular sistemas complexos e não-lineares que envolvem retroalimentação, ou seja, sequências circulares de causa e efeito nas quais uma variável qualquer  $X$  afeta a variável  $Y$ , assim como  $Y$  também afeta  $X$ . Posteriormente, a Dinâmica de Sistemas passou a ser aplicada no contexto de problemas industriais, como flutuação de estoques e queda na participação de mercado.

Matos (2012) afirma que a utilização da Dinâmica de Sistemas permite compreender a natureza dinâmica de um sistema, bem como compreender e aprimorar seu desempenho já que se trata de uma abordagem de modelagem matemática que tem a capacidade de obter respostas de sistemas dinâmicos. Batista Filho (2001) defende que ao longo dos anos, a Dinâmica de Sistemas tem evoluído como uma metodologia de análise de sistemas sociais. Sua utilidade tem sido aplicada em diversos temas, tais como administração, meio ambiente e recursos naturais, engenharia e finanças.

Felício (2010) defende que é de suma importância definir as fronteiras de aplicação do sistema. Tal fato permite desenvolver o modelo adequado do sistema proposto, compreender seu grau de complexidade e determinar a quantidade de componentes envolvidos. Tratando-se dos conceitos relacionados às palavras que compõe a Dinâmica de Sistemas, Felício (2010) expõe que a dinâmica estuda o comportamento das variáveis em relação ao tempo, mesmo quando uma variável é uma constante inalterada ao longo do tempo. Em relação aos sistemas, Pidd (1998) sustenta que são um conjunto de componentes interdependentes, inter-relacionados e organizados. Suas relações são fixas entre os componentes, podendo gerar outros sistemas. Não possui limitação de tamanho nem de número de componentes, podendo se adequar à necessidade do modelo.

Ainda de acordo com Batista Filho (2001), a Dinâmica de Sistemas tenta compreender a estrutura básica de um sistema, a fim de compreender o comportamento que pode ser gerado. Muitos desses sistemas e problemas analisados podem ser representados por modelos computacionais implementáveis. Dessa forma, a Dinâmica de Sistemas aproveita a capacidade dos modelos computacionais de lidar com complexidade e realizar cálculos simultâneos que seriam além da capacidade do modelo mental humano. Neste contexto, existem alguns *softwares* para este fim, como, por exemplo, Powersim, Stella, Vensim - que foi o utilizado neste trabalho - e Dynamo.

O software Vensim PLE é desenvolvido pela Ventana Systems (2023) e sua disponibilização gratuita aliada à interface intuitiva o tornam uma escolha popular entre pesquisadores e estudantes envolvidos em estudos de Dinâmica de Sistemas. A utilização desta ferramenta permite a construção de modelos computacionais com base em diagramas causais ou diagramas de estoques e taxas. Além disso, ao ser levada

em comparação com algumas linguagens de programação convencionais existentes, o Vensim oferece uma abordagem consideravelmente mais simplificada e de rápido entendimento.

Os modelos de Dinâmica de Sistemas elaborados no Vensim são de caráter simplificado, bastante intuitivo e de relativamente fácil entendimento. Os estoques são retratados por meio de retângulos, enquanto as taxas de entrada e saída são indicadas por flechas com duas linhas sólidas, apontando para dentro e para fora dos estoques, respectivamente. As relações entre as variáveis existentes são representadas por flechas simples. As válvulas são utilizadas para controlar o fluxo das taxas, e as nuvens representam interações externas, que podem tanto fornecer como receber as taxas definidas.

A utilização de uma ferramenta com estas características, inclusive, possibilita a representação instantânea dos efeitos das mudanças nas entradas e variáveis do modelo. Inclusive, também oferece uma aplicação excelente para simular as relações estratégicas de alto nível, tornando-se uma poderosa ferramenta para compreender as implicações das decisões no contexto empresarial ou de entender como pode se comportar a difusão de uma nova tecnologia. Por fim, também pode ser utilizada para modelar as interações entre recursos e entidades nos modelos, permitindo analisar o efeito das restrições sobre eles. Em síntese, então, entre as principais vantagens de utilizar um *software* como o Vensim consiste na sua capacidade de demonstrar o relacionamento de causa e efeito, bem como de calcular o tempo e o custo do processo simulado.

### 3 MOBILIDADE ELÉTRICA E VEÍCULOS ELÉTRICOS

Este capítulo tem por objetivo fornecer ao leitor embasamento teórico acerca da mobilidade elétrica, alguns conceitos relacionados e um panorama do desenvolvimento do arcabouço relatório disponível e de tendência acerca do mercado mundo afora.

#### 3.1 CONTEXTO INICIAL

Segundo Chan (2007), a mobilidade elétrica considera a utilização de veículos impulsionados por motores elétricos em ao menos uma de suas rodas, sendo a eletricidade a principal fonte de energia para esses motores. Inclusive, é possível afirmar que ela difere da convencional ao levarmos em consideração seu caráter agregador de segmentos, indo além do simples funcionamento do veículo para um ecossistema envolvendo diversos setores.

Nesta cenário, a eletricidade que alimenta os veículos é armazenada nas baterias e suas células. Os componentes envolvidos - baterias e motores, por exemplo - trabalham juntos para fornecer tração ao veículo elétrico. Não obstante, a operação desses veículos é baseada em tecnologias que integram os sistemas constituintes, conectores, sistemas híbridos - quando existirem - e a infraestrutura necessária para o carregamento das baterias (BARASSA; CRUZ; MORAES, 2020).

O Quadro1 exibe os tipos existentes de veículos elétricos e a quais modais estão relacionados.

Quadro 1 – Tipos de VEs e modais correspondentes.

Veículos de passageiros	Leves ( <i>Carros e Pick-ups</i> )
	Pesados ( <i>Ônibus</i> )
	Levíssimos ( <i>Bicicletas e Scooters</i> )
Veículos de transporte de bens	Leves
	Pesados

Fonte: Barassa, Cruz e Moraes (2020)

Além das diferenciações referentes a quais atividades o veículo está destinado, também existem particularidades quanto ao seu funcionamento. A Figura 6 ilustra os tipos de veículos elétricos existentes com base em seu funcionamento.

Figura 6 – Tipos de Veículos Elétricos

OPÇÕES TECNOLÓGICAS	CARACTERÍSTICAS
Veículo Elétrico a Bateria (VEB) <i>Battery Electric Vehicle (BEV)</i>	Apresenta propulsão elétrica dedicada, cuja fonte energética provém da eletricidade. A energia elétrica que alimenta o motor é armazenada numa bateria e provém de uma fonte externa ao veículo (p. ex.: rede elétrica).
Veículo Elétrico Híbrido (VEH) <i>Hybrid Electric Vehicle (HEV)</i>	Veículos que apresentam arquitetura em que coexistem um motor elétrico, cuja energia é suprida por uma bateria, e um motor à combustão convencional, abastecido com combustíveis líquidos (fósseis ou renováveis). Esta rota tecnológica se subdivide em diversas possibilidades (p. ex.: micro híbrido, híbrido série e paralelo), pois o motor a combustão pode ser suprido por uma diversidade de combustíveis - sendo que as configurações mais avançadas buscam uma integração com os biocombustíveis.
Veículo Elétrico Híbrido <i>Plug-in</i> (VEHP) <i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)</i>	Veículos que combinam elementos do híbrido e do elétrico puro. Sua bateria tanto pode ser alimentada por uma fonte interna, como um híbrido convencional, com um motor-gerador situado a bordo do veículo, quanto por fonte externa junto à rede elétrica.
Veículo Elétrico a Célula de Combustível (VECC) <i>Fuel Cell Electric Vehicles (FCEV)</i>	Apresenta propulsão elétrica dedicada, cuja fonte energética provém de células a combustível, principalmente do hidrogênio, ou de combustíveis líquidos, quando há reformadores. Estes veículos são semelhantes aos convencionais, mas usam tecnologias de ponta, o <i>fuel cell stack</i> . Esta tecnologia é responsável por obter eletricidade através do hidrogênio - eletricidade esta que alimenta o motor elétrico do veículo. Ademais, existem diversas configurações para fornecer e armazenar o hidrogênio - inclusive a partir de fontes renováveis (como, por exemplo, o etanol).

Fonte: Barassa, Cruz e Moraes (2020)

Ainda de acordo com Barassa, Cruz e Moraes (2020), na utilização de veículos elétricos, por exemplo, a forma de abastecer - ou, neste caso, carregar - o veículo é completamente diferente, exigindo do usuário uma mudança na mentalidade. Questões relacionadas aos impactos do uso de carregadores nas redes elétricas disponíveis, bem como o tempo de carregamento e a localização de eletropostos devem ser levadas em consideração quando se trata deste assunto.

Ao comparar a mobilidade elétrica com a mobilidade urbana, a possibilidade de integração entre diferentes tipos de veículos, por exemplo, surge como uma possível forma de vislumbrar o futuro do transporte nas cidades. Em uma situação hipotética - e em um cenário em que a localidade possua projetos neste sentido -, é possível que o deslocamento seja planejado utilizando transporte público, privado - envolvendo um veículo alugado - e ainda bicicletas e seus equivalentes elétricos.

A cidade de São José dos Campos - SP ilustra um bom exemplo desse conceito:

além da substituição gradual da frota de ônibus da cidade pelos elétricos, também estão sendo criadas rotas que cortam a cidade priorizando a utilização destes veículos. Não obstante, ainda existe a integração entre o transporte público e o privado por meio da disponibilização de veículos elétricos compartilhados que podem estar localizados em locais espalhados por toda a cidade, permitindo que os usuários façam o deslocamento desejado utilizando veículos 100% elétricos durante todo o trajeto (SARAGIOTTO, 2021).

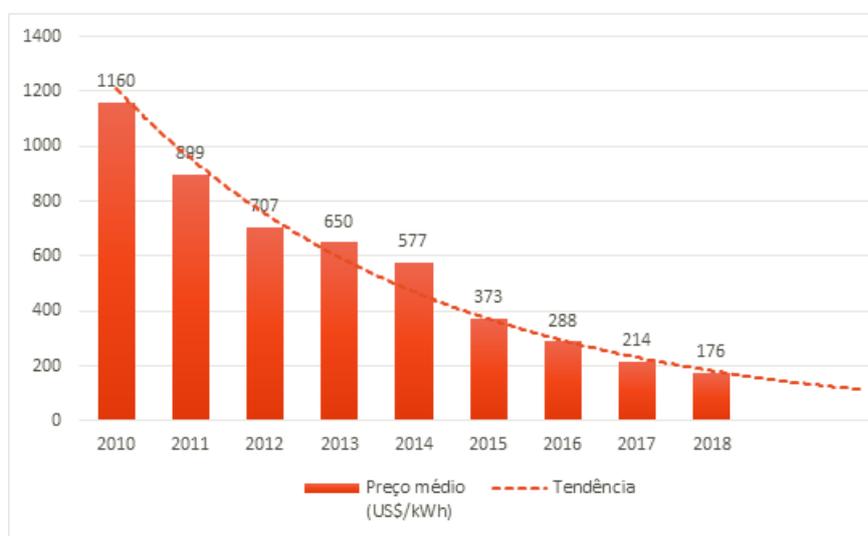
Como anteriormente mencionado, o uso de motores elétricos para mobilidade, apesar de crescente destaque nos últimos anos, consiste em uma abordagem antiga que passou por um longo período de hibernação. A utilização de motores elétricos em automóveis surgiu ainda no século XIX e teve seu auge no início do século XX, quando surpreendentes 38% dos veículos dos EUA eram elétricos (Watson e Correy (2019)). Apesar de suas origens contemporâneas, a tecnologia envolvendo veículos elétricos à época não conseguiu acompanhar a evolução do motor a combustão. Após uma série de melhorias, os motores a combustão passaram a proporcionar maior amplitude de viagem e torque, além de dispensar o uso de baterias que eram bastante limitadas até então.

Em um cenário recente, pode-se dizer que o interesse por essa tecnologia foi retomado por volta de 1990, principalmente por aspectos relacionados às questões ambientais. Naquela década, a evolução da tecnologia necessária para desenvolvimento do segmento ajudou a aprofundar os estudos e investimentos realizados na área e levou ao lançamento, em 1997, do Toyota Prius, o primeiro veículo híbrido produzido em larga escala, estando até hoje entre os modelos híbridos a terem maior participação no número de vendas em mercados como os EUA e Japão (Krisher (2011) e Repisky (s.d.)).

Uma das principais inovações tecnológicas que possibilitou o reinteresse por estes veículos foi justamente a bateria. Atualmente este componente possui autonomia bastante superior ao que era apresentado no início do século passado, o que garante maior autonomia e permite que os veículos possam percorrer distâncias muito maiores sem a necessidade de recarga. Conforme Liskauskas (2021), no entanto, seu preço ainda é um dos grandes responsáveis pelo elevado custo de aquisição destes valores. Conforme ilustrado na Figura 7, estima-se que entre 2010 e 2018, o custo mundial por quilowatt-hora de baterias de íon de Lítio caiu cerca de 85%, embora as disparidades de preços locais sejam comuns.

No Brasil, os preços das baterias de Lítio variam imensamente entre os modelos de VEs comercializados e costumam ser superiores à média mundial. Estima-se que o custo das baterias é de 949 R\$/kWh para o Renault Zoe (41 kWh), 1.297 R\$/kWh para o Nissan Leaf (30 kWh), 2.273 R\$/kWh para o Toyota Prius (4,4 kWh) e 7.273 R\$/kWh para o BMW i3 (22 kWh), gerando uma média de 2.948 R\$/kWh para as baterias dos

Figura 7 – Preço do quilowatt-hora das baterias de íon de Lítio a nível mundial (2010 - 2018)



Fonte: Adaptado de Bloomberg (2019)

veículos disponíveis no país (568 US\$/kWh em abril de 2020) (FleetMagazine (2019) e Lavrador (2019) e Reis (2018). Ou seja, mesmo com uma tendência a nível mundial de queda de preços, a redução do custo ainda não é suficiente para a adoção em massa da mobilidade elétrica, principalmente para VEs em países que precisam importar a tecnologia, como o Brasil.

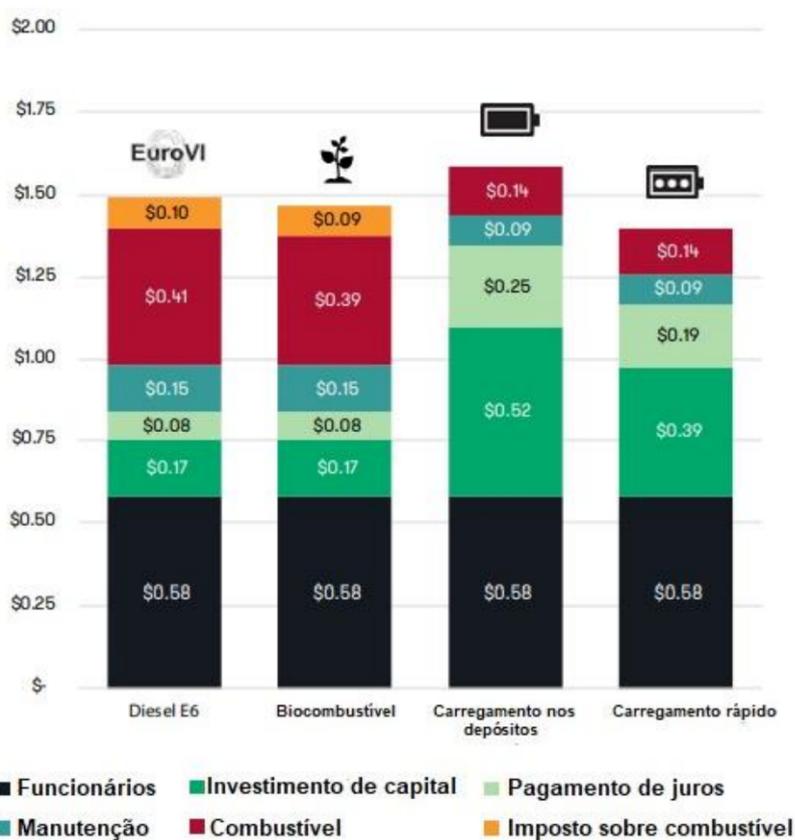
Segundo Leal *et al.* (2023), a adoção global de ônibus elétricos enfrenta desafios geograficamente desiguais e limitações de escala devido ao alto custo inicial desses veículos, o que aumenta a incerteza sobre sua competitividade com os ônibus movidos a diesel. Superar essas complexidades financeiras requer uma abordagem cuidadosa para avaliar e enfrentar as barreiras relacionadas aos custos e à economia dos ônibus elétricos em comparação aos veículos a diesel. Além disso, é necessário modificar a avaliação dos custos nos contratos, que tendem a focar apenas no custo inicial, desconsiderando o custo total de propriedade. Fatores como o custo das baterias, as condições operacionais regionais, os custos de combustível, as distâncias percorridas e os incentivos públicos desempenham um papel importante nessa análise. Alterações na estrutura de compras, modelo de remuneração e cálculo tarifário também são desafios econômicos relevantes no processo de eletrificação das frotas de ônibus.

Pérez-Prada *et al.* (2019) afirma que a seleção da tecnologia do veículo é impactada pela análise da disponibilidade de redes de abastecimento já existentes, o que influencia significativamente as decisões de investimento na transição para a frota de ônibus elétricos. A construção de uma nova infraestrutura de reabastecimento pode se tornar mais rentável se ocorrer uma grande renovação da frota. Os custos

de infraestrutura, como as estações de recarga, também afetarão o custo total de propriedade e investimentos em infraestrutura, incluindo instalações de recarga, obras em estradas e depósitos de ônibus existentes, que são necessários para esta transição.

A nível comparativo, a Figura 8 ilustra uma estimativa do custo total de propriedade de ônibus elétrico para a cidade de São Paulo elaborada pelo Banco Mundial. São considerados apenas os custos com os operadores dos ônibus, excluindo funcionários administrativos ou custos eventuais como pneus e alguns custos fixos.

Figura 8 – Estimativas do Custo Total de Propriedade em São Paulo



Fonte: Leal *et al.* (2023)

Neste contexto, Pérez-Prada *et al.* (2019) ainda destaca os seguintes motivos que dificultam o cálculo do custo total de propriedade de ônibus para as frotas de ônibus elétricos:

- A obtenção de informações precisas sobre todos os custos é frequentemente desafiadora, e é necessário fazer suposições para preencher as lacunas. No caso dos ônibus elétricos, a incerteza concentra-se principalmente na vida útil da bateria e nas opções de descarte no final de sua vida útil;

- Os custos de aquisição, manutenção e operação dos ônibus elétricos variam consideravelmente entre os diferentes países. Embora o custo de aquisição desses veículos esteja diminuindo, os resultados obtidos são altamente dependentes das condições locais e da tecnologia de carregamento considerada. A variação de preços dos ônibus elétricos pode ser de, por exemplo, cerca de US\$ 210.000 no Brasil a de US\$ 1.000.000 em Singapura; e
- Número reduzido de estudos que incluam o custo de externalidades associadas à operação destes veículos.

### 3.2 ÔNIBUS ELÉTRICOS

Segundo Stevens (2019), os ônibus elétricos começaram a ganhar popularidade no início da década de 2010 e estão ganhando cada vez mais adeptos. Isso porque, pela primeira vez, houve viabilidade tanto do ponto de vista econômico quanto na *performance*. Tal fato se deve em grande parte à evolução das baterias de íon de Lítio, resultante do aumento da demanda gerado principalmente pela entrada de novos *players* no mercado automobilístico, sendo a Tesla um dos exemplos mais proeminentes, e pelo avanço da geração renovável como a energia fotovoltaica, por exemplo.

De fato, o componente que mais contribui para elevar o custo de aquisição dos ônibus elétricos é a bateria. As estimativas de proporção entre o preço desses componentes com o valor total do veículo variam dependendo do estudo, com valores entre 20% até 60% sendo mais comumente citados (SOMBINI, 2019) e (SCLAR *et al.*, 2019a). Ainda assim, a maioria das fabricantes possui opções elétricas ou, no mínimo, híbridas de veículos de passeio. Seguindo a mesma tendência, o segmento de veículos pesados vem apresentando crescimento anual de vendas maior que 100% desde 2013, impulsionadas principalmente pelo programa de eletrificação chinês – que responde por 99% da frota mundial e abriga fabricantes líderes de mercado como BYD e Yutong (HEID *et al.*, 2018) e (MARKET; MARKETS, 2023).

Estima-se que hoje a frota de ônibus elétricos mundial seja de aproximadamente 425 mil unidades – sendo 421 mil na China. A Europa aparece em segundo lugar, com 2.200 (0,5%) veículos elétricos movidos à bateria (ECKHOUSE, 2018). Essa diferença tão expressiva pode ser atribuída à disponibilidade de tecnologia oferecida por várias montadoras asiáticas e por conta dos grandes incentivos que o governo chinês oferece às empresas de transporte.

Assim como na China, há uma tendência mundial de eletrificação do transporte público urbano. É razoável supor que isso se deva à maior rentabilidade dessa atividade, principalmente em países fortemente urbanizados como o Brasil e ao fato da poluição gerada pelos ônibus urbanos estar próxima a grandes centros urbanos, potencializando a oferta de maiores incentivos por parte do poder público a este modal,

gerando projetos com maior visibilidade da população.

IDEC (2023) estima que o Brasil possui em torno de 376 ônibus que funcionam a base de eletricidade, com grande parte desse número sendo representada por trólebus. Silva (2020) explica que os trólebus são veículos movidos à eletricidade obtida a partir de hastes instaladas no teto, seguindo trechos onde há uma rede aérea de distribuição elétrica. Em contrapartida, caso os trólebus afastem-se das hastes ou ocorra uma pane elétrica, eles param de funcionar, além de possuírem relativa falta de mobilidade, podendo seguir apenas trajetos pré-determinados a não ser que possuam uma bateria ou gerador auxiliar.

Analisando os números totais e casos em funcionamento no Brasil, percebe-se um cenário em que os ônibus elétricos estão substituindo os veículos a diesel que realizam o transporte coletivo nas cidades brasileiras. De modo geral, são em sua grande maioria fabricados integralmente pela BYD ou em parceria entre a fabricante chinesa e empresas brasileiras (que utilizam o chassi chinês e acoplam suas carrocerias).

Em todos os casos a serem mostrados, percebe-se uma certa homogeneidade no que diz respeito às características dos veículos: possuem tamanhos, autonomies e capacidades de passageiros semelhantes as mostradas no Quadro 2, sendo possível notar um padrão tecnológico para o setor a nível nacional.

Quadro 2 – Padrão Tecnológico dos Ônibus Elétricos Brasileiros

Item	Especificação (aproximada)
Tamanho das baterias	324 kWh
Autonomia	250 km
Comprimento	13 m
Capacidade de passageiros	70 pessoas

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma das principais tecnologias empregadas para aumentar a eficiência e, logo, a autonomia desses veículos é a frenagem regenerativa. O sistema, também conhecido como KERS (Kinetic Energy Recovery System), consegue recuperar até 60% da energia que seria desperdiçada nas frenagens. Quanto ao ganho de eficiência provocado pela tecnologia, considerando a eficiência média de um veículo elétrico no regime rodoviário e urbano, é possível calcular um aumento de autonomia de aproximadamente 3% em rodovias e 14% na cidade (COUNCIL, 2006).

Graças a incentivos governamentais (como em São Paulo, por exemplo), as concessionárias que administram o transporte público estão realizando testes para avaliar sua utilidade e identificar planos de ação para a conversão total dos modelos tradicionais para veículos elétricos. Essa demanda esteve, inicialmente, relacionada com uma maior compatibilidade dos ônibus elétricos com os compromissos assumidos pelo Brasil referentes a emissão de gases poluentes. Todavia, à medida em que os estudos de implantação foram realizados, o aspecto financeiro também se mostrou

vantajoso, principalmente devido a um menor custo de energia elétrica em relação ao diesel, bem como a menor necessidade de manutenção de veículos elétricos.

No que diz respeito a recarga dos veículos, apresentam, novamente, similaridades: os veículos predominantemente circulam durante o dia e são abastecidos à noite, nas garagens. Com infraestrutura de carregamento dedicada até então inexistente em nosso território, existindo apenas pontos de carregamento para veículos leves (e ainda assim em números bastante inexpressivos), não restando opções além do carregamento à noite, quando os veículos não estão em funcionamento. Percebe-se também uma tendência na utilização de carregadores que utilizam Corrente Alternada (CA), ao invés da Corrente Contínua (CC).

Os modelos de ônibus homologados no Brasil possuem apenas a opção de carregamento em CA. Esta estratégia, de incluir internamente o retificador (conversor CA/CC) favorece as empresas de recarga, uma vez que as estações em CA são significativamente mais baratas, com custo cerca de 80% menor. Por outro lado, o preço de venda do ônibus é maximizado com esta condição e impossibilita a adoção de recargas super-rápidas.

### 3.2.1 Principais Fabricantes

Sclar *et al.* (2019a) afirma que o setor de ônibus elétricos ainda encontra-se em estágio incipiente, com várias empresas emergentes globalmente. A maioria dos fabricantes produzem pequenas quantidades de ônibus e operam apenas em escala regional. Isso porque os fabricantes ainda não completaram o desenvolvimento das cadeias de suprimentos, impedindo a maximização dos benefícios da produção e economia de escala. O Quadro 3 exhibe os 10 maiores fabricantes do setor no ano de 2018, total de vendas e mercados de atuação.

Quadro 3 – Principais fabricantes mundiais de ônibus elétricos em 2018

<b>Fabricante</b>	<b>Número de vendas</b>	<b>Atuação principal</b>
Yutong	35.000	China e internacional
BYD	20.631	China e internacional
Zhontong	20.000	China
Solaris	103	Europa
Proterra	100	América do Norte
Optare	82	Europa
VDL Bus and Coach	67	Europa
Volvo Bus	50	Europa
Bolloré Group	23	Europa
<b>Total</b>	<b>76.096</b>	-

Fonte: Adaptado de Sclar *et al.* (2019a)

A partir dos dados, pode-se observar que, devido ao grande mercado gerado

pelo projeto de eletrificação dos ônibus chineses, as montadoras com maior destaque no segmento estão localizadas na China ou atendendo ao mercado chinês. Alguns dos principais fabricantes desses veículos serão discutidos abaixo.

### 3.2.1.1 Yutong

É uma das maiores fornecedoras de ônibus elétricos do mundo, responsável por aproximadamente 32% da frota chinesa. A empresa possui soluções já consolidadas para transporte urbano, intermunicipal e rodoviário além de opções existentes para diversos tipos de veículos de serviço (YUTONG, 2023a).

Fora do país de origem, essa empresa já forneceu cerca de 45% dos mais de 33 mil ônibus elétricos da África, onde implantou 54 estações de serviço (recarga e manutenção) espalhadas por 50 países (YUTONG, 2023c). Na América Latina, a empresa mantém 34 estações de serviço e é responsável pela maior parte das importações de veículos elétricos asiáticos (54%), em especial para o Chile, país que lidera a eletrificação do transporte coletivo no continente (BUS, 2018). A empresa também está presente de forma mais modesta na Europa, com 8 estações de serviço (manutenção) que atendem 21 cidades-cliente (YUTONG, 2023d).

Entre os principais modelos da Yutong pode-se citar o E12, exibido na Figura 9 (a) e (b), ônibus urbano com 12 metros de comprimento e capacidade para 28 passageiros sentados. O ônibus conta com assistente de direção que automatiza tarefas simples – como a ativação dos limpadores de para-brisa e faróis noturnos – e implementa funções de segurança, como freio automático de emergência, alerta de mudança de faixa e controle de cruzeiro adaptativo.

Figura 9 – Visão interna e externa do Yutong E12



(a) Visão externa

(b) Visão interna

Fonte: Yutong (2023b) e Guru (2020)

### 3.2.1.2 BYD

A Build Your Dreams (BYD) é uma empresa de origem também chinesa e surgiu em 1995 como uma fornecedora de baterias para Motorola e Nokia e entrou no mercado automobilístico em 2002. Neste ramo pode aproveitar sua expertise como fabricante de baterias recarregáveis para se tornar destaque na mobilidade elétrica, em especial em veículos de serviço como ônibus, empilhadeiras e trens de mon trilho (BYD, 2023).

A empresa ocupa o segundo lugar em número de ônibus elétricos comercializados e possui a maior presença mundial, com projetos em 50 países (BYD, 2023). Na América Latina, foi a primeira empresa a entregar uma frota inteira de veículos elétricos para o projeto chileno de eletrificação iniciado ao final de 2019. No Brasil, iniciou suas operações em 2016 com uma montadora em Campinas – SP, onde, em 2017, iniciou também a produção de painéis solares (MODERNO, 2019).

A justificativa para a vinda foi o prospecto de crescimento da frota eletrificada do país, que possui o segundo maior mercado de ônibus do mundo, depois da China (TECNOLOGÍSTICA, 2016). Além disso, o mercado de energia fotovoltaica brasileiro tem se mostrado bastante lucrativo. Atualmente, os painéis solares da empresa empregados no país somam 1 GW de capacidade instalada, cerca de um terço do total nacional, conforme Tabak (2020).

A BYD chegou a adquirir uma fazenda em Araçatuba – SP e construiu uma usina de energia solar para abastecer a sua fábrica em Campinas e seus veículos (ônibus e caminhões). O complexo terá 5 megawatts-pico (MWp) com possibilidade de ampliação para até 20 MWp. Em números, seria possível o abastecimento de cerca de 100 caminhões ou 75 ônibus da empresa. O objetivo é garantir que todo o abastecimento de seus clientes seja proveniente dessa usina solar. Além disso, a empresa pretende construir uma fábrica de baterias na Zona Franca de Manaus para abastecer uma demanda nacional, com possibilidade de vendas para o exterior. Com relação a sua montagem, que ainda contará com células importadas da China, de acordo com a demanda de uso, poderão ser fabricadas também baterias com diferentes matérias químicas (MODERNO, 2019).

Um dos modelos de destaque da empresa é o BYD C9, exibido na Figura 10 (a) e (b), rodoviário apresentado em 2016 e comercializado em Singapura e nos EUA.

Figura 10 – Visão interna e externa do BYD C9



(a) Visão externa

(b) Visão interna

Fonte: Europe (2023)

### 3.2.1.3 Proterra

Outro player de destaque no setor internacional é a Proterra, empresa norte-americana com um amplo espectro de veículos elétricos pesados. Além disso, entrega estruturas de recarga para frotas e realiza consultoria de projetos de eletrificação – avaliação de rotas, estimativa de custos de capital e operacionais. Apesar de não representar uma fatia expressiva do mercado mundial, a companhia investe em tecnologia de ponta no projeto de seus produtos, gerando resultados expressivos. Exemplo disso são os veículos com autonomia estendida, com baterias de alta capacidade chegando a 660 kWh no modelo E2 Max que atualmente mantém o recorde de 1.772 km percorridos com uma única carga, marca alcançada em 2017 (PROTERRA, 2017). A Figura 11 mostra um dos modelos de ônibus da marca.

Figura 11 – Modelo Proterra ZX5 35-Foot



Fonte: (PROTERRA, 2023)

### 3.2.2 Estratégias para a Recarga de Ônibus Elétricos

No cenário de carregamento de frotas de ônibus elétricos é possível observar duas tendências principais quanto às recargas, a chamada recarga de oportunidade ou a recarga nas garagens do operador. O carregamento de oportunidade se refere geralmente a recargas rápidas feitas várias vezes durante o dia. Esse modo de recarga é indicado para situações em que o veículo não possui armazenamento de energia suficiente para operar um dia inteiro e realiza paradas frequentes. Geralmente, é realizado através de estações do tipo pantógrafo, como mostra a Figura 12.

No pantógrafo *top-down*, o ônibus deve parar em uma estação onde um pantógrafo automatizado descerá uma haste metálica que entrará em contato com o ônibus, fazendo o carregamento da bateria. Existe também a configuração de pantógrafo *bottom-up* que pode ser utilizado em localidades onde já existem conexões em rede CC, como aquelas utilizadas para trólebus ou metrô/trens, porém essa configuração não é recomendada por expor a parte mecânica a condições adversas de clima e vibração (ASSOCIATION, 2017).

Outra forma de recarga de oportunidade é através de recargas indutivas ou wireless. Nessas situações, a infraestrutura de recarga pode ser embutida no asfalto em frente à pontos de ônibus, recarregando ônibus que parem ali e eliminando o atraso causado pela movimentação de um braço mecânico que um pantógrafo geraria.

Em geral, em projetos que utilizam o carregamento de oportunidade por pantógrafos, nota-se a ampliação da operação do ônibus, aproveitando momentos em que o veículo fica parado para o embarque de passageiros ou qualquer outro motivo. Contudo, esses projetos apresentam cunho experimental, poucas linhas foram coloca-

Figura 12 – Ônibus realizando o carregamento em uma estação pantógrafa



Fonte: ABB (2023)

das em operação. O carregamento de garagem ainda consiste no principal modo de recarga, o que pode ser atribuído aos altos custos de implantação de tecnologia, as implicações legais que a instalação de sistemas CC de alta tensão em áreas públicas geraria e ao fato de que, mesmo com as recargas de oportunidade, as recargas em garagem ainda se mostram necessárias (KNOTE, 2015) e (SYSTEM, 2016) e (QIN *et al.*, 2016).

O carregamento em garagens concede maior viabilidade nos projetos de ônibus elétricos no mundo. Esse carregamento geralmente é feito durante a noite através de conectores comuns, principalmente em CA. Isto deve-se ao fato desta configuração exigir menos investimento em infraestrutura de carregamento, além de naturalmente mover o consumo para um horário em que a energia tende a ser mais barata sem a necessidade de emprego de baterias ou sistemas centralizados de controle.

Outro aspecto que pode ter influenciado nessa tendência é o fator de escala. A instalação de uma infraestrutura centralizada em que vários veículos podem ser recarregados, limpos e receber manutenção tende a ser mais barata do que a instalação de estações espalhadas pelo meio urbano e rodoviário.

Mais ainda, no carregamento CC, uma estratégia comum para aumento da eficiência das estações de recarga é centralizar a conversão CA/CC em um equipamento de alta capacidade e disponibilizar múltiplos terminais que realizem recargas sequenciais, em que vários veículos são carregados em sequência.

### 3.3 BENCHMARKING REGULATÓRIO

Antes de iniciar o planejamento ou mesmo a implantação de um projeto, as agências de transporte público e os operadores de ônibus devem revisar as políticas nacionais e locais relacionadas para avaliar seu impacto potencial na adoção de ônibus elétricos. Devem-se analisar questões como quais políticas de apoio e obstrutivas estão em vigor; qual a agenda regulatória do país; quais políticas podem ser aproveitadas para causar um impacto maior; avaliar possíveis consequências se as políticas mudassem etc.

Um dos grandes desafios quanto a adoção da eletromobilidade é a falta de incentivo e motivação por parte do governo. Como identificado por Sclar *et al.* (2019a), há algumas barreiras políticas que se repetem em diversos projetos de ônibus elétricos no mundo: falta de conhecimento técnico e dos benefícios da eletrificação por parte de legisladores; falta de autoridade suficiente para viabilizar projetos desse tipo; e descontinuidade dos projetos, relacionada principalmente ao início de novos mandatos, em que projetos de antecessores políticos são deixados de lado.

Dessa forma, considerando que nem todos os países ou cidades têm políticas de incentivo à adoção dos ônibus elétricos, é interessante analisar casos de uso de ônibus elétricos a nível mundial, tentando identificar leis e projetos facilitadores para a adoção. Quanto a isso, Sclar *et al.* (2019b) define três categorias de políticas para serem exploradas:

- Políticas e metas especificamente relacionadas a ônibus elétricos;
- Políticas de apoio e programas de assistência financeira;
- Outras políticas com considerações ambientais ou econômicas.

Tratando-se do maior mercado global quando ônibus elétricos são discutidos, a China será inicialmente discutida.

#### 3.3.1 Políticas e Subsídios na China para Ônibus Elétricos

O governo nacional chinês iniciou a adoção de ônibus elétricos em 2009 com grandes projetos piloto e várias políticas de apoio (LU; XUE; ZHOU, 2018). Muitas cidades chinesas desenvolveram metas de adoção de ônibus elétricos ou roteiros desde então, com destaque para Shenzhen e Guangzhou (KEEGAN, 2018). Shenzhen, a cidade mais avançada para adoção de ônibus elétricos, estabeleceu metas progressivas desde 2009 de acordo com as políticas nacionais, especificamente com o programa *Thousands of Vehicles, Tens of Cities*, também conhecido como TVTC.

O programa *Thousands of Vehicles, Tens of Cities* (TVTC), de janeiro de 2009, veio do desejo do governo em criar uma cadeia de valor para VEs em 10 cidades

chinesas (depois expandido para 25) para o desenvolvimento da indústria e de modelos de negócio no ramo. Assim é possível identificar uma motivação do governo, a fim de diminuir o impacto ambiental e a dependência de combustíveis fósseis do transporte rodoviário (PRTM, 2011).

Para essa e outras cidades as políticas e incentivos nacionais e locais desempenham um papel fundamental na redução do custo inicial de aquisição de ônibus elétricos. Antes de 2016, um ônibus elétrico de 12 metros poderia receber um subsídio do governo de 1 milhão Renminbis, equivalente a US\$150.000, responsável por mais da metade do preço do veículo, sendo um dos principais impulsionadores da adoção acelerada no país (LU; XUE; ZHOU, 2018).

Como motivador para acelerar a adoção, os subsídios têm diminuído gradualmente desde 2017. Em comparação com 2016, o subsídio nacional para compras de veículos foi reduzido em 20% em 2017-18 e será reduzido em mais 40% em 2019-2020 (ICCT, 2019). Como resultado, ocorreu um surto de adoção em Shenzhen em 2016 que culminou na adoção de uma frota 100% elétrica em 2017, antes da redução desses subsídios (ZART, 2017).

Embora os subsídios relacionados a veículos elétricos na China estejam em declínio (para ônibus e veículos de passageiros), o país planeja emitir um novo sistema de crédito chamado Regulamento de Gerenciamento Paralelo para o Consumo Médio Corporativo de Combustível e os Créditos para Veículos de Novas Energias - ou New Energy Vehicles (NEV). Ainda que esses esquemas atualmente sejam aplicáveis apenas a fabricantes de automóveis, existe o potencial de expansão para outros modais, como ônibus elétricos. A nova política estabelece metas para a eficiência de combustível de veículos fósseis e a porcentagem de veículos elétricos produzidos pelos fabricantes, com critérios que determinam quantos créditos cada fabricante pode ganhar por cada VE vendido e quantos créditos deve atingir em cada ano (ICCT, 2019).

### 3.3.2 Programa FAME na Índia

Em 2015, a Índia iniciou o programa de aceleração da adoção de VEs (e híbridos) - Faster Adoption and Manufacturing of (Hybrid &) Electric Vehicles (FAME) - para aumentar o fornecimento de ônibus híbridos e elétricos. Além dos estímulos à produção, o FAME também estimulou o lado da demanda, com recursos alocados para a compra de 465 ônibus híbridos e elétricos distribuídos para vários estados e cidades do país (SINGH, 2019). Ao final do prazo estipulado de duração da primeira fase do programa (março de 2017), recebeu diversas emendas que aumentaram os incentivos à demanda disponíveis para ônibus totalmente elétricos. Atualmente, a segunda fase do programa, geralmente chamado de FAME II inclui subsídios que dependem da porcentagem da produção e do custo total dos componentes de ônibus fabricados localmente (INDIA, 2019b).

Além de alocar recursos para a compra de ônibus híbridos e elétricos, o programa também prevê objetivos muito bem definidos quanto a infraestrutura de recarga. É prevista a instalação de aproximadamente 2.700 postos de recarga para os ônibus em um esquema de grid 3km x 3km em cidades-chave ou com mais de um milhão de habitantes e também em rodovias que conectem centros urbanos importantes do país, nas quais deverão ser instaladas em ambos os lados da rodovia em intervalos de 25 km (INDIA, 2019a).

### **3.3.3 Programa de Veículos com baixa ou nenhuma emissão da Administração Federal de Trânsito dos EUA**

A Administração Federal de Trânsito dos EUA (FTA) estabeleceu o Programa de Veículos com Baixa ou Nenhuma Emissão (LoNo) como um programa de financiamento discricionário que fornece financiamento para a aquisição de ônibus de baixa ou zero emissão (FTA, 2014). Na Filadélfia, Estados Unidos, a agência de transporte público recebeu US\$ 2,6 milhões por meio desse programa de ônibus elétricos em 2016, valor aprovado em 2015 e usado para comprar 25 ônibus Proterra. Além dessa, outras seis agências no país receberam financiamento através do programa (FTA, 2016). Em 2018, uma nova concessão LoNo de US\$ 1,5 milhão foi oferecida à agência de transporte público da Filadélfia para adquirir 10 ônibus elétricos adicionais da canadense New Flyer, bem como equipamentos de carregamento associados (FTA, 2018).

Agora, mais oportunidades de financiamento estão gradualmente se tornando disponíveis e mais dados de teste estão sendo coletados de projetos-piloto. Outro financiamento geral para as agências de transporte público dos EUA para adquirir ônibus elétricos vem da Agência de Proteção Ambiental e das autoridades estaduais de energia e meio ambiente, em especial, para ônibus escolares (CASALE; MAHONEY, 2018).

### **3.3.4 Políticas direcionadas à Infraestrutura de Recarga**

Um problema já identificado com relação às políticas de incentivo e subsídio diz respeito ao direcionamento dado a elas. Na maioria dos casos, como nos casos apresentados (China, Índia e EUA), os incentivos são destinados aos veículos, assim a infraestrutura de recarga que também se encontra em processo de evolução e desenvolvimento pode enfrentar limitações e retardar sua penetração em massa no mercado, conforme Sclar *et al.* (2019a).

Outra incerteza diz respeito às responsabilidades de compra e manutenção das estações de recarga. Essa infraestrutura costuma não ser contemplada no arcabouço regulatório do sistema de transporte de passageiros e, em geral, nem operadoras de ônibus (normalmente do setor privado) nem agentes de trânsito (setor público) estão

dispostos a assumir os altos custos de implantação e atualização de infraestrutura em um segmento que geralmente não faria uso intensivo de energia elétrica.

Além disso, a questão quanto ao espaço físico para a instalação destes equipamentos traz algumas reflexões. Geralmente, os ônibus convencionais são estacionados muito próximos uns dos outros nas garagens das operadoras, impossibilitando a recarga de vários veículos ao mesmo tempo. De fato, estacionar estes veículos de forma menos compacta, tornando possível a recarga, pode levar à necessidade de expansão das garagens, implica na necessidade de compra de novos lotes, custos que muitas vezes também não são contemplados nos incentivos públicos.

Embora isso possa parecer um obstáculo fácil de superar no início, a questão da aquisição de espaço físico e as considerações legais que isso implica são apontadas como um dos maiores desafios da adoção em massa de ônibus elétricos (WU; GUO, 2020). Além disso, é comum que operadoras utilizem garagens alugadas para estacionar seus ônibus, o que facilita a realocação no caso de mudança de rotas e a alienação no caso de mudança de operadora. Contudo, locais alugados tendem a ter engessamento quanto as modificações permitidas ao locatário, como as que seriam necessárias para a infraestrutura de recarga. Com isso, além da dificuldade da própria instalação e manutenção, definir a quem caberia a propriedade desses locais de recarga amplia o problema (SCLAR *et al.*, 2019a).

Em Shenzhen, o governo resolveu a questão de escassez de terras construindo grandes garagens na periferia urbana (menor custo por metro-quadrado) e alugando-as aos operadores de ônibus; através da ampliação do leasing imobiliário e encontrando terras estatais não utilizadas para instalar a infraestrutura de recarga (LIN *et al.*, 2019).

Além da regulação quanto à infraestrutura, a recarga de ônibus elétricos em si possui normas e regulamentos escassos, o que gera uma barreira para simplificar a implementação desses sistemas. Como existem variações nos tipos de plugues de carregamento, padrões como CHAdeMO, SAE e Mennekes ou mesmo de proprietários, como a Tesla, ainda aparecem de forma concorrente no mercado. A inconsistência desses padrões cria uma barreira adicional para otimizar a infraestrutura de recarga desses ônibus, muitas vezes limitando as opções de fornecedores viáveis.

A este respeito, o Conselho Europeu estabeleceu em outubro de 2014 a Diretriz 2014/94/EU, que especifica que todas as estações de carregamento nos países-membros deverão ser compatíveis com o conector Tipo 2 e Combo 2 (EUROPEU, 2014). Mesmo assim, a diretriz não eliminou a possibilidade da coexistência de outros tipos de conectores, tampouco a adequação de estações já instaladas ou em processo de instalação, mantendo a multiplicidade de conexões. Ademais, o continente não possui regulamentação específica para ônibus.

Os métodos de carregamento também não possuem padronização. Embora a maioria dos ônibus são carregados no final de rotas, várias estratégias e tecnologias

de carregamento disputam o mercado futuro. Diferentes cidades têm frotas de ônibus que operam com diferentes tecnologias de carregamento, incluindo carregamento por pantógrafos, carregamento indutivo sem fio e troca de bateria.

Embora essa combinação de opções forneça dados piloto sobre a eficácia de diferentes tecnologias de carregamento, também demonstra os desafios logísticos que acompanham a falta de padrões de cobrança no setor.

No Brasil, não há normatização específica de ônibus elétricos. Contudo, a Resolução Normativa (RN) nº 819 traz definições quanto ao funcionamento das estações de recarga, que diminuem as incertezas dos agentes do setor. Definições como a utilização de protocolos abertos em estações de recarga públicas e a diferenciação entre atividade de recarga e comercialização de energia aumentam a interoperabilidade e estimulam o desenvolvimento do setor.

### 3.4 CASES DE ESTUDO PELO MUNDO

A eletrificação do transporte coletivo, de qualquer forma, traz grandes desafios, mas também pode gerar enormes benefícios econômicos e ecológicos. Várias cidades ao redor do mundo vêm implementando projetos pioneiros para eletrificar o transporte público, e o mesmo vale para empresas do setor privado que adotam esse tipo de veículo.

Uma das grandes contribuições que esses primeiros projetos trazem é geração de conhecimento que podem balizar o avanço da temática de forma assertiva, evitando erros já cometidos e explorando caminhos de maior probabilidade de sucesso.

Sendo assim, nesta subseção serão apresentados alguns casos-chave identificados no mundo.

#### 3.4.1 Coreia do Sul

O primeiro caso de uso comercial de ônibus elétricos conhecido está registrado em 21 de dezembro de 2011 na capital da Coreia do Sul. A parceria entre as empresas Hankuk Fiber e Hyundai Heavy Industries com a prefeitura de Seoul possibilitou o desenvolvimento e implantação inicial de cinco ônibus e-Primus no circuito turístico de Namsan, região no entorno de um pico de 262 metros no coração da cidade. O objetivo da prefeitura em subsidiar a operação de um ônibus desse tipo foi melhorar a qualidade do ar e reduzir a emissão de GEE na cidade (SEOUL, 2011).

O veículo foi construído para ser leve e eficiente, de forma que viabilizasse a operação nas vias íngremes que levam ao pico. A Hankuk Fiber foi responsável pelo chassi e carroceria, desenvolvidos em fibra de carbono de forma a reduzir o peso do veículo em cerca de 17% se comparado a um modelo equivalente – mesmo com a adição do peso das baterias. A Hyundai Heavy Industries, por sua vez, aprimorou o

projeto de motor elétrico e seu respectivo controlador além de diversos componentes secundários no veículo como os compressores da suspensão a ar, o sistema de ar condicionado e o sistema de gerenciamento da bateria (CHOI; JEONG; JEONG, 2012).

Ainda de acordo com Choi, Jeong e Jeong (2012), o coletivo foi equipado com uma bateria de 87 kWh, motor de 326 hp e sistema Kinetic Energy Recovery System (KERS). Por conta dessa tecnologia, um dos trechos de descida do pico recuperava cerca 5% da carga da bateria, mesmo sem nenhum carregador externo conectado.

### 3.4.2 China

Como já exposto, a China é o país que mais investe no segmento de ônibus elétricos, principalmente no regime de transporte público, com 17% da frota eletrificada (POON, 2018). Shenzhen, com 12 milhões de habitantes, é uma cidade modelo nesse sentido e inspira diversos estudos no que é chamado de “Modelo Shenzhen”. A cidade iniciou a migração para o modal elétrico em 2009 com o programa TVTC do governo chinês e completou a migração para uma frota 100% elétrica ao final de 2017, quando houve a compra massiva de ônibus elétricos antes do processo de redução gradual e planejada de subsídios do governo.

Segundo Gray (2018), a cidade possui cerca de 1000 rotas que são atendidas por um total de 16.359 ônibus distribuídos e a estratégia de recarga empregada é de fim-de-rota - nas garagens das empresas - por 510 locais de recarga que somam 8 mil estações de recarga.

A cidade emprega um modelo de negócio que divide os riscos da operação entre diversos atores. Esse modelo é apresentado com maior detalhe por Zhang (2019), não só no aspecto dos ônibus, mas também dos táxis elétricos, que também são eletrificados na cidade.

No modelo, o governo nacional participa por meio de subsídios diretos para a compra de ônibus através de parcerias com empresas. Em Shenzhen, o governo firmou um acordo de cooperação com a estatal Potevio Ltd. para cessão do direito de construção e franquia das novas instalações de carregamento em 2010. Além disso, uma das subsidiárias da Potevio, a Shenzhen Lineng, fornece apoio financeiro à operação, juntamente ao governo nacional e local.

A estratégia adotada na cidade é baseada em três pilares:

1. **Aquisição de veículos:** Três atores principais participam do processo de compra dos ônibus: operadoras de ônibus, empresas de leasing financeiro e a Shenzhen Lineng. A empresa de leasing compra os ônibus (sem bateria) dos fornecedores com a ajuda de subsídios do governo nacional e local e aluga os ônibus à operadora de ônibus. A Shenzhen Lineng, por sua vez, fornece garantia financeira à empresa de leasing como parte do acordo com o governo. Depois que a empresa

de ônibus obtém o veículo, ela paga a taxa de leasing em 8 anos, de acordo com o contrato de locação, que cobre o capital inicial e os juros que a companhia financeira pagou;

2. **Aquisição da bateria:** Como o veículo é comprado pela empresa de leasing sem a bateria, esta é adquirida pelo operador das instalações de carregamento (Shenzhen Lineng), também com subsídios financeiros do governo central e municipal. A manutenção dessas baterias fica a cargo da mesma empresa; e
3. **Infraestrutura de recarga e manutenção:** A manutenção dos veículos, baterias e infraestrutura são integradas. De acordo com o contrato, além de ser responsável pela compra das baterias, o operador da infraestrutura (Shenzhen Lineng) é encarregado pela construção e operação das instalações de carregamento. Este último inclui o custo de carregamento, e a manutenção de baterias e equipamentos de recarga.

Para ter acesso à infraestrutura e ao serviço de manutenção oferecido pela Shenzhen Lineng, as empresas de ônibus devem pagar uma taxa de serviço. Essa taxa é definida como o custo de operação que seria obtido com ônibus diesel menos o custo da energia elétrica utilizada. Ou seja, a Shenzhen Lineng fornece, com a ajuda de subsídios do governo: manutenção, baterias, infraestrutura de recarga e energia para os ônibus; e como remuneração, recebe o valor que seria gasto com a operação de ônibus a diesel – o que incentiva a operação eficiente da infraestrutura de recarga.

Além disso, a agência de trânsito local também realizou a construção de diversas estações de recarga espalhadas pela cidade e pela facilitação do acesso à terra por parte das empresas ônibus, dando suporte ao carregamento destes veículos [60]. Dessa forma, o modelo divide os riscos da operação entre vários agentes, além de criar uma cadeia de valor para os ônibus (e taxis) elétricos, com participação pública e privada.

### 3.4.3 América Latina

Segundo Leal *et al.* (2023), a eletrificação de frotas de ônibus na região da América Latina e Caribe é impulsionada por uma série de fatores, como incentivos, gestão integrada e ações coordenadas entre os governos. Planos de ação climática, planos de transporte e planos de adoção tecnológica estão sendo implementados, incluindo a transição para tecnologias veiculares mais limpas. Esses esforços visam garantir estabilidade aos investidores privados, que reconhecem a importância desses planos além dos períodos políticos. Dos 33 países da região, 27 priorizaram o setor de transporte para cumprir as metas de redução de emissões, e 13 mencionaram a mobilidade elétrica como um elemento chave para acordos climáticos internacionais.

Países como Colômbia, México e Chile estabeleceram metas de descarbonização, incluindo o setor de transporte, demonstrando o compromisso com a transição para um sistema de transporte mais sustentável.

A Estratégia Nacional de Mobilidade Elétrica reconhece, por meio de uma publicação realizada pelo Governo da Colômbia (2019), a tendência global em direção a essa nova tecnologia e busca acelerar sua adoção no país. Os sistemas de transporte público Transmilenio em Bogotá e Bridgetown foram pioneiros na aquisição de ônibus por meio de licitações públicas. O país estabeleceu metas ambiciosas, incluindo: i) alcançar 600 mil veículos elétricos leves até 2030; ii) garantir que 30% das novas frotas do governo sejam compostas por ônibus elétricos até 2025; e iii) assegurar que 100% dos novos ônibus sejam elétricos ou de emissão zero até 2035. Essas metas são impulsionadas pela implementação de incentivos tributários, planos e metas de eficiência energética, além do estabelecimento de um planejamento de curto, médio e longo prazo no país.

Em contraste com o uso generalizado de ônibus movidos a bateria, por sua vez, a cidade do México optou por renovar sua frota de trólebus existentes e expandir as operações como estratégia de eletrificação do transporte público. A cidade possui características favoráveis à implantação dessa tecnologia, como infraestrutura específica instalada, uma instituição pública para a operação e experiência anterior de operação. A Estratégia Nacional de Mobilidade Elétrica mexicana começou a ser desenvolvida em 2018 estabelecendo metas ambiciosas. A meta é atingir 50% de veículos híbridos ou elétricos até 2040 e alcançar 100% até 2050. Essas metas refletem o compromisso do país em acelerar a transição para uma mobilidade mais sustentável (PNUMA, 2021).

PNUMA (2021) ainda destaca que são poucos os países no mundo que possuem regulamentações claras e abrangentes sobre requisitos mínimos de segurança e processos de conversão, assim como dos critérios para peças novas em relação às substituídas. No México, a Associação Nacional de Veículos Elétricos e Sustentáveis (ANVES), inclusive, oferece um programa de conversão de veículos, mesmo diante da inexistência de uma regulamentação oficial sobre a circulação desse tipo de veículo.

Conforme Leal *et al.* (2023), o Chile implementou uma Estratégia Nacional de Eletromobilidade desde 2016, estabelecendo a meta de eletrificar 100% da frota pública e 40% da frota privada até 2050. O governo chileno tem como expectativa alcançar cinco milhões de veículos elétricos em sua frota pública, privada e comercial até meados do século. O impulso principal para a mobilidade elétrica no país concentra-se nos ônibus elétricos. A entidade pública Transantiago, responsável pelo sistema de ônibus na capital chilena, estabeleceu uma parceria entre a Enel e a fabricante chinesa BYD. O primeiro ônibus elétrico entrou em operação em maio de 2016. Além disso, o Chile possui um dos programas mais antigos de rotulagem de economia de combustível da região que foi ampliado para incluir veículos elétricos.

Ainda de acordo com Leal *et al.* (2023), Manufacturing Development Corporation (CORFO) lançou em 2018 o Center for Energy Transition and Advanced Materials for Lithium Development, com o objetivo de promover a exploração de suas reservas significativas de lítio e cobre, amplamente utilizados em baterias e outros componentes de veículos elétricos. Paralelamente, o Ministério da Energia do Chile lançou a Rota da Energia 2018-2022 em maio do mesmo ano, com a meta de aumentar em até dez vezes a atual frota de veículos elétricos no país até 2022. Essa estratégia também prioriza a regulamentação e a padronização do carregamento de veículos elétricos, bem como a sua interconectividade.

Sendo assim, no cenário da América Latina, Santiago, no Chile, pode ser considerada a “capital” da mobilidade elétrica no continente. No final de 2019, cerca de 380 ônibus urbanos elétricos circulavam na capital chilena, com a ambição de se tornar a segunda maior frota de veículos elétricos do mundo. Todo esse processo é viabilizado por uma parceria entre os setores público e privado, com o governo do Chile tendo importante participação no empreendimento, inclusive através da compra de ônibus de diferentes fabricantes chineses para aluguel para as empresas de transporte locais (ORBEA, 2019).

Esse resultado se deve principalmente às políticas públicas aplicadas. O governo chileno assumiu vários compromissos em relação à redução da emissão de GEE. Os ministérios de Energia, Transportes e Meio Ambiente, em conjunto, elaboraram a Estratégia Nacional de Eletromobilidade que apresenta os pontos essenciais para auxiliar o país na transição de seu modelo de transportes (ORBEA, 2019).

Além dos ônibus urbanos, o Chile também iniciou a operação do primeiro ônibus interurbano em fevereiro de 2019, ligando a capital Santiago com a cidade de Rancagua em um percurso de 90 km. Segundo a fabricante chinesa do ônibus King Long 6130, a autonomia do veículo é de 250 km. Este possui bateria de 314 kWh, porém apenas 80% da bateria é utilizada, sendo o restante destinado a reserva. Como o ônibus possui autonomia suficiente para viagem de ida e volta, o carregamento só é feito na estação de Santiago através de duas conexões CCS Tipo 2, demorando pouco mais de duas horas (ELECTROMOV, 2019).

Ainda em 2019, o governo chileno anunciou a compra de mais 12 ônibus elétricos do mesmo modelo (King Long 6130) para transportar trabalhadores da indústria da mineração. Após testes para verificar se os ônibus poderiam operar com segurança nas altitudes elevadas que os Andes oferecem, estes foram entregues à diversas empresas do setor de mineração e energia, tornando esse o segundo segmento da indústria que mais emprega veículos elétricos no país, atrás apenas do transporte público (CHILENA, 2019).

Em síntese, os casos dos países aqui citados ilustram no que diz respeito à região da América Latina o desenvolvimento de planos e estratégias nacionais para a

mobilidade elétrica.

Enquanto isso, o Brasil ainda carece de uma política específica para veículos elétricos, sendo os esforços na promoção de um setor de transporte de baixo carbono concentrados por meio do uso de biocombustíveis. Existem, no entanto, diversas ferramentas destinadas a aumentar a eficiência energética dos veículos que contribuem indiretamente para a promoção dos veículos elétricos, como veremos na subseção seguinte.

#### 3.4.4 Brasil

O Brasil ainda apresenta uma quantidade reduzida de políticas públicas que incentivem consumo, infraestrutura, pesquisa e produção em mobilidade elétrica. Teixeira *et al.* (2020) defende que esta posição indefinida é um dos fatores responsáveis pelo receio que diferentes entidades realizem investimentos no país.

Neste contexto e segundo Almeida (2021), foi estabelecido o GT7 no âmbito das discussões do Rota 2030, com o propósito de elaborar um plano nacional para o desenvolvimento da mobilidade elétrica. Este plano é baseado na participação e no diálogo entre diferentes setores e instituições, incluindo ministérios, empresas estatais, reguladores, padronizadores, associações, sindicatos, centros de pesquisa e universidades. Além disso, em 2018, foi formada a Frente Parlamentar Mista em Defesa da Eletromobilidade Brasileira, composta por 190 deputados e 10 senadores. Esta Frente tem como objetivo principal promover o progresso da indústria automotiva de veículos elétricos no Brasil, através de medidas que fortaleçam o mercado interno, incentivem o avanço tecnológico e impulsionem o desenvolvimento da infraestrutura necessária.

Pabst *et al.* (2023) pontua que diversas cidades estabeleceram metas ambiciosas para a eletrificação de suas frotas de ônibus urbanos. Alguns exemplos incluem, por exemplo: i) o município de São Paulo (SP), que tem como meta incorporar 2,6 mil ônibus elétricos à sua frota até 2024; ii) a cidade do Rio de Janeiro (RJ), que se comprometeu a eletrificar completamente a frota de ônibus municipais até 2050; iii) São José dos Campos (SP), que está implementando a Linha Verde, um projeto que visa criar um corredor sustentável para conectar as áreas central e sul do município, tornando-o mais dinâmico e acessível; iv) Salvador (BA), que planejou um sistema BRT composto por uma frota que terá 30% de ônibus elétricos; e v) Curitiba (PR), onde está em análise a eletrificação de dois corredores da cidade, o Inter 2 e BRT Leste-Oeste, com a expectativa de operar aproximadamente 150 ônibus elétricos movidos a bateria até 2024.

Dentro do cenário nacional, a cidade de São Paulo, ao aprovar a Lei municipal nº 16.802/2018 Câmara Municipal de São Paulo (2018) - que altera a Lei Municipal nº 14.933/2009 - planeja reduzir (no prazo de 10 anos) as emissões de CO<sub>2</sub> em até 50%, zerando-as integralmente em até 20 anos.

São Paulo é a cidade que possui uma das maiores frotas de ônibus elétricos do país. A prefeitura apresentou 15 novos ônibus totalmente elétricos fabricados pela BYD com o chassi D9W, com 13,2 m de comprimento. Três veículos contam com carroceria Marcopolo com capacidade para 70 passageiros, sendo 30 sentados e 40 em pé. Os doze ônibus restantes têm a carroceria fabricada pela CAIO e possuem capacidade para 80 passageiros, sendo 31 sentados e 49 em pé. As rotas em que os veículos serão utilizados foram selecionadas após análise da SPTrans, gestora do sistema de transporte público na capital paulista e levaram em consideração critérios como percurso, deslocamento diário, número de passageiros e menor custo na oferta de energia elétrica.

Segundo a fabricante, os 15 ônibus possuem dois motores de 150 kW, o que equivale a aproximadamente 402 cv e apresentam autonomia de 250 km, o que seria suficiente para que rodassem durante o dia inteiro, fazendo suas recargas (de até 4h) à noite, nas garagens. A energia utilizada para recarga é proveniente das fazendas de energia solar instaladas no estado de São Paulo (AUTOINDÚSTRIA, 2019).

Em Salvador, os primeiros testes para implantação de frotas de ônibus foram realizados em julho de 2017 com a introdução de um ônibus fabricado pela BYD, sendo bastante elogiado tanto por passageiros quanto por motoristas. Os ônibus, climatizados, ajudam a aumentar o conforto em cidades com temperaturas elevadas, o que é bastante frequente em território nacional. Além disso, por possuírem suspensões pneumáticas (ao contrário das convencionais, de mola), apresenta maior conforto a quem o utiliza. Questões relacionadas à ausência de ruídos e ao seu acesso e maior adaptabilidade a pessoas com necessidades especiais de locomoção também foram comentadas pelos entrevistados. Os ônibus possuem autonomia de 250 km quando totalmente carregados, levando 4h para atingir o carregamento completo (DIAS, 2019).

Além disso, cidades brasileiras como Belo Horizonte e Cascavel estão estabelecendo parcerias entre a BYD, fabricante de chassis, com empresas fabricantes de carrocerias, como a CAIO e Mascarello, respectivamente. Em Belo Horizonte, o ônibus utilizará chassi BYD D9A e carroceria Caio Millenium IV. O veículo possui 13,2m de comprimento e piso alto. Além disso, possui suspensão pneumática nos eixos dianteiro e traseiro e possui autonomia de até 250 km, dependendo das condições de uso (MARQUES, 2020b).

Em Cascavel, a parceria se deu entre a BYD e Mascarello, fabricante de carrocerias com sede na própria cidade. A própria Mascarello já possuía interesse em fazer testes com um ônibus elétrico, o que deu origem a um projeto que não gerou custos para a prefeitura de Cascavel. Após alguns dias de teste na cidade, ele seria enviado para outras localidades do país para ser testado em outras realidades (QUADRA, 2020).

O Grupo Moura, empresa nacional reconhecida por sua excelência na fabrica-

ção de baterias automotivas e a Eletra, fabricante de trólebus de São Paulo, fizeram uma parceria com a XALT Energy, empresa norte-americana fornecedora de baterias de íon-lítio para a produção do primeiro ônibus 100% elétrico brasileiro. O acordo evidencia a intenção do Grupo Moura em ingressar no segmento de baterias para veículos elétricos há tempos, tendo inclusive trabalhando em baterias desenvolvidas para a XALT voltadas para o mercado sul-americano (ELETRA, 2019).

Segundo Castro (2023), a Volkswagen está realizando - por meio de seu departamento responsável pelo setor de ônibus e caminhões - testes no Brasil de seu primeiro protótipo de ônibus totalmente elétrico. O e-Volksbus circula em duas áreas diferentes durante a primeira fase do teste: o centro de pesquisas em Resende (RJ) e várias ruas de cidades próximas. O ônibus elétrico da Volkswagen é equipado com uma carroceria Caio com configuração padronizada que atende aos critérios estabelecidos pela SPTrans. O veículo possui uma autonomia de 350 km e é equipado com uma bateria composta por doze packs. O ônibus será construído a partir de componentes que já foram usados no e-Delivery, um caminhão elétrico da marca nacional que vendeu 350 unidades no Brasil e algumas para o México e a Argentina. Várias empresas expressaram interesse no ônibus elétrico da Volkswagen, e a Volkswagen está procurando parcerias com o setor público para reduzir os gastos que podem ultrapassar os R\$ 2 milhões por unidade.

Conforme Trindade (2023a), o primeiro ônibus elétrico desenvolvido no Brasil pela Mercedes-Benz, apresentado em agosto do ano passado, tem 100 unidades encomendadas e deve ser lançado no segundo semestre. Durante um evento transmitido online de Mannheim, na Alemanha, a divisão de ônibus da Mercedes-Benz, a Daimler Buses, anunciou o início das entregas. O Mercedes-Benz eO500U, que tem um chassi elétrico urbano com uma autonomia de 250 km, será vendido a países da América Latina e contribuirá para a estratégia de eletrificação da marca alemã no continente. O chassi elétrico será construído em uma fábrica em São Bernardo do Campo (SP). O projeto do Mercedes-Benz eO500U conta com o apoio de engenheiros da Daimler na Alemanha e, como parte de um programa total de R\$ 2,4 bilhões de 2018 a 2022, envolve um investimento de R\$ 100 milhões. Além disso, a Mercedes seguirá um modelo de negócios semelhante ao da Volkswagen com o caminhão elétrico e-Delivery, oferecendo assistência técnica, financiamento e fornecimento de carregadores aos clientes interessados em incorporar a eletrificação em suas frotas.

Bruno de Oliveira (2022) informa que a Volvo também anunciou sua entrada no mercado de ônibus elétricos no Brasil em 2023. O chassi BZL, desenvolvido para modelos urbanos, teve metade do seu processo de desenvolvimento realizado por engenheiros brasileiros da fábrica de Curitiba. Ainda que a Suécia importe os primeiros lotes do chassi, a produção local seguirá o mesmo projeto global. O chassi BZL possui piso baixo e pacotes de baterias no teto pode acomodar até 90 pessoas e mede de

9 a 13,2 metros de comprimento. Este desenvolvimento faz parte de uma estratégia da empresa voltada para a América Latina a medida que até 2025, a Volvo pretende investir R\$ 1,5 bilhão em pesquisa e desenvolvimento de chassi.

No Brasil, grande parte do mercado de ônibus elétricos ainda é pensado para o uso urbano. A BYD, no entanto, é uma das pioneiras no segmento voltado para o uso rodoviário ou de fretamento em parceria com a brasileira Marcopolo, tradicional fabricante de carrocerias de ônibus. O veículo utiliza chassi D9F, fabricado pela BYD aqui no Brasil e carroceria Marcopolo Viaggio 1050. Contando com dois motores elétricos no eixo traseiro, ele promete entregar 402 cv de potência. Ele possui 12,9 m de comprimento e capacidade para até 44 passageiros, com autonomia de até 400 km que segundo estimativas levaria em torno de 4h para atingir o carregamento completo (MARQUES, 2020a).

Neste contexto e segundo Bazani (2022), também foi iniciada a operação de um ônibus 100% elétrico voltado para o serviço de fretamento. Foram realizadas inicialmente viagens de teste entre a cidade de Sorocaba e a capital paulista. A estimativa de custos envolvida no trajeto aponta que os gastos com energia foram até seis vezes inferiores aos que seriam necessários com diesel caso o veículo fosse convencional. A autonomia do veículo calculada é de cerca de 370 km, conta com 41 lugares e ainda que sua operação seja pensada para o contexto brasileiro, a fabricação é chinesa.

### 3.5 LEGISLAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO

Segundo CNT (2017), embora o transporte em regime de fretamento seja uma alternativa significativa para o deslocamento de pessoas no transporte inter e intramunicipal, infelizmente esse ainda é um segmento onde o Poder Público não tem mostrado muita atuação. Não obstante, dados consolidados referentes ao tamanho do mercado e suas características mais técnicas são difíceis de serem obtidos, prejudicando a análise.

União, estados e municípios possuem uma autonomia no que se refere ao planejamento, coordenação e regulamentação do serviço. Dessa forma, há um diferente entendimento do transporte fretado com diferentes tipos de exigências estabelecidas, que, inclusive, variam nos locais onde o transporte efetivamente ocorre (CNT, 2017).

Ainda de acordo com CNT (2017), a falta de compatibilidade entre os aspectos regulatórios acaba resultando em um cenário regulatório bastante complexo, de forma que quem deseja realizar o transporte precisa se adequar a uma série de critérios, ocasionando em retrabalho e conseqüentemente desperdício de recursos.

### 3.5.1 Transporte em Regime de Fretamento

Dentro do território brasileiro, o órgão responsável pela confecção de normas e regulamentos referentes ao transporte em regime de fretamento é a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), com destaque para as leis e resoluções exibidas no Quadro 4.

Quadro 4 – Principais Aspectos Regulatórios e Legais para Fretamento a nível nacional

<b>Lei</b>	<b>Objetivo</b>
Lei nº 10.233/2001 e alterações	Criação da ANTT e suas atribuições.
Decreto nº 2.521/1998 e alterações	Trata da exploração mediante permissão e autorização de serviços relacionados ao transporte rodoviário interestadual e internacional.
Resolução ANTT nº 1.971/2007	Implementação do Sistema de Cadastro dos Motoristas das Empresas Permissionárias ou Autorizatárias (SISMOT).
Resolução ANTT nº 4.499/2014	Define o tipo, a estruturação, a coleta, o armazenamento, a disponibilização e o envio dos dados coletados pelo Sistema de Monitoramento do Transporte Rodoviário Interestadual e Internacional Coletivo de Passageiros.
Resolução ANTT n. 4.770/2015 e alterações	Dispõe sobre a regulamentação da prestação do serviço regular de transporte rodoviário coletivo interestadual/intermunicipal e internacional de passageiros, sob o regime de autorização.
Resolução ANTT nº 4.777/2015 e alterações	Dispõe sobre a regulamentação da prestação do serviço de transporte rodoviário coletivo interestadual/intermunicipal e internacional de passageiros realizado em regime de fretamento.
Resolução ANTT nº 4.936/2015	Estabelece procedimentos para pagamento da Taxa de Fiscalização do serviço de transporte rodoviário coletivo interestadual e internacional de passageiros de que trata o art. 77, caput, inciso III e § 3º de Lei nº 10.233, de 5 de junho de 2001.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de CNT (2017)

### 3.5.2 Resolução Normativa ANEEL Nº 819 e Resolução Normativa ANEEL Nº 1000

A Resolução Normativa (RN) nº 819 (BRASIL, 2018b), de 18 de junho de 2018 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece os procedimentos e as condições para a realização de atividades de recarga de veículos elétricos Brasil. A Agência optou por uma regulamentação leve, com o objetivo principal de evitar interferências indesejáveis dessas atividades com a operação da rede elétrica e garantir que as tarifas dos consumidores de energia elétrica das distribuidoras não sejam impactadas pela prestação do serviço.

A regulamentação possibilita que qualquer pessoa interessada possa comercialmente oferecer serviços de recarga para veículos elétricos, como postos de combustíveis, shoppings, empreendedores e até mesmo as empresas distribuidoras de energia elétrica. Essa norma irá impulsionar o mercado de estações de recarga, que poderão funcionar como verdadeiros "postos de combustível" para veículos elétricos.

Vale ressaltar que posteriormente foi publicada pela ANEEL a Resolução Nº 1000/2021 (BRASIL, 2021) que atualizou a RN 819/2018. Em relação ao conteúdo, não houve mudança significativa no texto, mantendo o tema com regulamentação bastante leve com o mesmo objetivo de evitar interferência na realização da recarga de veículos elétricos e possibilitar a cobrança pelo serviço conforme desejado. O objetivo da RN 1000/2021 foi consolidar as principais normas da Agência Reguladora para a prestação do serviço público de distribuição de energia. Por meio desta resolução normativa, a ANEEL agrega os atos normativos referentes aos direitos e deveres dos consumidores e do serviço público de distribuição de energia, incluindo o exposto até então pela RN 819. Seu conteúdo, então, passou a constar nesta atualização, de forma que eventuais consultas acerca do tema devem ser feitas na RN 1000/21.

A resolução estabelece que a recarga de veículos elétricos é considerada um serviço prestado ao consumidor, não se configurando como uma comercialização de energia elétrica. Dessa forma, a energia fornecida pelas estações de recarga é classificada como "consumo próprio". Isso significa que as estações e a infraestrutura relacionada ao serviço não serão utilizadas como base de remuneração para as distribuidoras de energia, assumindo a responsabilidade pelos riscos e impactos negativos por parte de sua utilização.

Assim, é possível notar uma maior atenção quanto a exploração do mercado por parte das concessionárias, especialmente com 60% da receita direcionada para a modicidade tarifária. Mesmo assim, pode ser um mercado interessante às concessionárias pelo fato de já terem grande participação na área, portando dos meios e expertise para execução de projetos desse tipo. Além disso, a possível redução das tarifas de energia pode tornar a expansão da rede de recarga de VEs vantajosa mesmo para quem em um primeiro momento não seria diretamente beneficiado pela tecnologia.

Quanto à instalação da estação de recarga, a resolução define que deverá ser comunicada previamente à distribuidora caso essa instalação, individualmente ou em conjunto com outros equipamentos, resulte na necessidade de (1) solicitação de fornecimento inicial; (2) aumento ou redução de carga; ou (3) alteração do nível de tensão.

Portanto, observa-se que, embora a resolução não estabeleça mecanismos diretos para avaliar o impacto na rede de distribuição a longo prazo, ela apresenta uma abordagem sistemática que visa o acompanhamento e desenvolvimento destas estações de recarga.

No que diz respeito ao funcionamento das estações de recarga, a regulamentação estabelece que o número de pontos de recarga deve ser equivalente ao número máximo de veículos elétricos que podem ser conectados e carregados simultaneamente. Em relação ao impacto na rede elétrica, é importante destacar que ainda é proibida a injeção de energia elétrica a partir dos veículos elétricos e a participação no Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Além disso, nas estações de recarga em locais públicos, é determinado que elas devem utilizar protocolos abertos e de domínio público que viabilizem sua comunicação, supervisão e controle de forma remota.

Segundo Rabelo (2019), outra definição importante diz respeito a classificação do serviço de recarga. Os veículos elétricos não são considerados unidades consumidoras, e a recarga dos veículos elétricos não é classificada como comercialização de energia, mas sim como utilização dessa energia. Isso significa que as empresas interessadas em fornecer o serviço de recarga não precisam enfrentar as mesmas burocracias enfrentadas pelas concessionárias de energia.

Em resumo, o instrumento normativo publicado pela Agência Reguladora é um avanço significativo, embora necessite de aprimoramentos futuros para lidar com os impactos dos veículos elétricos na rede de distribuição. A publicação desse instrumento estabelece diretrizes básicas que são fundamentais, considerando o crescimento dos veículos elétricos tanto no Brasil quanto no mundo.

### **3.5.3 Lei Nº 13.755 (Rota 2030)**

O programa Rota 2030 – Mobilidade e Logística foi instituído em dezembro de 2018 no Artigo 7º da Lei Nº 13.755 (BRASIL, 2018a) e é parte da estratégia elaborada pelo Governo Federal para desenvolvimento do setor automotivo no país.

O programa sucede o Programa Inovar-Auto, encerrado em 31 de dezembro de 2017 e tem como objetivo apoiar o desenvolvimento tecnológico, a competitividade, a inovação, a segurança veicular, a proteção ao meio ambiente, a eficiência energética e a qualidade de automóveis, de caminhões, de ônibus, de chassis com motor e de autopeças.

O foco principal é impulsionar projetos de P&D em toda a cadeia do setor. O programa, portanto, não se limita aos fabricantes de automóveis, mas foi estendido a autopeças e sistemas estratégicos de produção de automóveis tendo as seguintes diretrizes:

- Incremento da eficiência energética, do desempenho estrutural e das tecnologias assistivas (e.g. controle de estabilidade, alerta de cinto, frenagem automática de emergência, controle de cruzeiro etc.);
- Aumento dos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação;
- Estímulo à produção de novas tecnologias e inovações, de acordo com as tendências tecnológicas globais;
- Incremento da produtividade das indústrias para a mobilidade e logística;
- Promoção do uso de biocombustíveis e de formas alternativas de propulsão e valorização da matriz energética brasileira;
- Garantia da capacitação técnica e da qualificação profissional no setor de mobilidade e logística; e
- Garantia da expansão ou manutenção do emprego no setor de mobilidade e logística.

O programa não trata unicamente de veículos ou mesmo ônibus elétricos, mas sim de todo o setor automotivo. Mesmo assim, ao incentivar pesquisas na área de eficiência energética e ao se referir a “formas alternativas de propulsão”, a lei se alinha com a mobilidade elétrica.

É prevista a concessão de três benefícios: incentivos relacionados à aplicação diferenciada do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), regime de autopeças não produzidas e aplicação em projetos de P&D.

A nível prático pode reduzir em até 2% a alíquota de IPI dos veículos atendidos pelo programa, além de benefícios exclusivos para fabricantes de automóveis. Há também a redução de até 12,5% nos gastos com P&D para Imposto sobre a Renda de Pessoas Jurídicas (IRPJ) e Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL) e a isenção de imposto de importação para produtos sem similaridade ou capacidade de produção nacional.

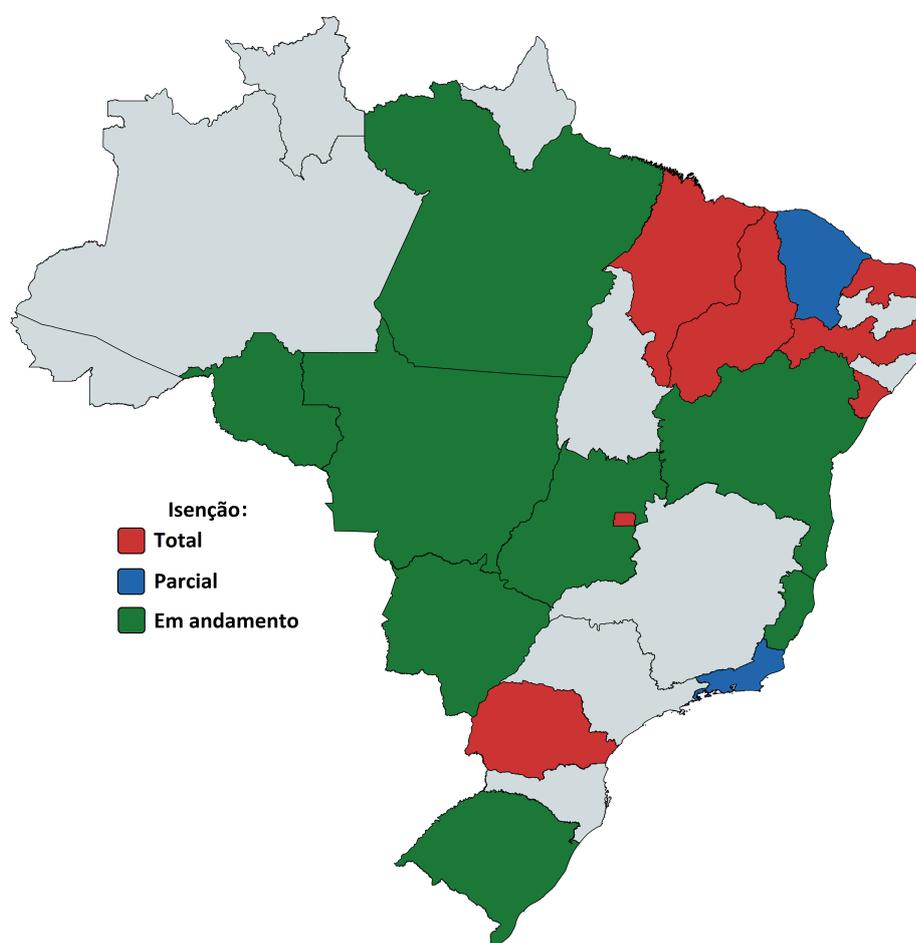
#### **3.5.4 Subsídios Governamentais**

Dentro do território nacional, diferentes estados e municípios oferecem subsídios que incentivam a compra e utilização de veículos elétricos.

O IPVA, é um imposto estadual com o objetivo de arrecadar dinheiro sobre os automóveis, com alíquotas que variam de acordo com o estado onde o veículo está registrado, sendo determinado com base em critérios definidos por cada governo (ROCHA, 2022).

Com relação a veículos elétricos ou híbridos, atualmente alguns estados aderiram a isenção total da cobrança de IPVA enquanto outros aderiram parcialmente. Há, ainda, estados que possuem projetos em suas respectivas Assembleias Legislativas relacionados ao tema, conforme pode ser visualizado na Figura 13.

Figura 13 – Isenção do IPVA para VEs no território brasileiro



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Tupinambá (2023)

Tratando-se dos impostos de importação, o Governo Federal publicou no Diário Oficial da União, em 2015, a Resolução nº 97 (BRASIL, 2015), instituindo a remoção da cobrança do imposto de importação para veículos elétricos e movidos a células de combustível como o hidrogênio, por exemplo.

Além disso, a Resolução também tratou de atualizar a cobrança do imposto com novas alíquotas para veículos híbridos, respeitando alguns critérios (como a cilindrada

do motor e eficiência energética do veículo) para a definição de qual porcentagem será cobrada (G1, 2015).

Não obstante, está em tramitação o Projeto de Lei (PL) 4086/2012 (BRASIL, 2012) que dispõe de incentivos fiscais adicionais para automóveis elétricos e híbridos além da proibição da venda de veículos movidos a combustão. Outros Projetos de Lei acerca do tema também foram sugeridos por parlamentares de todo o país e foram anexados a este Projeto de Lei, seguindo o padrão existente no poder legislativo de que propostas semelhantes são apensadas às mais antigas. Atualmente, o PL aguarda um parecer do Relator na Comissão de Desenvolvimento Econômico para dar sequência nos trâmites legais.

Outra possibilidade existente é disponibilizada pelo Desenvolvimento BNDES (2023), o BNDES Finem, linha de crédito disponível para a aquisição ou produção de ônibus e caminhões com tecnologia de tração elétrica, a gás natural ou biometano. Em síntese, veículos e demais máquinas ou equipamentos que contenham tração de baixo carbono, que possuam superior eficiência energética e que auxiliem na redução da emissão de carbono. As taxas de juros desta linha de crédito são a partir de 1,05% ao ano e podem ser solicitadas tanto por empresas do setor privado como pelo setor público como estados e municípios. O valor mínimo de financiamento é de R\$ 40 milhões e o prazo máximo é de 34 anos. A participação do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) no total do investimento depende da natureza do solicitante, podendo ser de até 100% para pequenas e médias empresas e até 90% para estados e municípios.

Além dos incentivos para compra, algumas ações também são adotadas por alguns municípios com o objetivo de estimular o uso deste segmento de veículos. Em São Paulo, por exemplo, os veículos elétricos estão isentos do rodízio adotado na cidade, onde em alguns dias da semana veículos com as placas terminadas em determinados números não podem circular por uma área pré-determinada na cidade (SÃO PAULO, P. M. de, 2022). Em Curitiba, por sua vez, os veículos elétricos estão isentos do pagamento no estacionamento regulamentado da cidade, EstaR, com funcionamento semelhante a já popular “Zona Azul”, existente em diversas cidades brasileiras (CURITIBA, 2022).

### **3.5.5 Projetos de Chamada Estratégica**

Desde 2018, com a RN nº 316, os investimentos em Planejamento e Desenvolvimento devem ser orientados em subtemas estratégicos/prioritários, estimulando inovações no Setor Elétrico Nacional (ENERGIA ELÉTRICA ANEEL, 2008).

Dessa forma, surgiu o P&D Estratégico nº 022/2018 referente ao Desenvolvimento de Soluções em Mobilidade Elétrica Eficiente. Com o objetivo de receber projetos que viabilizem soluções relativas a questão da mobilidade elétrica, a chamada

recebeu contribuições relacionadas a modelos de negócio, criação de equipamentos e tecnologias, serviços, sistemas e infraestrutura que dê suporte ao desenvolvimento de veículos elétricos, híbridos plug-in e a célula combustível (ENERGIA ELÉTRICA ANEEL, 2018).

A chamada, assim, tem por objetivo a geração de produtos inovadores nas fases finais da cadeia de inovação, seja por meio de cabeça de série, lote pioneiro ou inserção no mercado. Outro fator importante é a existência de soluções que apresentem de forma bem definida quais modelos de negócio serão utilizados e quais serão os clientes.

Os projetos são compostos por um tema e subtema, onde, para os casos onde existam temas coexistentes, um destes (o predominante) será o escolhido. Dentre os temas, foram esperadas contribuições relacionadas a eficiência energética na mobilidade elétrica, inserção/integração de fontes renováveis, mobilidade de veículos superleves, leves e pesados, compartilhamento ou desenvolvimento de infraestruturas e armazenamento de energia (CANALENERGIA, 2019).

### 3.6 MODELOS DE NEGÓCIO

Antes de mais nada, é importante salientar que não há um consenso na literatura sobre o um conceito único que defina o que são modelos de negócio.

Para SEBRAE (2013), por exemplo, cada empresa é um sistema. Um sistema é a combinação de vários componentes que estão interconectados para formar um todo organizado. Como um negócio é composto por várias partes ou funções e precisa de todas elas para ser bem-sucedido, ele é considerado um sistema. Essa descrição pode ser feita de forma linear, por exemplo, com números e texto, ou pode ser feita de forma visual, como um desenho ou um gráfico.

Neste caso, o modelo de negócios fornece a oportunidade de visualizar a descrição do negócio e seus componentes, de modo que aqueles que o lêem possam entender a ideia do negócio da mesma forma que o criador do modelo (SEBRAE, 2013).

Morris, Schindehutte e Allen (2005) afirmam que modelos de negócio podem ser conceituados em três grandes níveis:

1. **Nível econômico:** a lógica dominante é a geração de lucro;
2. **Nível operacional:** possui foco nos processos internos, técnicas de produção e fatores de decisão com o objetivo de aumentar o valor para o cliente e o lucro para a empresa; e
3. **Nível estratégico:** destaca a posição da alta direção da empresa no mercado e como ela se move através das fronteiras organizacionais. O foco é manter a

empresa com uma vantagem competitiva e como isso pode ser usado para criar valor e ganhar lucro de forma sustentável.

Osterwalder e Pigneur (2010) defendem que modelos de negócios explicam como uma organização cria, entrega e captura valor sendo um modelo de como a empresa opera e gera faturamento. O autor também defende que os modelos de negócios não são estáticos, havendo a necessidade de estarem constantemente atualizados e adaptados às mudanças do mercado, da tecnologia e do comportamento do cliente.

Em relação ao nível de adequação a um contexto específico, Osterwalder e Pigneur (2010) afirmam que não existe um modelo de negócios único para todos, a medida que o mais adequado para uma empresa varia de acordo com o setor, o mercado-alvo e a vantagem competitiva no contexto inserido. Estes modelos podem ser usados para avaliar os pontos fortes e fracos de um negócio existente bem como para identificar oportunidades de melhoria.

Ainda de acordo com Osterwalder e Pigneur (2010), é possível enquadrar um modelo de negócio da seguinte forma:

1. **Modelos de negócios centrados no produto:** o negócio se concentra na criação e venda de produtos;
2. **Modelos de negócios centrados em serviços:** empresas focadas em fornecer serviços a seus clientes;
3. **Modelos de negócios de plataforma:** criação de plataformas que conectam diferentes partes como compradores e vendedores;
4. **Modelos de negócios de assinatura:** cobrança dos clientes de uma taxa recorrente pelo acesso a seus produtos ou serviços

No contexto discutido até então, o conceito de modelos de negócio utilizado neste trabalho vai ao encontro do conceito de Nível Econômico apresentado por Morris, Schindehutte e Allen (2005), ou seja, envolve a lógica dominante e a geração de lucro por uma empresa.

Conforme já mencionado, nem sempre os custos operacionais relacionados à mobilidade elétrica absorvem os elevados custos de aquisição destes veículos. Sendo assim, é necessário que modelos de negócios alternativos sejam idealizados e implementados a fim de estimular a transição para tais veículos. O Quadro 5 exhibe alguns agentes e requisitos que contribuem para este cenário.

Quadro 5 – Agentes, atuação e responsabilidades no contexto da mobilidade

<b>Agentes</b>	<b>Atuação/Responsabilidade</b>
Fornecedor de infraestrutura de recarga	Fornece a estação de recarga, instala e realiza manutenção da infraestrutura.
Provedor de serviços de mobilidade elétrica	Desenvolvimento de aplicativos, softwares, redes de assistência e facilidades para usuários.
Distribuidora de energia	Espaço de monopólio, clientes e redes de carregamento.
Fornecedor de veículos elétricos	Fabricação dos veículos, venda, <i>marketing</i> , manutenção e seguro.
Financiador	Prover fundos necessários para investimentos elevados.
Parceiros privados e públicos adicionais	Articulação de parcerias para desenvolver modelos de negócio e proposição de políticas públicas ou inovações regulatórias.

Fonte: Leal *et al.* (2023)

Li, Castellanos e Maassen (2018) destacam alguns fatores que influenciam na adoção de ônibus elétricos pelo mundo, encontrando um padrão dos seguintes elementos-chave:

1. Tanto as concessões públicas quanto as concessões privadas desempenham um papel fundamental na manutenção dos sistemas de transporte público sustentáveis;
2. As fontes de financiamento mais acessíveis, provenientes de diversas partes interessadas, têm o potencial de mitigar os riscos financeiros; e
3. Estratégias inovadoras para estruturar os contratos de implementação estabelecem uma conexão efetiva entre as partes envolvidas e envolvem terceiros, resultando em compartilhamento de riscos, maior eficiência e melhor desempenho.

Pode-se concluir, então, que os distintos modelos de implementação da eletrificação de frotas de ônibus trazem alterações na estrutura, responsabilidades e remuneração dos atores do transporte público. Esses modelos integram novos participantes que assumem obrigações e direitos na prestação do serviço, visando reduzir os custos iniciais e mitigar os riscos financeiros associados à introdução de novos agentes. Sendo assim, é possível realizar um compilado dos seguintes modelos de negócio para aplicação no cenário latino americano com base no exposto por PNUMA (2021), Li, Castellanos e Maassen (2018) e Leal *et al.* (2023):

1. **Modelo Clássico:** uma empresa compra um ônibus e uma empresa de energia fornece a energia para carregá-lo. O operador do ônibus é o proprietário do ativo;
2. **Aluguel ou Arrendamento Operacional:** empresas de energia compram os ativos e os locam aos operadores.
3. **Modelo de Bogotá:** um fornecedor de frota sob contrato compra o ônibus elétrico e a distribuidora de energia fornece os eletropostos de carregamento.
4. **Modelo de *Battery Leasing*:** também conhecido como modelo de separação das baterias, o custo de bateria do veículo é subtraído do custo de aquisição. Sabendo que o custo da bateria possui grande representatividade no custo total de um veículo elétrico, o custo é significativamente reduzido. A aquisição, gestão e carregamento das baterias fica sob responsabilidade de uma empresa especializada.
5. **Modelo Uruguaio:** mecanismo de redistribuição fiscal que transfere subsídios para os ônibus convencionais com o objetivo de incentivar a eletrificação do transporte público.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

O método científico permite que variáveis interfiram nos objetos de estudo, o que evidencia uma necessidade de controle e manipulação sobre estas variáveis. É através desta necessidade que surge a abordagem quantitativa, oferecendo a possibilidade de, segundo Günther (2006):

- Controle sobre o contexto, produzindo um ambiente em que não há a existência de variáveis interferentes ou irrelevantes para a análise desejada;
- Os dados são analisados por uma linguagem matemática, fazendo uso de análises estatísticas e de probabilidade para explicar determinada situação.

Dessa forma, este trabalho terá uma abordagem quantitativa, o que vai de encontro ao que é desejado: simulação de modelos de negócios específicos para frotas de ônibus elétricos de fretamento. Ela irá permitir que determinados cenários condizentes com cada modelo sejam simulados para posterior análise de quais os resultados esperados para a manipulação das variáveis existentes.

Barros e Lehfeld (2007) afirmam que a pesquisa aplicada contribui para fins práticos, buscando a solução para problemas encontrados no cotidiano. De acordo com Leão (2016), é um teste prático de posições teóricas. Não obstante, Assis (2013) afirma que esta forma de pesquisa almeja a aplicação, utilização e consequência prática dos conhecimentos, aplicando conhecimentos científicos para a resolução de determinados problemas.

Desta forma e levando-se em consideração o interesse especial na obtenção de um resultado que expresse um resultado prático do ponto de vista econômico, a pesquisa aplicada mostra-se alinhada ao objeto de estudo deste relatório.

Em relação aos objetivos, este trabalho contempla o significado de uma pesquisa descritiva segundo Gil (2008), alinhando-se ao conceito de o que aqui é exposto possui como objetivo a descrição de características de um fenômeno, a relação entre variáveis e uma preocupação com a atuação prática de um modelo de negócios.

Por fim, no que diz respeito aos procedimentos, a metodologia será de *design science research* conforme Lacerda *et al.* (2013). O modelo de simulação, neste caso, representa o desenvolvimento de um artefato que permita uma solução satisfatória para o problema norteador deste trabalho.

### 4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material de desenvolvimento deste trabalho será composto, além do *software* Vensim que permitirá a simulação dos modelos, por dados obtidos em pesquisas

realizadas ao longo do desenvolvimento do trabalho.

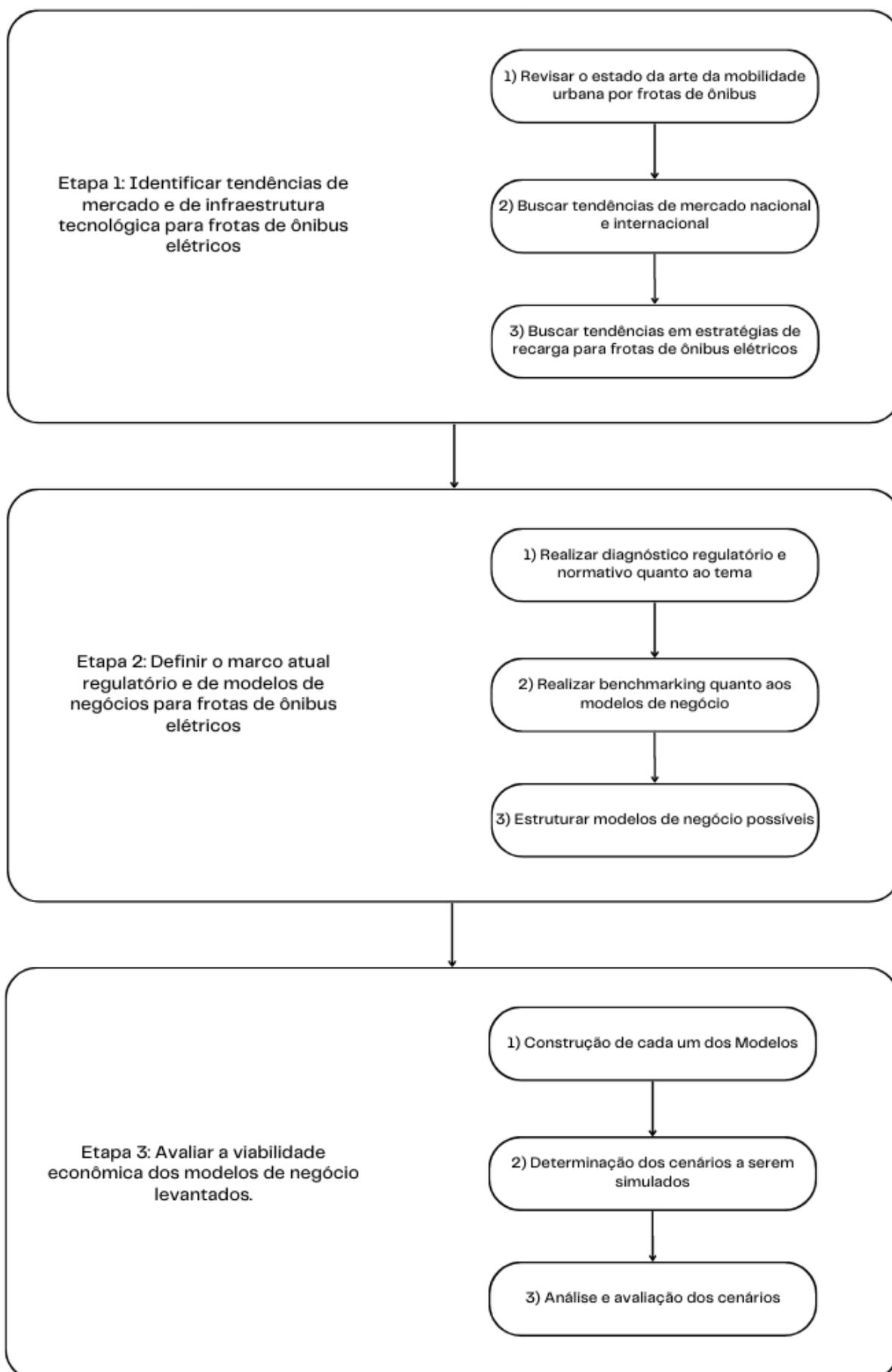
A determinação dos parâmetros  $p$  e  $q$  - os coeficientes de imitação e inovação - foi realizada através da utilização de uma linha de código em *Python* que usa o método dos Mínimos Quadrados Não Lineares utilizando os dados históricos de veículos elétricos no Brasil por Neocharge (2023) para estimar tais parâmetros.

Por fim, é utilizado o *Microsoft Excel* como ferramenta para calcular os indicadores econômicos que servirão para comparar os modelos de negócios aqui sugeridos.

### 4.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Esta subseção almeja a descrição das etapas contidas no procedimento metodológico. Na Figura 14 a seguir, é possível estabelecer uma relação entre os objetivos específicos listados no Capítulo 1 e as etapas do procedimento metodológico, de forma que as etapas do procedimento possam ser agrupadas em cada um dos objetivos específicos.

Figura 14 – Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos



Fonte: Elaborado pelo autor

### **Etapa 1 - Identificar tendências de mercado e de infraestrutura tecnológica para frotas de ônibus elétricos:**

1. **Revisar o estado da arte da mobilidade urbana por frotas de ônibus:** Introduzir o tema ao leitor, dando um contexto histórico da mobilidade elétrica e temas correlatos. É discutido o funcionamento destes tipos de veículos, além de quais são os tipos existentes.
2. **Buscar tendências de mercado nacional e internacional sobre ônibus elétricos:** Pesquisa de tendências de mercado específicas de ônibus elétricos, bem como dados técnicos comuns aos veículos. Além disso, são apresentados alguns fabricantes e estratégias adotadas na utilização destes veículos.
3. **Buscar tendências em estratégias de recarga para frotas de ônibus elétricos:** Um dos desafios na implementação de frotas de veículos elétricos é a recarga destes. A operação do serviço de ônibus traz consigo dúvidas acerca de como será feita uma recarga que permita o funcionamento dos veículos, de forma que esta etapa contribua para fornecer possibilidades de recarga para os ônibus.

### **Etapa 2 - Definir o marco atual regulatório e de modelos de negócio para frotas de ônibus elétricos:**

1. **Realizar diagnóstico regulatório e normativo quanto ao tema:** Compreender algumas leis nacionais e internacionais, diretrizes setoriais, regulamentos governamentais e políticas públicas que impactam o tema em questão, além de identificar lacunas, conflitos ou ambiguidades normativas. Esta análise proporciona uma visão clara das obrigações legais, restrições e oportunidades, fornecendo um embasamento teórico ao leitor que contribui para maior entendimento do tema aqui discutido.
2. **Realizar benchmarking quanto aos modelos de negócio:** Identificar algumas práticas adotadas por empresas, impulsionando a inovação e a competitividade. Esta análise envolve a avaliação de estratégias de diversificação, parcerias estratégicas, adoção de novas tecnologias e tendências emergentes. Com base nessas informações, é possível ajustar e aprimorar o próprio modelo de negócio, obtendo vantagens competitivas e antecipando-se às mudanças do mercado.
3. **Estruturar modelos de negócio possíveis:** Desenvolver abordagens estratégicas para aproveitar oportunidades de negócio de forma eficiente. Nesse processo, são analisados elementos-chave, como proposta de valor, segmentação de mercado, canais de distribuição, relacionamento com clientes, estrutura de custos e fontes de receita.

### Etapa 3 - Avaliar a viabilidade econômica dos modelos de negócio levantados:

1. **Construção de cada um dos Modelos:** Adaptação dos modelos de negócio sugeridos para o contexto da simulação, ou seja, representar na simulação estes modelos de negócio para então simulá-los e verificar qual deles é mais aderente a proposta sugerida.
2. **Determinação dos cenários a serem simulados:** Identificação das variáveis-chave estabelecidas e das diretrizes que orientam as simulações. A definição dos cenários permite a exploração de diferentes contextos e fornecem *insights* valiosos para a tomada de decisões e o desenvolvimento de estratégias adaptáveis em um ambiente inovador.
3. **Análise e avaliação dos cenários:** Análise dos resultados das simulações em relação a aspectos financeiros com o objetivo de comparar os modelos sugeridos para permitir a fundamentação de uma decisão quanto a viabilidade do modelo.

Em relação aos aspectos financeiros utilizados na Etapa 3, o VPL - expresso pela Equação 3 - representa a atualização para o valor presente de uma sequência de pagamentos futuros, levando em consideração a taxa de custo de capital, que é equivalente à Taxa Mínima de Atratividade (TMA). A taxa utilizada neste trabalho para fins de cálculo é vinculada à taxa de Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC) estabelecida pelo Banco Central (2023) no momento de confecção deste trabalho, isto é, 13,75%. A taxa SELIC é a taxa base de juros da economia brasileira e uma referência geral para o cálculo da TMA em estudos de viabilidade econômica que verificam a viabilidade de determinado empreendimento. Por sua vez, a Taxa Interna de Retorno indica a taxa de retorno do projeto, ou seja, o percentual que faz com que o VPL seja igual a zero. Para que a TIR seja vantajosa, seu valor deve ser superior à TMA adotada. Estas métricas são utilizadas para avaliar a viabilidade financeira de um projeto, permitindo determinar se o retorno esperado é suficiente para superar o custo de oportunidade dos recursos investidos. O horizonte de análise compõe todo o período de simulação, isto é, 30 anos.

$$VPL = \sum_{i=0}^N \frac{Ri - Ci}{(1 + TMA)^i} \quad (3)$$

Sendo:

*VPL*: Valor Presente Líquido (em R\$);

*R<sub>i</sub>*: receita total do projeto no ano *i* (em R\$);

*C<sub>i</sub>*: custo total do projeto no ano *i* (em R\$);

*TMA*: Taxa Mínima de Atratividade (13,75%);

*i*: índice do período associado; e

*N*: último ano do investimento.

## 5 CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

### 5.1 CASO MODELADO

O objetivo é verificar o comportamento da difusão de ônibus elétricos de fretamento ao longo do período definido. É considerada a formação de um consórcio entre uma empresa fabricante de ônibus e uma distribuidora de energia para aquisição e disponibilização destes veículos e das estações de recarga para um cliente específico representado por uma empresa de logística. Em síntese, a simulação tem foco em verificar a difusão da tecnologia sob a ótica da empresa que adquire os veículos para ofertá-los a uma empresa de logística.

No contexto deste estudo, a empresa de logística direciona sua oferta de serviços às empresas que desejam fretar o deslocamento de seus colaboradores até o local de trabalho. A demanda por esses serviços é influenciada pelo aumento da população brasileira, pela difusão da tecnologia - que acontece através de um modelo de Bass - e o aumento da disponibilização de estações de recarga para recarregar os veículos. A ideia por trás desse último fator é que à medida que mais estações de recarga são adquiridas e ofertadas aos clientes, a preocupação com a incerteza de carregamento dos veículos é mitigada. Isto faz com que os potenciais clientes se sintam mais confortáveis em optar pelos ônibus elétricos de fretamento e o acréscimo na disponibilidade de estações de recarga cria um ambiente mais favorável e confiável para a utilização desses veículos, incentivando seu uso, facilitando a difusão da tecnologia e contribuindo para a toda cadeia de relacionamentos entre as entidades aqui simuladas.

Em suma, em razão do aumento da demanda por serviços de transporte da empresa de logística conforme os fatores abordados, naturalmente também há a necessidade de se adquirir mais veículos para que esta demanda seja atendida. Sendo assim, o aumento gradual da demanda de ônibus por parte da empresa de logística ocasionará maior oferta destes veículos por parte da empresa que os disponibiliza.

Devido à complexidade do modelo, que abrange diversas variáveis e conexões conforme pode ser visualizado na Figura 15, optou-se - para facilitar sua explicação - por dividi-lo em três submodelos distintos, sendo cada um deles representado por uma cor específica. Vale ressaltar que embora os submodelos estejam interconectados e exerçam influência mútua, cada um deles ainda desempenha uma função específica que naturalmente contribui para o funcionamento do modelo como um todo.

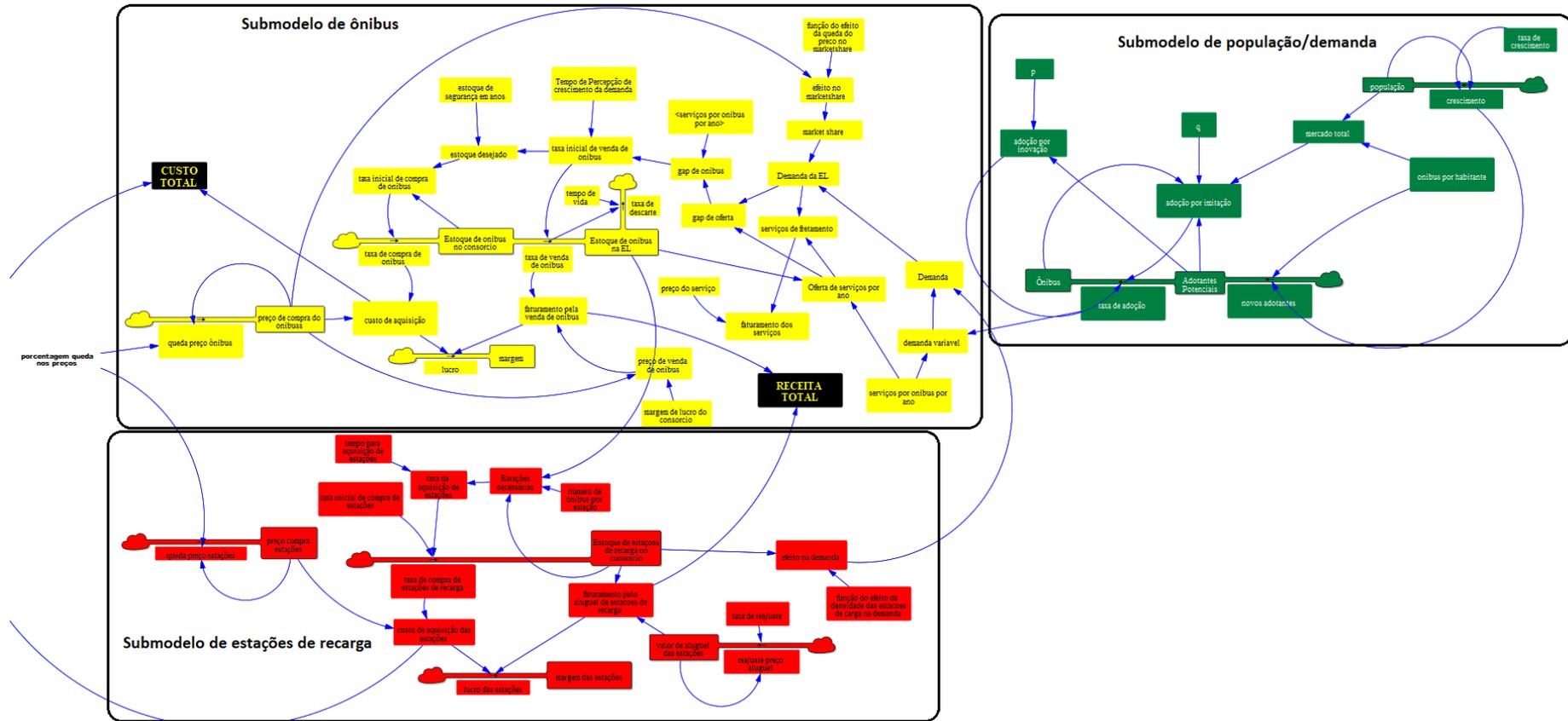
A fim de simplificar o processo descritivo ao leitor, serão abordados apenas os estoques contidos nos submodelos. Dentro do contexto da dinâmica de sistemas, os estoques têm um papel fundamental na modelagem e simulação de sistemas dinâmicos. Eles representam a acumulação ou armazenamento de algum recurso, quantidade ou estado ao longo do tempo, sendo responsáveis por capturar a dinâmica de acumulação

ou dissipação dessas entidades no sistema modelado. Essa equação de acumulação é conhecida como "equação de balanço" ou "equação de taxa" e pode ser expressa pela Equação 4.

$$Estoque(t + dt) = Estoque(t) + (Fluxo(dt) * dt) \quad (4)$$

As seções subsequentes deste capítulo fornecerão detalhes mais aprofundados sobre o funcionamento do modelo completo e dos respectivos submodelos. As equações completas dos modelos podem ser encontradas no Apêndice C e Apêndice D

Figura 15 – Modelo completo no Vensim



Fonte: Elaborado pelo autor

## 5.2 CENÁRIOS E MODELOS DE NEGÓCIO

Antes de explicar o modelo em si é necessário esclarecer quais serão os cenários-base e quais modelos serão comparados.

Utilizando como base um comparativo dos dados históricos e projeções futuras realizado por IEA (2023), é possível estimar os cenários de simulação com base no comportamento do preço da bateria de veículos elétricos, sendo este componente um dos maiores responsáveis pelos ainda elevados custos de aquisição deste tipo de veículos. IEA (2023) observou que houve uma queda no preço das baterias no período entre 2010 e 2021 de aproximadamente 15% ao ano. Para as projeções futuras, entre 2022 e 2025 há a estimativa de 10% e para 2025 a 2030, 5% ao ano. Tomando como base estes dados, foi construída a hipótese de três cenários de queda no preço das baterias: um conservador, com 5%; um mediano, com 10%; e um otimista com 15%.

Sendo então o custo de aquisição deste tipo de veículo um dos maiores empecilhos quanto a essa transição para a mobilidade elétrica, os 3 cenários comparativos levam em consideração tais estimativas em relação a queda de preço dos ativos, ou seja, os ônibus e as estações de recarga. Os cenários são os seguintes:

1. Cenário 1: queda de 5% ao ano no preço de compra dos ativos;
2. Cenário 2: queda de 10% ao ano no preço de compra dos ativos; e
3. Cenário 3: queda de 15% ao ano no preço de compra dos ativos.

A decisão de usar a queda de preço como cenário de simulação para verificar o comportamento de uma difusão de tecnologia é baseada na teoria da curva de aprendizagem discutida por Wright (1936), pois ela reconhece que os custos de uma tecnologia tendem a diminuir ao longo do tempo à medida que ela é adotada e aprimorada. Aprendizagem acumulada, eficiência de produção e aumento da escala de produção contribuem para essa queda nos preços. É possível simular o processo de difusão da tecnologia usando a queda de preço como um cenário de simulação, o que possibilita estimar como a redução dos custos pode influenciar na adoção e a velocidade com que a tecnologia se espalha em um mercado específico.

Após a definição dos cenários-base, é importante destacar a possibilidade de serem realizadas modificações adicionais nas variáveis do modelo para explicar situações hipotéticas ou comportamentos específicos. Desta forma, é possível realizar mudanças nas variáveis do modelo que vão além da simples variação entre os três cenários mencionados anteriormente a fim de simular cenários adicionais.

Os modelos de negócio escolhidos para comparativo foram o modelo clássico - de venda - e o modelo de aluguel ou arrendamento operacional. Os motivos que justificaram esta escolha foram, na opinião do autor, a maior aderência ao contexto

brasileiro, de maneira que são simplificados e não são dependentes de eventuais questões técnico-legais que dificultem sua operação. Além disso, por terem caráter convencional e serem semelhantes ao que já é visto em outros segmentos, acredita-se que estes também tenham possibilidade de maior aderência por parte do consumidor, além da facilidade de implementação no *software* Vensim.

Para ambos os modelos, tanto no de venda como no de aluguel, o raciocínio é idêntico. É firmado um consórcio entre uma fabricante do ônibus elétrico e uma distribuidora de energia, sendo este consórcio o foco de estudo deste trabalho. A justificativa pela criação do consórcio se dá através de uma perspectiva de redução de custos, além da possibilidade de integração de agentes envolvidos na cadeia de serviços da mobilidade elétrica.

Em suma, o consórcio adquire/fabrica o ônibus e as estações de recarga e os oferece ao cliente, a empresa de logística, sendo a oferta do ônibus ao cliente realizada através dos dois modelos escolhidos. No modelo de simulação, a diferença prática entre os dois modelos de negócios é praticamente inexistente, sendo a única distinção na forma como o serviço é precificado para o cliente. Dessa forma, a principal diferenciação entre os dois modelos de simulação está na forma como a receita é obtida.

### 5.3 POPULAÇÃO E DEMANDA

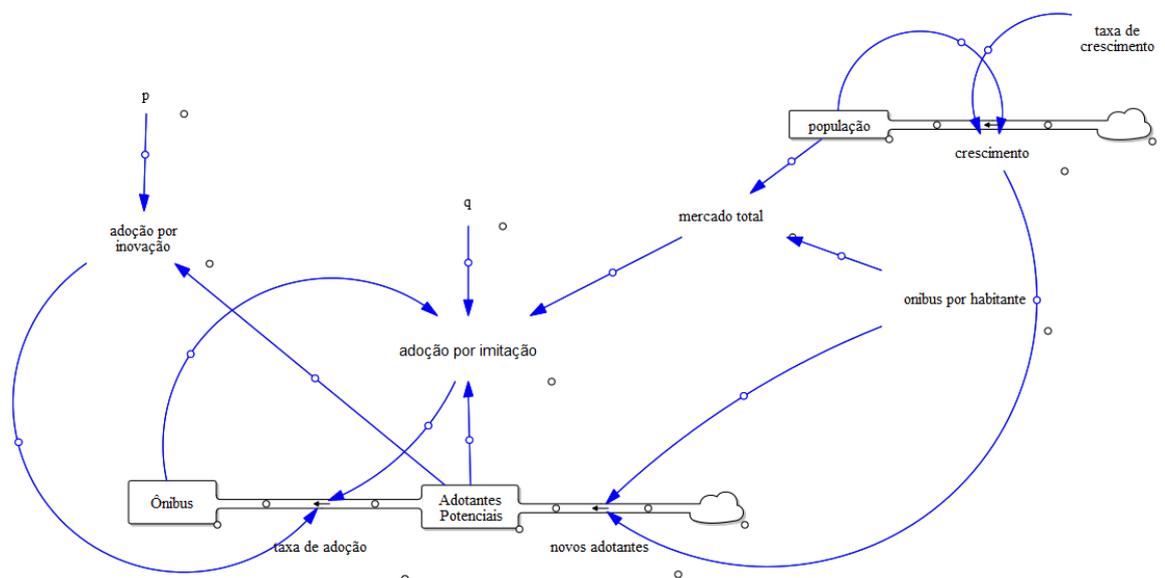
O submodelo em questão exibido na Figura 16 tem foco na simulação do crescimento da população brasileira com base em seu histórico de crescimento, levando em consideração que o aumento da população resultará em um aumento correspondente na demanda por ônibus elétricos.

Concomitantemente, para simular a difusão dos ônibus elétricos ao longo do tempo, é incorporado ao submodelo um modelo baseado no Modelo de Bass (1969). Como este modelo é amplamente utilizado na previsão da adoção de novos produtos e tecnologias por uma população, sua implementação vai ao encontro do objetivo proposto neste trabalho, isto é, a simulação da difusão do uso de ônibus elétricos e sua viabilidade. Nesta parte do modelo são considerados diversos fatores, como os adotantes iniciais (inovadores), os imitadores influenciados socialmente e sua projeção de aumento conforme o passar do tempo. Ao combinar o crescimento populacional com a difusão dos ônibus elétricos, obtém-se uma perspectiva abrangente e dinâmica da demanda por esses veículos no futuro.

Conforme comentado no início deste capítulo serão descritas as variáveis mais relevantes - de estoque - neste submodelo.

- **populacao**: representa a população anual brasileira. Seu valor inicial é de aproximadamente 207 milhões de pessoas, prévia do censo feito pelo IBGE (2022). A

Figura 16 – Submodelo de População e Demanda



Fonte: Elaborado pelo autor

equação que rege seu comportamento ao longo da simulação é bastante simples, sendo apenas o valor inicial atualizado conforme a expectativa de crescimento populacional fixada em 0,7% ao ano. Esta taxa leva em consideração a média do crescimento populacional brasileiro desde 2010 feita por Rossi (2023). O cálculo de crescimento da população serve para estimar o crescimento do mercado potencial, ou seja, influencia diretamente na estimativa do número de adotantes que auxiliará no processo de difusão da tecnologia para verificar o comportamento do mercado durante o tempo simulado.

**Equação:** *crescimento*

- **Adotantes Potenciais:** é uma variável auxiliar de *Ônibus*. Serve como um parâmetro que auxilia na modelagem de Bass por meio da adoção por inovação e imitação. Sua equação é calculada através da subtração do número de novos adotantes menos a taxa de adoção. A taxa de adoção, por sua vez, é definida através da soma das taxas de imitação e inovação. Em síntese, esta variável contribui para estimar a difusão da tecnologia que irá gerar uma demanda dos ônibus para os clientes através da taxa de adoção.

**Equação:** *novos adotantes – taxa de adoção*

- **Ônibus:** é o número de ônibus de fretamento no Brasil. Sua equação é reajustada conforme a taxa de adoção, ou seja, a soma das taxas de adoção por inovação e imitação. Conforme seu número cresce, a adoção por imitação é influenciada,

fazendo com que mais pessoas adotem a tecnologia e haja um acréscimo na demanda por estes veículos.

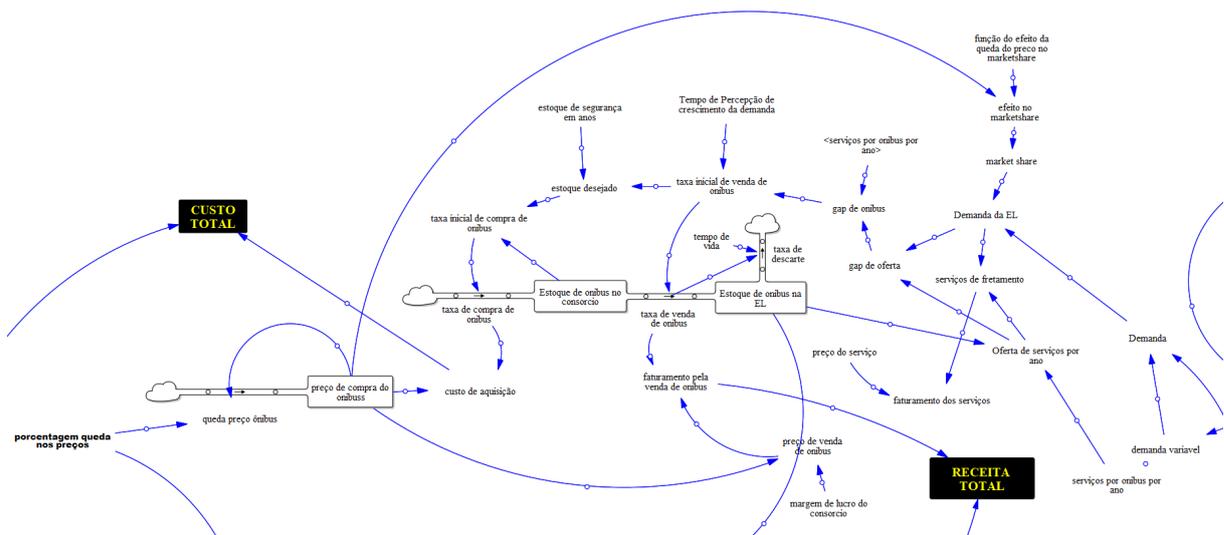
**Equação:** *taxa de adoção*

### 5.4 ÔNIBUS

Este submodelo exibido na Figura 17 tem como objetivo descrever o processo de compra do ônibus e oferta deste para o cliente, no caso, a empresa de logística. Em relação a influência exercida pelos outros dois submodelos, destacam-se o efeito da taxa de adoção na demanda variável da empresa de logística e o efeito da densidade das estações de recarga na demanda. Este último sintetiza a ideia de que quanto mais estações de recarga existirem, menores seriam os questionamentos dos interessados em migrar para a mobilidade elétrica, fazendo com que a demanda por tais veículos também aumente conforme mais estações de carregamento sejam disponibilizadas.

Assim como nos outros submodelos, serão descritos apenas as variáveis de estoques e as variáveis mais relevantes para o seu entendimento.

Figura 17 – Submodelo de Ônibus



Fonte: Elaborado pelo autor

- **preço de compra do ônibus:** é a variável que define o preço de compra do ônibus. Seu valor é reajustado conforme a queda no preço, determinada pela escolha do cenário simulado. Esta variável tem importância bastante considerável pois o preço de compra do veículo alimenta a variável de custo de aquisição. Esta, por sua vez, utiliza a taxa de compra de ônibus e o preço de compra - que é reajustado anualmente - para compor o custo total. O custo total faz parte do fluxo de caixa a ser analisado e serve para o comparativo entre os modelos e cenários discutidos.

**Equação:**  $-queda\ preco\ onibus$

- **Estoque de onibus no consórcio:** representa a quantidade de ônibus existentes no foco desta análise, ou seja, o consórcio que compra os ônibus para ofertá-los. A equação que rege seu comportamento é definida por um valor inicial que é reajustado conforme a taxa de compra de ônibus. Esta taxa de compra de ônibus, por sua vez, é influenciada pela taxa inicial de compra de ônibus e pelo estoque desejado de veículos. A ideia da simulação é que conforme a demanda da empresa de logística aumente, o consórcio precisa comprar mais ônibus para ofertá-los.

**Equação:**  $taxa\ de\ compra\ de\ onibus - taxa\ de\ venda\ de\ onibus$

- **Estoque de onibus na EL:** como o nome sugere, é o estoque de ônibus na empresa de logística. A equação de seu funcionamento é fixada inicialmente em 0 - já que é assumido que a empresa ainda não possui os veículos - e é abastecida pela taxa de venda dos ônibus, ou seja, quantos ônibus são vendidos pelo consórcio. Esta variável possui duas saídas importantes. A primeira é a taxa de descarte e o tempo de vida, ou seja, variáveis que representam a necessidade de troca ou descarte do veículo após alguns anos de uso e contribuem para a compra de mais veículos ao longo do horizonte de análise. A segunda é a oferta de serviços por ano, ou seja, a oferta de serviço prestados pela empresa de logística está diretamente ligada à quantidade de veículos no estoque da empresa de logística. Sendo assim, naturalmente quanto mais veículos estão disponíveis, maior será a oferta de serviço, aumentando o lucro da empresa que possibilitará a compra de mais ônibus.

**Equação:**  $taxa\ de\ venda\ de\ onibus - taxa\ de\ descarte$

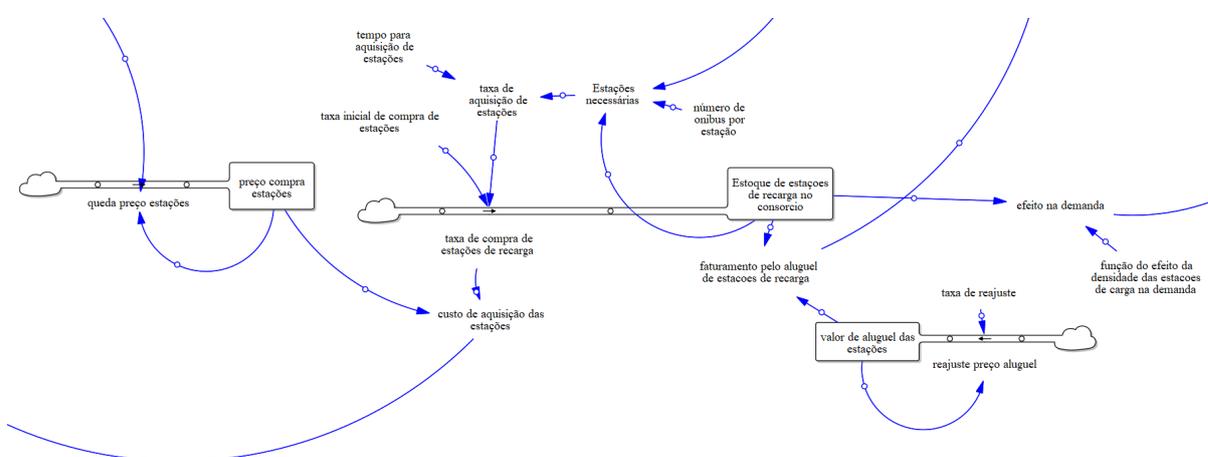
## 5.5 ESTAÇÕES DE RECARGA

Este submodelo exibido na Figura 18 tem como objetivo descrever o processo de compra das estações de recarga e sua oferta via aluguel para a empresa de logística.

A ideia em realizar um aluguel ao invés de simplesmente vendê-las é explicada pelo interesse em possuir uma rede de estações de recarga que possam ser ofertadas a todos os clientes que adquirirem um ônibus. Dessa forma, as estações podem ser instaladas em localidades públicas, o que possibilita a sua utilização por mais de um cliente, fazendo com que sua receita aumente e que mais estações estejam disponíveis em seu portfólio.

Em síntese, este submodelo tem destacada relevância pois o acréscimo na oferta de estações além de representar maior receita direta também influencia na demanda do cliente, fazendo com que ele também adquira mais veículos.

Figura 18 – Submodelo de Estações de Recarga



Fonte: Elaborado pelo autor

- **preço de compra das estações:** semelhante a já discutida variável do preço de compra dos ônibus, é a variável que define o preço de compra das estações de recarga. Possui valor fixado inicialmente que é reajustado conforme a queda no preço determinada pela escolha do cenário simulado. O custo de compra aliado à taxa de compra forma o custo de aquisição das estações que é a variável complementar ao cálculo de custo total que faz parte do fluxo de caixa analisado para verificar a viabilidade do empreendimento.

**Equação:**  $- queda\ preço\ estações$

- **Estoque de estações de recarga no consórcio:** reflete a quantidade de estações de recarga disponíveis para oferta aos clientes. É influenciada pela taxa inicial de compra e a taxa de aquisições. Esta taxa de aquisições é influenciada pela quantidade de ônibus existentes e pelo tempo de aquisição de estações. Dessa forma, conforme a quantidade de ônibus aumenta, naturalmente o número de estações necessárias para carregá-los também aumenta, contribuindo para

que mais estações sejam compradas, ofertadas ao cliente e assim a demanda por ônibus também aumente pois as incertezas quanto à garantia de carregamento destes veículos é mitigada.

**Equação:** *taxa de compra de estaes de recarga*

- **valor de aluguel das estações:** define a receita a ser obtida com o aluguel das estações de recarga. Sofre um reajuste anual definido em 10%. A receita do aluguel das estações junto do lucro obtido com a oferta dos ônibus para a empresa de logística são os componentes da receita a ser analisada, contribuindo para a formação do fluxo de caixa que possibilita verificar a viabilidade do negócio.

**Equação:** *reajuste preco aluguel*

## 6 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados das simulações realizadas com foco na avaliação de cenários e modelos de negócios propostos.

A simulação desempenha um papel crucial para compreender as implicações das decisões estratégicas e das interações complexas entre variáveis-chave definidas na construção do modelo. Ao analisar os resultados obtidos em diferentes cenários, levando em consideração a demanda do mercado e como a redução de custos influencia no comportamento do modelo, é possível identificar tendências, interações relevantes e oportunidades emergentes para embasar decisões informadas e definir quais realidades mostram-se mais promissoras.

Para tanto, a métrica escolhida para realizar o comparativo entre os modelos é a de viabilidade econômica. No âmbito da análise de viabilidade econômica, diversas métricas podem ser empregadas. No presente estudo, optou-se por utilizar as métricas mais comuns e aplicáveis ao contexto avaliativo em questão, que são o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Tais métricas são amplamente reconhecidas e utilizadas para avaliar a atratividade e a rentabilidade de projetos e investimentos, considerando tanto os fluxos de caixa esperados como os critérios de desconto adequados ao contexto financeiro em questão (BAS, 2013).

A fim de simplificar o cálculo dos indicadores econômicos aqui propostos, foi criada uma variável adicional no modelo que calcula automaticamente o fluxo de caixa para cada período simulado ao realizar a subtração das receitas totais com os custos totais de cada modelo. Por sua vez, a ferramenta escolhida para calcular os indicadores foi o *Microsoft Excel*, *software* amplamente conhecido e bastante apropriado para este fim conforme conclui Souza Miranda (2010).

Os fluxos de caixa detalhados de cada simulação são exibidos no Apêndice A e Apêndice B.

### 6.1 MODELO DE VENDA

Após simulação, o modelo de venda apresentou o seguinte resultado:

- **Cenário 1:** VPL de -R\$30.547,79 e TIR de 14,61%
- **Cenário 2:** VPL de R\$150.706,29 e TIR de 187,52%
- **Cenário 3:** VPL de R\$939.706,43 e TIR de 227,30%

A nível informativo, a Figura 19 exibe detalhadamente a receita e os custos totais decorrentes da simulação deste primeiro cenário do modelo de venda.

A Figura 20 e Figura 21 exibem gráficos com o comportamento de compra e venda de ônibus por parte do consórcio ao longo do cenário simulado. A alteração na

margem de lucro não causou distinção na quantidade de ônibus comprados e vendidos pois a demanda permaneceu inalterada, logo, todas as simulações do modelo de venda possuíram a mesma taxa de compra e venda de ônibus pelo consórcio.

Figura 19 – Receitas e Custos Totais do Modelo de Venda

Ano	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
	Receita Total	Custo Total	Saldo	Receita Total	Custo Total	Saldo	Receita Total	Custo Total	Saldo
0	R\$ -	R\$ 100.000,00	-R\$ 100.000,00	R\$ -	R\$ 100.000,00	-R\$ 100.000,00	R\$ -	R\$ 100.000,00	-R\$ 100.000,00
1	R\$ 2.255,00	R\$ 95.000,00	-R\$ 92.745,00	R\$ 2.255,00	R\$ 90.000,00	-R\$ 87.745,00	R\$ 2.255,00	R\$ 85.000,00	-R\$ 82.745,00
2	R\$ 5.085,02	R\$ 90.250,00	-R\$ 85.164,98	R\$ 5.085,02	R\$ 81.000,00	-R\$ 75.914,98	R\$ 5.085,02	R\$ 72.250,00	-R\$ 67.164,98
3	R\$ 1.709.920,00	R\$ 85.737,50	R\$ 1.624.182,50	R\$ 1.999.510,00	R\$ 72.900,00	R\$ 1.926.610,00	R\$ 3.218.050,00	R\$ 61.412,50	R\$ 3.156.637,50
4	R\$ 2.448.800,00	R\$ -	R\$ 2.448.800,00	R\$ 3.675.600,00	R\$ -	R\$ 3.675.600,00	R\$ 5.519.270,00	R\$ -	R\$ 5.519.270,00
5	R\$ 2.406.210,00	R\$ 2.455.450,00	-R\$ 49.240,00	R\$ 5.423.470,00	R\$ 2.810.720,00	R\$ 2.612.750,00	R\$ 4.317.210,00	R\$ 4.224.060,00	R\$ 93.150,00
6	R\$ 2.475.750,00	R\$ 5.831.700,00	-R\$ 3.355.950,00	R\$ 5.564.560,00	R\$ 6.745.730,00	-R\$ 1.181.170,00	R\$ 3.390.730,00	R\$ 8.976.120,00	-R\$ 5.585.390,00
7	R\$ 2.701.770,00	R\$ 6.648.140,00	-R\$ 3.946.370,00	R\$ 4.722.240,00	R\$ 11.383.400,00	-R\$ 6.661.160,00	R\$ 2.731.940,00	R\$ 10.172.900,00	-R\$ 7.440.960,00
8	R\$ 3.374.180,00	R\$ 6.315.740,00	-R\$ 2.941.560,00	R\$ 3.998.400,00	R\$ 12.984.100,00	-R\$ 8.985.700,00	R\$ 2.239.840,00	R\$ 8.227.100,00	-R\$ 5.987.260,00
9	R\$ 4.503.490,00	R\$ 3.999.970,00	R\$ 503.520,00	R\$ 3.731.760,00	R\$ 9.858.940,00	-R\$ 6.127.180,00	R\$ 2.381.810,00	R\$ 2.956.080,00	-R\$ 574.270,00
10	R\$ 6.143.090,00	R\$ 1.899.980,00	R\$ 4.243.110,00	R\$ 4.595.260,00	R\$ 3.349.170,00	R\$ 1.246.090,00	R\$ 3.034.970,00	R\$ 18.314,00	R\$ 3.016.656,00
11	R\$ 7.129.770,00	R\$ 911.375,00	R\$ 6.218.395,00	R\$ 6.407.760,00	R\$ 36.927,10	R\$ 6.370.832,90	R\$ 3.863.900,00	R\$ 22.397,60	R\$ 3.841.502,40
12	R\$ 7.369.060,00	R\$ 3.472.340,00	R\$ 3.896.720,00	R\$ 8.696.600,00	R\$ 49.442,40	R\$ 8.647.157,60	R\$ 4.706.280,00	R\$ 28.115,00	R\$ 4.678.165,00
13	R\$ 10.294.200,00	R\$ 9.019.770,00	R\$ 1.274.430,00	R\$ 10.484.200,00	R\$ 66.798,00	R\$ 10.417.402,00	R\$ 5.408.340,00	R\$ 418.236,00	R\$ 4.990.104,00
14	R\$ 15.661.000,00	R\$ 14.012.300,00	R\$ 1.648.700,00	R\$ 12.640.900,00	R\$ 7.343.240,00	R\$ 5.297.660,00	R\$ 5.808.300,00	R\$ 4.280.170,00	R\$ 1.528.130,00
15	R\$ 21.716.400,00	R\$ 21.442.500,00	R\$ 273.900,00	R\$ 13.233.200,00	R\$ 16.109.500,00	-R\$ 2.876.300,00	R\$ 5.717.870,00	R\$ 8.083.780,00	-R\$ 2.365.910,00
16	R\$ 29.093.900,00	R\$ 30.903.600,00	-R\$ 1.809.700,00	R\$ 13.521.900,00	R\$ 25.986.300,00	-R\$ 12.464.400,00	R\$ 5.389.330,00	R\$ 11.120.200,00	-R\$ 5.730.870,00
17	R\$ 32.417.500,00	R\$ 40.710.000,00	-R\$ 8.292.500,00	R\$ 11.508.200,00	R\$ 29.226.400,00	-R\$ 17.718.200,00	R\$ 4.463.760,00	R\$ 10.959.600,00	-R\$ 6.495.840,00
18	R\$ 34.724.200,00	R\$ 50.709.600,00	-R\$ 15.985.400,00	R\$ 9.973.630,00	R\$ 25.354.800,00	-R\$ 15.381.170,00	R\$ 3.858.830,00	R\$ 7.954.560,00	-R\$ 4.095.730,00
19	R\$ 30.603.000,00	R\$ 52.410.200,00	-R\$ 21.807.200,00	R\$ 8.984.130,00	R\$ 11.456.000,00	-R\$ 2.471.870,00	R\$ 3.536.840,00	R\$ 2.418.460,00	R\$ 1.118.380,00
20	R\$ 27.649.500,00	R\$ 46.382.200,00	-R\$ 18.732.700,00	R\$ 8.358.010,00	R\$ 81.693,90	R\$ 8.276.316,10	R\$ 3.407.660,00	R\$ 24.032,20	R\$ 3.383.627,80
21	R\$ 25.494.200,00	R\$ 23.522.600,00	R\$ 1.971.600,00	R\$ 8.010.840,00	R\$ 68.707,10	R\$ 7.942.132,90	R\$ 3.374.660,00	R\$ 19.768,90	R\$ 3.354.891,10
22	R\$ 23.963.000,00	R\$ 262.955,00	R\$ 23.700.045,00	R\$ 7.823.360,00	R\$ 59.373,60	R\$ 7.763.986,40	R\$ 3.441.360,00	R\$ 16.776,30	R\$ 3.424.583,70
23	R\$ 22.932.000,00	R\$ 240.450,00	R\$ 22.691.550,00	R\$ 7.741.070,00	R\$ 53.307,90	R\$ 7.687.762,10	R\$ 3.613.710,00	R\$ 14.446,60	R\$ 3.599.263,40
24	R\$ 22.337.000,00	R\$ 220.026,00	R\$ 22.116.974,00	R\$ 7.773.930,00	R\$ 48.825,90	R\$ 7.725.104,10	R\$ 3.898.720,00	R\$ 12.527,40	R\$ 3.886.192,60
25	R\$ 22.134.000,00	R\$ 201.381,00	R\$ 21.932.619,00	R\$ 7.947.010,00	R\$ 44.775,80	R\$ 7.902.234,20	R\$ 4.313.790,00	R\$ 228.976,00	R\$ 4.084.814,00
26	R\$ 22.298.000,00	R\$ 11.473.100,00	R\$ 10.824.900,00	R\$ 8.307.590,00	R\$ 3.422.980,00	R\$ 4.884.610,00	R\$ 4.870.120,00	R\$ 1.075.740,00	R\$ 3.794.380,00
27	R\$ 22.655.300,00	R\$ 26.783.300,00	-R\$ 4.128.000,00	R\$ 8.881.710,00	R\$ 6.677.210,00	R\$ 2.204.500,00	R\$ 5.569.760,00	R\$ 1.682.820,00	R\$ 3.886.940,00
28	R\$ 23.187.400,00	R\$ 40.914.200,00	-R\$ 17.726.800,00	R\$ 9.667.760,00	R\$ 9.411.240,00	R\$ 256.520,00	R\$ 6.412.400,00	R\$ 1.982.860,00	R\$ 4.429.540,00
29	R\$ 24.142.800,00	R\$ 44.239.300,00	-R\$ 20.096.500,00	R\$ 10.626.600,00	R\$ 9.289.570,00	R\$ 1.337.030,00	R\$ 7.396.560,00	R\$ 1.670.660,00	R\$ 5.725.900,00
30	R\$ 25.674.800,00	R\$ 33.839.800,00	-R\$ 8.165.000,00	R\$ 11.772.200,00	R\$ 6.676.150,00	R\$ 5.096.050,00	R\$ 8.521.980,00	R\$ 971.679,00	R\$ 7.550.301,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 20 – Taxa de Compra de Ônibus no Modelo de Venda

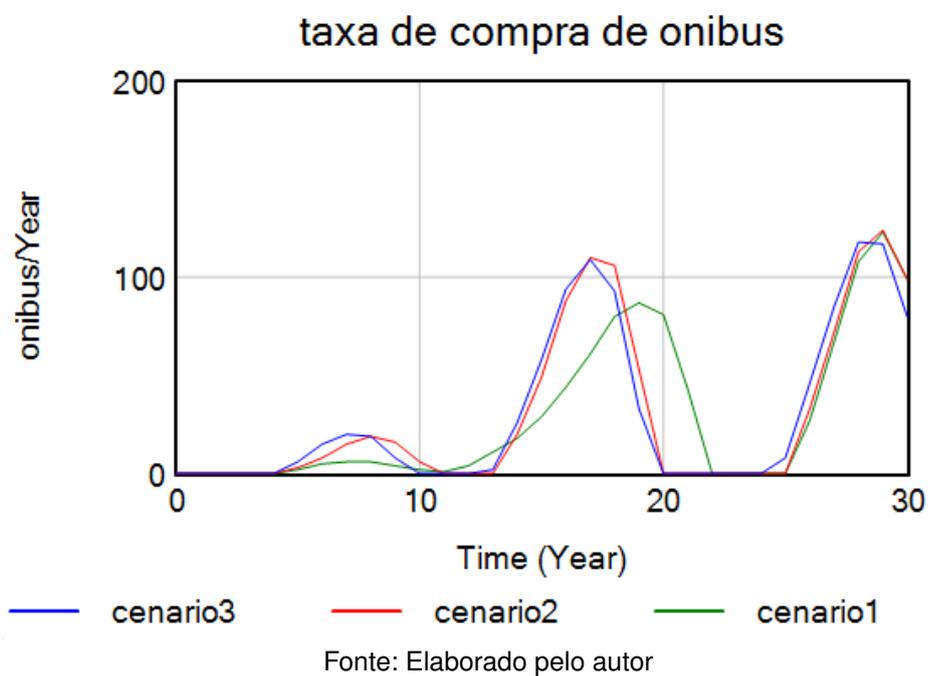
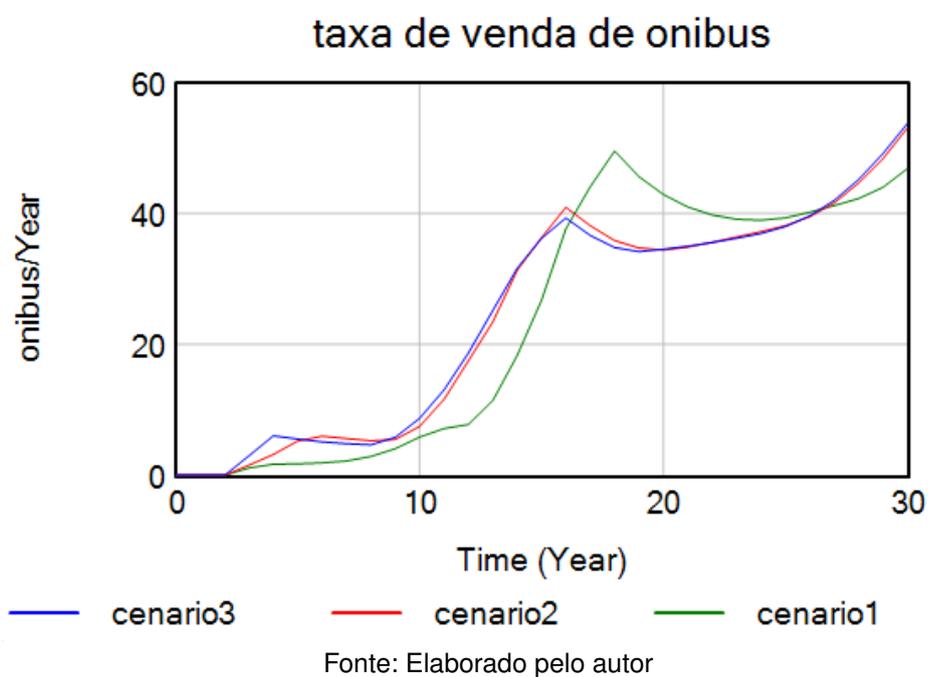


Figura 21 – Taxa de Venda de Ônibus no Modelo de Venda



Com base nestes resultados, percebe-se que o Cenário 1 - em que há a queda anual de 5% - no custo de aquisição dos ônibus e estações apresenta VPL negativo, indicando que o investimento não é viável. Por tratar-se de ativos que possuem elevado custo de aquisição, uma das alternativas para explicar o VPL negativo para este primeiro cenário é a margem de lucro de venda ser insuficiente para absorver os custos de aquisição. Além disso, como a TMA adotada é condizente com a taxa SELIC e esta encontra-se em patamar consideravelmente elevado no momento da confecção deste trabalho, os valores futuros do fluxo de caixa acabam sendo desvalorizados e contribuindo para o resultado negativo deste VPL.

Ainda que a margem de lucro base definida seja de 10% - e condizente com o que é praticado por montadoras de veículos no Brasil conforme Gabriel de Oliveira (2022) -, é possível que esta margem não seja suficiente para cobrir os elevados custos de aquisição e o volume de venda dos veículos. Sendo assim, foi realizada uma nova simulação com acréscimo de 3% na margem de lucro deste negócio a fim de verificar quão efetiva seria esta mudança. Os resultados foram os seguintes:

- **Cenário 1:** VPL de R\$1.042.396,96 e TIR de 150,03%
- **Cenário 2:** VPL de R\$898.561,50 e TIR de 190,82%
- **Cenário 3:** VPL de R\$1.413.597,38 e TIR de 230,85%

É possível constatar que a mudança realizada surtiu efeito considerável no Cenário 1, passando um VPL até então negativo para mais de R\$ 1 milhão positivo e TIR bastante superior. A mudança fez com que inclusive fossem vendidos mais ônibus em determinados momentos, o que contribuiu para este aumento expressivo nos resultados. Nos outros cenários, a mudança desta variável naturalmente aumentou o VPL pois além de fazer com que mais ônibus fossem vendidos, a margem de lucro superior aumenta a receita com a venda dos veículos.

## 6.2 MODELO DE ALUGUEL

O Modelo de Aluguel tem estrutura idêntica ao modelo de venda, sendo diferido apenas na estratégia de precificação e no valor de algumas variáveis. Inicialmente, foi desenhada uma estratégia que prevê o reajuste inflacionário para os próximos 8 anos, tempo definido de vida útil do ônibus, com base no histórico de inflação brasileiro desde 2003 que possui valor médio de 6,28% a.a. (MUNDIAIS, 2022). Sendo assim, o custo com aluguel cobrado foi o custo de aquisição de ônibus somado ao reajuste inflacionário estimado e uma margem de lucro de 12%, levemente superior ao que é praticado no modelo de venda. A demanda também foi reduzida pela metade, assumindo que talvez o modelo de aluguel não seja tão interessante para o usuário.

Para tanto, o número de adotantes potenciais foi reduzido pela metade em relação ao modelo de venda.

O resultado foi o seguinte:

- **Cenário 1:** VPL de R\$83.917.179,28 e TIR de 191,26%
- **Cenário 2:** VPL de R\$ 112.945.273,29 e TIR de 248,63%
- **Cenário 3:** VPL de R\$ 123.953.716,84 e TIR de 315,66%

É possível notar que por possuir um preço cobrado dos clientes consideravelmente superior, mesmo que a demanda seja a metade, o modelo mostra-se com valores consideravelmente superiores, tendo VPL e TIR bastante elevados em relação aos outros modelos.

Buscando encontrar um cenário de maior equilíbrio, foi feita mais uma estratégia de precificação, removendo a margem de lucro e considerando apenas a estratégia de acrescentar o reajuste inflacionário pelo tempo de vida útil dos ônibus.

O resultado foi o seguinte:

- **Cenário 1:** VPL de R\$ 71.974.470,44 e TIR de 179,63%
- **Cenário 2:** VPL de R\$ 98.940.845,58 e TIR de 236,45%
- **Cenário 3:** VPL de R\$ 109.534.106,61 e TIR de 300,80%

Conforme o esperado, com uma precificação que possibilita a oferta ao cliente do ônibus a preços inferiores, os resultados naturalmente também decaem.

Foi realizada mais uma simulação, desta vez alterando novamente o preço do aluguel. Não foi considerado mais o reajuste inflacionário para os 8 anos de vida útil do ônibus, sendo a estratégia de precificação apenas uma margem de lucro superior ao modelo de venda. A margem escolhida foi de 15% e os resultados obtidos foram:

- **Cenário 1:** VPL de R\$ 42.765.580,77 e TIR de 143,67%
- **Cenário 2:** VPL de R\$ 64.689.618,55 e TIR de 200,54%
- **Cenário 3:** VPL de R\$ 74.267.369,91 e TIR de 257,65%

Naturalmente, como o preço considerando apenas uma margem de lucro é inferior ao de quando é considerado um reajuste inflacionário para 8 anos, os valores de VPL e TIR tendem a ser vez menores pois o preço cobrado do cliente está decaindo, o que faz com que as receitas também diminuam.

A Figura 22 e Figura 23 ilustra os gráficos com o comportamento de compra e venda de ônibus por parte do consórcio ao longo do cenário simulado. Os gráficos são iguais para as 3 simulações realizadas já que foi alterada apenas a precificação, o que acabou não influenciando a taxa de compra e venda de ônibus.

Figura 22 – Taxa de Compra de Ônibus no Modelo de Aluguel

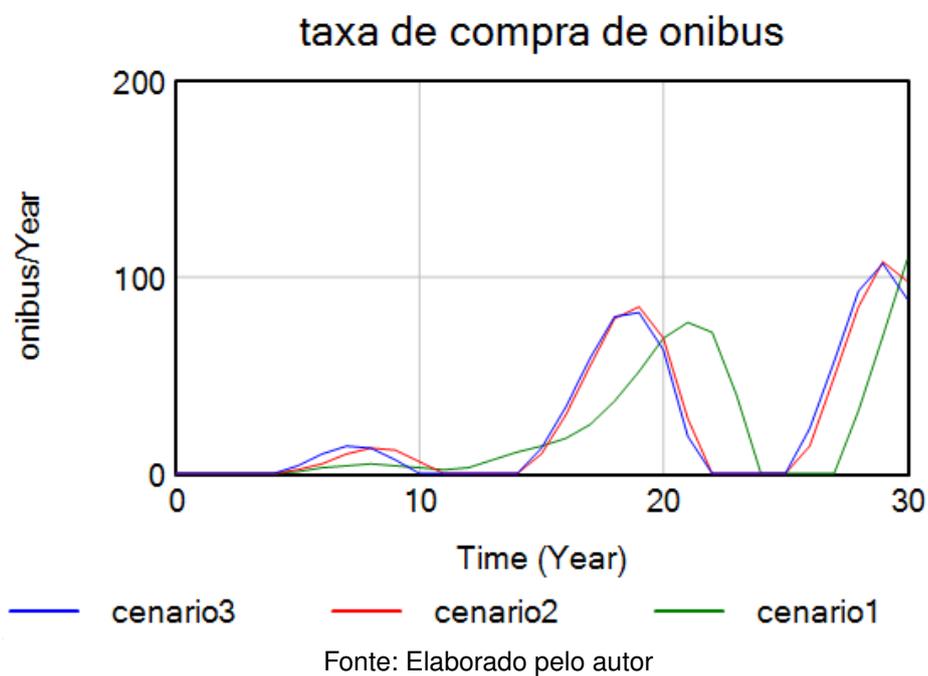
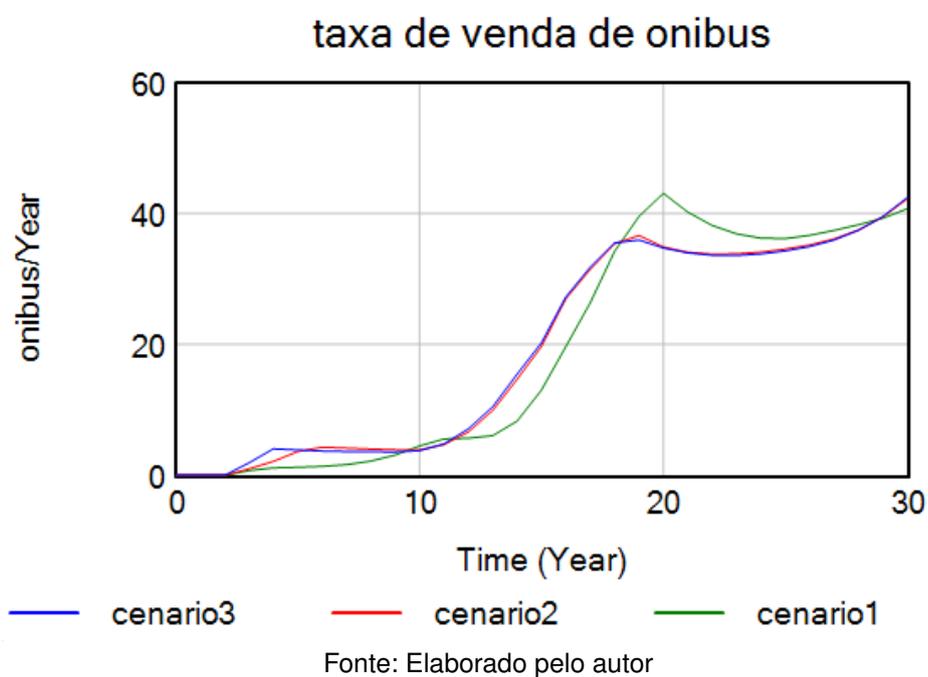


Figura 23 – Taxa de Venda de Ônibus no Modelo de Aluguel



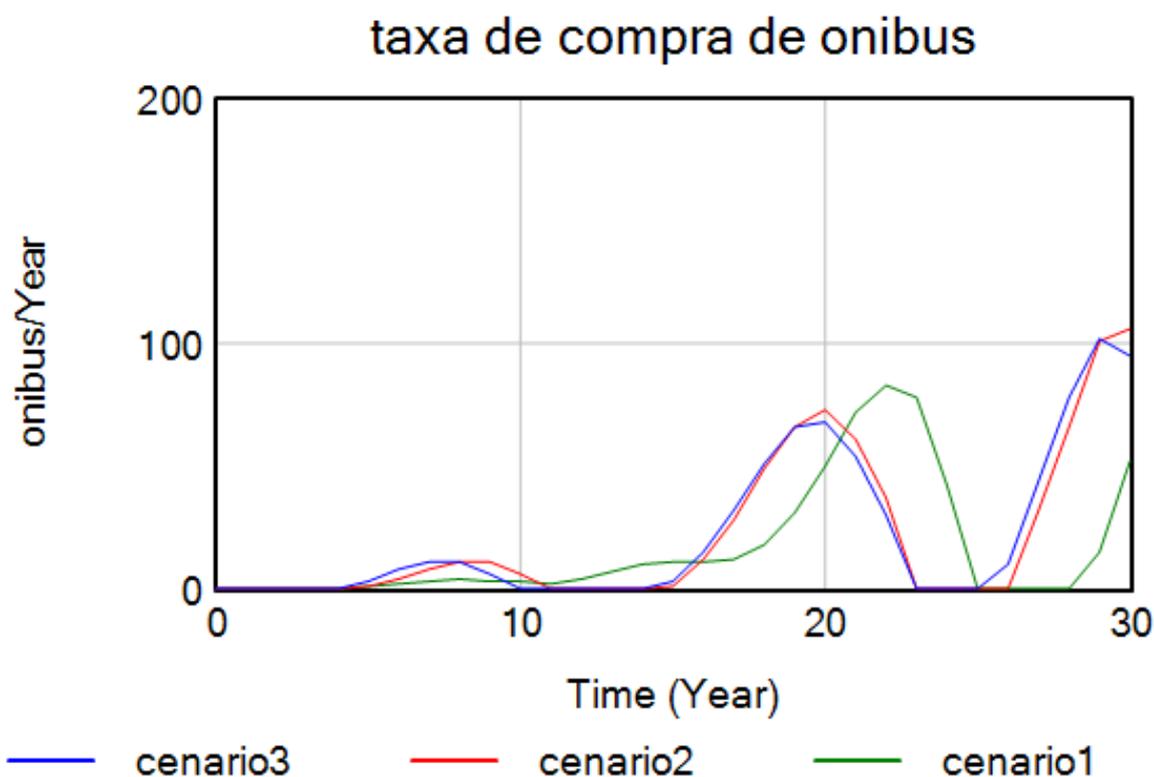
Por fim, foi feita uma tentativa adicional de verificar como a demanda influencia no resultado das simulações. Dessa forma, o número de adotantes potenciais - que estava pela metade - foi reduzido a 25% do número original. Sendo assim, esta simulação prevê que os usuários possuem certo receio ao optar pelo modelo de aluguel e a demanda é 75% menor quando se compara ao modelo de venda.

Os resultados obtidos foram:

- **Cenário 1:** VPL de R\$ 36.999.247,46 e TIR de 121,51%
- **Cenário 2:** VPL de R\$ 54.142.418,32 e TIR de 178,65%
- **Cenário 3:** VPL de R\$ 61.348.322,04 e TIR de 227,01%

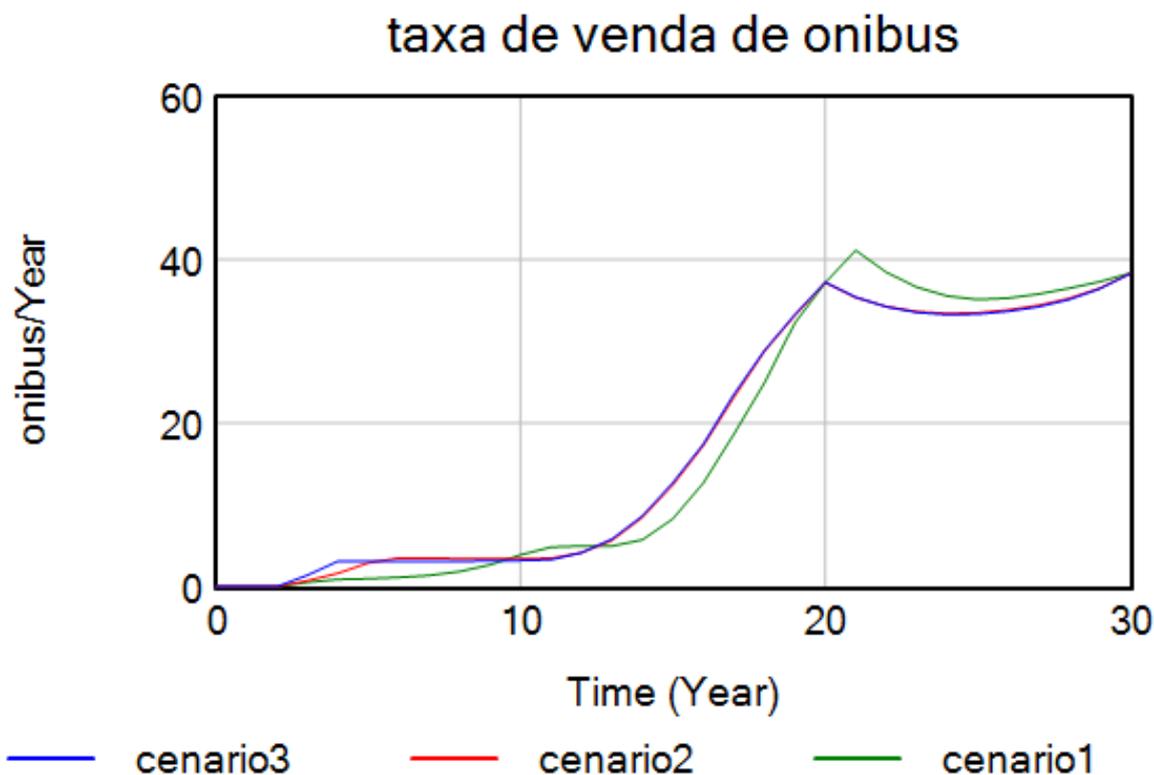
Como foi alterado o número de adotantes para esta simulação, a demanda foi alterada e foram gerados os gráficos de compra e venda exibidos na Figura 24 e Figura 25.

Figura 24 – Taxa de Compra de Ônibus no Modelo de Aluguel com alteração no número de adotantes



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 25 – Taxa de Venda de Ônibus no Modelo de Aluguel com alteração no número de adotantes



Fonte: Elaborado pelo autor

### 6.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade, em síntese, é uma ferramenta que utiliza um modelo de simulação para realizar experimentos e pesquisas de forma controlada.

Filho e Kopittke (2000) afirmam que o objetivo desta ferramenta é investigar os efeitos que a variação de alguns dados de entrada pode ter sobre os resultados. Quando a rentabilidade de um projeto é significativamente impactada por uma variação mínima em um parâmetro, diz-se que o projeto é extremamente sensível a esse parâmetro.

Saltelli *et al.* (2007) defende que pode ser entendido como o estudo da maneira como as variações nos resultados de um modelo matemático estão relacionadas às variações nos dados de entrada do modelo. Dessa forma, a análise de sensibilidade deve ser feita para as variáveis que têm o maior impacto nos custos, prazos e outros resultados do projeto.

O próprio VENSIM possui uma ferramenta nativa que possibilita realizar uma análise de sensibilidade para verificar os parâmetros que trazem maior impacto ao modelo. Fazendo uso desta ferramenta, foi utilizada uma função probabilística uniforme com valores mínimos e máximos de taxa mínima de atratividade - entre 5 e 10% - para

rodar 200 simulações simultâneas utilizando uma amostragem por *Latin Hypercube*. Um *print* da tela com as configurações escolhidas é exibido na Figura 26

Figura 26 – Parâmetros escolhidos na Análise de Sensibilidade

Sensitivity Simulation Setup

Sensitivity Control. Edit the filename to save changes to a different control file

Filename:

Number of simulations:  Noise Seed:

Display warning messages

Currently active parameters (drag to reorder)  
taxa=RANDOM\_UNIFORM(0.05,0.15)

Multivariate  Univariate  
 Latin Hypercube  Latin Grid  
 File

Distribution  
Parameter:

Parameter	Model Value	Minimum Value	Maximum Value
--			

Fonte: Elaborado pelo autor

Foram realizadas duas análises de sensibilidade sendo uma para cada modelo simulado, o de venda e o de aluguel. Os resultados são exibidos na Figura 27 e Figura 28.

Figura 27 – Análise de Sensibilidade para o Modelo de Venda

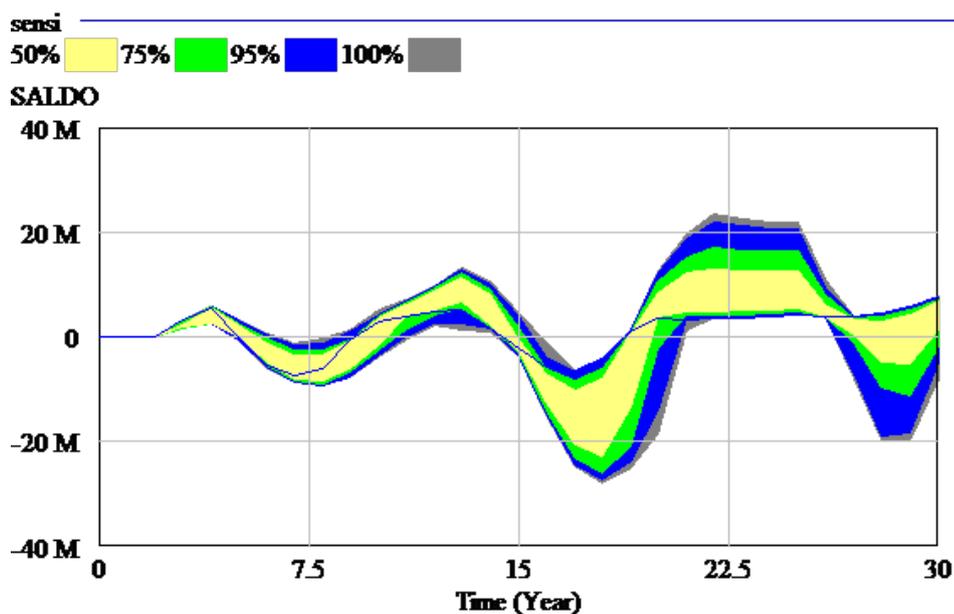
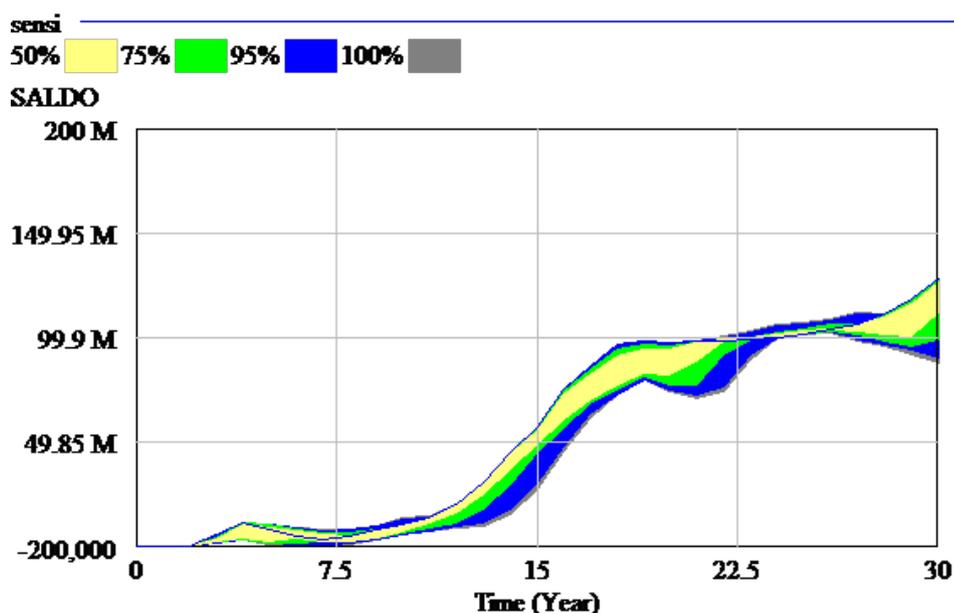


Figura 28 – Análise de Sensibilidade para o Modelo de Aluguel



Ao analisar as figuras é possível perceber como a variável escolhida para realizar a análise de sensibilidade, Taxa Mínima de Atratividade, influencia no modelo.

As faixas de confiança indicam a probabilidade de ocorrência dos resultados simulados. As faixas de confiança são representadas por cores, sendo que a faixa cinza engloba 100% dos resultados simulados, indicando uma certeza absoluta. A faixa azul, por sua vez, representa 95% dos resultados simulados, significando uma alta probabilidade de ocorrência. Essa tendência continua para outras faixas, em que

cada cor representa uma porcentagem menor de resultados simulados.

Por exemplo, ao analisar os resultados do Valor Presente Líquido (VPL) para o ano de 2030, verificou-se que nenhum resultado simulado foi de 150 milhões de reais. Isso indica com 100% de certeza que os resultados do VPL irão cair dentro da faixa abrangida por todas as cores, ou seja, a faixa com a maior amplitude e certeza.

## 7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

### 7.1 CONCLUSÃO

É evidente que a mobilidade elétrica vem sendo amplamente discutida nos últimos tempos. Seja através de notícias na mídia, trabalhos acadêmicos ou até mesmo medidas regulatórias ou leis a respeito do tema que fazem parte do cotidiano atual.

O Brasil, com sua indústria automobilística nacional em grande escala e uma quantidade significativa de veículos em circulação, pode desempenhar um papel crucial no mercado de veículos elétricos. O país está entre os dez principais mercados globais de automóveis, sendo responsável por mais da metade das vendas na América Latina. No entanto, o país ainda enfrenta desafios como sistemas de transporte público deficientes, crescentes emissões de gases poluentes provenientes dos meios de transporte e poluição atmosférica prejudicial à saúde da população. Tais questões destacam a importância da transição para a mobilidade elétrica pois esta traz benefícios significativos, incluindo a redução da dependência de combustíveis fósseis, o cumprimento de metas climáticas e a melhoria da qualidade do ar. Ao estabelecer uma estrutura legal e políticas públicas adequadas, a transição impulsiona a inovação, promove indústrias de alto valor agregado e cria novas oportunidades de emprego.

Destaca-se, então, o fato de a implementação de estratégias, planos e regulamentos para a mobilidade elétrica em diferentes níveis de governo e períodos de tempo verificar-se como um instrumento chave para a promoção do diálogo entre os diferentes atores e ações, bem como para articular e coordenar esforços. Essas ferramentas são fundamentais para facilitar a colaboração e a sinergia, impulsionando a transição para um sistema de transporte mais sustentável e eficiente.

Sendo assim, estudos que contemplem toda a cadeia envolvida nestes empreendimentos são fundamentais para a compreensão de suas vantagens e desvantagens, obtenção de dados operacionais, requisitos de infraestrutura de recarga, opções de financiamento e implementação de modelos de negócio, sejam eles inovadores ou não. Diante da ainda incipiente difusão da tecnologia de ônibus elétricos, verifica-se a necessidade da participação de demais atores do ecossistema da mobilidade elétrica a fim de aumentar discussões quanto ao tema e proporcionar um debate entre os envolvidos. As informações provenientes destes debates são válidas tanto para os reguladores e formuladores de políticas públicas quanto para os operadores de frotas. Os investimentos, mecanismos financeiros e incentivos fiscais tornam-se pontos de suporte essencial para possibilitar uma maior viabilidade econômico-financeira da mobilidade elétrica de modo geral.

No âmbito de estudo deste trabalho, cada modelo pode ser mais adequado a um contexto específico e não necessariamente há uma resposta exata para aplicação sem aprofundado estudo sobre o contexto inserido. O modelo de venda pode ser mais

aplicável em um contexto de que os clientes não desejam manter laço de relacionamento entre quem fornece o ônibus e o de aluguel oferece a oportunidade de reduzir os custos imediatos de operação do veículo, fato tão citado quando se fala em mobilidade elétrica e os elevados custos de aquisição destes veículos. Nos resultados obtidos até então, o modelo de aluguel apresenta indicadores econômicos superiores por levar em consideração uma proposta de precificação que acaba gerando um custo de repasse superior ao consumidor. Tal fato naturalmente ocasiona em um resultado superior pois o produto acaba tendo margem de lucro superior ao modelo de venda já que há a necessidade de absorver custos adicionais neste modelo. Ainda assim, destaca-se o fato de que uma margem de lucro constante ao longo do tempo tende a decrescer pois com a difusão da tecnologia há mais concorrentes, gerando maior competição e, conseqüentemente, há a necessidade de redução nos custos para que a solução ofertada seja competitiva perante o mercado.

Por fim, o transporte de fretamento é uma oportunidade que pode ser explorada tanto pelos fabricantes como pelas empresas que prestam esse serviço, oferecendo aos seus clientes um veículo moderno, com alto nível de conforto e até mesmo custos operacionais reduzidos a depender da operação. Além disso, as iniciativas existentes para o transporte público urbano estão voltadas ao transporte público municipal, sendo o transporte de fretamento um nicho ainda não explorado que representa uma oportunidade de investimento.

## 7.2 RECOMENDAÇÕES

Na realização de trabalhos futuros, recomenda-se que sejam utilizadas estimativas dos custos operacionais decorrentes da utilização de uma operação deste porte. Tratando-se de mobilidade elétrica, um dos fatores que pode auxiliar na viabilidade - ou não - de um empreendimento justamente são os custos operacionais reduzidos deste tipo de veículos quando levados em comparação aos veículos convencionais a combustão. Sendo assim, considerar tais custos operacionais pode fornecer uma resposta ainda mais precisa quanto a viabilidade do empreendimento.

Concomitantemente, assim como os custos operacionais podem ser levados em consideração, eventuais receitas adicionais também podem auxiliar numa resposta mais fidedigna. Sendo a mobilidade elétrica um tema que envolve inúmeras possibilidades de geração de receita adicionais - como a cobrança pela utilização das estações de recarga por terceiros, por exemplo - um modelo que simule a aplicação destas e a geração adicional de receita também é interessante.

Outro fator que pode ser considerado é a influência de políticas governamentais no comportamento da demanda do consumidor. Neste trabalho foi considerado um dos principais empecilhos na aquisição de veículos deste porte, o preço de compra dos veículos, este altamente relacionado ao preço das baterias. Ainda assim, existem

outras variáveis que podem influenciar o poder de decisão do consumidor e consequentemente a demanda por estes veículos. Dessa forma, levar em consideração cenários em que há mais ou menos incentivos governamentais e seu comportamento na demanda também representa uma oportunidade de se obter resultados mais assertivos.

Por fim, uma variável que é determinante no sucesso de um empreendimento é o quanto o cliente está disposto a pagar pela solução. Além da demanda do serviço - que naturalmente deve existir para que ele seja ofertado - também é necessário que o cliente esteja disposto a pagar o preço cobrado pela solução. Sendo assim, uma variável que simule o quanto o cliente está disposto a pagar e como isso influencia na demanda e eventual oferta da solução é uma outra alternativa que possibilitaria resultados mais assertivos.

## REFERÊNCIAS

- ABB. **Pantograph down for electric buses**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://new.abb.com/ev-charging/products/pantograph-down>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.
- ABNETT, Kate. **União Europeia aprova proibição de novos carros a combustão a partir de 2035**. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/uniao-europeia-aprova-proibicao-de-novos-carros-a-combustao-a-partir-de-2035/>>. Acesso em: 2 de junho de 2023.
- ALMEIDA, Pedro Villaça de. **Mapeamento e diagnóstico das iniciativas sobre mobilidade elétrica no Brasil a partir de 2018**. [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <<https://www.pnme.org.br/wp-content/uploads/2021/07/MAPEAMENTO-PNME.pdf>>. Acesso em: 4 de junho de 2023.
- ASSIS, Maris Cristina de. **Metodologia do Trabalho Científico**. [S.l.: s.n.], 2013.
- ASSOCIATION, European Automobile Manufacturers. Charging of Electric Buses, p. 1–4, 2017.
- AUTOINDÚSTRIA. **São Paulo ganha frota de ônibus elétrico**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www.autoindustria.com.br/2019/11/19/sao-paulo-ganha-frota-de-onibus-eletrico/>>. Acesso em: 15 de abril de 2023.
- BARAN, Malgorzata. Diffusion of Innovations in the Systems Thinking Approach. **Management Bussines Innovation**, v. 6, p. 16–24, 2010.
- BARASSA, Edgar; CRUZ, Robson Ferreira da; MORAES, Henrique Botin. 1º Anuário Brasileiro da Mobilidade Elétrica. **Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica**, 2020.
- BARONTINI, Francesco. **Quais montadoras vão produzir somente carros elétricos até 2040**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://insideevs.uol.com.br/news/660736/montadoras-produzir-carros-combustao-2040/>>. Acesso em: 2 de junho de 2023.
- BARROS, Aidil Jesus; LEHFELD, Neide Aparecida. **Fundamentos da Metodologia Científica**. 3. ed. [S.l.: s.n.], 2007.
- BAS, Esra. A robust approach to the decision rules of NPV and IRR for simple projects. **Applied Mathematics and Computation**, v. 219, p. 5901–5908, 2013.
- BASS, Frank M. A new product growth for model consumer durables. **Management science**, INFORMS, v. 15, n. 5, p. 215–227, 1969.

BASS, Frank M.; MAHAJAN, Vijay; EITAN, Muller. New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research. **Journey of Marketing**, American Marketing Association, v. 54, n. 1, p. 1–26, 1990.

BATISTA FILHO, João. Simulação dinâmica de modelos operacionais enfoque aplicado à Engenharia de Projetos. **Universidade Federal de Santa Catarina**, 2001.

BAZANI, Adamo. **Ônibus de fretamento 100% elétrico da Higer faz rota Sorocaba-São Paulo e gasta seis vezes menos que diesel, diz fabricante.**

[S.l.: s.n.], 2022. Disponível em:

<<https://diariodotransporte.com.br/2022/03/14/onibus-de-fretamento-100-eletrico-da-higer-faz-rota-sorocaba-sao-paulo-e-gasta-seis-vezes-menos-que-diesel-diz-fabricante/>>. Acesso em: 3 de junho de 2023.

BLOOMBERG. **A Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices?**

[S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>>. Acesso em: 20 de abril de 2023.

BRASIL, República Federativa do. **Lei Nº 13.755 de 10 de dezembro de 2018.**

[S.l.: s.n.], 2018. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2018/Lei/L13755.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Lei/L13755.htm)>. Acesso em: 17 de abril de 2023.

BRASIL, República Federativa do. **Projeto de Lei 4086/2012.** [S.l.: s.n.], 2012.

Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/548494>>. Acesso em: 17 de abril de 2023.

BRASIL, República Federativa do. **Resolução Nº 97 de 26 de outubro de 2015.**

[S.l.: s.n.], 2015. Disponível em:

<<http://www.camex.gov.br/resolucoes-camex-e-outros-normativos/58-resolucoes-da-camex/1564-resolucao-n-97-de-26-de-outubro-de-2015>>. Acesso em: 17 de abril de 2023.

BRASIL, República Federativa do. **Resolução Normativa Nº 1000 de 7 de dezembro de 2021.** [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em:

<<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>>. Acesso em: 17 de abril de 2023.

BRASIL, República Federativa do. **Resolução Normativa Nº 819 de 19 de junho de 2018.** [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <[https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/28737289/do1-2018-07-05-resolucao-normativa-n-819-de-19-de-junho-de-2018-28737273](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/28737289/do1-2018-07-05-resolucao-normativa-n-819-de-19-de-junho-de-2018-28737273)>.

Acesso em: 17 de abril de 2023.

BRITO, Débora. **Efeito estufa: transporte responde por 25% das emissões globais.** [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em:

<<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-12/efeito-estufa-transporte-responde-por-25-das-emissoes-globais>>. Acesso em: 09 de maio de 2023.

BUS, Sustainable. **100 electric buses by Yutong delivered to Santiago de Chile.** [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://www.sustainable-bus.com/news/100-electric-buses-yutong-delivered-to-santiago-de-chile/>>. Acesso em: 21 de abril de 2023.

BYD. **Linha do Tempo BYD.** [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<http://www.byd.ind.br/linha-do-tempo/>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

CANALENERGIA. **PD sobre mobilidade elétrica atrai 100 empresas, diz Aneel.** [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53098011/pd-sobre-mobilidade-eletrica-atrai-100-empresas-diz-aneel>>. Acesso em: 17 de abril de 2023.

CARVALHO, Henrique. **Difusão da Inovação: a curva de adoção de produtos.** [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <<http://vidadeproduto.com.br/difusao-da-inovacao/>>. Acesso em: 15 de maio de 2023.

CASALE, Matt; MAHONEY, Brendan. **Paying for Electric Buses: Financing Tools for Cities and Agencies to Ditch Diesel.** [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://pirg.org/wp-content/uploads/2018/10/National-Paying-for-Electric-Buses.pdf>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

CASTRO, Bernardo. **Ônibus elétrico da Volkswagen já está em testes no Brasil.** [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://autopapo.uol.com.br/curta/onibus-eletrico-volkswagen-brasil/>>. Acesso em: 5 de junho de 2023.

CENTRAL, Banco. **Taxa Selic.** [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>>. Acesso em: 1 de junho de 2023.

CHAN, Ching Chuen. **The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles.** [S.l.: s.n.], 2007. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/4168013/authors#authors>>. Acesso em: 3 de abril de 2023.

CHILENA, Minería. **Minería: sector con más buses eléctricos, después del transporte público.** [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www.mch.cl/2019/10/14/mineria-sector-con-mas-buses-electricos-despues-del-transporte-publico/#>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

CHOI, Uk-Don; JEONG, Ho-Kwon; JEONG, Sun-Kyu. Commercial Operation of Ultra Low Floor Electric Bus for Seoul City Route. **2012 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference**, p. 1–6, 2012.

CNT, Confederação Nacional Transporte. **Transporte Desenvolvimento: Transporte Rodoviário de Passageiros em Regime de Fretamento**. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em:

<<https://cnt.org.br/transporte-rodoviario-passageiros-regime-fretamento>>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

COLOMBIA, Gobierno de. **Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://movelatam.org/download/estrategia-nacional-de-movilidad-electrica-colombia/>>. Acesso em: 3 de junho de 2023.

COUNCIL, National Research. Tires and Passenger Vehicle Fuel Economy. **Transportation Research Board**, v. 286, 2006.

CURITIBA, Prefeitura Municipal de. **Decreto Nº 485 DE 06/04/2022**. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em:

<<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=430217#:~:text=Regulamenta%20o%20uso%20de%20vagas,el%C3%A9trica%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%BAncias.>>. Acesso em: 17 de abril de 2023.

DESENVOLVIMENTO BNDES, Banco Nacional do. **BNDES Finem**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-onibus-caminhoes-equipamentos-baixo-carbono>>.

Acesso em: 17 de abril de 2023.

DIAS, Eduardo. **Passageiros e rodoviários aprovam novo ônibus elétrico de Salvador**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em:

<<https://www.correio24horas.com.br/noticia/nid/passageiros-e-rodoviariorios-aprovam-novo-onibus-eletrico-de-salvador/>>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

DILALLO, Matt. **The world has 53.3 years of oil left**. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<https://www.usatoday.com/story/money/business/2014/06/28/the-world-was-533-years-of-oil-left/11528999/>>. Acesso em: 02 de maio de 2023.

ECKHOUSE, Brian. **The U.S. Has a Fleet of 300 Electric Buses. China Has 421,000**. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em:

<<https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-05-15/in-shift-to-electric-bus-it-s-china-ahead-of-u-s-421-000-to-300#xj4y7vzkg>>. Acesso em: 4 de junho de 2023.

ELECTROMOV. **Chile posee el primer bus interurbano 100% eléctrico de América**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em:

<<https://www.electromov.cl/2019/01/17/chile-posee-el-primer-bus-interurbano-100-electrico-de-america/>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

ELETRA. **Primeiro ônibus elétrico 100% produzido no Brasil nasce de parceria entre Eletra, Moura e Xalt.** [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em:

<<http://www.eletrabus.com.br/primeiro-onibus-eletrico-100-produzido-no-brasil-nasce-de-parceria-entre-moura-e-eletra/>>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

ENERGIA ELÉTRICA ANEEL, Agência Nacional de. **Chamada Nº 022/2018.**

[S.l.: s.n.], 2018. Disponível em:

<<https://diariodotransporte.com.br/wp-content/uploads/2018/11/Minuta-de-Chamada-Estrategica-de-Mobilidade-Eletrica.pdf>>. Acesso em: 17 de abril de 2023.

ENERGIA ELÉTRICA ANEEL, Agência Nacional de. **Resolução Normativa Nº 316 de 13 de maio de 2008.** [S.l.: s.n.], 2008. Disponível em:

<<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=108919>>. Acesso em: 17 de abril de 2023.

ENERGY, Department of. **The History of the Electric Car.** [S.l.: s.n.], 2014.

Disponível em: <<https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>>. Acesso em: 10 de maio de 2023.

ESTADÃO. **Carsharing.** [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em:

<<https://mobilidade.estadao.com.br/guia-mobilidade/carsharing/>>. Acesso em: 04 de maio de 2023.

EUROPE, BYD. **Coach - C9.** [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em:

<<https://bydeurope.com/pdp-bus-model-c9>>. Acesso em: 8 de abril de 2023.

EUROPEU, Parlamento. **DIRETIVA 2014/94/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 22 de outubro de 2014.** [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094>>.

Acesso em: 13 de abril de 2023.

FELÍCIO, Luiz Carlos. **Modelagem da Dinâmica de Sistemas e estudo da resposta.** 2. ed. São Carlos: [s.n.], 2010.

FIGUEIREDO, Júlio César Bastos de. Modelo de difusão de Bass: uma aplicação para a indústria de motocicletas no Brasil. **Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais**, v. 14, 2011.

FILHO, Nelson Casarotto; KOPITCKE, Bruno Hartmut. **Análise de Investimentos.** 9. ed. São Paulo: [s.n.], 2000.

FLEETMAGAZINE. **Renault: quanto custa a bateria elétrica? Onde reparar ou substituir a bateria?** [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://fleetmagazine.pt/renault-preco-bateria-eletrico/>>. Acesso em: 18 de abril de 2023.

FORRESTER, Jay W. **Industrial Dynamics**. 1. ed. Massachussets: [s.n.], 1961.

FTA, United States Federal Transit Administration. **Fiscal Year 2015 Low and No-Emission Vehicle Deployment Program Projects**. [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em: <<https://www.transit.dot.gov/research-innovation/fiscal-year-2015-low-and-no-emission-vehicle-deployment-program-projects>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

FTA, United States Federal Transit Administration. **Fiscal Year 2018 Low and No-Emission Vehicle Deployment Program Projects**. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://www.transit.dot.gov/funding/grants/fiscal-year-2018-low-or-no-emission-low-no-bus-program-projects>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

FTA, United States Federal Transit Administration. **FY13 Discretionary Funding Opportunity: Low or No Emission Vehicle Deployment Program (LoNo) Program**. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2014-01-09/pdf/2014-00134.pdf>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

G1. **Governo zera imposto de importação para carro elétrico e a hidrogênio**. [S.l.: s.n.], 2015. Disponível em: <<https://g1.globo.com/carros/noticia/2015/10/governo-zera-imposto-de-importacao-para-carro-eletrico-e-hidrogenio.html>>. Acesso em: 17 de abril de 2023.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: [s.n.], 2008.

GRAY, Alex. **Shenzhen just made all its buses electric, and taxis are next**. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2018/11/shenzhen-just-made-all-its-buses-electric-and-taxis-are-next/>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

GÜNTHER, Hartmut. Pesquisa Qualitativa Versus Pesquisa Quantitativa: Esta É a Questão? **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 22, p. 201–210, 2006.

GURU, Land Transport. **Yutong ZK6128BEVG (E12)**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <<https://landtransportguru.net/yutong-e12/>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

HAGENMAIER, Markus *et al.* **Winning the Battle in the EV Charging Ecosystem**. [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <<https://www.bcg.com/publications/2021/the->

evolution-of-charging-infrastructures-for-electric-vehicles>. Acesso em: 2 de junho de 2023.

HEID, Bernd *et al.* **Fast transit: Why urban e-buses lead electric-vehicle growth.**

[S.l.: s.n.], 2018. Disponível em:

<<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/fast-transit-why-urban-e-buses-lead-electric-vehicle-growth>>.

Acesso em: 15 de abril de 2023.

HISING, Ederson. **Cidade de SP financia R\$ 2,5 bilhões para comprar ônibus elétricos.** [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em:

<<https://www.itatiaia.com.br/editorias/cidades/2023/06/06/cidade-de-sp-financia-r-25-bilhoes-para-comprar-onibus-eletricos>>. Acesso em: 8 de junho de 2023.

IBGE. **Censo Demográfico.** [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/22827-censo-demografico-2022.html>>. Acesso em: 2 de abril de 2023.

ICCT, International Council Clean Transportation. **China Announced 2019 Subsidies for New Energy Vehicles.** [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <[https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_China\\_Nev\\_Subsidy\\_20190618.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_China_Nev_Subsidy_20190618.pdf)>.

Acesso em: 12 de abril de 2023.

IDEC, Instituto Brasileiro Defesa Consumidor -. **Por que tão poucos ônibus elétricos no Brasil?** [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://idec.org.br/noticia/se-eletrificar-e-bom-por-que-tao-poucos-onibus-eletricos-no-brasil>>.

Acesso em: 10 de junho de 2023.

IEA, International Energy Agency -. **Global EV Outlook 2023.** [S.l.: s.n.], 2023.

Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/dacf14d2-eabc-498a-8263-9f97fd5dc327/GEV02023.pdf>>. Acesso em: 10 de junho de 2023.

INDIA, Government of. **Cabinet approves Scheme for FAME India Phase II.**

[S.l.: s.n.], 2019. Disponível em:

<<https://pib.gov.in/newsite/PrintRelease.aspx?relid=189081>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

INDIA, Government of. **Publication of notification in Gazette of India (Extraordinary) regarding Phase-II of FAME India Scheme.** [S.l.: s.n.], 2019.

Disponível em:

<<https://heavyindustries.gov.in/writereaddata/fame/famedepository/2-notification.pdf>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

KEEGAN, Matthew. **Shenzhen's silent revolution: world's first fully electric bus fleet quietens Chinese megacity.** [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em:

<<https://www.theguardian.com/cities/2018/dec/12/silence-shenzhen-world-first-electric-bus-fleet>>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

KNOTE, Thoralf. **Fast-Charging Electric Bus**. [S.l.: s.n.], 2015. Disponível em: <<https://www.ivi.fraunhofer.de/en/research-fields/electromobility/recharging-technologies/fast-charging-electric-bus.html>>. Acesso em: 11 de abril de 2023.

KRISHER, Tom. **Toyota sells 1 millionth Prius hybrid in US**. [S.l.: s.n.], 2011. Disponível em: <<https://www.sandiegouniontribune.com/sdut-toyota-sells-1-millionth-prius-hybrid-in-us-2011apr06-story.html>>. Acesso em: 2 de abril de 2023.

LACERDA, Daniel Pacheco *et al.* Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão Produção**, v. 20, p. 741–761, 2013.

LAVRADOR, Alfredo. **Afinal, quanto custa trocar a bateria de um Leaf?** [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://observador.pt/2019/10/30/afinal-quanto-custa-trocar-a-bateria-de-um-leaf/>>. Acesso em: 19 de abril de 2023.

LEAL, Luiza Masseno de Pinho Santiago *et al.* Políticas públicas de incentivo para a eletrificação de frotas de ônibus urbano: um estudo de caso da América Latina. **Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação**, 2023.

LEÃO, Lourdes Meireles. **Metodologia do Estudo e Pesquisa**. Petrópolis: [s.n.], 2016.

LI, Shanjun; ZHU, Xianglei *et al.* The Role of Government in the Market for Electric Vehicles: Evidence from China. **Journal of Policy Analysis and Management**, 2021.

LI, Xiangyi; CASTELLANOS, Sebastian; MAASSEN, Anne. Emerging trends and innovations for electric bus adoption—a comparative case study of contracting and financing of 22 cities in the Americas, Asia-Pacific, and Europe. **Research in Transportation Economics**, v. 69, p. 470–481, 2018.

LIMA, Gregório Costa Luz de Souza; BRIZON, Luciana Costa. Perspectivas e desafios da eletromobilidade no transporte público. **Boletim Energético - FGV Energia**, 2019.

LIN, Yuping *et al.* Charging Network Planning for Electric Bus Cities: A Case Study of Shenzhen, China. **Sustainability**, p. 1–28, 2019.

LISKAUSKAS, Suzana. **Carros elétricos: bateria ainda representa o maior custo, mas preços estão em queda**. [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <[www.infomoney.com.br/minhas-financas/carros-eletricos-bateria-ainda-representa-o-maior-custo-mas-precos-estao-em-queda/lis](http://www.infomoney.com.br/minhas-financas/carros-eletricos-bateria-ainda-representa-o-maior-custo-mas-precos-estao-em-queda/lis)>. Acesso em: 10 de junho de 2023.

LU, Lu; XUE, Lulu; ZHOU, Weimin. **How Did Shenzhen, China Build World's Largest Electric Bus Fleet?** [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em:

<<https://www.wri.org/insights/how-did-shenzhen-china-build-worlds-largest-electric-bus-fleet>>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

MAIER, Frank H. Innovation Diffusion Models for Decision Support in Strategic Management. **System Dynamics '95**, v. 2, 1995.

MALKOV, Artem *et al.* **Electric buses**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <[https://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/adl\\_electric\\_buses.pdf](https://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/adl_electric_buses.pdf)>. Acesso em: 07 de maio de 2023.

MARKET; MARKETS. **Electric Bus Market**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/electric-bus-market-38730372.html>>. Acesso em: 1 de junho de 2023.

MARQUES, Jessica. **BYD informa que ônibus elétrico rodoviário Marcopolo terá carregamento em até quatro horas**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em:

<<https://diariodotransporte.com.br/2019/11/07/byd-informa-que-onibus-eletrico-rodoviario-marcopolo-tera-carregamento-em-ate-quatro-horas/>>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

MARQUES, Jessica. **Viação Torres, em Belo Horizonte, vai testar ônibus elétrico**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em:

<<https://diariodotransporte.com.br/2020/03/12/viacao-torres-em-belo-horizonte-vai-testar-onibus-eletrico/>>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

MATOS, Daniel Anijar de. Tomada de decisão em redes logísticas de reciclagem de materiais através da Dinâmica de Sistemas. **Escola de Engenharia de São Carlos**, 2012.

MODERNO, Transporte. **BYD constrói usina solar no interior paulista**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://transportemodernoonline.com.br/2019/04/30/byd-constrói-usina-solar-no-interior-paulista/>>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

MORECROFT, John D. W. **Strategic Modelling and Business Dynamics**. 2. ed. [S.l.: s.n.], 2015.

MORRIS, Michael; SCHINDEHUTTE, Minet; ALLEN, Jeffrey. The entrepreneur's business model: toward a unified perspective. **Journal of Business Research**, v. 58, n. 6, p. 726–735, 2005.

MUNDIAIS, Dados. **Evolução das taxas de inflação no Brasil**. [S.l.: s.n.], 2022.

Disponível em: <<https://www.dadosmundiais.com/america/brasil/inflacao.php#:~:text=Evoluç~ao%20das%20taxas%20de%20inflaç~ao,287%2C1%25%20ao%20ano.>>>. Acesso em: 1 de junho de 2023.

NEOCHARGE. **Número de Carros Elétricos no Brasil**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://www.neocharge.com.br/carros-eletricos-brasil>>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

OLIVEIRA, Bruno de. **Ônibus elétrico da Volvo é meio brasileiro e chega em 2023**. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <<https://automotivebusiness.com.br/pt/posts/montadoras/onibus-eletrico-da-volvo-e-meio-brasileiro-e-chega-em-2023/>>. Acesso em: 8 de junho de 2023.

OLIVEIRA, Gabriel de. **Por que a margem de lucro das montadoras é tão alta no Brasil?** [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <<https://www.agazeta.com.br/colunas/gabriel-de-oliveira/por-que-a-margem-de-lucro-das-montadoras-e-tao-alta-no-brasil-0222#:~:text=Enquanto%20isso%2C%20no%20Brasil%2C%20a,se%20compararmos%20os%20dois%20países.>>. Acesso em: 1 de junho de 2023.

ORBEA, Jone. **Como Santiago se tornou líder global em ônibus elétricos**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/como-santiago-se-tornou-lider-global-em-onibus-eletricos>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

OSTERWALDER, Alexander; PIGNEUR, Yves. **Business Model Generation**. [S.l.: s.n.], 2010.

PABST, Gabriel *et al.* **Mapeamento e avaliação das iniciativas de eletromobilidade aplicada aos ônibus brasileiros**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <[https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2023/02/Pabst\\_2023\\_02\\_09.pdf](https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2023/02/Pabst_2023_02_09.pdf)>. Acesso em: 25 de maio de 2023.

PÉREZ-PRADA, Fiamma *et al.* Clean Bus Technologies and the Cost-Effectiveness of Emissions Reductions in Latin America. **Transportation Research Record**, 2019.

PERINI, Noéle Bissoli. Procedimento para Avaliação da Qualidade do Serviço de Transporte Fretado de Funcionários por Ônibus sob a Ótica do Usuário, Empresa Contratante e Prestadora do Serviço. **Universidade Federal do Espírito Santo**, 2015.

PICHETA, Rob. **Níveis atuais de CO2 na atmosfera colocam o mundo muito longe das metas climáticas**. [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/niveis-atuais-de-co2-na-atmosfera-colocam-o-mundo-muito-longo-de-metas-climaticas/>>. Acesso em: 09 de maio de 2023.

PIDD, Michael. **Modelagem Empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Porto Alegre: [s.n.], 1998.

PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. **Movilidad Eléctrica: Avances en América Latina y el Caribe**. [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <<https://moveLATAM.org/4ta-edicion/>>. Acesso em: 2 de junho de 2023.

POON, Linda. **How China Took Charge of the Electric Bus Revolution**. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-05-08/in-china-shenzhen-electrified-its-entire-bus-fleet>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

PROTERRA. **PROTERRA CATALYST® E2 MAX SETS WORLD RECORD AND DRIVES 1,101.2 MILES ON A SINGLE CHARGE**. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: <<https://www.proterra.com/press-release/proterra-catalyst-e2-max-sets-world-record-and-drives-1101-2-miles-on-a-single-charge/>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

PROTERRA. **The Proterra ZX5 Electric Transit Bus**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://www.proterra.com/products/transit-buses/>>. Acesso em: 14 de abril de 2023.

PRTM. **The China New Energy Vehicles Program: Challenges and Opportunities**. [S.l.: s.n.], 2011. Disponível em: <<https://documents1.worldbank.org/curated/en/333531468216944327/pdf/612590WP0PRTM01BOX358342B01PUBLIC11.pdf>>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

QIN, Nan *et al.* Numerical analysis of electric bus fast charging strategies for demand charge reduction. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 94, p. 386–396, 2016.

QUADRA, Dante. **Cascavel estuda implantar ônibus elétrico no transporte coletivo**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <<https://www.radioculturafoz.com.br/2020/03/11/cascavel-estuda-implantar-onibus-eletrico-no-transporte-coletivo/>>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

RABELO, Davi. **Regulamentação da recarga de Veículos Elétricos**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://ubrABIO.com.br/wp-content/uploads/2019/02/2019-02-25-Davi-Rabelo-ANEEL.pdf>>. Acesso em: 17 de abril de 2023.

REIS, Alessandro. **Saiba agora: quanto custam baterias de carros elétricos? E quem recicla?** [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2018/09/12/saiba-agora-quanto-custam-baterias-de-carros-eletricos-e-quem-recicla.htm>>. Acesso em: 16 de abril de 2023.

REPISKY, Julia. **Are electric buses the future of transportation?** [S.l.: s.n.]. Disponível em:

<<https://gogocharters.com/blog/electric-buses-future-transportation/>>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

RIBEIRO, Rafael Rocha; SCARPEL, Rodrigo Arnaldo. Previsão de Vendas e do Potencial de Mercado de Produtos Novos: Um Caso na Indústria Automobilística. **Simpósio de Engenharia de Produção**, SIMPEP, v. XIV, 2007.

ROCHA, Guilherme Lucio da. **O que é IPVA?** [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <<https://valor.globo.com/brasil/noticia/2022/12/27/o-que-e-ipva-entenda.ghhtml>>. Acesso em: 17 de abril de 2023.

ROGERS, Everett M. **Diffusion of Inovations**. 3. ed. Nova Iorque: [s.n.], 1962.

ROSSI, Amanda. **População do Brasil tem menor aumento da história, aponta prévia do Censo**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2023/01/04/populacao-do-brasil-tem-menor-aumento-da-historia-aponta-previa-do-censo.htm>>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

SALTELLI, Andrea *et al.* **Global Sensitivity Analysis: The Primer**. [S.l.: s.n.], 2007.

SÃO PAULO, Câmara Municipal de. **LEI Nº 16.802, DE 17 DE JANEIRO DE 2018**. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<http://documentacao.camara.sp.gov.br/iah/fulltext/leis/L16802.pdf>>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

SÃO PAULO, Prefeitura Municipal de. **Isenção de Rodízio**. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <[https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/mobilidade/autorizacoes\\_especiais/isencao\\_de\\_rodizio/index.php?p=3921](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/mobilidade/autorizacoes_especiais/isencao_de_rodizio/index.php?p=3921)>. Acesso em: 17 de abril de 2023.

SARAGIOTTO, Daniela. **São José dos Campos inova em mobilidade urbana**. [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <<https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-para-que/sao-jose-dos-campos-inova-em-mobilidade-urbana/>>. Acesso em: 1 de abril de 2023.

SCLAR, Ryan *et al.* **Barriers to adopting Electric Buses**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://wrirosscities.org/sites/default/files/barriers-to-adopting-electric-buses.pdf>>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

SCLAR, Ryan *et al.* **How to Enable Electric Bus Adoption in Cities Worldwide**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www.wri.org/research/how-enable-electric-bus-adoption-cities-worldwide>>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

SEBRAE. **O Quadro de Modelo de Negócios**. [S.l.: s.n.], 2013. Disponível em: <[https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/ES/Anexos/ES\\_QUADROMODELODENEGOCIOS\\_16\\_PDF.pdf](https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/ES/Anexos/ES_QUADROMODELODENEGOCIOS_16_PDF.pdf)>. Acesso em: 8 de junho de 2023.

SEOUL, Metropolitan Government of. **Electric Buses Emerge as New Attraction at Namsan**. [S.l.: s.n.], 2011. Disponível em: <<http://english.seoul.go.kr/electric-buses-emerge-as-new-attraction-at-namsan/>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

SILVA, Thiago. **Como funciona o sistema trólebus**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <<https://plamurblog.wordpress.com/2020/04/22/como-funciona-o-sistema-trolebus/>>. Acesso em: 2 de junho de 2023.

SINGH, Varun. **Govt supported 2.78 lakh electric, hybrid vehicles under Phase-I of FAME India scheme**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www.indiatoday.in/auto/story/govt-supported-278000-electric-hybrid-vehicles-under-phase-i-of-fame-india-scheme-1560444-2019-07-02>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

SOMBINI, Eduardo. **Popularização de ônibus elétricos esbarra no alto custo de baterias**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/seminariosfolha/2019/10/popularizacao-de-onibus-eletricos-esbarra-no-alto-custo-de-baterias.shtml>>. Acesso em: 14 de abril de 2023.

SOUZA MIRANDA, Edir Goulart de. Uma aplicação prática em Excel na análise de projetos de viabilidade econômica. **Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC**, 2010.

STERMAN, John. **Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World**. [S.l.: s.n.], 2000.

STEVENS, Pippa. **The battery decade: How energy storage could revolutionize industries in the next 10 years**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www.cnn.com/2019/12/30/battery-developments-in-the-last-decade-created-a-seismic-shift-that-will-play-out-in-the-next-10-years.html>>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

SYSTEM, Zero Emission Urban Bus. **An overview of electric buses in Europe**. [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em: <<https://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-internet.pdf>>. Acesso em: 11 de abril de 2023.

SYSTEMS, Ventana. **Vensim**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://vensim.com>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

TABAK, Bernardo. **Chinese electric vehicle giant BYD expands in Brazil**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <<https://dialogochino.net/en/climate-energy/34267-chinese-electric-vehicle-giant-byd-expands-in-brazil/>>. Acesso em: 11 de abril de 2023.

TANNY, S. M.; DERZKO, N. A. Innovators and Imitators in Innovation Diffusion Modelling. **Journal of Forecasting**, v. 7, p. 225–234, 1988.

TECNOLOGÍSTICA. **A energia que vem da China**. [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em: <<https://www.tecnologista.com.br/entrevistas/entrevistas/10118/a-energia-que-vem-da-china/>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

TEIXEIRA, Ana Carolina Rodrigues *et al.* Public policies to implement alternative fuels in the road transport sector. **Transport Policy**, v. 99, p. 345–361, 2020.

TRINDADE, Julio Cesar. **Ônibus elétrico Mercedes-Benz estreia no Brasil no 2º semestre**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://insideevs.uol.com.br/news/583542/onibus-eletrico-mercedes-benz-brasil/>>. Acesso em: 5 de junho de 2023.

TRINDADE, Julio Cesar. **Prefeitura de Curitiba anuncia a compra dos primeiros 70 ônibus elétricos**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://insideevs.uol.com.br/news/667538/prefeitura-curitiba-compra-onibus-eletricos/>>. Acesso em: 5 de junho de 2023.

TUPINAMBÁ. **IPVA para Carros Elétricos e Híbridos – Precisa pagar?** [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://tupinambaenergia.com.br/ipva-carro-eletrico/>>. Acesso em: 17 de abril de 2023.

WATSON, Joey; CORREY, Stan. **The history of the electric car is longer than you might think**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www.abc.net.au/news/2019-05-02/the-history-birth-death-resurrection-of-the-electric-car/11053928>>. Acesso em: 4 de abril de 2023.

WRIGHT, Malcolm; CHARIETT, Don. New Product Diffusion Models in Marketing: An Assessment of Two Approaches. **Management science**, v. 6, p. 32–41, 1995.

WRIGHT, T.P. Factors Affecting the Cost of Airplanes. **Journal of the Aeronautical Sciences**, v. 3, 1936.

WU, Yang Andrew; GUO, Songdan Nancy. Penetration of Electric Vehicles into the Greater Bay Area. **Sustainable Energy and Green Finance for a Low-carbon Economy**, p. 119–120, 2020.

YUTONG. **All models**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://en.yutong.com/products/>>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

YUTONG. **E12ZK6128BEVG**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em:  
<[YUTONG. \*\*Yutong in Africa\*\*. \[S.l.: s.n.\], 2023. Disponível em:  
<<https://en.yutong.com/about/our-market/yutong-in-africa/>>. Acesso em: 20 de abril de 2023.](https://en.yutong.com/products/E12\protect\begin\group\immediate\write\@unused\def\MessageBreak`\let\protect\edefYoumayprovideadefinitionwith\MessageBreak\DeclareUnicodeCharacter\errhelp\let\def\MessageBreak`(inputenc)\def\errmessagePackageinputencError:UnicodecharacterijL(U+FF08)\MessageBreaknotsetupforusewithLaTeX.``Seetheinputencpackagedocumentationforexplanation.`TypeH<return>forimmediatehelp\endgroupZK6128BEVG\protect\begin\group\immediate\write\@unused\def\MessageBreak`\let\protect\edefYoumayprovideadefinitionwith\MessageBreak\DeclareUnicodeCharacter\errhelp\let\def\MessageBreak`(inputenc)\def\errmessagePackageinputencError:UnicodecharacterijL(U+FF09)\MessageBreaknotsetupforusewithLaTeX.``Seetheinputencpackagedocumentationforexplanation.`TypeH<return>forimmediatehelp\endgroup-europe.shtml`>. Acesso em: 23 de abril de 2023.</p></div><div data-bbox=)

YUTONG. **Yutong in Europe**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em:  
<<https://en.yutong.com/about/our-market/yutong-in-europe/>>. Acesso em: 20 de abril de 2023.

ZART, Nicolas. **100% Electric Bus Fleet For Shenzhen (Population 11.9 Million) By End Of 2017**. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em:  
<<https://cleantechnica.com/2017/11/12/100-electric-bus-fleet-shenzhen-pop-11-9-million-end-2017/>>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

ZHANG, Qihang. Analysis of "Shenzhen Model"for New Energy Vehicle Promotion in Public Transportation. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, p. 1–6, 2019.

## ANEXO A – FLUXOS DE CAIXA DO MODELO DE VENDA

### Cenário base:

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
0	-R\$ 100.000,00	-R\$ 100.000,00	-R\$ 100.000,00
1	-R\$ 92.745,00	-R\$ 87.745,00	-R\$ 82.745,00
2	-R\$ 85.165,00	-R\$ 75.915,00	-R\$ 67.165,00
3	R\$ 1.624.190,00	R\$ 1.926.610,00	R\$ 3.156.630,00
4	R\$ 2.448.800,00	R\$ 3.675.600,00	R\$ 5.519.270,00
5	-R\$ 49.247,50	R\$ 2.612.750,00	R\$ 93.153,70
6	-R\$ 3.355.950,00	-R\$ 1.181.170,00	-R\$ 5.585.390,00
7	-R\$ 3.946.370,00	-R\$ 6.661.180,00	-R\$ 7.441.000,00
8	-R\$ 2.941.560,00	-R\$ 8.985.710,00	-R\$ 5.987.250,00
9	R\$ 503.523,00	-R\$ 6.127.180,00	-R\$ 574.272,00
10	R\$ 4.243.110,00	R\$ 1.246.090,00	R\$ 3.016.660,00
11	R\$ 6.218.400,00	R\$ 6.370.830,00	R\$ 3.841.500,00
12	R\$ 3.896.720,00	R\$ 8.647.150,00	R\$ 4.678.160,00
13	R\$ 1.274.430,00	R\$ 10.417.400,00	R\$ 4.990.100,00
14	R\$ 1.648.670,00	R\$ 5.297.660,00	R\$ 1.528.130,00
15	R\$ 273.943,00	-R\$ 2.876.360,00	-R\$ 2.365.910,00
16	-R\$ 1.809.730,00	-R\$ 12.464.400,00	-R\$ 5.730.890,00
17	-R\$ 8.292.490,00	-R\$ 17.718.200,00	-R\$ 6.495.820,00
18	-R\$ 15.985.400,00	-R\$ 15.381.200,00	-R\$ 4.095.730,00
19	-R\$ 21.807.200,00	-R\$ 2.471.880,00	R\$ 1.118.380,00
20	-R\$ 18.732.600,00	R\$ 8.276.320,00	R\$ 3.383.620,00
21	R\$ 1.971.680,00	R\$ 7.942.130,00	R\$ 3.354.890,00
22	R\$ 23.700.100,00	R\$ 7.763.990,00	R\$ 3.424.580,00
23	R\$ 22.691.600,00	R\$ 7.687.770,00	R\$ 3.599.260,00
24	R\$ 22.117.000,00	R\$ 7.725.100,00	R\$ 3.886.190,00
25	R\$ 21.932.600,00	R\$ 7.902.240,00	R\$ 4.084.820,00
26	R\$ 10.824.900,00	R\$ 4.884.610,00	R\$ 3.794.380,00
27	-R\$ 4.127.980,00	R\$ 2.204.500,00	R\$ 3.886.940,00
28	-R\$ 17.726.800,00	R\$ 256.515,00	R\$ 4.429.540,00
29	-R\$ 20.096.500,00	R\$ 1.337.050,00	R\$ 5.725.890,00
30	-R\$ 8.165.000,00	R\$ 5.096.040,00	R\$ 7.550.300,00

Fonte: Elaborado pelo autor

**Cenário com margem de lucro de 13%:**

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
0	-R\$ 100.000,00	-R\$ 100.000,00	-R\$ 100.000,00
1	-R\$ 92.745,00	-R\$ 87.745,00	-R\$ 82.745,00
2	-R\$ 85.165,00	-R\$ 75.915,00	-R\$ 67.165,00
3	R\$ 1.670.580,00	R\$ 1.980.910,00	R\$ 3.244.160,00
4	R\$ 2.515.230,00	R\$ 3.775.490,00	R\$ 5.669.450,00
5	R\$ 15.978,70	R\$ 2.760.260,00	R\$ 210.498,00
6	-R\$ 3.288.880,00	-R\$ 1.029.850,00	-R\$ 5.493.370,00
7	-R\$ 3.873.190,00	-R\$ 6.532.900,00	-R\$ 7.367.000,00
8	-R\$ 2.850.110,00	-R\$ 8.877.230,00	-R\$ 5.926.740,00
9	R\$ 625.703,00	-R\$ 6.026.070,00	-R\$ 510.030,00
10	R\$ 4.409.920,00	R\$ 1.370.550,00	R\$ 3.098.500,00
11	R\$ 6.412.030,00	R\$ 6.544.440,00	R\$ 3.945.640,00
12	R\$ 4.096.740,00	R\$ 8.882.770,00	R\$ 4.804.810,00
13	R\$ 1.553.900,00	R\$ 10.701.100,00	R\$ 5.135.160,00
14	R\$ 2.074.000,00	R\$ 5.639.130,00	R\$ 1.682.950,00
15	R\$ 863.616,00	-R\$ 2.520.350,00	-R\$ 2.215.320,00
16	-R\$ 1.020.190,00	-R\$ 12.103.000,00	-R\$ 5.591.850,00
17	-R\$ 7.414.490,00	-R\$ 17.415.200,00	-R\$ 6.385.630,00
18	-R\$ 15.048.000,00	-R\$ 15.124.800,00	-R\$ 4.006.840,00
19	-R\$ 20.987.400,00	-R\$ 2.248.450,00	R\$ 1.192.570,00
20	-R\$ 18.000.300,00	R\$ 8.475.640,00	R\$ 3.447.380,00
21	R\$ 2.636.610,00	R\$ 8.123.780,00	R\$ 3.409.830,00
22	R\$ 24.312.900,00	R\$ 7.931.030,00	R\$ 3.472.020,00
23	R\$ 23.264.100,00	R\$ 7.841.460,00	R\$ 3.640.320,00
24	R\$ 22.659.000,00	R\$ 7.866.530,00	R\$ 3.921.790,00
25	R\$ 22.452.200,00	R\$ 8.032.680,00	R\$ 4.115.940,00
26	R\$ 11.329.300,00	R\$ 5.006.180,00	R\$ 3.821.970,00
27	-R\$ 3.636.800,00	R\$ 2.319.720,00	R\$ 3.911.790,00
28	-R\$ 17.247.900,00	R\$ 367.738,00	R\$ 4.452.260,00
29	-R\$ 19.623.100,00	R\$ 1.445.510,00	R\$ 5.746.900,00
30	-R\$ 7.686.280,00	R\$ 5.203.040,00	R\$ 7.569.810,00

Fonte: Elaborado pelo autor

## ANEXO B – FLUXOS DE CAIXA DO MODELO DE ALUGUEL

**Cenário base, 1/2 número de adotantes e reajuste de 8 anos de inflação + 12% de lucro**

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
0	-R\$ 100.000,00	-R\$ 100.000,00	-R\$ 100.000,00
1	-R\$ 92.745,00	-R\$ 87.745,00	-R\$ 82.745,00
2	-R\$ 85.165,00	-R\$ 75.915,00	-R\$ 67.165,00
3	R\$ 2.028.100,00	R\$ 2.833.110,00	R\$ 5.491.640,00
4	R\$ 3.342.710,00	R\$ 6.219.530,00	R\$ 11.741.300,00
5	R\$ 2.376.260,00	R\$ 8.707.040,00	R\$ 8.453.620,00
6	R\$ 538.688,00	R\$ 8.238.280,00	R\$ 4.824.070,00
7	R\$ 326.584,00	R\$ 4.507.680,00	R\$ 3.450.330,00
8	R\$ 1.095.590,00	R\$ 2.801.300,00	R\$ 4.837.420,00
9	R\$ 5.030.880,00	R\$ 3.968.980,00	R\$ 7.828.700,00
10	R\$ 10.224.800,00	R\$ 7.926.890,00	R\$ 10.998.000,00
11	R\$ 14.319.900,00	R\$ 13.637.200,00	R\$ 13.970.800,00
12	R\$ 13.903.700,00	R\$ 19.215.300,00	R\$ 20.614.500,00
13	R\$ 11.874.900,00	R\$ 28.804.000,00	R\$ 30.411.900,00
14	R\$ 15.543.600,00	R\$ 42.560.100,00	R\$ 44.848.600,00
15	R\$ 27.455.100,00	R\$ 53.775.000,00	R\$ 56.913.800,00
16	R\$ 44.385.500,00	R\$ 69.384.100,00	R\$ 74.975.400,00
17	R\$ 59.766.800,00	R\$ 76.646.500,00	R\$ 86.300.800,00
18	R\$ 75.802.100,00	R\$ 83.854.300,00	R\$ 96.290.900,00
19	R\$ 83.460.100,00	R\$ 88.168.300,00	R\$ 98.543.300,00
20	R\$ 85.727.500,00	R\$ 88.254.000,00	R\$ 97.280.800,00
21	R\$ 75.184.300,00	R\$ 94.568.500,00	R\$ 98.250.700,00
22	R\$ 74.292.500,00	R\$ 98.965.900,00	R\$ 98.490.700,00
23	R\$ 88.386.800,00	R\$ 99.415.700,00	R\$ 98.736.000,00
24	R\$ 106.468.000,00	R\$ 100.610.000,00	R\$ 99.828.700,00
25	R\$ 106.819.000,00	R\$ 102.437.000,00	R\$ 101.631.000,00
26	R\$ 108.876.000,00	R\$ 103.401.000,00	R\$ 103.616.000,00
27	R\$ 111.789.000,00	R\$ 103.682.000,00	R\$ 106.602.000,00
28	R\$ 103.055.000,00	R\$ 105.925.000,00	R\$ 111.325.000,00
29	R\$ 93.891.000,00	R\$ 111.617.000,00	R\$ 118.403.000,00
30	R\$ 87.203.300,00	R\$ 122.152.000,00	R\$ 128.307.000,00

**Cenário 2, 1/2 número de adotantes e apenas reajuste de 8 anos de inflação**

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
0	-R\$ 100.000,00	-R\$ 100.000,00	-R\$ 100.000,00
1	-R\$ 92.745,00	-R\$ 87.745,00	-R\$ 82.745,00
2	-R\$ 85.165,00	-R\$ 75.915,00	-R\$ 67.165,00
3	R\$ 1.802.540,00	R\$ 2.522.680,00	R\$ 4.897.590,00
4	R\$ 2.985.950,00	R\$ 5.554.540,00	R\$ 10.484.600,00
5	R\$ 1.991.680,00	R\$ 7.574.940,00	R\$ 7.247.720,00
6	R\$ 107.837,00	R\$ 6.905.640,00	R\$ 3.667.810,00
7	-R\$ 181.289,00	R\$ 3.213.600,00	R\$ 2.319.660,00
8	R\$ 416.540,00	R\$ 1.552.070,00	R\$ 3.719.160,00
9	R\$ 4.065.810,00	R\$ 2.755.920,00	R\$ 6.716.600,00
10	R\$ 8.826.760,00	R\$ 6.723.570,00	R\$ 9.821.730,00
11	R\$ 12.595.500,00	R\$ 12.177.700,00	R\$ 12.476.500,00
12	R\$ 12.141.100,00	R\$ 17.158.600,00	R\$ 18.409.200,00
13	R\$ 9.992.440,00	R\$ 25.720.700,00	R\$ 27.158.000,00
14	R\$ 12.966.900,00	R\$ 38.004.000,00	R\$ 40.049.600,00
15	R\$ 23.411.800,00	R\$ 47.669.100,00	R\$ 50.631.700,00
16	R\$ 38.284.200,00	R\$ 61.014.100,00	R\$ 66.526.500,00
17	R\$ 51.587.800,00	R\$ 66.889.700,00	R\$ 76.441.500,00
18	R\$ 65.186.600,00	R\$ 72.878.600,00	R\$ 85.275.500,00
19	R\$ 71.193.900,00	R\$ 76.809.100,00	R\$ 87.396.300,00
20	R\$ 72.362.900,00	R\$ 77.432.300,00	R\$ 86.510.500,00
21	R\$ 62.718.300,00	R\$ 84.002.500,00	R\$ 87.711.100,00
22	R\$ 62.452.700,00	R\$ 88.481.800,00	R\$ 88.063.000,00
23	R\$ 76.948.000,00	R\$ 88.921.100,00	R\$ 88.319.200,00
24	R\$ 95.231.400,00	R\$ 90.031.700,00	R\$ 89.339.000,00
25	R\$ 95.602.000,00	R\$ 91.715.500,00	R\$ 91.001.200,00
26	R\$ 97.505.500,00	R\$ 92.485.500,00	R\$ 92.779.000,00
27	R\$ 100.184.000,00	R\$ 92.480.500,00	R\$ 95.456.200,00
28	R\$ 91.182.800,00	R\$ 94.299.700,00	R\$ 99.714.800,00
29	R\$ 81.712.100,00	R\$ 99.376.800,00	R\$ 106.141.000,00
30	R\$ 74.578.200,00	R\$ 109.062.000,00	R\$ 115.151.000,00

Fonte: Elaborado pelo autor

**Cenário 3, 1/2 número de adotantes + 15% de lucro**

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
0	-R\$ 100.000,00	-R\$ 100.000,00	-R\$ 100.000,00
1	-R\$ 92.745,00	-R\$ 87.745,00	-R\$ 82.745,00
2	-R\$ 85.165,00	-R\$ 75.915,00	-R\$ 67.165,00
3	R\$ 1.250.870,00	R\$ 1.763.420,00	R\$ 3.444.700,00
4	R\$ 2.113.400,00	R\$ 3.928.130,00	R\$ 7.411.300,00
5	R\$ 1.051.090,00	R\$ 4.806.100,00	R\$ 4.298.380,00
6	-R\$ 945.918,00	R\$ 3.646.350,00	R\$ 839.901,00
7	-R\$ 1.423.420,00	R\$ 48.594,90	-R\$ 445.655,00
8	-R\$ 1.244.250,00	-R\$ 1.503.240,00	R\$ 984.180,00
9	R\$ 1.705.500,00	-R\$ 210.921,00	R\$ 3.996.680,00
10	R\$ 5.407.550,00	R\$ 3.780.550,00	R\$ 6.944.790,00
11	R\$ 8.377.860,00	R\$ 8.608.070,00	R\$ 8.821.750,00
12	R\$ 7.830.430,00	R\$ 12.128.600,00	R\$ 13.015.600,00
13	R\$ 5.388.310,00	R\$ 18.179.900,00	R\$ 19.199.800,00
14	R\$ 6.665.020,00	R\$ 26.861.000,00	R\$ 28.312.500,00
15	R\$ 13.523.000,00	R\$ 32.735.400,00	R\$ 35.267.200,00
16	R\$ 23.361.900,00	R\$ 40.543.300,00	R\$ 45.862.600,00
17	R\$ 31.584.000,00	R\$ 43.027.000,00	R\$ 52.328.200,00
18	R\$ 39.223.800,00	R\$ 46.034.800,00	R\$ 58.334.800,00
19	R\$ 41.193.800,00	R\$ 49.027.300,00	R\$ 60.133.400,00
20	R\$ 39.676.400,00	R\$ 50.965.200,00	R\$ 60.169.100,00
21	R\$ 32.229.300,00	R\$ 58.160.800,00	R\$ 61.933.900,00
22	R\$ 33.495.200,00	R\$ 62.840.300,00	R\$ 62.559.400,00
23	R\$ 48.971.600,00	R\$ 63.253.900,00	R\$ 62.842.200,00
24	R\$ 67.748.600,00	R\$ 64.160.300,00	R\$ 63.683.900,00
25	R\$ 68.168.200,00	R\$ 65.494.300,00	R\$ 65.002.400,00
26	R\$ 69.696.800,00	R\$ 65.788.800,00	R\$ 66.273.500,00
27	R\$ 71.802.400,00	R\$ 65.084.100,00	R\$ 68.195.700,00
28	R\$ 62.146.100,00	R\$ 65.867.000,00	R\$ 71.318.000,00
29	R\$ 51.925.300,00	R\$ 69.441.000,00	R\$ 76.150.600,00
30	R\$ 43.700.300,00	R\$ 77.048.100,00	R\$ 82.974.400,00

Fonte: Elaborado pelo autor

**Cenário 4, 1/4 número de adotantes + 15% de lucro**

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
0	-R\$ 100.000,00	-R\$ 100.000,00	-R\$ 100.000,00
1	-R\$ 92.745,00	-R\$ 87.745,00	-R\$ 82.745,00
2	-R\$ 85.165,00	-R\$ 75.915,00	-R\$ 67.165,00
3	R\$ 890.946,00	R\$ 1.268.060,00	R\$ 2.496.780,00
4	R\$ 1.624.540,00	R\$ 3.012.520,00	R\$ 5.681.410,00
5	R\$ 596.187,00	R\$ 4.370.570,00	R\$ 3.573.080,00
6	-R\$ 225.960,00	R\$ 3.059.180,00	R\$ 855.866,00
7	-R\$ 787.109,00	R\$ 340.682,00	R\$ 78.694,90
8	-R\$ 778.170,00	-R\$ 1.184.760,00	R\$ 980.235,00
9	R\$ 1.911.560,00	-R\$ 503.019,00	R\$ 3.598.430,00
10	R\$ 4.299.730,00	R\$ 2.978.560,00	R\$ 5.897.830,00
11	R\$ 7.072.970,00	R\$ 6.377.310,00	R\$ 6.051.790,00
12	R\$ 5.723.180,00	R\$ 7.640.870,00	R\$ 7.626.670,00
13	R\$ 3.392.340,00	R\$ 10.371.600,00	R\$ 10.688.100,00
14	R\$ 2.758.710,00	R\$ 15.524.500,00	R\$ 15.883.100,00
15	R\$ 7.092.920,00	R\$ 22.425.800,00	R\$ 22.867.300,00
16	R\$ 15.483.600,00	R\$ 28.057.800,00	R\$ 30.166.500,00
17	R\$ 26.076.400,00	R\$ 34.918.700,00	R\$ 39.839.700,00
18	R\$ 34.158.900,00	R\$ 40.977.700,00	R\$ 48.538.200,00
19	R\$ 40.340.400,00	R\$ 46.578.800,00	R\$ 56.259.600,00
20	R\$ 39.568.300,00	R\$ 54.206.900,00	R\$ 64.220.600,00
21	R\$ 36.519.500,00	R\$ 54.528.200,00	R\$ 62.471.300,00
22	R\$ 28.150.200,00	R\$ 57.603.700,00	R\$ 62.039.300,00
23	R\$ 29.710.100,00	R\$ 62.589.000,00	R\$ 62.436.400,00
24	R\$ 46.710.500,00	R\$ 62.555.700,00	R\$ 62.321.200,00
25	R\$ 65.866.400,00	R\$ 63.162.800,00	R\$ 62.890.500,00
26	R\$ 66.759.900,00	R\$ 64.332.500,00	R\$ 63.809.200,00
27	R\$ 68.349.400,00	R\$ 63.038.400,00	R\$ 64.831.300,00
28	R\$ 70.387.700,00	R\$ 62.825.400,00	R\$ 66.767.200,00
29	R\$ 67.383.100,00	R\$ 63.917.200,00	R\$ 69.893.700,00
30	R\$ 58.018.900,00	R\$ 68.677.700,00	R\$ 74.633.900,00

Fonte: Elaborado pelo autor

## ANEXO C – EQUAÇÕES DO MODELO DE VENDA

taxa= 0.05 |

SALDO= RECEITA TOTAL-CUSTO TOTAL R\$/Year |

CUSTO TOTAL= custo de aquisição+custo de aquisição das estações R\$/Year

|

market share= efeito no marketshare Dmnl |

função do efeito da queda do preço no marketshare( [(0,0)-(10,10)],(100000,0.5),(237113,0.5), (315464,0.502273), (417320,0.504545), (464330,0.504545), (534845,0.504545), (624948,0.504545), (687629,0.506818), (758144,0.506818), (816907,0.506818), (856082,0.497727), (891340,0.484091), (914845,0.463636), (922680,0.452273), (934433,0.431818), (942268,0.415909), (957938,0.388636), (969691,0.354545), (985361,0.327273), (1.00103e+006,0.309091), (1.02454e+006,0.281818), (1.04412e+006,0.263636), (1.05196e+006,0.245455), (1.06763e+006,0.225), (1.0833e+006,0.213636), (1.11072e+006,0.2), (1.13814e+006,0.186364), (1.19299e+006,0.170455), (1.21258e+006,0.163636), (1.26742e+006,0.154545), (1.31443e+006,0.140909), (1.38103e+006,0.127273), (1.43979e+006,0.118182), (1.50639e+006,0.106818), (1.56124e+006,0.0931818), (1.62392e+006,0.0840909), (1.67485e+006,0.075), (1.70619e+006,0.075), (1.76103e+006,0.0659091), (1.82763e+006,0.0568182), (1.87072e+006,0.0477273), (1.92165e+006,0.0477273), (1.96082e+006,0.0477273), (2e+006,0.05)) Dmnl |

efeito no marketshare= função do efeito da queda do preço no marketshare(preço de compra do onibuss) |

Estoque de onibus na EL= INTEG ( taxa de venda de onibus-taxa de descarte, 0) onibus |

taxa de aquisição de estações= Estações necessárias/tempo para aquisição de estações estações/Year |

taxa de compra de estações de recarga= MAX(taxa inicial de compra de estações+step(taxa de aquisição de estações,5),0) estações/Year |

número de onibus por estação= 5 onibus/estações |

tempo para aquisição de estações= 2 Year |

taxa de descarte= DELAY FIXED(taxa de venda de onibus, tempo de vida , 0) onibus/Year |

Estações necessárias= (Estoque de onibus na EL/número de onibus por estação)-Estoque de estações de recarga no consorcio estações |

taxa inicial de compra de onibus= DELAY FIXED(estoque desejado-Estoque de onibus no consorcio, 2 , 0) onibus/Year |

tempo de vida= 15 Year |

reajuste preço aluguel= valor de aluguel das estações\*taxa de reajuste pessoas/Year |

faturamento pelo aluguel de estações de recarga= Estoque de estações de recarga no consorcio\*valor de aluguel das estações R\$/Year |

valor de aluguel das estações= INTEG ( reajuste preço aluguel, 2000) R\$/onibus |

taxa de reajuste= 0.1275 1/Year |

RECEITA TOTAL= faturamento pela venda de onibus+faturamento pelo aluguel de estações de recarga R\$/Year |

gap de onibus= gap de oferta/serviços por onibus por ano onibus |

taxa inicial de venda de onibus= step(gap de onibus/Tempo de Percepção de crescimento da demanda,3) onibus/Year |

gap de oferta= Demanda da EL-Oferta de serviços por ano serviço/Year |

serviços de fretamento= MIN(Oferta de serviços por ano,Demanda da EL) serviço/Year |

Oferta de serviços por ano= Estoque de onibus na EL\*serviços por onibus por ano serviço/Year |

taxa de venda de onibus= MAX(taxa inicial de venda de onibus,0) onibus/Year |

queda preço ônibus= preço de compra do onibus\*porcentagem queda nos preços pessoas/Year |

preço compra estações= INTEG ( -queda preço estações, 100000) pessoas |

preço de compra do onibus= INTEG ( -queda preço ônibus, 1.58666e+006) R\$/onibus |

preço de venda de onibus= preço de compra do onibus\*(1+margem de lucro do consorcio) R\$/onibus |

custo de aquisição= preço de compra do onibus\*taxa de compra de onibus R\$/Year |

custo de aquisição das estações= preço compra estações\*taxa de compra de estações de recarga R\$/Year |

porcentagem queda nos preços= 0.15 1/Year |

queda preço estações= preço compra estações\*porcentagem queda nos preços pessoas/Year |

margem de lucro do consorcio= 0.1 Dmnl |

estoque de segurança em anos= 2 Year |

estoque desejado= taxa inicial de venda de onibus\*estoque de segurança em anos onibus |

Tempo de Percepção de crescimento da demanda= 5 Year |

Demanda da EL= Demanda\*market share serviço/Year |

demanda variavel= taxa de adoção\*serviços por onibus por ano serviço/Month  
 |  
 Demanda= (demanda variavel)\*efeito na demanda serviço/Year |  
 adoção por imitação= q\*(Ônibus/mercado total)\*Adotantes Potenciais oni-  
 bus/Month |  
 adoção por inovação= Adotantes Potenciais\*p onibus/Month |  
 Adotantes Potenciais= INTEG ( novos adotantes-taxa de adoção, 10000) oni-  
 bus |  
 crescimento= população\*taxa de crescimento pessoas/Year |  
 p= 0.00355 1/Month |  
 população= INTEG ( crescimento, 2.0775e+008) pessoas |  
 mercado total= população\*onibus por habitante onibus |  
 novos adotantes= crescimento\*onibus por habitante onibus/Year |  
 taxa de adoção= adoção por inovação+adoção por imitação onibus/Month |  
 Ônibus= INTEG ( taxa de adoção, 7780) onibus |  
 q= 0.36752 1/Month |  
 taxa de crescimento= 0.007 1/Year |  
 onibus por habitante= 1/1000 onibus/pessoas |  
 custo de venda= preço de venda de onibus\*taxa de venda de onibus R  
 /Year |  
 efeito na demanda= função do efeito da densidade das estacoes de carga na  
 demanda(Estoque de estações de recarga no consorcio ) |  
 Estoque de estações de recarga no consorcio= INTEG ( taxa de compra de  
 estações de recarga, 0) estações |  
 Estoque de onibus no consorcio= INTEG ( taxa de compra de onibus-taxa de  
 venda de onibus, 0) onibus [0,?] |  
 faturamento dos serviços= serviços de fretamento\*preço do serviço R\$/Year |  
 faturamento pela venda de onibus= preço de venda de onibus\*taxa de venda de  
 onibus R\$/Year |  
 função do efeito da densidade das estacoes de carga na demanda( [(0,0)-  
 (4,1)],(0,0),(1.52975,0.0719697),(2.71955,0.155303),(4.58924,0.276515),(6.91218  
 ,0.515152),(10.4816,0.757576),(13.9943,0.875),(16.9405,0.935606),(20,1)) Dmnl |  
 preço do serviço= 5000 R\$/serviço |  
 serviços por onibus por ano= 12 serviço/onibus/Year |  
 taxa de compra de onibus= INTEGER(MAX(taxa inicial de compra de oni-  
 bus,0)+0.5) onibus/Year |  
 taxa inicial de compra de estações= 1-step(1,4) estações/Year |  
 \*\*\*\*\*  
 .Control  
 \*\*\*\*\* Simulation Control Parameters |

FINAL TIME = 30 Year The final time for the simulation. |

INITIAL TIME = 0 Year The initial time for the simulation. |

SAVEPER = TIME STEP Year [0,?] The frequency with which output is stored.

|

TIME STEP = 1 Year [0,?] The time step for the simulation. |

-/// Sketch information - do not modify anything except names V300

Do not put anything below this section - it will be ignored \*View 1 \$192-192-192,0,Times New Roman|12||0-0-0|0-0-0|0-0-255|-1-1-1|255-255-255|96,96,71,0  
 10,1,Estoque de onibus no consorcio,1075,622,66,23,3,3,0,4,-1,0,0,0,0-0-0,255-255-0,|12||0-0-0 12,2,48,846,621,10,8,0,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,3,5,2,100,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(890,621)| 1,4,5,1,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(972,621)| 11,5,48,930,621,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0 10,6,taxa de compra de onibus,930,647,63,18,40,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,7,Estoque de estações de recarga no consorcio,1340,1160,62,31,3,3,0,4,-1,0,0,0,0-0-0,255-0-0,|12||255-255-255 12,8,48,870,1180,10,8,0,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0 1,9,11,8,100,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(936,1180)| 1,10,11,7,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(1141,1180)| 11,11,48,999,1180,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0 10,12,taxa de compra de estações de recarga,999,1218,75,30,40,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0 10,13,Estoque de onibus na EL,1332,624,65,23,3,3,0,4,-1,0,0,0,0-0-0,255-255-0,|12||0-0-0 1,14,16,1,100,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(1168,622)| 1,15,16,13,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(1237,622)| 11,16,332,1201,622,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0 10,17,taxa de venda de onibus,1201,653,44,23,40,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,18,faturamento pelo aluguel de estações de recarga,1313,1251,75,30,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0 10,19,faturamento pela venda de onibus,1211,744,60,24,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,20,17,19,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1174,708)| 10,21,serviços de fretamento,1643,597,70,19,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,22,Demanda,1884,681,51,24,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,23,preço do serviço,1451,701,54,16,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,24,faturamento dos serviços,1589,771,74,24,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,25,21,24,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1619,674)| 1,26,23,24,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1492,752)| 10,27,função do efeito da densidade das estações de carga na demanda,1768,1257,75,30,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0 10,28,custo de aquisição,932,757,75,30,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,29,6,28,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(961,689)| 10,30,custo de aquisição das estações,1001,1307,72,23,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0 1,31,12,30,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(984,1275)| 10,32,preço de venda de onibus,1406,836,50,28,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,33,taxa inicial de compra de onibus,931,516,73,23,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,34,taxa inicial de venda de

onibus,1277,463,74,24,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,35,taxa  
 inicial de compra de estações,871,1074,75,30,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-  
 0-0 1,36,33,5,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(919,573)| 1,37,34,16,1,0,0,0,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(1201,563)| 1,38,35,11,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(948,1109)|  
 1,39,7,18,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1328,1199)| 1,40,32,19,1,0,0,0,0,192,0,-1-  
 1-1,,1|(1240,805)| 10,41,efeito na demanda,1667,1172,63,26,8,3,0,6,-1,0,0,0,-  
 1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0 1,42,7,41,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1496,1165)|  
 1,43,27,41,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1720,1216)| 1,44,41,22,1,0,0,0,0,192,0,-1-  
 1-1,,1|(1990,1043)| 10,45,serviços por onibus por ano,1839,892,75,30,8,3,0,4,-  
 1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,46,45,126,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-  
 1,,1|(1782,800)| 10,47,Adotantes Potenciais,2353,695,44,20,3,3,0,0,-1,0,0,0  
 10,48,Ônibus,2085,691,40,20,3,3,0,0,-1,0,0,0 1,49,51,47,100,0,0,22,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(2266,693)| 1,50,51,48,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(2168,693)|  
 11,51,1164,2217,693,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0 10,52,taxa de  
 adoção,2217,731,75,30,35,3,0,0,-1,0,0,0 12,53,48,2581,689,10,8,0,3,0,0,-1,0,0,0  
 1,54,56,53,100,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(2526,689)| 1,55,56,47,4,0,0,22,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(2433,689)| 11,56,48,2476,689,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0 10,57,novos  
 adotantes,2476,727,75,30,35,3,0,0,-1,0,0,0 10,58,p,2061,320,34,18,3,3,0,0,-  
 1,0,0,0 10,59,q,2351,418,31,22,3,3,0,0,-1,0,0,0 10,60,adoção  
 por inovação,2059,450,59,24,3,3,0,0,-1,0,0,0 10,61,adoção por  
 imitação,2351,551,75,30,3,3,0,0,-1,0,0,0 1,62,58,60,0,0,0,0,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(2060,375)| 1,63,59,61,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(2351,473)|  
 1,64,61,51,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(2314,621)| 1,65,60,51,1,0,0,0,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(1944,634)| 1,66,47,61,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(2352,634)|  
 10,67,população,2685,348,45,13,3,3,0,0,-1,0,0,0 12,68,48,2942,348,10,8,0,3,0,2,-  
 1,0,0,0,-1-1-1,-1-1-1,|12||255-255-255 1,69,71,68,100,0,0,22,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(2880,348)| 1,70,71,67,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(2773,348)|  
 11,71,48,2823,348,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0 10,72,crescimento,2823,373,65,17,35,3,0,0,-  
 1,0,0,0 1,73,67,72,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(2795,273)| 10,74,taxa de  
 crescimento,2936,269,47,21,3,3,0,0,-1,0,0,0 1,75,74,72,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-  
 1,,1|(2819,280)| 10,76,mercado total,2580,430,63,20,3,3,0,0,-1,0,0,0 10,77,oni-  
 bus por habitante,2798,505,75,30,3,3,0,0,-1,0,0,0 1,78,67,76,0,0,0,0,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(2642,381)| 1,79,77,76,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(2687,467)|  
 1,80,72,56,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(2884,701)| 1,81,77,56,1,0,0,0,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(2607,588)| 1,82,48,61,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(2101,556)|  
 1,83,76,61,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(2481,482)| 1,84,47,60,0,0,0,0,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(2213,578)| 10,85,demanda variavel,1881,797,62,21,8,3,0,4,-1,0,0,0,-  
 1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,86,45,85,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1858,846)|  
 1,87,52,85,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(2049,763)| 1,88,85,22,0,0,0,0,0,192,0,-

$1-1-1,1|(1881,747)|$  10,89,market share,1690,427,67,17,8,3,0,4,-1,0,0,0,-  
 $1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0$  10,90,Demanda da EL,1653,504,63,21,8,3,0,4,-  
 $1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0$  1,91,89,90,0,0,0,0,0,192,0,-1-  
 $1-1,1|(1675,457)|$  1,92,22,90,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,1|(1772,595)|  
 $1,93,90,21,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,1|(1648,544)|$  10,94,Tempo de Percep-  
ção de crescimento da demanda,1283,346,75,30,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-  
 $1,255-255-0,|12||0-0-0$  1,95,94,34,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,1|(1280,400)|  
10,96,estoque desejado,1080,466,68,12,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-  
 $0,|12||0-0-0$  1,97,34,96,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,1|(1182,464)| 10,98,es-  
toque de segurança em anos,1074,357,64,22,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-  
 $1,255-255-0,|12||0-0-0$  1,99,98,96,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,1|(1076,409)|  
 $1,100,1,33,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,1|(1008,573)|$  1,101,96,33,0,0,0,0,0,192,0,-  
 $1-1-1,1|(1028,483)|$  12,102,0,2942,1434,38,33,8,7,0,0,-1,0,0,0 atualizado:  
7780 onibus/213M de habitantes (dados de 2021 e 2022) 10,103,custo  
de venda,1566,876,75,30,8,2,1,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-  
128 10,104,margem de lucro do consorcio,1429,925,62,24,8,3,0,4,-  
 $1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0$  1,105,104,32,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-  
 $1,1|(1419,889)|$  10,106,preço de compra do onibuss,747,759,61,23,3,3,0,4,-  
 $1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||64-160-98$  12,107,48,480,759,10,8,0,3,0,4,-  
 $1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0$  1,108,110,107,100,0,0,22,0,192,0,-  
 $1-1-1,1|(536,759)|$  1,109,110,106,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,1|(640,759)|  
11,110,48,589,759,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0 10,111,queda preço  
ônibus,589,797,75,30,40,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0  
 $1,112,106,111,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,1|(728,693)|$  10,113,porcentagem  
queda nos preços,337,826,75,30,8,3,0,42,-1,0,0,0,-1-1-1,-1-1-1,Arial  
Black|10|BI|0-0-0 1,114,113,111,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,1|(456,812)|  
 $1,115,106,28,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,1|(825,758)|$  1,116,106,32,1,0,0,0,0,192,0,-  
 $1-1-1,1|(1084,895)|$  10,117,preço compra estações,745,1151,50,28,3,3,0,4,-  
 $1,0,0,0,0-0-0,255-0-0,|12||0-0-0$  12,118,48,474,1149,10,8,0,3,0,4,-  
 $1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0$  1,119,121,118,100,0,0,22,0,192,0,-1-  
 $1-1,1|(533,1149)|$  1,120,121,117,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,1|(645,1149)|  
11,121,48,589,1149,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0 10,122,queda preço  
estações,589,1169,81,12,40,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0  
 $1,123,117,122,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,1|(634,1243)|$  1,124,113,122,1,0,0,0,0,192,0,-  
 $1-1-1,1|(573,1001)|$  1,125,117,30,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,1|(854,1272)| 10,126,Oferta  
de serviços por ano,1724,706,74,22,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0  
 $1,127,13,126,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,1|(1516,662)|$  1,128,126,21,0,0,0,0,0,192,0,-  
 $1-1-1,1|(1686,655)|$  10,129,gap de oferta,1494,577,57,21,8,3,0,4,-  
 $1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0$  1,130,126,129,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-

1,,1|(1614,644)| 1,131,90,129,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1579,537)| 10,132,ser-  
 viços por onibus por ano,1489,404,75,30,8,2,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-  
 0,|12||0-0-0 10,133,gap de onibus,1472,495,54,19,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-  
 1,255-255-0,|12||0-0-0 1,134,132,133,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1480,448)|  
 1,135,129,133,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1484,541)| 1,136,133,34,0,0,0,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(1391,482)| 10,137,RECEITA TOTAL,1647,883,75,30,8,3,0,30,-  
 1,0,0,0,-1-1-1,0-0-0,|16|B|255-255-0 1,138,19,137,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-  
 1,,1|(1434,782)| 1,139,18,137,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1549,1100)| 10,140,va-  
 lor de aluguel das estações,1442,1334,61,23,3,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-  
 0,|12||255-255-255 12,141,48,1685,1330,10,8,0,3,0,38,-1,0,0,0,-1-1-1,255-  
 0-0,Times New Roman|12||255-255-255 1,142,144,141,100,0,0,22,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(1630,1330)| 1,143,144,140,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(1538,1330)|  
 11,144,48,1579,1330,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0 10,145,reajuste preço  
 aluguel,1579,1359,67,21,40,3,0,6,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0  
 1,146,140,145,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1438,1386)| 10,147,taxa de  
 reajuste,1572,1275,56,21,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0  
 1,148,147,144,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1575,1303)| 1,149,140,18,0,0,0,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(1388,1299)| 12,150,48,1334,518,10,8,0,3,0,4,-1,0,0,0,-  
 1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,151,153,13,100,0,0,22,0,192,0,-1-1-  
 1,,1|(1334,583)| 1,152,153,150,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(1334,540)|  
 11,153,48,1334,560,8,6,33,3,0,0,4,0,0,0 10,154,taxa de  
 descarte,1371,560,29,18,40,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-  
 0 10,155,tempo de vida,1262,542,31,17,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-  
 255-0,|12||0-0-0 1,156,155,153,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1302,551)|  
 1,157,16,153,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1259,594)| 10,158,número de oni-  
 bus por estação,1268,1071,44,25,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-  
 0-0 10,159,Estações necessárias,1145,1042,46,23,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-  
 1,255-0-0,|12||0-0-0 1,160,13,159,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1336,948)|  
 1,161,158,159,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1214,1058)| 10,162,tempo para aqui-  
 sição de estações,876,986,50,25,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0  
 10,163,taxa de aquisição de estações,1009,1049,50,25,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-  
 1-1,255-0-0,|12||0-0-0 1,164,162,163,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(936,1013)|  
 1,165,159,163,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1085,1044)| 1,166,7,159,1,0,0,0,0,192,0,-1-  
 1-1-1,,1|(1138,1137)| 1,167,163,11,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1004,1117)| 10,168,função  
 do efeito da queda do preço no marketshare,1690,265,59,31,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-  
 1,255-255-0,|12||0-0-0 10,169,efeito no marketshare,1694,357,47,22,8,3,0,4,-1,0,0,0,-  
 1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,170,168,169,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1691,308)|  
 1,171,169,89,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1692,387)| 1,172,106,169,1,0,0,0,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(894,399)| 10,173,CUSTO TOTAL,551,507,49,24,8,3,0,30,-

1,0,0,0,-1-1-1,0-0-0,|16|B|255-255-0 1,174,28,173,0,0,0,0,0,192,0,-  
1-1-1,,1|(742,632)| 1,175,30,173,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(151,931)|  
10,176,SALDO,1270,149,46,24,8,3,0,30,-1,0,0,0,-1-1-1,0-0-0,|16|B|255-255-0  
1,177,173,176,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(837,235)| 1,178,137,176,1,0,0,0,0,192,0,-1-  
1-1,,1|(1561,121)| 10,179,taxa,915,142,15,11,8,3,0,0,0,0,0,0

## ANEXO D – EQUAÇÕES DO MODELO DE ALUGUEL

Equações modelo aluguel

taxa= 0.05 |

preço de aluguel= 2.89255e+006 R\$/onibus |

SALDO= RECEITA TOTAL-CUSTO TOTAL R\$/Year |

CUSTO TOTAL= custo de aquisição+custo de aquisição das estações R\$/Year

|

market share= efeito no marketshare Dmnl |

função do efeito da queda do preço no marketshare( [(0,0)-(10,10)],(100000,0.5),(237113,0.5), (315464,0.502273), (417320,0.504545), (464330,0.504545), (534845,0.504545), (624948,0.504545), (687629,0.506818), (758144,0.506818), (816907,0.506818), (856082,0.497727), (891340,0.484091), (914845,0.463636), (922680,0.452273), (934433,0.431818), (942268,0.415909), (957938,0.388636), (969691,0.354545), (985361,0.327273), (1.00103e+006,0.309091), (1.02454e+006,0.281818), (1.04412e+006,0.263636), (1.05196e+006,0.245455), (1.06763e+006,0.225), (1.0833e+006,0.213636), (1.11072e+006,0.2), (1.13814e+006,0.186364), (1.19299e+006,0.170455), (1.21258e+006,0.163636), (1.26742e+006,0.154545), (1.31443e+006,0.140909), (1.38103e+006,0.127273), (1.43979e+006,0.118182), (1.50639e+006,0.106818), (1.56124e+006,0.0931818), (1.62392e+006,0.0840909), (1.67485e+006,0.075), (1.70619e+006,0.075), (1.76103e+006,0.0659091), (1.82763e+006,0.0568182), (1.87072e+006,0.0477273), (1.92165e+006,0.0477273), (1.96082e+006,0.0477273), (2e+006,0.05)) Dmnl |

efeito no marketshare= função do efeito da queda do preço no marketshare(preço de compra do onibuss) |

Estoque de onibus na EL= INTEG ( taxa de venda de onibus-taxa de descarte, 0) onibus |

taxa de aquisição de estações= Estações necessárias/tempo para aquisição de estações estações/Year |

taxa de compra de estações de recarga= MAX(taxa inicial de compra de estações+step(taxa de aquisição de estações,5),0) estações/Year |

número de onibus por estação= 5 onibus/estações |

tempo para aquisição de estações= 2 Year |

taxa de descarte= DELAY FIXED(taxa de venda de onibus, tempo de vida , 0) onibus/Year |

Estações necessárias= (Estoque de onibus na EL/número de onibus por estação)-Estoque de estações de recarga no consorcio estações |

taxa inicial de compra de onibus= DELAY FIXED(estoque desejado-Estoque de

onibus no consorcio, 2 , 0 ) onibus/Year |  
 tempo de vida= 15 Year |  
 reajuste preço aluguel= valor de aluguel das estações\*taxa de reajuste pe-  
 soas/Year |  
 faturamento pelo aluguel de estacoes de recarga= Estoque de estações de  
 recarga no consorcio\*valor de aluguel das estações R\$/Year |  
 valor de aluguel das estações= INTEG ( reajuste preço aluguel, 2000)  
 R\$/onibus |  
 taxa de reajuste= 0.1275 1/Year |  
 RECEITA TOTAL= faturamento pela venda de onibus+faturamento pelo aluguel  
 de estacoes de recarga R\$/Year |  
 gap de onibus= gap de oferta/serviços por onibus por ano onibus |  
 taxa inicial de venda de onibus= step(gap de onibus/Tempo de Percepção de  
 crescimento da demanda,3) onibus/Year |  
 gap de oferta= Demanda da EL-Oferta de serviços por ano serviço/Year |  
 serviços de fretamento= MIN(Oferta de serviços por ano,Demanda da EL) ser-  
 viço/Year |  
 Oferta de serviços por ano= Estoque de onibus na EL\*serviços por onibus por  
 ano serviço/Year |  
 taxa de venda de onibus= MAX(taxa inicial de venda de onibus,0) onibus/Year  
 |  
 queda preço ônibus= preço de compra do onibuss\*porcentagem queda nos  
 preços pessoas/Year |  
 preço compra estações= INTEG ( -queda preço estações, 100000) pessoas |  
 preço de compra do onibuss= INTEG ( -queda preço ônibus, 1.58666e+006)  
 R\$/onibus |  
 custo de aquisição= preço de compra do onibuss\*taxa de compra de onibus  
 R\$/Year |  
 custo de aquisição das estações= preço compra estações\*taxa de compra de  
 estações de recarga R\$/Year |  
 porcentagem queda nos preços= 0.15 1/Year |  
 queda preço estações= preço compra estações\*porcentagem queda nos preços  
 pessoas/Year |  
 estoque de segurança em anos= 2 Year |  
 estoque desejado= taxa inicial de venda de onibus\*estoque de segurança em  
 anos onibus |  
 Tempo de Percepção de crescimento da demanda= 5 Year |  
 Demanda da EL= Demanda\*market share serviço/Year |  
 demanda variavel= taxa de adoção\*serviços por onibus por ano serviço/Month

```

|
  Demanda= (demanda variavel)*efeito na demanda  serviço/Year |
  adoção por imitação= q*(Ônibus/mercado total)*Adotantes Potenciais  oni-
bus/Month |
  adoção por inovação= Adotantes Potenciais*p  onibus/Month |
  Adotantes Potenciais= INTEG ( novos adotantes-taxa de adoção, 5000)  onibus
|
  crescimento= população*taxa de crescimento  pessoas/Year |
  p= 0.00355  1/Month |
  população= INTEG ( crescimento, 2.0775e+008)  pessoas |
  mercado total= população*onibus por habitante  onibus |
  novos adotantes= crescimento*onibus por habitante  onibus/Year |
  taxa de adoção= adoção por inovação+adoção por imitação  onibus/Month |
  Ônibus= INTEG ( taxa de adoção, 7780)  onibus |
  q= 0.36752  1/Month |
  taxa de crescimento= 0.007  1/Year |
  onibus por habitante= 1/1000  onibus/pessoas |
  custo de venda= preço de aluguel*taxa de venda de onibus  R$/Year |
  efeito na demanda= função do efeito da densidade das estacoes de carga na
demanda(Estoque de estações de recarga no consorcio ) |
  Estoque de estações de recarga no consorcio= INTEG ( taxa de compra de
estações de recarga, 0)  estações |
  Estoque de onibus no consorcio= INTEG ( taxa de compra de onibus-taxa de
venda de onibus, 0)  onibus [0,?] |
  faturamento dos serviços= serviços de fretamento*preço do serviço  R$/Year |
  faturamento pela venda de onibus= preço de aluguel*taxa de venda de onibus
R$/Year |
  função do efeito da densidade das estacoes de carga na demanda( [(0,0)-
(4,1)],(0,0),(1.52975,0.0719697),(2.71955,0.155303),(4.58924,0.276515),(6.91218
,0.515152),(10.4816,0.757576),(13.9943,0.875),(16.9405,0.935606),(20,1))  Dmnl |
  preço do serviço= 5000  R$/serviço |
  serviços por onibus por ano= 12  serviço/onibus/Year |
  taxa de compra de onibus= INTEGER(MAX(taxa inicial de compra de oni-
bus,0)+0.5)  onibus/Year |
  taxa inicial de compra de estações= 1-step(1,4)  estações/Year |
  *****
                                                                                               .Control
***** Simulation Control Parameters |
  FINAL TIME = 30  Year  The final time for the simulation. |
  INITIAL TIME = 0  Year  The initial time for the simulation. |

```

SAVEPER = TIME STEP Year [0,?] The frequency with which output is stored.

|

TIME STEP = 1 Year [0,?] The time step for the simulation. |

-/// Sketch information - do not modify anything except names V300

Do not put anything below this section - it will be ignored \*View 1 \$192-192-192,0,Times New Roman|12||0-0-0|0-0-0|0-0-255|-1-1-1|255-255-255|96,96,66,0  
 10,1,Estoque de onibus no consorcio,1009,617,66,23,3,3,0,4,-1,0,0,0,0-0-0,255-255-0,|12||0-0-0 12,2,48,780,616,10,8,0,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,3,5,2,100,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(824,616)| 1,4,5,1,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(906,616)| 11,5,48,864,616,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0 10,6,taxa de compra de onibus,864,642,63,18,40,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,7,Estoque de estações de recarga no consorcio,1274,1155,62,31,3,3,0,4,-1,0,0,0,0-0-0,255-0-0,|12||255-255-255 12,8,48,804,1175,10,8,0,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0 1,9,11,8,100,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(870,1175)| 1,10,11,7,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(1075,1175)| 11,11,48,933,1175,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0 10,12,taxa de compra de estações de recarga,933,1213,75,30,40,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0 10,13,Estoque de onibus na EL,1266,619,65,23,3,3,0,4,-1,0,0,0,0-0-0,255-255-0,|12||0-0-0 1,14,16,1,100,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(1102,617)| 1,15,16,13,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(1171,617)| 11,16,380,1135,617,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0 10,17,taxa de venda de onibus,1135,648,44,23,40,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,18,faturamento pelo aluguel de estações de recarga,1247,1246,75,30,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0 10,19,faturamento pela venda de onibus,1145,739,60,24,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,20,17,19,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1108,703)| 10,21,serviços de fretamento,1577,592,70,19,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,22,Demanda,1818,676,51,24,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,23,preço do serviço,1385,696,54,16,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,24,faturamento dos serviços,1523,766,74,24,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,25,21,24,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1553,669)| 1,26,23,24,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1426,747)| 10,27,função do efeito da densidade das estações de carga na demanda,1702,1252,75,30,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0 10,28,custo de aquisição,866,752,75,30,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,29,6,28,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(895,684)| 10,30,custo de aquisição das estações,935,1302,72,23,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0 1,31,12,30,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(918,1270)| 10,32,preço de aluguel,1340,831,50,28,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,33,taxa inicial de compra de onibus,865,511,73,23,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,34,taxa inicial de venda de onibus,1211,458,74,24,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,35,taxa inicial de compra de estações,805,1069,75,30,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-

0-0	1,36,33,5,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (853,568)	1,37,34,16,1,0,0,0,0,192,0,-
1-1-1,,1 (1135,558)	1,38,35,11,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (882,1104)	
1,39,7,18,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (1262,1194)	1,40,32,19,1,0,0,0,0,192,0,-1-	
1-1,,1 (1174,800)	10,41,efeito na demanda,1601,1167,63,26,8,3,0,6,-1,0,0,0,-	
1-1-1,255-0-0, 12  0-0-0	1,42,7,41,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (1430,1160)	
1,43,27,41,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (1654,1211)	1,44,41,22,1,0,0,0,0,192,0,-1-	
1-1,,1 (1924,1038)	10,45,serviços por onibus por ano,1773,887,75,30,8,3,0,4,-	
1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0, 12  0-0-0	1,46,45,123,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-	
1,,1 (1716,795)	10,47,Adotantes Potenciais,2287,690,44,20,3,3,0,0,-1,0,0,0	
10,48,Ônibus,2019,686,40,20,3,3,0,0,-1,0,0,0	1,49,51,47,100,0,0,22,0,192,0,-	
1-1-1,,1 (2200,688)	1,50,51,48,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1 (2102,688)	
11,51,1164,2151,688,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0	10,52,taxa de	
adoção,2151,726,75,30,35,3,0,0,-1,0,0,0	12,53,48,2515,684,10,8,0,3,0,0,-1,0,0,0	
1,54,56,53,100,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1 (2460,684)	1,55,56,47,4,0,0,22,0,192,0,-	
1-1-1,,1 (2367,684)	11,56,48,2410,684,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0	10,57,novos
adotantes,2410,722,75,30,35,3,0,0,-1,0,0,0	10,58,p,1995,315,34,18,3,3,0,0,-	
1,0,0,0	10,59,q,2285,413,31,22,3,3,0,0,-1,0,0,0	10,60,adoção
por	10,61,adoção por	
inovação,1993,445,59,24,3,3,0,0,-1,0,0,0	10,62,58,60,0,0,0,0,0,192,0,-	
imitação,2285,546,75,30,3,3,0,0,-1,0,0,0	1,63,59,61,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (2285,468)	
1-1-1,,1 (1994,370)	1,64,61,51,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (2248,616)	
1,64,61,51,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (1878,629)	1,66,47,61,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (2286,629)	
10,67,população,2619,343,45,13,3,3,0,0,-1,0,0,0	12,68,48,2876,343,10,8,0,3,0,2,-	
1,0,0,0,-1-1-1,-1-1-1, 12  255-255-255	1,69,71,68,100,0,0,22,0,192,0,-	
1-1-1,,1 (2814,343)	1,70,71,67,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1 (2707,343)	
11,71,48,2757,343,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0	10,72,crescimento,2757,368,65,17,35,3,0,0,-	
1,0,0,0	1,73,67,72,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (2729,268)	10,74,taxa de
crescimento,2870,264,47,21,3,3,0,0,-1,0,0,0	1,75,74,72,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-	
1,,1 (2753,275)	10,76,mercado total,2514,425,63,20,3,3,0,0,-1,0,0,0	10,77,onibus
bus por habitante,2732,500,75,30,3,3,0,0,-1,0,0,0	1,78,67,76,0,0,0,0,0,192,0,-	
1-1-1,,1 (2576,376)	1,79,77,76,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (2621,462)	
1,80,72,56,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (2818,696)	1,81,77,56,1,0,0,0,0,192,0,-	
1-1-1,,1 (2541,583)	1,82,48,61,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (2035,551)	
1,83,76,61,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (2415,477)	1,84,47,60,0,0,0,0,0,192,0,-	
1-1-1,,1 (2147,573)	10,85,demanda variavel,1815,792,62,21,8,3,0,4,-1,0,0,0,-	
1-1-1,255-255-0, 12  0-0-0	1,86,45,85,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (1792,841)	
1,87,52,85,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1 (1983,758)	1,88,85,22,0,0,0,0,0,192,0,-	
1-1-1,,1 (1815,742)	10,89,market share,1624,422,67,17,8,3,0,4,-1,0,0,0,-	
1-1-1,255-255-0, 12  0-0-0	10,90,Demanda da EL,1587,499,63,21,8,3,0,4,-	

1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,91,89,90,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1609,452)| 1,92,22,90,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1706,590)|  
 1,93,90,21,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1582,539)| 10,94,Tempo de Percepção de crescimento da demanda,1217,341,75,30,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,95,94,34,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1214,395)|  
 10,96,estoque desejado,1014,461,68,12,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,97,34,96,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1116,459)| 10,98,estoque de segurança em anos,1008,352,64,22,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,99,98,96,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1010,404)|  
 1,100,1,33,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(942,568)| 1,101,96,33,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(962,478)| 12,102,0,2876,1429,38,33,8,7,0,0,-1,0,0,0 atualizado: 7780 onibus/213M de habitantes (dados de 2021 e 2022) 10,103,custo de venda,1500,871,75,30,8,2,1,3,-1,0,0,0,128-128-128,0-0-0,|12||128-128-128 10,104,preço de compra do onibuss,681,754,61,23,3,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||64-160-98 12,105,48,414,754,10,8,0,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,106,108,105,100,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(470,754)| 1,107,108,104,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(574,754)|  
 11,108,48,523,754,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0 10,109,queda preço onibus,523,792,75,30,40,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0  
 1,110,104,109,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(662,688)| 10,111,porcentagem queda nos preços,271,821,75,30,8,3,0,42,-1,0,0,0,-1-1-1,-1-1-1,Arial Black|10|Bl|0-0-0  
 1,112,111,109,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(390,807)| 1,113,104,28,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(759,753)| 10,114,preço compra estações,679,1146,50,28,3,3,0,4,-1,0,0,0,0-0-0,255-0-0,|12||0-0-0 12,115,48,408,1144,10,8,0,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0 1,116,118,115,100,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(467,1144)| 1,117,118,114,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(579,1144)|  
 11,118,48,523,1144,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0 10,119,queda preço estações,523,1164,81,12,40,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0  
 1,120,114,119,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(568,1238)| 1,121,111,119,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(507,996)| 1,122,114,30,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(788,1267)| 10,123,Oferta de serviços por ano,1658,701,74,22,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0  
 1,124,13,123,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1450,657)| 1,125,123,21,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1620,650)| 10,126,gap de oferta,1428,572,57,21,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,127,123,126,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1548,639)| 1,128,90,126,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1513,532)| 10,129,ser-  
 viços por onibus por ano,1423,399,75,30,8,2,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 10,130,gap de onibus,1406,490,54,19,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,131,129,130,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1414,443)|  
 1,132,126,130,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1418,536)| 1,133,130,34,0,0,0,0,0,192,0,-

1-1-1,,1|(1325,477)| 10,134,RECEITA TOTAL,1581,878,75,30,8,3,0,30,-  
 1,0,0,0,-1-1-1,0-0-0,|16|B|255-255-0 1,135,19,134,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-  
 1,,1|(1368,777)| 1,136,18,134,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1483,1095)| 10,137,va-  
 lor de aluguel das estações,1376,1329,61,23,3,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-  
 0,|12||255-255-255 12,138,48,1619,1325,10,8,0,3,0,38,-1,0,0,0,-1-1-1,255-  
 0-0,Times New Roman|12||255-255-255 1,139,141,138,100,0,0,22,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(1564,1325)| 1,140,141,137,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(1472,1325)|  
 11,141,48,1513,1325,6,8,34,3,0,0,1,0,0,0 10,142,reajuste preço  
 aluguel,1513,1354,67,21,40,3,0,6,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0  
 1,143,137,142,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1372,1381)| 10,144,taxa de  
 reajuste,1506,1270,56,21,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0  
 1,145,144,141,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1509,1298)| 1,146,137,18,0,0,0,0,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(1322,1294)| 12,147,48,1268,513,10,8,0,3,0,4,-1,0,0,0,-  
 1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,148,150,13,100,0,0,22,0,192,0,-1-1-  
 1,,1|(1268,578)| 1,149,150,147,4,0,0,22,0,192,0,-1-1-1,,1|(1268,535)|  
 11,150,48,1268,555,8,6,33,3,0,0,4,0,0,0 10,151,taxa de  
 descarte,1305,555,29,18,40,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-255-0,|12||0-0-  
 0 10,152,tempo de vida,1196,537,31,17,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-  
 255-0,|12||0-0-0 1,153,152,150,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1236,546)|  
 1,154,16,150,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1193,589)| 10,155,número de oni-  
 bus por estação,1202,1066,44,25,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-  
 0-0 10,156,Estações necessárias,1079,1037,46,23,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-  
 1,255-0-0,|12||0-0-0 1,157,13,156,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1270,943)|  
 1,158,155,156,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1148,1053)| 10,159,tempo para aqui-  
 sição de estações,810,981,50,25,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-1,255-0-0,|12||0-0-0  
 10,160,taxa de aquisição de estações,943,1044,50,25,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-  
 1-1,255-0-0,|12||0-0-0 1,161,159,160,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(870,1008)|  
 1,162,156,160,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1019,1039)| 1,163,7,156,1,0,0,0,0,192,0,-1-  
 1-1,,1|(1072,1132)| 1,164,160,11,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(938,1112)| 10,165,função  
 do efeito da queda do preço no marketshare,1624,260,59,31,8,3,0,4,-1,0,0,0,-1-1-  
 1,255-255-0,|12||0-0-0 10,166,efeito no marketshare,1628,352,47,22,8,3,0,4,-1,0,0,0,-  
 1-1-1,255-255-0,|12||0-0-0 1,167,165,166,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1625,303)|  
 1,168,166,89,0,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(1626,382)| 1,169,104,166,1,0,0,0,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(828,394)| 10,170,CUSTO TOTAL,485,502,49,24,8,3,0,30,-  
 1,0,0,0,-1-1-1,0-0-0,|16|B|255-255-0 1,171,28,170,0,0,0,0,0,192,0,-  
 1-1-1,,1|(676,627)| 1,172,30,170,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(85,926)|  
 10,173,SALDO,1204,144,46,24,8,3,0,30,-1,0,0,0,-1-1-1,0-0-0,|16|B|255-255-0  
 1,174,170,173,1,0,0,0,0,192,0,-1-1-1,,1|(771,230)| 1,175,134,173,1,0,0,0,0,192,0,-1-  
 1-1,,1|(1495,116)| 10,176,taxa,793,92,15,11,8,3,0,0,0,0,0,0