



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS

Caio Cesar Garbelotto

**Projeção e Análise comparativa das emissões de veículos elétricos até 2050:  
um modelo de dinâmica de sistemas**

Florianópolis  
2020

Caio Cesar Garbelotto

**Projeção e Análise comparativa das emissões de veículos elétricos até 2050:  
um modelo de dinâmica de sistemas**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista, habilitado em Engenharia de Produção. Orientador: Prof. Mauricio Uriona Maldonado, Dr.

Florianópolis  
2020

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

Garbelotto, Caio Cesar

Projeção e Análise comparativa das emissões de veículos elétricos até 2050 : um modelo de dinâmica de sistemas / Caio Cesar Garbelotto ; orientador, Mauricio Uriona Maldonado, 2020.

158 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Produção Elétrica, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Elétrica. 2. Veículos elétricos. 3. Emissões de gases de efeito estufa. 4. Dinâmica de Sistemas. 5. Simulação. I. Maldonado, Mauricio Uriona. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Produção Elétrica. III. Título.

Caio Cesar Garbelotto

**Projeção e Análise comparativa das emissões de veículos elétricos até 2050:  
um modelo de dinâmica de sistemas**

O presente trabalho em nível de bacharelado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Sérgio Fernando Mayerle, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ricardo Faria Giglio, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, habilitado em Engenharia de Produção.

---

Prof. Guilherme Ernani Vieira, Dr.  
Coordenador do Programa

---

Prof. Mauricio Uriona Maldonado, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 24 de agosto de 2020.

Este trabalho é dedicado à Licimar Machado, vó Mazinha,  
por ter consigo todo o nosso amor.

## AGRADECIMENTOS

À meus amados pais, Geruza e Luiz Antônio, pelo apoio integral.

Ao Prof. Dr. Mauricio Uriona Maldonado, por apresentar o tema e o desafio, pela orientação e por empenhar seu tempo em auxiliar os alunos e compartilhar seus conhecimentos. Aos pós-graduandos do grupo SINERGIA, Tainara Volan, Cosme Borges e Tiago Luna, os quais disponibilizaram seu tempo e *know-how*, apoiando na familiarização com o software de simulação utilizado neste trabalho e nas metodologias inerentes à dinâmica de sistemas.

À Universidade Federal de Santa Catarina, *ARS ET SCIENTIA*, por nos abrir às portas do conhecimento e transformar a sociedade.

Aos professores e doutores que compõem a banca de TCC, pelo tempo dedicado na leitura deste trabalho. Aos professores, mestres e doutores que compõem o corpo docente dos departamentos de engenharia de produção e sistemas (DEPS) e de engenharia elétrica (DEEL) da UFSC.

À *Technische Hochschule Köln* (Universidade de Ciências Aplicadas de Colônia) pelo acolhimento no período de intercâmbio e, em especial, aos Prof. Dr. Ing. Ingo Stadler.

À CAPES e ao CNPq, pelo fomento à ciência no Brasil.

À meu irmão, Gérson Luis, e aos primos, Gabriel A. M. da Rocha, Thiago A. Machado, Bruna e Jefferson Machado Marcílio, por me lembrarem das origens. À tia Tânia R. Garbelotto.

Aos queridos amigos, Arthur Generoso, Bernardo França, Diogo H. Córdova, Gustavo M. de Almeida, Thiago Costa, Paulo Henrique Rosa, Matheus Devincenzi e Marcos Demétrio, pelo companheirismo e pelo incentivo às artes, à cultura e ao esporte.

Aos amigos e colegas que me acompanharam e me apoiaram durante os longos anos de graduação, Bruno Dalmarco, Caroline Menegat, Patrick Metzner, Franciélli Machado, Letícia Zanetti, Daniel Holstak, Luiz H. Costa e Jaqueline L. Zini.

À Indústria de Telecomunicação Eletrônica Brasileira (Intelbras) e, em especial, ao time de soluções e projetos especiais em energia solar fotovoltaica.

À todos aqueles os quais não foram particularmente mencionados, mas que desempenharam papel expressivo na minha formação pessoal, acadêmica e profissional.

*“...se a antiga Desterro se foi,  
se hoje é carro onde era boi,  
hoje é barro onde era água...”  
(Tijuquera, 2006)*

## RESUMO

Dadas as preocupações de agentes governamentais internacionais com a redução das emissões de gases de efeito estufa, nas atividades industriais e particularmente no setor de transportes, faz-se recorrente o incentivo à difusão de tecnologias ditas limpas, isto é, menos poluentes. Esse é o caso dos veículos elétricos e híbridos, os quais, respectivamente, eliminam ou reduzem as emissões locais de escapamento. No caso dos Veículos Elétricos a Bateria (BEV), o potencial de redução de emissões é ainda mais alto, sobretudo em países com a matriz elétrica predominantemente renovável, tal qual a matriz brasileira. Contudo, ainda existem incertezas quanto ao tipo de veículo elétrico mais adequado à realidade do país, considerando particularmente as emissões equivalentes de gases de efeito estufa (GEE). O objetivo deste trabalho é, portanto, avaliar a influência de distintos cenários e políticas na difusão de veículos elétricos e híbridos no Brasil, tendo em vista a redução das emissões equivalentes totais. Para isso é desenvolvido um modelo de dinâmica de sistemas que simula o crescimento da frota de veículos elétricos até 2050 e calcula as emissões equivalentes de cada tecnologia. A partir dos cenários de dominância de determinada tecnologia de veículo elétrico, parcial ou total, ainda é possível verificar-se a intersecção com possíveis políticas para o incentivo da compra desses produtos, como a redução dos impostos (IPI, II, etc) para esses veículos, a perspectiva de redução do custo em R\$/kWh das baterias, isenções ou reduções de IPVA, entre outros, reduzindo o custo total de propriedade/operação do produto. O trabalho conclui que o tipo de veículo elétrico que menos emissões produzirá é o veículo elétrico a bateria, considerando o horizonte de 2050.

**Palavras-chave:** Veículos elétricos. Emissões de gases de efeito estufa. Dinâmica de Sistemas. Simulação.



## ABSTRACT

Given the concerns of international government agents with the reduction of greenhouse gas emissions, in industrial activities and particularly in the transport sector, there is a recurrent incentive to the diffusion of so-called clean technologies, that is, less pollutants. This is the case for electric and hybrid vehicles, which, respectively, can eliminate or reduce local emissions. In the case of battery electric vehicles (BEV), the potential for reducing emissions is even higher, especially in countries with a predominantly renewable electric matrix, such as the Brazilian matrix. However, there are still uncertainties as to the type of electric vehicle best suited to the country's reality, particularly considering the equivalent emissions of greenhouse gases (GHG). The objective of this work is, therefore, to evaluate the influence of different scenarios and policies on the diffusion of electric and hybrid vehicles in Brazil, in order to reduce total equivalent emissions. Accordingly a system dynamics model is developed, which simulates the growth of the electric vehicle fleet until 2050 and calculates the equivalent emissions of each EV technology. From the dominance scenarios of a given electric vehicle technology, partial or total electric propulsion, it is still possible to verify the intersection with possible policies to encourage the purchase of these products, such as the reduction or exemption of taxes (IPI, II, IPVA, etc.) for these vehicles, the prospect of cost reduction in R\$/kWh of batteries, among others, reducing the total cost of ownership and operation of the vehicle. This Bachelors work concludes that the type of electric vehicle that will produce less emissions is the battery electric vehicle, considering the 2050 prediction horizon.

**Keywords:** Electric vehicles. Greenhouse gas emissions. Systems Dynamics. Simulation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Efeito dos adotantes inovadores e imitadores na curva acumulada . . . . .	27
Figura 2 – Curvas de adoção . . . . .	28
Figura 3 – Modelo de difusão de Bass . . . . .	30
Figura 4 – Detalhe das diferentes tecnologias de <i>powertrain</i> . . . . .	33
Figura 5 – Evolução do mercado global de Veículos Elétricos (EV)s . . . . .	34
Figura 6 – Representação de um BEV . . . . .	35
Figura 7 – Representação de um veículo híbrido Plug-in (Veículos Elétricos Híbridos Plug-in (PHEV)) . . . . .	37
Figura 8 – Características de variadas tecnologias de armazenamento . . . . .	39
Figura 9 – Custos de investimento para diferentes tecnologias de armazenamento em função das densidades energéticas e dos rendimentos . . . . .	40
Figura 10 – Capacidade média dos bancos de baterias dos BEV e PHEV em diferentes locais do mundo . . . . .	41
Figura 11 – Perspectiva de preços de baterias de íons de Lítio . . . . .	42
Figura 12 – Reservas mundiais de Lítio . . . . .	42
Figura 13 – Infraestrutura de eletropostos no Brasil . . . . .	44
Figura 14 – Distinção entre os carregamentos Corrente Alternada (CA) e Corrente Contínua (CC) . . . . .	44
Figura 15 – Características elétricas de recarga conforme ABNT IEC 62196-2 . . . . .	45
Figura 16 – Metas para redução das emissões locais devidas à veículos automotores em diferentes países do mundo . . . . .	47
Figura 17 – Alterar as alíquotas do IPI incidente sobre veículos equipados com motores híbridos e elétricos . . . . .	52
Figura 18 – Exemplos de etiquetagem veicular de EVs e <i>Internal Combustion Engine</i> (ICE)s . . . . .	53
Figura 19 – Unidades federativas brasileiras com isenção parcial ou total de IPVA . . . . .	54
Figura 20 – Notações básicas de dinâmica de sistemas . . . . .	57
Figura 21 – <i>Market Share</i> $MS_{EV}(t)$ dos veículos de motorização EV em detrimento dos de motorização ICE . . . . .	60
Figura 22 – Cenário 1: <i>Market Share</i> dos veículos de motorização EV com predominância dos BEV . . . . .	63
Figura 23 – Cenário 2: <i>Market Share</i> dos veículos de motorização EV com predominância dos Veículos Elétricos Híbridos (HEV) . . . . .	63
Figura 24 – Cenário 3: <i>Market Share</i> dos veículos de motorização EV com predominância dos PHEV . . . . .	64
Figura 25 – Modelo de difusão de veículos automotores leves no Brasil de 1980 a 2050 . . . . .	67

Figura 26 – Estrutura de comportamento e tendência de vendas de veículos até 2050 . . . . .	68
Figura 27 – As vendas anuais de veículos $V_k(t)$ até 2050 . . . . .	69
Figura 28 – Estrutura de <i>Market Share</i> para EV no Brasil . . . . .	69
Figura 29 – Submodelo de Difusão dos BEV . . . . .	71
Figura 30 – Submodelo de Difusão dos HEV . . . . .	73
Figura 31 – Submodelo de Difusão dos PHEV . . . . .	74
Figura 32 – Submodelo de Difusão dos ICE . . . . .	75
Figura 33 – Emissões equivalentes em g CO <sub>2</sub> /km percorrido para as frotas de veículos das diferentes motorizações: <i>Business As Usual</i> (BAU) . . . . .	79
Figura 34 – Efeito do preço na adoção para as diferentes tecnologias de veículos . . . . .	79
Figura 35 – Submodelo de difusão dos BEV em conjunto com os efeitos da curva de aprendizado das baterias . . . . .	80
Figura 36 – Parâmetros estabelecidos no <i>STELLA</i> para a otimização através do método <i>Differential Evolution</i> . . . . .	81
Figura 37 – Estrutura exemplo para otimização dos parâmetros dos BEV's . . . . .	81
Figura 38 – Taxas de vendas $L_k(t)$ históricas e simuladas . . . . .	83
Figura 39 – Residuais dos modelos de previsão de cada tipo de veículo . . . . .	83
Figura 40 – Resultados para o cenário base <i>Business As Usual-Internal Combustion Engine</i> (BAU-ICE) . . . . .	85
Figura 41 – Resultados para o cenário base BAU . . . . .	86
Figura 42 – Resultados para a simulação A . . . . .	87
Figura 43 – Resultados para a simulação B . . . . .	88
Figura 44 – Resultados para a simulação C . . . . .	89
Figura 45 – Resultados para a simulação D . . . . .	90
Figura 46 – Resultados para a simulação E . . . . .	92
Figura 47 – Resultados para a simulação F . . . . .	93
Figura 48 – Adotantes (vendas anuais) $A_{BEV}(t)$ (A), $A_{HEV}(t)$ (B) e $A_{PHEV}(t)$ (C) para as diversas simulações . . . . .	94
Figura 49 – Comparativo das emissões totais resultantes das frotas equivalentes para os diversos cenários simulados . . . . .	95
Figura 50 – Consumo de Energia por Tipo no Setor de Transportes . . . . .	105
Figura 51 – Frota atual por tipo de combustível . . . . .	106
Figura 52 – Especificações de alguns BEVs encontrados nos mercados nacionais e internacionais . . . . .	108
Figura 53 – Resultados da parametrização das curva de aprendizado: Quadros A, C e E . . . . .	110
Figura 54 – Fatores de emissões de escapamento para HEV's e PHEV's, em g/km.152	

Figura 55 – Fatores de emissão de escapamento de <i>CO</i> , <i>NO<sub>x</sub></i> , <i>RCHO</i> , <i>NMHC</i> , <i>CH<sub>4</sub></i> , <i>MP</i> para automóveis e veículos comerciais leves novos, movidos a gasolina C e a etanol hidratado (ICE), em g/km. . . . .	153
Figura 56 – Algumas especificações de EVs . . . . .	154
Figura 57 – Quantitativo por categoria de iniciativa pela mobilidade elétrica . . .	155
Figura 58 – Quantitativo anual por categoria de iniciativa pela mobilidade elétrica	155
Figura 59 – Quantitativo de iniciativas pela mobilidade elétrica no Brasil . . . . .	156

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas do procedimento metodológico. . . . .	57
Quadro 2 – Matriz de Políticas e Cenários. . . . .	65
Quadro 3 – Descrição das simulações . . . . .	66
Quadro 4 – Efeitos Ambientais e externos do transporte segundo vários autores.	107

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3 – O quantitativo histórico dos adotantes de veículos elétricos no Brasil	34
Tabela 4 – Planos de implementação e incentivos financeiros relacionados a mobilidade elétrica em nível nacional de alguns países membros do IA-HEV . . . . .	48
Tabela 5 – Alíquotas de imposto de importação (Imposto de Importação (II)) para EVs . . . . .	50
Tabela 6 – Descontos das alíquotas de Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para veículos de fabricantes que atingirem as metas de Eficiência Energética (EE) veicular . . . . .	54
Tabela 7 – Cenários de <i>Market Share</i> $MS_{EV}(t)$ para cada tipo de motorização EV	62
Tabela 8 – Cenário 1 - Domínio dos BEV em 2050 . . . . .	62
Tabela 9 – Cenário 2 - Domínio dos HEV em 2050 . . . . .	62
Tabela 10 – Cenário 3 - Domínio dos PHEV em 2050 . . . . .	64
Tabela 11 – Intensidade de uso $D_j(t)$ de referência para veículos automotores leves . . . . .	76
Tabela 12 – $EF_{SIN}$ - Fatores de emissões de $CO_2$ equivalentes do Sistema Interligado Nacional . . . . .	78
Tabela 13 – Dados das métricas referentes à calibração e validação do modelo .	82
Tabela 14 – Alguns projetos conforme o P&D Estratégico nº 22/2018: Desenvolvimento de Soluções em Mobilidade Elétrica Eficiente . . . . .	157
Tabela 15 – Relação das propostas de projeto relacionados à mobilidade elétrica do edital de SELEÇÃO PÚBLICA MCT/FINEP/FNDCT - Subvenção Econômica à Inovação - 01/2010 . . . . .	158

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
AWD	<i>all-wheel drive</i> , ou tração integral
BAU	<i>Business As Usual</i>
BAU-ICE	<i>Business As Usual-Internal Combustion Engine</i>
BEN	Balanço Energético Nacional
BEV	Veículos Elétricos a Bateria
BMS	<i>Battery Management System</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CA	Corrente Alternada
CAMEX	Câmara de Comércio Exterior
CAPEX	<i>Capital Expenditures</i>
CC	Corrente Contínua
CCJC	Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania
CCTCI	Comissão de Ciência e Tecnologia, Comunicação e Informática
CME	Comissão de Minas e Energia
CSLL	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido
DE	<i>Differential Evolution</i>
DS	Dinâmica de Sistemas
EE	Eficiência Energética
EPA	<i>US Environmental Protection Agency</i>
EV	Veículos Elétricos
F	<i>Scaling Factor</i>
Finep	Financiadora de Estudos e Projetos
GEE	Gases de Efeito Estufa
GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>
HEV	Veículos Elétricos Híbridos
IA-HEV	<i>Hybrid &amp; Electric Vehicle Implementing Agreement - International Energy Agency</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBPT	Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i>
II	Imposto de Importação
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados

IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
IR	Imposto de Renda
Letec	<i>Lista Brasileira de Exceções à Tarifa Externa Comum</i>
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MOM	Massa em Ordem de Marcha
MS	<i>Market Share</i> ou participação de mercado
NEDC	<i>New European Driving Cycle</i>
OPEX	<i>Operational Expenditures</i>
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular
PHEV	Veículos Elétricos Híbridos Plug-in
PPP	Parceria público-privada
PROMOB-e	Projeto de Cooperação Brasil Alemanha em Sistemas de Propulsão Eficiente
QA	Simulação A
QB	Simulação B
QD	Simulação D
REEV	<i>Range Extended Electric Vehicle</i>
ROL	Receita Operacional Líquida
SIN	Sistema Interligado Nacional
SoC	<i>State of Charge</i>
STELLA	<i>Software</i> de Simulação
TCO	<i>Total cost of ownership</i>
UC	Unidade Consumidora
V2G	<i>Vehicle to Grid</i>
WLTP	<i>Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure</i>



## LISTA DE SÍMBOLOS

$V_k(t)$	Taxa de Vendas anual de todos os veículos ano t da simulação
$L_k(t)$	Taxa de Licenciamento de veículos do tipo k no ano t da simulação
$A_{BEV}(t)$	Adotantes do tipo de veículo BEV no ano t da simulação
$A_{HEV}(t)$	Adotantes do tipo de veículo HEV no ano t da simulação
$A_{PHEV}(t)$	Adotantes do tipo de veículo PHEV no ano t da simulação
$D_j(t)$	Distância percorrida por veículos de ano de idade j no ano t
$CO_2$	Dióxido de carbono
$q$	Coefficiente de adoção por imitação
$p$	Coefficiente de adoção por inovação
$PM_k(t)$	Mercado Potencial do tipo de veículo k no ano t da simulação
$A_k(t)$	Adotantes do tipo de veículo k no ano t da simulação
$t$	Ano da simulação
$C(t)$	Preço
$C(0)$	Preço inicial
$ELP$	<i>Effect of Learning on Price</i>
$E(t)$	Experiência acumulada
$E(t_0)$	Experiência inicial
$\lambda$	Coefficiente de aprendizado
$dt$	Elemento infinitesimal de t
$pf$	percentual fixo de redução de preço causado pela curva de aprendizado
$E_A$	Energia Armazenada em Wh
$U$	Tensão da bateria
$C$	Capacidade da bateria
$RMSE$	<i>Root Mean Square Error</i>
$MAE$	<i>Mean Absolute Error</i>
$e_t$	Erro absoluto
$X_d$	Valor do dado histórico
$X_m$	Valor do dado simulado
$R^2$	Coefficiente de Determinação
$r$	Coefficiente de Correlação
$X$	Valor do dado
$n$	Número de variáveis
$\mu$	Valor Médio
$\sigma$	Desvio Padrão
$MSE$	<i>Mean Square Error</i>
$MS_{EV}(t)$	<i>Market Share</i> de veículos elétricos no ano t da simulação
$MS_k(t)$	<i>Market Share</i> de veículos do tipo k no ano t da simulação
$MS_{BEV}(t)$	<i>Market Share</i> de veículos do tipo BEV no ano t da simulação

$MS_{HEV}(t)$	<i>Market Share</i> de veículos do tipo HEV no ano t da simulação
$MS_{PHEV}(t)$	<i>Market Share</i> de veículos do tipo PHEV no ano t da simulação
$k$	Tipo de tração do veículo
$MS_{ICE}(t)$	<i>Market Share</i> de veículos do tipo ICE no ano t da simulação
$q_{EV}$	Coefficiente de adoção por imitação para todos os elétricos e híbridos
$q_{BEV}$	Coefficiente de adoção por imitação de veículos do tipo BEV
$q_{HEV}$	Coefficiente de adoção por imitação de veículos do tipo HEV
$EF_k(t)$	Fator de emissão equivalente do tipo de veículo k no ano t da simulação
$L_{ICE}(t)$	Taxa de Licenciamento de veículos do tipo ICE no ano t da simulação
$L_{BEV}(t)$	Taxa de Licenciamento de veículos do tipo BEV no ano t da simulação
$L_{HEV}(t)$	Taxa de Licenciamento de veículos do tipo HEV no ano t da simulação
$L_{PHEV}(t)$	Taxa de Licenciamento de veículos do tipo PHEV no ano t da simulação
$V_k^T(t)$	Tendência de Taxa de Vendas de veículos do tipo k no ano t da simulação
$V_k^S(t)$	Sazonalidade de Taxa de Vendas de veículos do tipo k no ano t da simulação
$T_x(t)$	Taxa de vendas
$T_{MG}(t)$	Taxa Marginal de vendas
$\gamma(t)$	Efeito de saturação de vendas no ano t da simulação
$\alpha(t)$	Função de amplitude da onda senoidal que modela a sazonalidade de vendas
$\tau$	Período em anos da onda senoidal que modela a sazonalidade de vendas
$V_k^S(t_0)$	Valor inicial da sazonalidade da Taxa de Vendas de veículos do tipo k no ano t da simulação
$\omega$	Frequência angular
$\delta(t)$	Função degrau
$t_0$	Instante inicial
$c$	Pendente de crescimento
$f$	Frequência da onda senoidal que modela a sazonalidade de vendas
$MGR_k(t)$	Taxa de crescimento de mercado <i>Market Growth Rate</i> do tipo de veículo k no ano t da simulação
$PA_k(t)$	Adotantes Potenciais do tipo de veículo k no ano t da simulação
$DR_{k,j}(t)$	Taxa de descarte do veículo k de idade j por ano de uso
$j$	Idade do veículo ou número de períodos no sistema
$p_k$	Coefficiente de adoção por inovação de veículos do tipo k
$q_k$	Coefficiente de adoção por imitação de veículos do tipo k
$p_{BEV}$	Coefficiente de adoção por inovação de veículos do tipo BEV
$p_{HEV}$	Coefficiente de adoção por inovação de veículos do tipo HEV
$p_{PHEV}$	Coefficiente de adoção por inovação de veículos do tipo PHEV
$q_{PHEV}$	Coefficiente de adoção por imitação de veículos do tipo PHEV

$A_{ICE}(t)$	Adotantes do tipo de veículo ICE no ano t da simulação
$EF_{ICE}(t)$	Fator de emissão equivalente para o conjunto dos ICEs
$ef_{ICE}(t)$	Fator de emissão equivalente para ICEs em gCO2/km rodado
$ef_{gasolC}(t)$	Fator de emissão equivalente para veículos a gasolina c em gCO2/km rodado
$L_{gasolC}(t)$	Taxa Percentual de Licenciamento de veículos a gasolina c no ano t da simulação
$ef_{etanol}(t)$	Fator de emissão equivalente para veículos a etanol em gCO2/km rodado
$L_{etanol}(t)$	Taxa Percentual de Licenciamento de veículos a etanol no ano t da simulação
$ef_{fl,gasol}(t)$	Fator de emissão equivalente para veículos flex a gasolina c em gCO2/km rodado
$ef_{fl,ga,BAU}(t)$	Fator de emissão equivalente para veículos flex a gasolina BAU em gCO2/km rodado
$L_{fl}(t)$	Taxa Percentual de Licenciamento de veículos flex no ano t da simulação
$L_{fl,etanol}(t)$	Taxa Percentual de uso de etanol em veículos flex no ano t da simulação
$ef_{fl,etanol}(t)$	Fator de emissão equivalente para veículos flex a etanol em gCO2/km rodado
$ef_{fl,et,BAU}(t)$	Fator de emissão equivalente para veículos flex a etanol <i>Business As Usual</i> em gCO2/km rodado
$\bar{D}_j(t)$	Distância média percorrida por veículos durante sua vida útil
$ef_{HEV}(t)$	Fator de emissão equivalente para HEVs em gCO2/km rodado
$EF_{HEV}(t)$	Fator de emissão equivalente para o conjunto dos HEVs
$ef_{PHEV}(t)$	Fator de emissão equivalente para PHEVs em gCO2/km rodado
$EF_{PHEV}(t)$	Fator de emissão equivalente para o conjunto dos PHEVs
$EF_{SIN}(t)$	Fator de emissão equivalente para O Sistema Interligado Nacional
$\eta_{BEV}(t)$	Rendimento ou eficiência dos BEVs no ano t da simulação
$EF_{BEV}(t)$	Fator de emissão equivalente para o conjunto dos BEVs

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>22</b>
1.1	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	22
1.2	OBJETIVOS	24
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>24</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>24</b>
1.3	JUSTIFICATIVA	24
1.4	DELIMITAÇÕES E PREMISSAS	25
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>26</b>
2.1	AS TEORIAS DE DIFUSÃO DA INOVAÇÃO	26
<b>2.1.1</b>	<b>O Modelo de Bass e a Dinâmica de Sistemas (DS)</b>	<b>26</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Extensões do modelo de Bass</b>	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS</b>	<b>32</b>
3.1	O ESTADO ATUAL DA DIFUSÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS NO BRASIL	33
<b>3.1.1</b>	<b>Veículos elétricos a Bateria BEV no Brasil</b>	<b>33</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Veículos híbridos HEV e PHEV no Brasil</b>	<b>37</b>
3.2	BATERIAS	38
3.3	INFRAESTRUTURA DE CARREGAMENTO	43
3.4	POLÍTICAS E INCENTIVOS PARA O MERCADO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS	46
<b>3.4.1</b>	<b>Políticas Públicas</b>	<b>47</b>
3.4.1.1	Federais	47
3.4.1.2	Estaduais e municipais	52
<b>3.4.2</b>	<b>Financiamento</b>	<b>53</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>56</b>
4.1	MATERIAIS E MÉTODOS	56
4.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	57
<b>4.2.1</b>	<b>Construção do Modelo</b>	<b>58</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Calibração e validação do modelo</b>	<b>58</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Determinação das políticas e cenários testados</b>	<b>60</b>
4.2.3.1	Cenários	61
4.2.3.2	Políticas	62
<b>4.2.4</b>	<b>União das políticas e cenários testados</b>	<b>65</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Análise e avaliação dos cenários e políticas</b>	<b>66</b>
<b>5</b>	<b>CONSTRUÇÃO DO MODELO</b>	<b>67</b>
5.1	SUBMODELO DE VEÍCULOS	68
<b>5.1.1</b>	<b>Submodelo para o <i>Market Share</i></b>	<b>70</b>

5.1.2	<b>Submodelo para veículos elétricos a bateria BEV</b>	70
5.1.3	<b>Submodelo para os veículos híbridos HEV</b>	73
5.1.4	<b>Submodelo para os veículos híbridos plug-in PHEV</b>	73
5.1.5	<b>Submodelo para os veículos a combustão interna ICE</b>	73
5.1.6	<b>Submodelo para as emissões equivalentes</b>	75
5.1.6.1	Fatores de emissão média de CO <sub>2</sub> e emissões equivalentes para veículos a combustão interna	75
5.1.6.2	Fatores de emissão média de CO <sub>2</sub> e emissões equivalentes para HEV	76
5.1.6.3	Fatores de emissão média de CO <sub>2</sub> e emissões equivalentes para PHEV	77
5.1.6.4	Fatores de emissão média de CO <sub>2</sub> e emissões equivalentes para BEV	77
5.1.6.5	Construção das curvas de aprendizado para as baterias de íons de Lítio	78
5.2	<b>ESTIMAÇÃO E VALIDAÇÃO</b>	80
6	<b>RESULTADOS</b>	84
6.1	CENÁRIO BASE: BAU-ICE	84
6.2	CENÁRIO BASE: BAU	84
6.3	CENÁRIO 1	87
6.3.1	<b>A: Dominância BEV + Curva aprendizado baterias</b>	87
6.3.2	<b>B: Dominância BEV + Incremento nos coeficientes qEV</b>	88
6.4	CENÁRIO 2	89
6.4.1	<b>C: Dominância HEV + Curva aprendizado baterias</b>	89
6.4.2	<b>D: Dominância HEV + Incremento nos coeficientes qEV</b>	90
6.5	CENÁRIO 3	91
6.5.1	<b>E: Dominância PHEV + Curva aprendizado baterias</b>	91
6.5.2	<b>F: Dominância PHEV + Incremento nos coeficientes qEV</b>	91
6.6	COMPARATIVO DOS QUADROS	92
6.6.1	<b>Comparativo de adotantes de tecnologias de veículos elétricos e híbridos nos diferentes cenários</b>	92
6.6.2	<b>Comparativo das emissões totais resultantes do tráfego das fro- tas equivalentes aos cenários simulados</b>	93
7	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	96
	<b>REFERÊNCIAS</b>	98
	<b>APÊNDICE A – A PARCELA DOS TRANSPORTES NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA</b>	105
	<b>APÊNDICE B – ESPECIFICAÇÕES DE BEV'S E OS RESULTA- DOS DA CURVA DE APRENDIZADO PARA AS BATERIAS</b>	108

<b>APÊNDICE C – EQUACIONAMENTO DO TRABALHO EMT ER- MOS DE DINÂMICA DE SISTEMAS - <i>Software</i> de Simulação (STELLA) . . . . .</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO A – FATORES MÉDIOS DE EMISSÃO DE ESCAPAMENTO</b>	<b>152</b>
<b>ANEXO B – INICIATIVAS PELA MOBILIDADE ELÉTRICA NO BRASIL ATÉ 2019 . . . . .</b>	<b>155</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

As mudanças climáticas, provocadas pelo aquecimento global, constituem alguns dos principais desafios a serem debatidos pela comunidade internacional na atualidade. As ações antrópicas contribuem vigorosamente para a acumulação de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, sobretudo pelo emprego de energia, seja, pelo consumo direto através de geração de energia, ou pela utilização de energia nos transportes, na indústria, na construção civil, etc (ANTP, 2013).

De acordo com a EPE (2018) 32,7% do consumo final de energia no Brasil se dá pelo setor de transportes, dentre os quais 93% se deve ao consumo do modal rodoviário, enquanto o restante, de 7%, se deve aos modais ferroviário, aéreo e hidroviário, o que evidencia a dominância do modal rodoviário ante aos outros modais.

Segundo Bôa Nova (1985), a anteposição do modal rodoviário sustentado pela motorização individual tem seu alicerce em dimensões políticas, econômicas e sociais, caracterizando parte essencial do modelo de desenvolvimento implementado no Brasil, alicerçado no consumismo e no conseqüente dispêndio exacerbado de recursos naturais e de energia. Os automóveis individuais também ganham conotação de status social no mercado brasileiro, sendo significativa a declaração de Mário Garnero, quando era presidente da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA): “o automóvel é um instrumento de liberdade, mediante o qual o homem exerce o seu direito sagrado de ir e vir” (BÔA NOVA, 1985). De acordo com o MMA (2013b) alguns fatores contribuem para o aumento expressivo da motorização individual (automóveis e motocicletas), dentre os quais estão as crescentes taxas de urbanização e a deficiência de políticas públicas de transporte em massa. Segundo projeção do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2050 a população brasileira será de 233 milhões de pessoas, cerca de 11% maior do que atualmente (IBGE, 2019). A Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) aponta que a demanda de passageiros por transporte público vem diminuindo desde 2008, o que pode se dever ao fato de que o Estado brasileiro vem utilizando de diversas medidas de apoio ao uso do automóvel, como a redução do IPI para o setor em 2008 e 2012, também a flexibilização da compra de veículos, a falta de fiscalização das infrações de trânsito, a contenção do custo da gasolina (enquanto entre 1999 e 2018 o Diesel aumentou, em relação à gasolina, 193%), etc, e o resultado disso é que o custo para um deslocamento típico de 7 km nas cidades brasileiras com um automóvel é o mesmo que uma tarifa de ônibus, no entanto, com o automóvel o tempo de percurso é 30% menor, já para as motocicletas tem-se 50% do custo da tarifa de ônibus e 30% do tempo de deslocamento do mesmo (ANTP, 2019).

Segundo o IBPT (2018), a frota brasileira de veículos em circulação vem

crecendo e conta com de cerca de 65 milhões de veículos, contabilizando automóveis (63%), motocicletas (23%), veículos comerciais leves (11%), caminhões (3%) e ônibus/micro-ônibus (1%). É ainda de se considerar que os combustíveis fósseis são usados em ampla fatia da matriz energética nacional, em particular também no setor de transportes, onde são, em maior parte, demandados por veículos de combustão interna, motorizados à ciclo de Otto e à ciclo Diesel. Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN), elaborado pela EPE (2018), os combustíveis fósseis compõem 78% do consumo final de energia nos transportes no Brasil. Ainda, pode-se confirmar isto a partir de dados de DENATRAN (2019), ao obter a quantia e proporção de licenciamentos de veículos para os diversos tipos de combustível, assim como a fatia de veículos elétricos (BEV) e híbridos (HEV e PHEV), que juntos compõem minimamente 0,02% da frota nacional de veículos rodoviários automotores.

Nesse contexto de redução das emissões de gases de escapamento, surgem os veículos híbridos, HEV e PHEV, como uma opção de tecnologia mais eficiente (km/l) e menos poluente ( $gCO_2/km$ ). No entanto, esses veículos continuam emitindo gases de escapamento, dada a propulsão majoritária pelo motor de combustão interna e, além disso, os veículos híbridos exigem manutenção em nível similar aos veículos a combustão. Em alternativa tem-se os veículos elétricos a bateria (BEV), os quais não apresentam quaisquer emissões de escapamento, pela ausência de motor a combustão interna, além de serem mais eficientes (ex: percorrem 100 km com 10 kWh, isto é, cerca de R\$5,00) e não requisitarem elevados dispêndios com manutenção, em virtude de não terem alguns componentes inerentes de veículos a combustão, tais como câmbio, radiador, filtros de ar, óleo e combustível, sistema de exaustão, correias, velas, catalisador, etc. É de se pontuar, é claro, que mesmo que os veículos elétricos a bateria não emitam gases de escapamento (emissões móveis locais), esses apresentam emissões equivalentes na fonte produtora de eletricidade (fontes fixas de emissão), as quais a presente pesquisa também se propõe a mensurar.

De posse disso, Milanez *et al.* (2017) afirma que no que tange a seu impacto na redução de emissões de  $CO_2$ , a eletrificação veicular será ambientalmente mais sustentável à medida que os veículos sejam recarregados por meio de fontes renováveis de eletricidade, o que está ainda longe de ser o caso das regiões onde se concentra a maior parte da frota de veículos elétricos, como EUA, China e Europa. Em adição à isso, Castro, Barros e Veiga (2013) afirmam que o Brasil é o país em que, em tese, os benefícios ambientais da adoção dos veículos elétricos são mais importantes, pois haveria uma redução substancial na poluição nas cidades sem deslocá-la para as usinas de geração de energia, uma vez que a matriz energética brasileira é concentrada em fontes renováveis (hidrelétrica, eólica, solar fotovoltaica). Em vários outros países, um veículo puramente elétrico poderia ter impacto ambiental menos relevante, dependendo da forma pela qual a energia utilizada no veículo seria gerada.



Portanto, em função do que foi apresentado, o problema de pesquisa é determinar, entre as tecnologias de veículos elétricos e híbridos disponíveis no mercado, a tecnologia mais adequada para o contexto brasileiro, tendo em vista a eficiência e o nível de emissões.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência de distintos cenários e políticas na difusão de veículos elétricos e híbridos no Brasil.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos contemplam:

- a) Projetar a difusão de veículos elétricos no mercado automobilístico brasileiro.
- b) Designar os cenários e políticas a serem testados.
- c) Avaliar o impacto da curva de aprendizado na difusão dos tipos de veículo e nas emissões equivalente totais.
- d) Avaliar o impacto do aumento gradual do coeficiente de adoção por imitação ( $q$ ) na difusão dos tipos de veículo e nas emissões equivalente totais.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Dada a predominância do transporte rodoviário no Brasil, sobretudo através de veículos automotores de uso individual ou particular (não-público), também em função da ausência de políticas públicas que fomentem o uso e o fornecimento com qualidade do transporte público de massa, é de se esperar que, à medida que cresce a população, cresça a frota de veículos automotores individuais, o que pode comprometer a mobilidade e a qualidade do ar dos meios urbanos. Portanto, tendo em vista o desenvolvimento econômico aliado à sustentabilidade ambiental, faz-se justificável o interesse de quantificar e qualificar os benefícios relativos que podem resultar da difusão dos veículos elétricos e híbridos. Nesse universo, fazem-se necessárias prospecções do mercado, visando, não somente entender o mercado e suas necessidades, no intuito de orientar decisões estratégicas e aumentar a probabilidade de sucesso dos produtos, mas também de mensurar os relativos benefícios ambientais da difusão deste produto. O veículo automotor é uma tecnologia conhecida, porém a migração da tecnologia de motor de combustão interna para a tecnologia do motor elétrico altera significativamente as propriedades básicas do produto, o que requer mudanças

drásticas no comportamento dos consumidores, aumentando o grau de incertezas relativas à difusão desse produto e, conseqüentemente, carro elétrico é considerado uma inovação radical (NEUMANN *et al.*, 2014). Para essas situações considera-se propício o uso do modelo de difusão de tecnologias de Bass (1969).

#### 1.4 DELIMITAÇÕES E PREMISAS

Em consequência da multiplicidade de variáveis de decisão inerentes à modelagem deste trabalho, é necessário assumir algumas premissas em vias de delimitar e viabilizar o desenvolvimento do mesmo. A primeira premissa considerada é de que, mesmo sendo este um estudo de longo prazo, no horizonte de algumas décadas, e dada a observação do comportamento da série histórica, a curva de vendas de veículos leves no futuro deverá se comportar da mesma forma. Além disso, o trabalho se delimita no estudo dos veículos automotores leves, não englobando o estudo do efeito da eletrificação nas motocicletas e tampouco nos veículos pesados (ônibus, caminhões).

Outra premissa é de que, no âmbito da transição energética, a qual consiste, de forma geral, na transição das fontes fósseis para fontes mais limpas, tanto para produção de energia quanto para transporte, mesmo que venha a ocorrer a substituição das frotas a combustão por frotas elétricas, por exemplo, o excedente de combustíveis (com prováveis baixos preços) resultante dessa troca não seria alocado para a geração de energia elétrica ou para qualquer outra atividade que origine emissão de GEE.

Além disso, para o cálculo de emissões equivalentes de GEE em períodos futuros, considera-se que os veículos a combustão terão eficiência e níveis de emissão similares às médias atuais e, também, para as emissões do Sistema Interligado Nacional (SIN), assume-se que a matriz elétrica brasileira continua correlata à atual, isto é, não interfere-se na dinâmica da evolução da matriz elétrica e leva-se em conta que a mesma deve prosseguir sendo composta por cerca de 60% de fontes limpas.

Por fim, é sabido que, em geral, uma função de densidade de probabilidade de descrição de erros experimentais ou de modelagem deve aderir, aproximadamente, à forma de uma distribuição normal ou gaussiana. No entanto, em um cenário denotado por causas especiais, como é o caso de uma conjuntura com um ínfimo conjunto de dados, pode não haver a aderência dos erros residuais à tal comportamento.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 AS TEORIAS DE DIFUSÃO DA INOVAÇÃO

#### 2.1.1 O Modelo de Bass e a DS

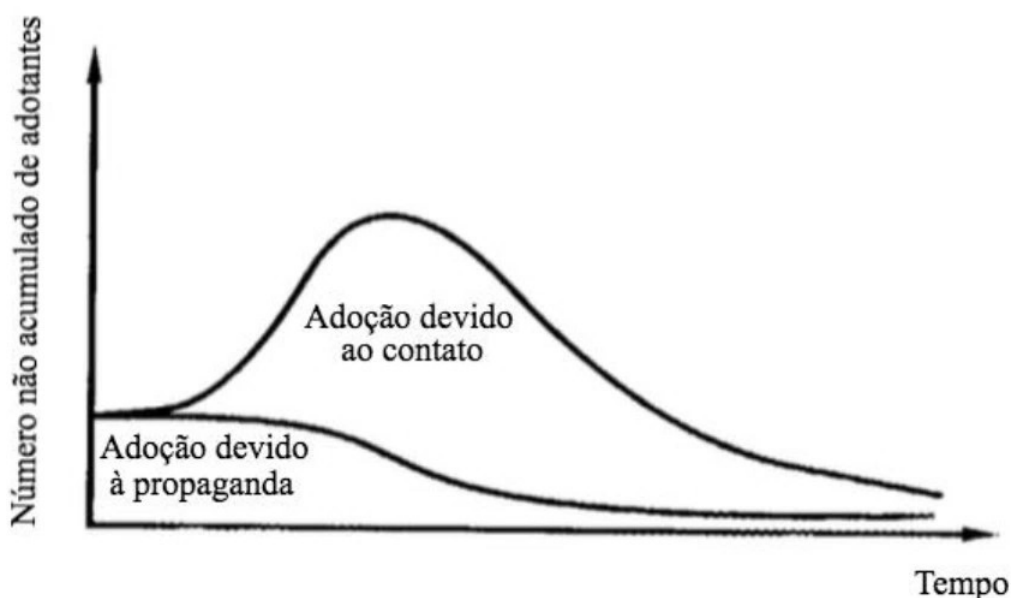
A difusão de produtos é o comportamento de crescimento de vendas de determinado produto, desde seu lançamento até a sua saturação no mercado. A teoria de adoção e difusão de novas ideias ou novos produtos em um sistema social é amplamente discutida por Rogers (1983) e Bass (1969), sendo que o segundo delinea as principais premissas teóricas a fim de enfatizar o momento da adoção.

Bass (1969) assume, basicamente, que o momento inicial de compra de um consumidor pode ser determinado pelo número anterior de compradores do mesmo. Sterman (2000) afirma que o modelo de Bass (1969) é uma significativa extensão do modelo logit básico para a difusão de inovações e ainda sugere melhorias para o modelo, como o acréscimo da interação das curvas de aprendizado, tornando o preço do produto uma parte endógena do modelo. Klasen e Neumann (2011), por exemplo, ainda acrescentam o modelo de escolha direta que, através da utilidade dos produtos disponíveis, permite determinar a probabilidade relativa de compra do novo produto, o que contradiz o modelo de Bass (1969), pois desconsidera as forças sociais da interação de adotantes e não adotantes ao longo do tempo. Entre os atributos de veículos elétricos listados por Klasen e Neumann (2011) estão: preço, autonomia da bateria, custo variável por quilômetro rodado, tempo de carregamento da bateria, durabilidade da bateria, emissões de  $CO_2$ , velocidade máxima, aceleração, nível de ruído, etc. Ainda visando incrementar o modelo de Bass (1969), Morecroft (2015), assim como Maier (1998), procuram entender a complexidade do problema a partir da dinâmica das interações desses agentes influenciadores no tempo, incorporando, a partir da perspectiva da Dinâmica de sistemas, elementos de competição no mercado e de substituição entre sucessivas gerações do produto.

Bass (1969) modela o momento inicial de compra para produtos inovadores, conjecturando o comportamento dos potenciais consumidores, classificando-os em dois grupos: os inovadores e os imitadores. Bass (1969) parte da premissa de que em um sistema social alguns indivíduos decidem adotar uma inovação independentemente das decisões de outros indivíduos, e esses indivíduos são denotados como inovadores, sendo também conhecidos como os adotantes por publicidade. Espera-se então, ordinariamente, que os primeiros adotantes de uma nova ideia ou novo produto sejam inovadores. Na literatura as classes de adotantes são classificadas conforme o momento da adoção como: (I) Inovadores, (II) Adotantes precoces, (III) Maioria precoce, (IV) Maioria tardia e (V) Atrasados. Na formulação matemática da teoria de Bass (1969) os grupos (II), (III), (IV) e (V) são agregados e definidos sob a alcunha de imita-

dores, ou adotantes por boca a boca, configurando grupos cujos momentos de adoção são notoriamente influenciados pela pressões do sistema social, considerando que as pressões aos adotantes tardios crescerão de acordo com o número de adotantes anteriores. Em contrapartida, o grupo de inovadores não sofre influência do número de adoções anteriores. O somatório de adotantes pertencentes aos grupos mencionados constituirá a taxa de adoção de determinada tecnologia naquele período. A distribuição dessas classes de adotantes no tempo, conforme a Figura 1, compõe a curva de Gauß exposta na Figura 2.b. Os valores acumulados da taxa de adoção representam os adotantes absolutos e formam uma curva na forma de S, conforme a curva 1 da Figura 2.a. A curva S, por sua vez, inicia com um hiper-crescimento, seguido de um

Figura 1 – Efeito dos adotantes inovadores e imitadores na curva acumulada

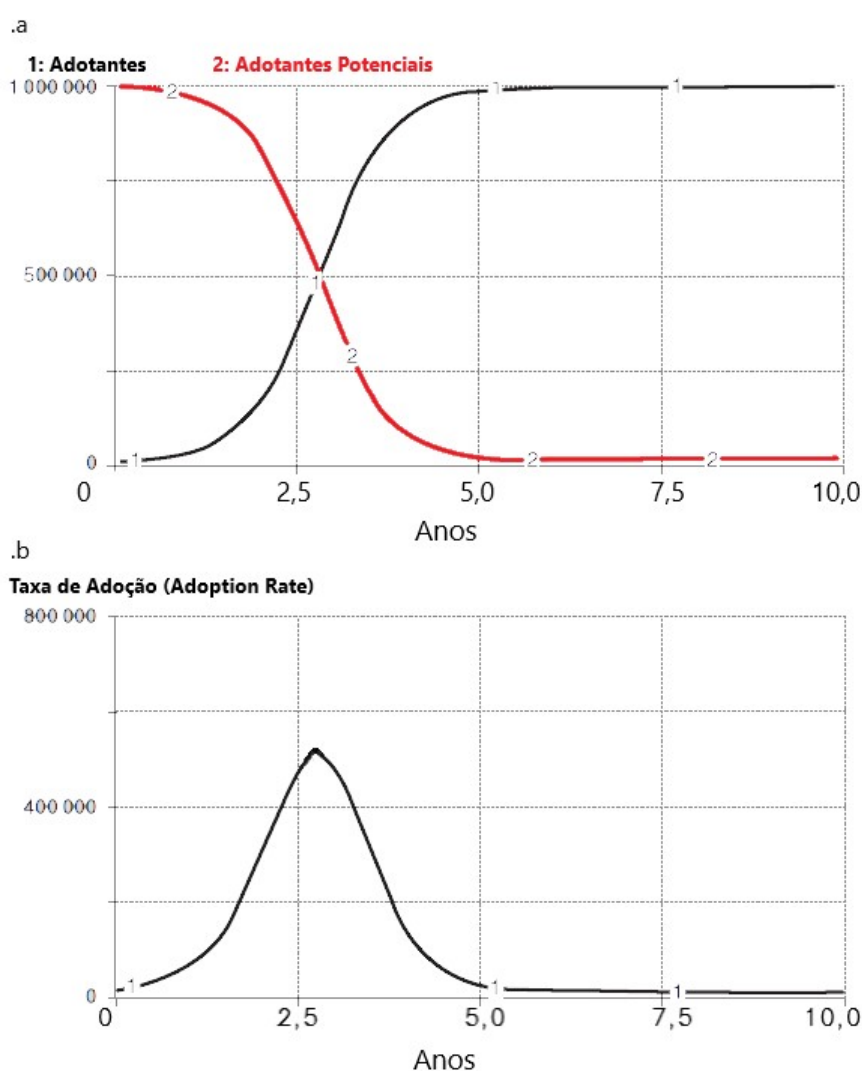


Fonte: Adaptado de Mahajan, Muller e Bass (1990)

ponto de inflexão e, por conseguinte, da desaceleração do crescimento de adotantes acumulados, até que ocorra a saturação do sistema.

Morecroft (2015) aponta que curvas do tipo S são encontradas, além da difusão de produtos, em diversas áreas do conhecimento, tais como em sistemas biológicos e ecológicos. Para Morecroft (2015) a saturação de mercado se aproxima de 100% quando quase todos consumidores ou nicho de mercado já possuem o produto, ou seja, à medida que cresce a relação entre as vendas acumuladas e o tamanho do mercado. O modelo de Bass serve particularmente, em consequência disso, para a prospecção do comportamento futuro de adoção da tecnologia ou produto em questão. Primeiramente, o modelo deve ser então construído quando o estado da difusão ainda

Figura 2 – Curvas de adoção



Fonte: Adaptado de Morecroft (2015)

não alcançou a saturação.

Em vista disso, o modelo proposto por Bass (1969) se utiliza do comportamento de dois tipos de consumidores: os inovadores e os imitadores. Esses parâmetros são descritos, respectivamente, por um coeficiente de inovação  $p$  e um coeficiente de imitação  $q$ . Em resumo, alguns fatores englobados nesses parâmetros podem ser características individuais dos consumidores, disponibilidade de informações sobre os produtos, recomendações pessoais positivas ou negativas, entre outros. O modelo pressupõe que todos os fatores que influenciam o processo de difusão podem ser representados pelos coeficientes  $p$  e  $q$  e esses parâmetros devem ser estimados, a fim de validar o modelo, com base em dados históricos. O autor modelou a taxa de adoção  $L_k(t)$  em função da participação de mercado potencial  $PM_k(t)$ , do número de adotantes anteriores  $A_k(t)$ , além, é claro, dos coeficientes acima mencionados, sendo formulada na Equação 1. Na Equação 1 pode-se então perceber que o coeficiente  $p$

refletirá a fração de todos os adotantes que são inovadores, enquanto o produto  $\frac{q \times A_k(t)}{PM_k(t)}$  reflete a pressão incidente sobre os imitadores à medida que aumenta o número de compradores anteriores.

$$\frac{L_k(t)}{PM_k(t) - A_k(t)} = p + \frac{q \times A_k(t)}{PM_k(t)} \quad (1)$$

Sendo:

$L_k(t)$ : Taxa de adoção da tecnologia  $k$  no período  $t$  da simulação

$PM_k(t)$ : Tamanho do mercado potencial, em unidades

$A_k(t)$ : Acumulado de adotantes do produto ou tecnologia

$p$ : coeficiente de adoção por inovação ou por publicidade

$q$ : coeficiente de adoção por imitação ou por boca a boca

Com isso, se  $A_k(t)$  é a função acumulada,  $L_k(t)$  é a função densidade de adoção no tempo  $t$ , segundo a Equação 2.

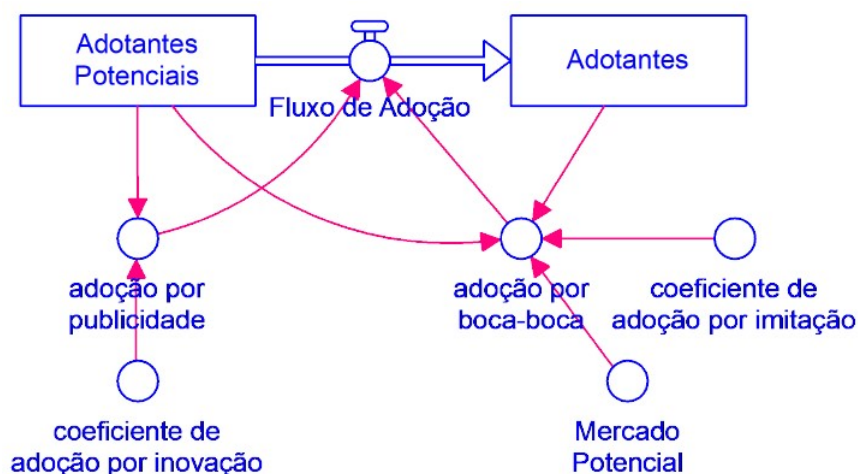
$$L_k(t) = \frac{\partial A_k(t)}{\partial t} \quad (2)$$

Segundo Neumann *et al.* (2014), apesar de ser largamente empregado, o modelo de Bass (1969) tem recebido críticas por suas premissas, e, além disso, não é um modelo facilmente parametrizável quando aplicado em um mercado com poucas informações, à exemplo de mercados de produtos radicalmente novos, como é o caso do mercado de mobilidade elétrica, nos quais há a ocorrência de profundas alterações no comportamento dos consumidores. Sendo assim, diversas outras abordagens objetivam melhorar e ampliar este modelo, à exemplo da formulação de Sterman (2000), que leva em conta a interação da difusão e da curva de aprendizado, ou também da formulação de Klasen e Neumann (2011), que também incorpora melhorias ao modelo. Sterman (2000) adaptou então o clássico modelo de Bass para sistemas dinâmicos, conforme o diagrama da Figura 3. Toda a simbologia referente à DS será melhor abordada e explicada na Seção 4.1, referente aos materiais e métodos utilizados no trabalho.

### 2.1.2 Extensões do modelo de Bass

Uma possível extensão para o modelo de Bass é o impacto do avanço tecnológico nos fatores de decisão de compra. O preço de produtos e serviços inovadores deve diminuir ao longo do tempo, caracterizando o que é conhecido como efeito da curva de aprendizado, o qual é causado, entre outros, pelos ganhos de economia de escala, pela melhoria tecnológica e de processos de fabricação, pela competitividade do mercado e em termos de atributos e funcionalidades do produto. Sterman (2000) menciona que em diversas indústrias já foram observadas reduções de custo de 10% a 30% a cada duplicação na experiência acumulada. Para incorporar o efeito da curva

Figura 3 – Modelo de difusão de Bass



Fonte: Autor

de aprendizado em um modelo é então necessário assumir que qualquer queda no custo de produção será repassada ao preço final de venda. O preço é então função do preço inicial e do efeito da curva de aprendizado, de acordo com a

$$C(t) = C(0) \times ELP \tag{3}$$

$$ELP = \left( \frac{E(t)}{E(t_0)} \right)^\lambda \tag{4}$$

$$E(t) = \int_{t=t_0}^t A_k(t) dt \tag{5}$$

onde:

$C(t)$ : Função do preço

$C(0)$ : Preço inicial

$ELP$ : Efeito do aprendizado no preço (*Effect of Learning on Price*)

$E(t)$ : Experiência acumulada

$\lambda$ : Coeficiente de aprendizado

$E(t_0)$ : Experiência inicial

O expoente  $\lambda$  determina a força da curva de aprendizado e deve ser negativo, visto que os custos de produção caem à medida que cresce a experiência do produtor, o que pode fazer com que diminuam os preços finais de venda desses produtos. Serman (2000), Benvenuti, Maldonado e Campos (2019) apontam que para cada vez que dobrar a experiência acumulada os custos cairão a uma taxa fixa  $pf$ , como na Equação 6.

$$(1 - pf) \times C(0) = C(0) \left( \frac{2 \times E(t_0)}{E(t_0)} \right)^\lambda \tag{6}$$

resultando em

$$\lambda = \log_2(1 - pf) \quad (7)$$

Destarte,  $\lambda$  é o coeficiente a ser calibrado com base nos dados históricos de preço e, em vista dos equacionamentos apresentados podemos obter a Equação 8.

$$C(t) = C(0) \left( \frac{E(t)}{E(t_0)} \right)^{\log_2(1-pf)} \quad (8)$$



### 3 VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS

Veículos elétricos (EV) são aqueles cuja propulsão total ou parcial é feita por motores elétricos, conforme detalhado na Figura 4. De modo geral, os EVs podem recarregar suas baterias de duas maneiras: através de regeneração de energia nas desacelerações e/ou utilizar da rede elétrica para recarregar as baterias. Algumas especificações técnicas de variados veículos elétricos e híbridos podem ser observadas na Figura 56, no Anexo A. A Figura 5 revela a evolução dos mercados globais de EVs, onde verifica-se uma forte adesão aos veículos BEV PHEV, sobretudo na China, mas também nos países europeus e nos E.U.A.

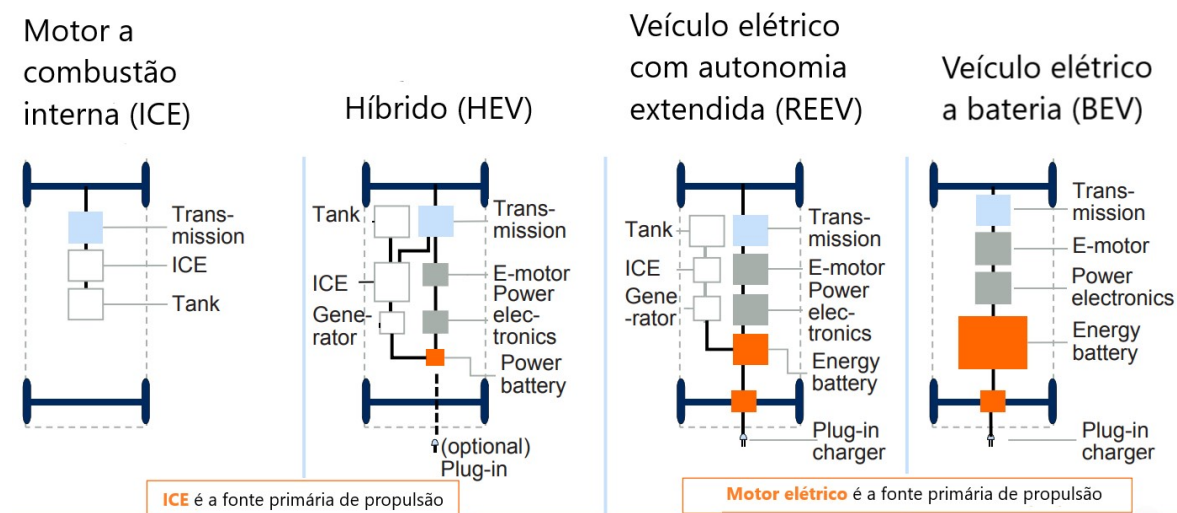
Os BEV (*Battery Electric Vehicles*, em português, Veículos Elétricos a Bateria) são veículos que rodam puramente a partir de baterias. Os componentes básicos de um BEV são o banco de baterias (de variadas tecnologias e capacidades, conforme a Figura 56, no Anexo A), inversor, controlador, motor/gerador elétrico (de variadas tecnologias e potências, conforme a Figura 56, no Anexo A) e transmissão (ARIOLI, 2016). Alguns exemplos de carros elétricos a bateria (BEV) são o Nissan Leaf e o BMW i3. É importante ressaltar que neste trabalho irá se tratar os veículos elétricos com autonomia estendida (*Range Extended Electric Vehicle (REEV)*) como fazendo parte dos BEV, por terem o motor elétrico como fonte motriz primária, pois utilizam do ICE apenas para recarregar a bateria em casos de emergência, como é o caso do BMW i3. Arioli (2016) aponta que, de modo geral, os únicos componentes mais dispendiosos em veículos elétricos, quando em comparação com veículos a combustão interna, são as baterias. O custo da bateria pode chegar a 50% do valor de um BEV.

Enquanto isso, os veículos híbridos, HEV e PHEV, combinam motores a combustão e elétricos para a propulsão, no entanto têm como fonte primária o motor ICE. Os primeiros, HEV (*Hybrid Electric Vehicles*, em português, Veículos Elétricos Híbridos), são aqueles que recarregam a bateria interna, que alimenta o motor elétrico, a partir do motor à combustão, através de regeneração de energia nas desacelerações (frenagens), convertendo a energia cinética do veículo em energia elétrica. Os componentes básicos de um HEV, além dos componentes intrínsecos de veículos a combustão interna ICE, tais quais o motor de combustão interna, tanque de combustível e transmissão, também conta com motor/gerador elétrico, além de controlador e banco de baterias (ARIOLI, 2016).

Por sua vez, os PHEV (*Plug-in Hybrid Electric Vehicles*, em português, Veículos Elétricos Híbridos Plug-in) são aqueles que podem recarregar a bateria interna a partir de estações de carga (eletropostos) conectados diretamente à rede elétrica, mas também podem rodar puramente movidos à combustível fóssil. Os componentes básicos de um PHEV são a junção dos componentes básicos de um HEV e de um BEV. No caso dos PHEV, o ICE continua sendo a fonte primária de propulsão, enquanto o

modo de propulsão plenamente elétrico é acionado apenas em situações de tráfego em baixas velocidades e curtas distâncias, tal qual representa a Figura 7.

Figura 4 – Detalhe das diferentes tecnologias de *powertrain*



Fonte: Adaptado de McKinsey&Company e Amsterdam Roundtables Foundation (2012)

### 3.1 O ESTADO ATUAL DA DIFUSÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS NO BRASIL

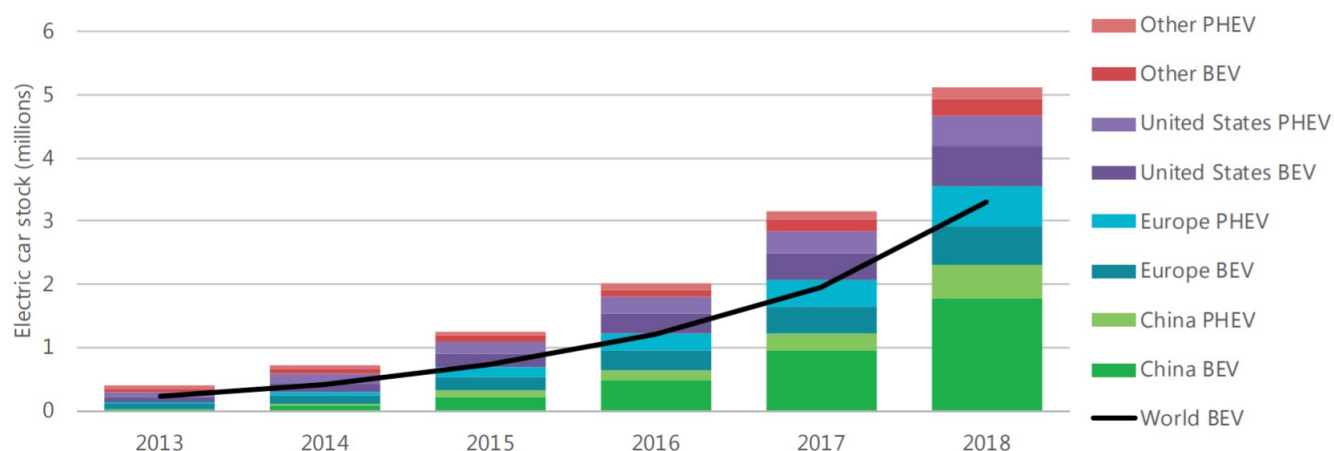
A difusão desses veículos é atualmente ínfima, se comparada com a população total atual de automóveis no Brasil. A frota total de EV no Brasil, distinta por tipo, a partir de dados da ANFAVEA (2020) pode ser vista na Tabela 3. O futuro pode estar nos BEV, visto que os veículos híbridos são considerados veículos de transição, por serem mais caros tanto na produção, quanto na manutenção. São diversos os desafios para a difusão dos EVs no Brasil, como a disponibilidade de larga oferta de produtos, postos de recarga e incentivos governamentais, apesar de em algumas cidades já usufruirmos de isenção de IPVA e rodízio. Nas subseções seguintes busca-se oferecer um panorama geral sobre algumas particularidades dos EV já disponíveis no mercado brasileiro.

#### 3.1.1 Veículos elétricos a Bateria BEV no Brasil

A presente subseção visa elucidar alguns conceitos que auxiliam no entendimento das particularidades inerentes à operação dos veículos elétricos a bateria BEV. A representação de um BEV e seus principais componentes pode ser compreendida na Figura 6.

Waltrich, Silva e Greidanus (2019), Arioli (2016), Waltrich e Heldwein (2019) se ocupam em esclarecer as especificidades técnicas e prospectar os impactos da

Figura 5 – Evolução do mercado global de EVs



Fonte: IEA (2018)

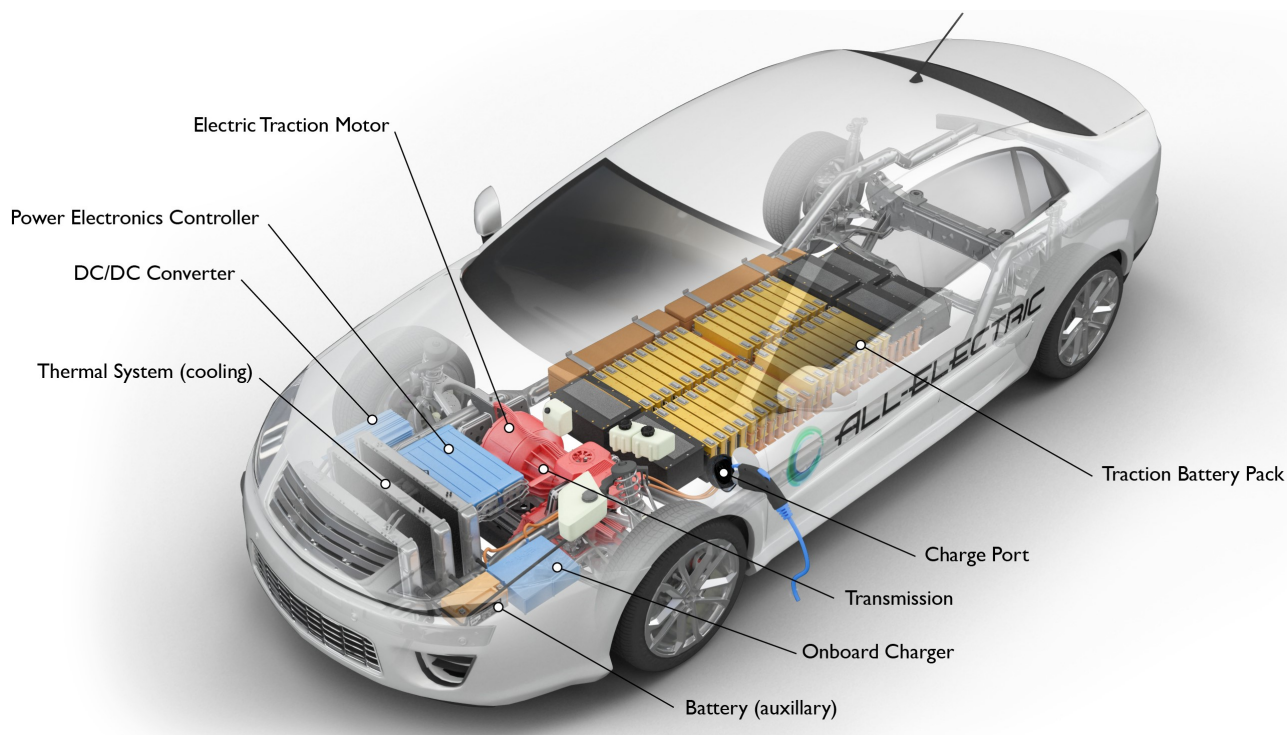
Tabela 3 – O quantitativo histórico dos adotantes de veículos elétricos no Brasil

	PHEV	HEV	BEV	EV Total
<b>2006</b>	1	1	1	3
<b>2007</b>	0	5	6	11
<b>2008</b>	0	15	16	31
<b>2009</b>	0	28	32	60
<b>2010</b>	0	209	52	261
<b>2011</b>	5	417	80	502
<b>2012</b>	5	678	95	778
<b>2013</b>	5	1199	132	1336
<b>2014</b>	36	1957	352	2345
<b>2015</b>	127	2828	397	3352
<b>2016</b>	161	4180	413	4754
<b>2017</b>	353	7531	509	8393
<b>2018</b>	486	8946	516	9948

Fonte: Adaptado de ANFAVEA (2020)

introdução dos BEVs nas redes de energia elétrica. Uma máquina elétrica rotativa pode operar como motor elétrico ou como gerador elétrico. Os motores elétricos convertem energia elétrica em energia mecânica. No caso dos BEVs, o motor também pode operar como gerador, graças aos sistemas de frenagem regenerativa. Os motores elétricos podem alcançar eficiências maiores que 90%. Os BEVs podem converter em movimento mais de 70% da energia que foi injetada pela rede, enquanto veículos a combustão (ICE) somente convertem cerca de 12% a 30% da energia armazenada em um combustível (FUEL ECONOMY, 2020a). Motores elétricos são silenciosos, proporcionam torque instantâneo e requerem menos manutenção que motores a combustão (FUEL ECONOMY, 2020b). Na atualidade pode se observar uma variada gama de tec-

Figura 6 – Representação de um BEV



Fonte: AFDC (2020)

nologias empregadas para o *powertrain*, e quanto a potência tem-se alternativas entre 44 kW e 215 kW (vide Anexo A). Quando busca-se ter noção da ordem de grandeza inerentes à operação de um veículo elétrico, pode-se tomar como exemplo um motor de 60 kW com tensão de 500 V nos terminais onde, por conseguinte, circulariam nos componentes do *powertrain* cerca de 120 A.

O Nissan Leaf foi o primeiro elétrico produzido em larga escala no mundo, e a versão atual conta com bateria de íon-lítio de 40 kWh. O modelo novo apresenta 389 km de autonomia em ciclo *New European Driving Cycle* (NEDC), com um consumo de cerca de 16,7 kWh/100km, resultando em 6 km/kWh. A recarga padrão (Wallbox, 6,6 kW) carrega 100% da bateria em menos de 8h (NISSAN, 2020).

A Renault também conta com um modelo BEV, o Zoe, com autonomia de 300 km, o qual leva até 9h em carga doméstica ou 1h de carga rápida para completar até 80% de carga da bateria. O Zoe é vendido na Europa por cerca de 30.000 Euros.

Chevrolet Bolt também está disponível no mercado brasileiro, com bateria de capacidade de 66 kWh, 8 anos de garantia e autonomia para 416 km no ciclo *US Environmental Protection Agency* (EPA), sendo necessárias 9 horas pra recarregar em tomada doméstica. O carro deve custar cerca de R\$ 175.000,00, e acelera de 0 a 100 km/h em apenas 7,3 segundos com o seu motor de emissão zero e potência de 203 cv (CHEVROLET, 2020).

A fabricante chinesa JAC Motors está adentrando o mercado brasileiro com mais de três modelos elétricos, entre os quais está o modelo de entrada, o JAC iEV20, que está custando cerca de R\$120.000,00, sendo o carro elétrico mais barato do Brasil na atualidade. É declarada a autonomia de 400 km, mas com 300 km no ciclo NEDC. A duração de uma recarga rápida é de 1 hora, para atingir 80% de sua capacidade nominal e a recarga doméstica (6,6 kW) dura 8 horas. O carro tem potência de 68 cv, a capacidade do banco de baterias é de 40 kWh e a tensão nominal do banco é de 400 V. A eficiência de um veículo desses é de 10 kWh/100 km, ou seja, 10 km/kWh. Além disso, como todo BEV, o JAC iEV20 não tem câmbio, radiador, filtro de ar, filtro de óleo, filtro de combustível, sistema de escapamento, correias, velas, catalisador, etc, o que provoca a redução dos custos de manutenção para 1/6 do que seria o custo despendido em um veículo a combustão de porte equivalente (JAC MOTORS, 2020). Segundo a revista Auto Esporte (2020), a JAC Motors ainda conta com outros BEVs como o iEV40 e o iEV 60.

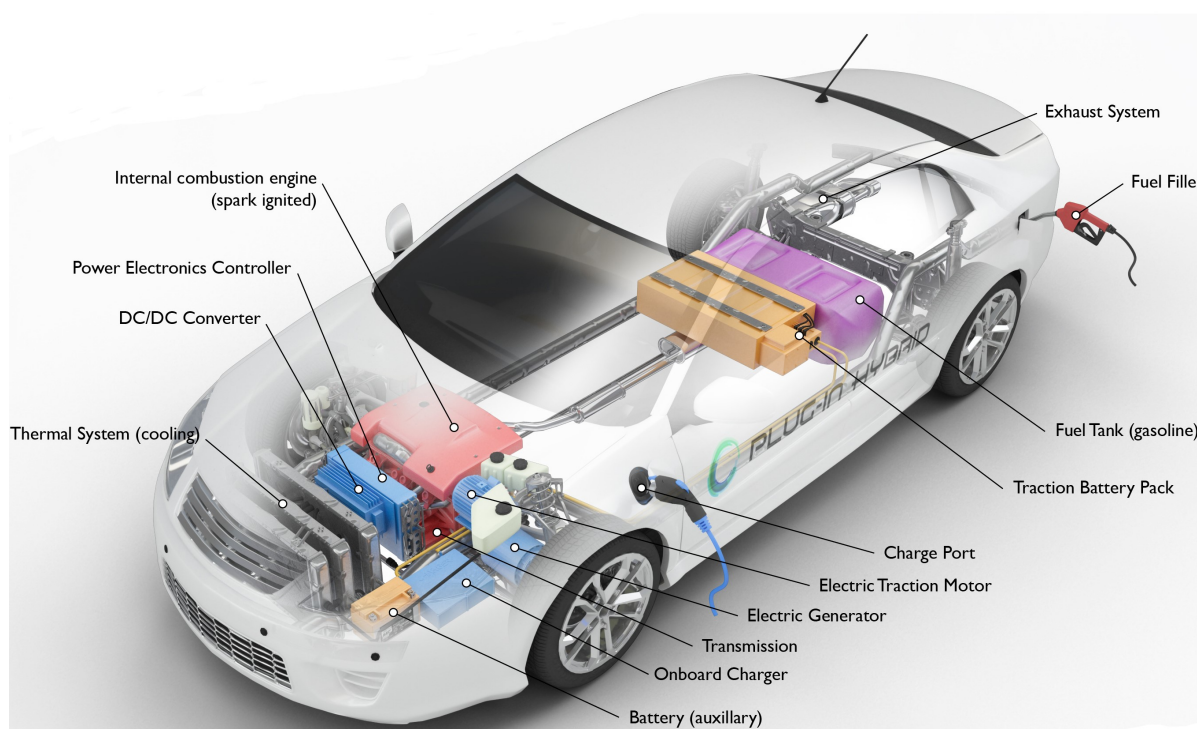
Outra fabricante chinesa que aposta no veículos elétricos é a Chery, com o veículo Arrizo 5e, que conta com motor síncrono de ímã permanente de 90 kW, banco de baterias com capacidade de 49 kWh (140 Ah) e autonomia de 400 km no ciclo NEDC. Segundo o Auto Esporte (2020), o carro custa em torno de R\$ 159.900.

Outro veículo 100% elétrico no mercado brasileiro é o BMW i3 (94 Ah), com consumo de consumo de 17,7 kWh/100 km, ou seja, 5,6 km/kWh. O veículo entrou no mercado custando cerca de R\$205.950,00 (QUATRO RODAS, 2019), sendo um produto de nicho ainda mais restrito. A autonomia do veículo no ciclo NEDC é de até 300 km. Além disso, quando as baterias estiverem com 20% da carga nominal o carro ainda conta com um extensor de autonomia REEV, que se trata de motor a combustão com tanque de 9L, o qual pode funcionar como gerador a Gasolina e recarregar a bateria, fornecendo mais 140 km de autonomia. O tempo de recarga CA é de 3h30min, ou de 1h42min para 80% da carga, enquanto em uma tomada doméstica dura cerca de 5h56min (BMW, 2020). Com o novo pacote de baterias, de 120 Ah, a autonomia do veículo no ciclo NEDC é de até 395 km (QUATRO RODAS, 2019).

Para um público mais restrito há ainda o Jaguar I-Pace, custando cerca de R\$437.000,00. O veículo é o primeiro SUV elétrico do Brasil. com dois motores elétricos de ímã permanente *all-wheel drive*, ou tração integral (AWD), ou seja, dois motores que trabalham juntos, um para o eixo dianteiro, e outro para o traseiro, resultando em 400 cv de potência. O veículo possui bateria de 90 kWh, e conta com dois tipos diferentes de carregamento, a recarga “caseira” em 220 V (12h para 100% da carga) ou em uma estação de recarga, com duração de 40 min (80% da carga). O veículo tem autonomia de 470 km no ciclo *Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure* (WLTP), e tem eficiência de 22 kWh/100 km, isto é, 4,54 km/kWh (JAGUAR, 2020).

### 3.1.2 Veículos híbridos HEV e PHEV no Brasil

Figura 7 – Representação de um veículo híbrido Plug-in (PHEV)



Fonte: AFDC (2020)

Conforme verificado na Tabela 5, há alguns anos veículos híbridos já estão sendo comercializados em volume consideráveis no cenário nacional, na ordem de milhares de veículos vendidos. Segundo o Auto Esporte (2020), o Toyota Prius é responsável pela popularização dos veículos híbridos (HEV) no mundo. O carro custa cerca de R\$128.000,00, e conta com motor 1,8 a combustão (98 cv), além do motor elétrico (72 cv), totalizando a potência combinada de 122 cv. Sendo um híbrido (HEV), o veículo não pode ser recarregado, e apenas conta com o sistema de frenagem regenerativa, que juntamente com o motor a combustão recarregam o banco de baterias. O veículo conta com três modos de condução: ECO, normal e sport (gastando mais combustível). O veículo é muito eficiente, se comparado com veículos regulares à combustão, podendo chegar a uma autonomia de mais de 812 km, com consumo de 18,9 km/l na cidade e 17 km/l na estrada. Em baixas velocidades o veículo pode rodar exclusivamente com o motor elétrico (TOYOTA, 2020b).

Além do Prius, a Toyota também tem os híbridos RAV4 e Corolla, com destaque para o Corolla Altis Premium 1.8 Hybrid Flex, o primeiro híbrido flex do mundo. O Corolla, na versão a combustão (ICE) é o sedan médio mais vendido do Brasil e o carro mais vendido da história no mundo. Nessa versão HEV ele conta com 101 cv de potência no motor a combustão e 72 cv nos motores elétricos, porém não declara a

potência combinada. O veículo está custando cerca de R\$125.000,00, sendo o veículo HEV mais barato do Brasil (TOYOTA, 2020a).

Outros fabricantes também participam no mercado de híbridos. A Ford foi a primeira marca a lançar um veículo híbrido no Brasil, o Ford Fusion Hybrid. A última versão HEV faz 16,8 km/L na cidade e 15,1km/L na estrada, contando com baterias de íons de Lítio de 1,4 kWh e motor de imã permanente de 88 kW, sendo a potência combinada de 190 cv. Já a versão do Ford Fusion Híbrido Plug-in (PHEV), conta com motor de imã permanente de 88 kW e baterias de íons de Lítio de 7,6 kWh, sendo possível trafegar até 40 km no modo elétrico. O tempo de recarga é de 2,5 horas (FORD, 2020).

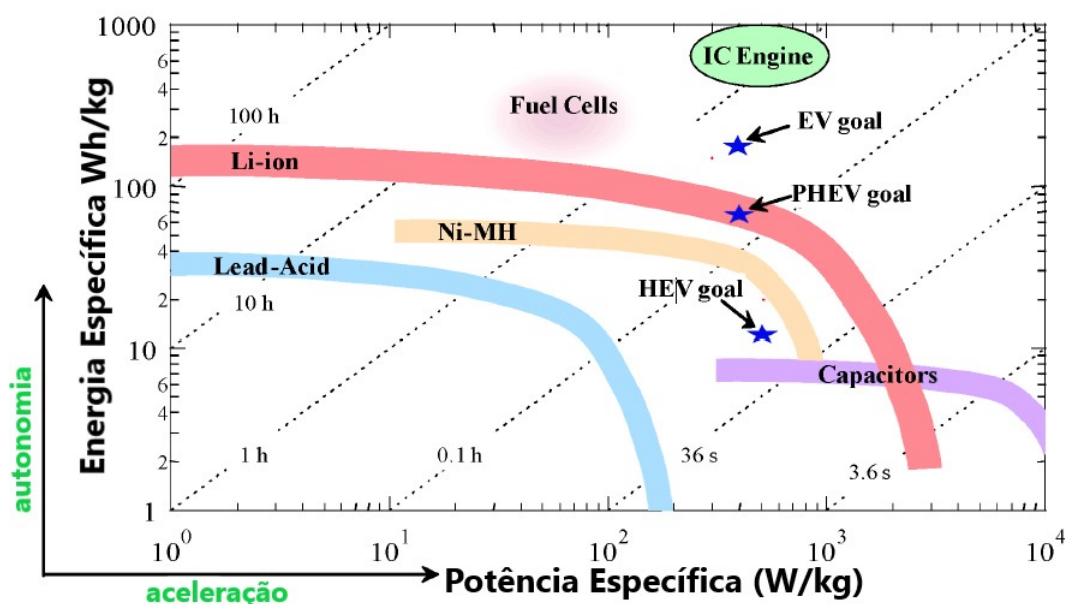
A Auto Esporte (2020) ainda lista alguns modelos de PHEV já disponíveis no Brasil, tais quais: BMW Serie 5, Mini Countryman S E, Volvo XC40, Volvo XC60, Volvo XC90, Volvo S60, Volvo S90, Land Rover Range Rover e Range Rover Sport. Entre os Híbridos HEV mencionados pela Auto Esporte (2020) estão: Audi A6, Audi A7 Sportback e Audi Q8, Mercedes Classe C, E, Mercedes CLS e S, Land Rover Evoque.

### 3.2 BATERIAS

A célula é o elemento da bateria na sua tensão nominal. Visando aumentar a tensão ou corrente total fornecida, duas ou mais células conectadas em série e/ou paralelo constituem um módulo. O *pack* ou banco de baterias é associação de módulos dentro de uma mesma estrutura (ARIOLI, 2016). Waltrich e Heldwein (2019) apontam que os *packs* de baterias de BEVs com as atuais tecnologias estão nas faixas de tensão entre 200 V e 800 V. A energia  $E_A$  armazenada em um banco de baterias, em quilowatt-hora (kWh), é dada pelo produto da tensão  $U$ , em Volts (V), pela sua capacidade nominal  $C$ , em Ampères-hora (Ah),  $E_A=U \times C$ . A energia específica, em Wh/kg, é a quantia de energia elétrica armazenada para cada quilograma de massa da bateria e, de acordo com Srinivasan (2008), está diretamente ligada à autonomia do veículo. A densidade de energia do *pack*, em kWh/m<sup>3</sup>, é a quantia de energia elétrica armazenada por metro cúbico de bateria. Já a potência específica, medida em W/kg, é a potência total fornecida por massa da bateria e, segundo Srinivasan (2008), está relacionada à aceleração do veículo. A Figura 8 exemplifica algumas tecnologias de baterias conforme essas características. A partir da Figura 8 verifica-se que as linhas diagonais representam o tempo de descarga quando na condição de operação constante na máxima potência.

Em vista do que foi apresentado, dadas as limitações de volume e peso total que devem ser observadas no dimensionamento de um veículo, entre os requisitos para o projeto de baterias estão a alta energia específica e a alta potência específica. Em destaque na Figura 8 estão, em verde, os veículos a combustão (ICE), e as estrelas indicam metas razoáveis a serem alcançadas pelos veículos elétricos e híbridos

Figura 8 – Características de variadas tecnologias de armazenamento



As linhas diagonais indicam a duração de descarga.

Fonte: Adaptado de Srinivasan (2008)

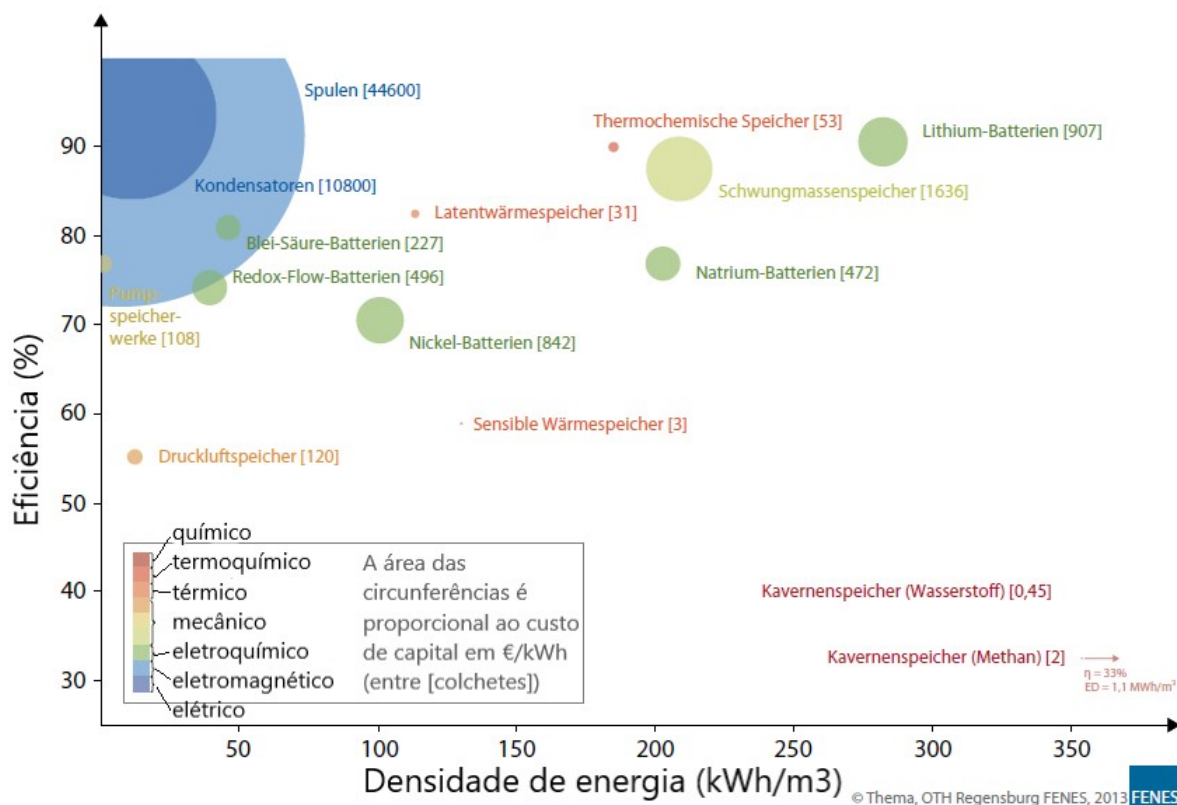
em termos de energia específica, isto é, nota-se que as baterias de íons de lítio são satisfatórias para as aplicações em HEVs e PHEVs, no entanto a energia específica (autonomia) continua sendo um parâmetro crítico para os BEVs (SRINIVASAN, 2008). Outros critérios como custos e segurança continuam desafiante em todas as aplicações e, em complemento, a Figura 9 apresenta os custos de investimento para diferentes tecnologias de armazenamento, em função dos comportamentos de densidade energética e de eficiência.

Para o dimensionamento de um veículo elétrico um requisito fundamental é a capacidade de manter as características mesmo quando o produto está em desuso, como por exemplo, parado na concessionária. Além disso, obviamente, a bateria deve ser segura e apresentar robustez mecânica. Outro ponto importante a se observar é o circuito equivalente da bateria. Devido à resistência equivalente interna, as baterias sofrem corrente de fuga, resultando no auto-descarregamento e consequente diminuição da tensão, provocando desbalanceamento de tensão entre as células. A degradação das baterias pode ser causada por sobretensão e por altas temperaturas. Surge então a necessidade de sistemas de gerenciamento de baterias (*Battery Management System* (BMS)), que observa em tempo real parâmetros como a tensão total do banco de baterias, a tensão das células, a temperatura, corrente, etc, que equalizando as tensões das células do banco de baterias. Schwunk, Vetter e Armbruster (2010) apontam que os BMS são fundamentais para prolongar a vida útil dos sistemas de armazenamento, através da redução da potência do motor em casos de baixo ou temperaturas



críticas, bem como regula o fluxo de potência no sistema, controla o carregamento, controla os sistemas de arrefecimento, etc.

Figura 9 – Custos de investimento para diferentes tecnologias de armazenamento em função das densidades energéticas e dos rendimentos



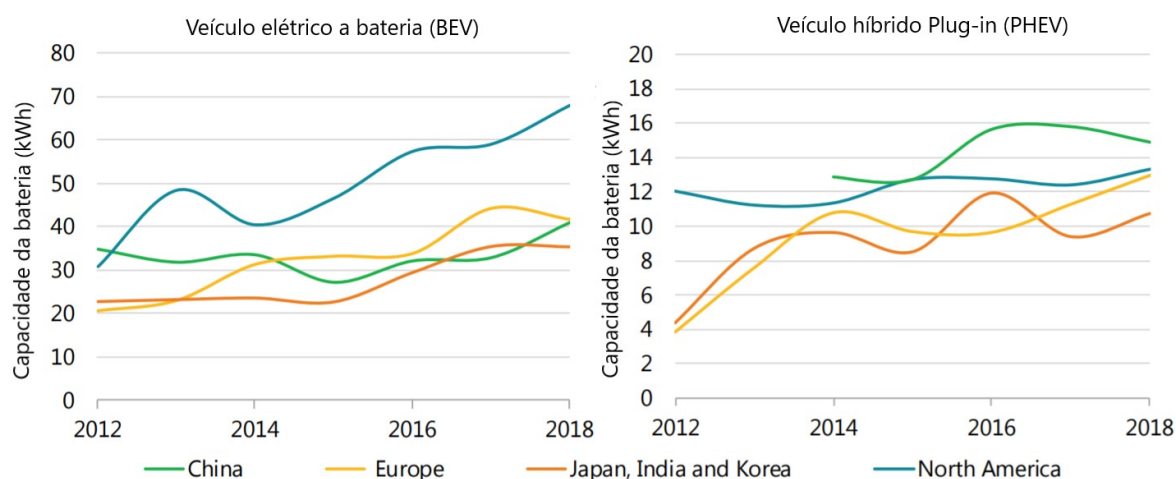
Fonte: Adaptado de Sterner e Stadler (2014)

Sterner e Stadler (2014) apontam alguns dos principais critérios para a comparação de tecnologias de armazenamento, entre os quais estão a capacidade de armazenamento, o tempo de descarga, a vida útil, a contagem de ciclos, bem como a eficiência e a densidade de energia. Os autores afirmam que tecnologias com baixa densidade de energia não entram em questão para aplicações de mobilidade ou com limitações espaciais, sendo o caso das baterias de chumbo-ácido e NiCad, em função de suas baixas densidades energéticas ( $Wh/kg$ ).

Outra grandeza importante, segundo Sterner e Stadler (2014), é o custo específico de investimento, em unidades monetárias por unidade de energia armazenada que, no caso da Figura 9, está denotado entre colchetes e em Euros/kWh. Como é observável na Figura 9, as baterias de Lítio estão entre as mais eficientes, na casa de 90%, e oferecem densidade volumétrica de energia de  $270 kWh/m^3$ , apresentando grande potencial para aplicações de armazenamento compactas. No entanto, o custo específico das Baterias de Lítio é muito superior às baterias de Chumbo-ácido, por exemplo, sendo fator decisivo para a viabilidade financeira, dado que os custos com

baterias compõem parte significativa do preço final de um veículo elétrico. Embora seja de se imaginar que o efeito da curva de aprendizado seja distinto para cada tipo de EV, visto que esses tem em geral bancos de baterias de diferentes capacidades, à exemplo da Figura 10. Com isso, através da publicação do nono levantamento de

Figura 10 – Capacidade média dos bancos de baterias dos BEV e PHEV em diferentes locais do mundo



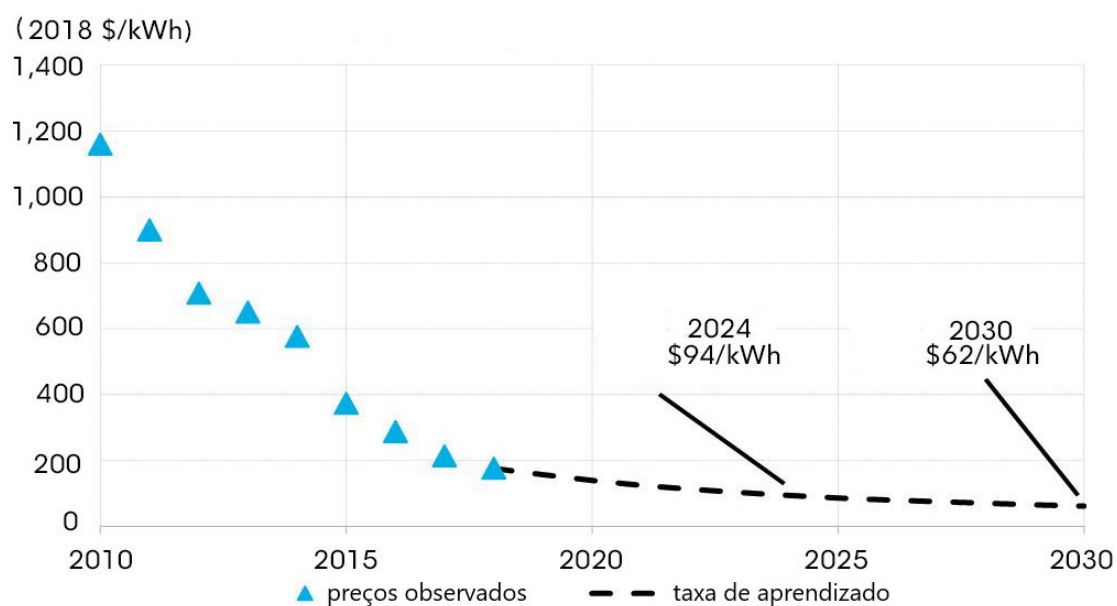
Fonte: Traduzido de IEA (2018)

preços de baterias de íons de Lítio, NEF (2019) conclui que entre os anos de 2018 e 2010 houve queda de cerca de 80% nos preços dos bancos de baterias. A pesquisa inclui, naturalmente, aqueles fabricados pela Tesla, diminuindo o preço médio. O professor George Crabtree, do *Argonne National Laboratory*, aponta que quando o preço das baterias custar por volta de 100US\$/kWh os carros elétricos serão então tão competitivos quanto os à combustão (WTTW, 2020). NEF (2019) aponta ainda que um fator determinante para a projeção dos preços de baterias é a relação entre preço e volume de vendas, sendo possível traduzir o efeito a partir de uma curva de aprendizado. NEF (2019), portanto, calcula, com base nos valores históricos, uma taxa de aprendizado de cerca de 18%, ou seja, cada vez que o volume acumulado de vendas dobrar, observar-se-á uma queda de preço de 18%, conforme exposto na Figura 11.

NEF (2019) afirma que os preços dos bancos de baterias, em função da eletroquímica empregada, são sensíveis aos preços de metais (Lítio, Níquel, Cobalto, Alumínio) e aos anseios dos fabricantes de aumentarem sua margem sobre o produto. Em vista disso, a tabela exposta na Figura 12 apresenta um breve panorama da disponibilidade de reservas mundiais de um dos principais recursos para a produção de baterias, o Lítio.

Em vista do panorama da Figura 12, o professor George Crabtree, do *Argonne National Laboratory*, afirma que deve-se atentar à questão da reciclagem das baterias (WTTW, 2020). Ainda, antes da destinação final, as baterias de segunda vida podem

Figura 11 – Perspectiva de preços de baterias de íons de Lítio



Fonte: Adaptado de NEF (2019)

Figura 12 – Reservas mundiais de Lítio

	Produção mineral (t)		Reservas (t)	Recursos* (t)
	2010	2011 (estimativa)		
Chile	10.510	12.600	7.500.000	9.000.000
Austrália	9.260	11.300	970.000	1.800.000
China	3.950	5.200	3.500.000	5.400.000
Argentina	2.950	3.200	850.000	2.600.000
Portugal	800	820	10.000	n.d.
Zimbábue	470	470	23.000	n.d.
Brasil	489	336	46.000	1.000.000
Estados Unidos	n.d.	n.d.	38.000	4.000.000
Bolívia	n.d.	n.d.	n.d.	7.500.000
Congo	n.d.	n.d.	n.d.	1.000.000
Sérvia	n.d.	n.d.	n.d.	1.000.000
Canadá	n.d.	n.d.	n.d.	360.000
<b>Total mundial (arredondado)</b>	<b>28.100</b>	<b>34.000</b>	<b>13.000.000</b>	<b>34.000.000</b>

\* Recursos compreendem fontes existentes de determinado mineral para eventual extração. Reservas compreendem apenas as que têm viabilidade técnica, econômica e legal para extração.  
n.d. = não disponível.

Fonte: Castro, Barros e Veiga (2013)

ser utilizadas como sistemas de armazenamento, por exemplo, para sistemas residenciais ou indústrias, visando o despacho em horários de ponta, quando a energia, em geral, é mais cara. Há também a possibilidade de utilização desses bancos de baterias para armazenamento de energia não consumida pela autoprodução fotovoltaica.

### 3.3 INFRAESTRUTURA DE CARREGAMENTO

A introdução dos veículos elétricos requisita infraestrutura física, como estações de carregamento, oficinas mecânicas especializadas em reparo e manutenção, treinamento de pessoal de emergência como policiais e corpo de bombeiros. Arioli (2016) apresenta e avalia também os potenciais impactos da introdução de EVs e carregadores na rede elétrica de baixa tensão. As estações de recarga EV estão começando a surgir em todo o mundo, inspiradas pela crescente demanda de veículos livres de combustível fóssil. Além disso, algumas regiões estão tendo grandes iniciativas com o objetivo de criar corredores “verdes” ou de recarga, que permitem dirigir longas distâncias ao longo de rotas populares. A partir do endereço eletrônico da PlugShare (2020) podemos ter uma noção da amplitude da atual rede de postos de carregamento no Brasil e no mundo, sendo os eletropostos distintos pela velocidade de carregamento rápido ou regular, conforme a Figura 13.

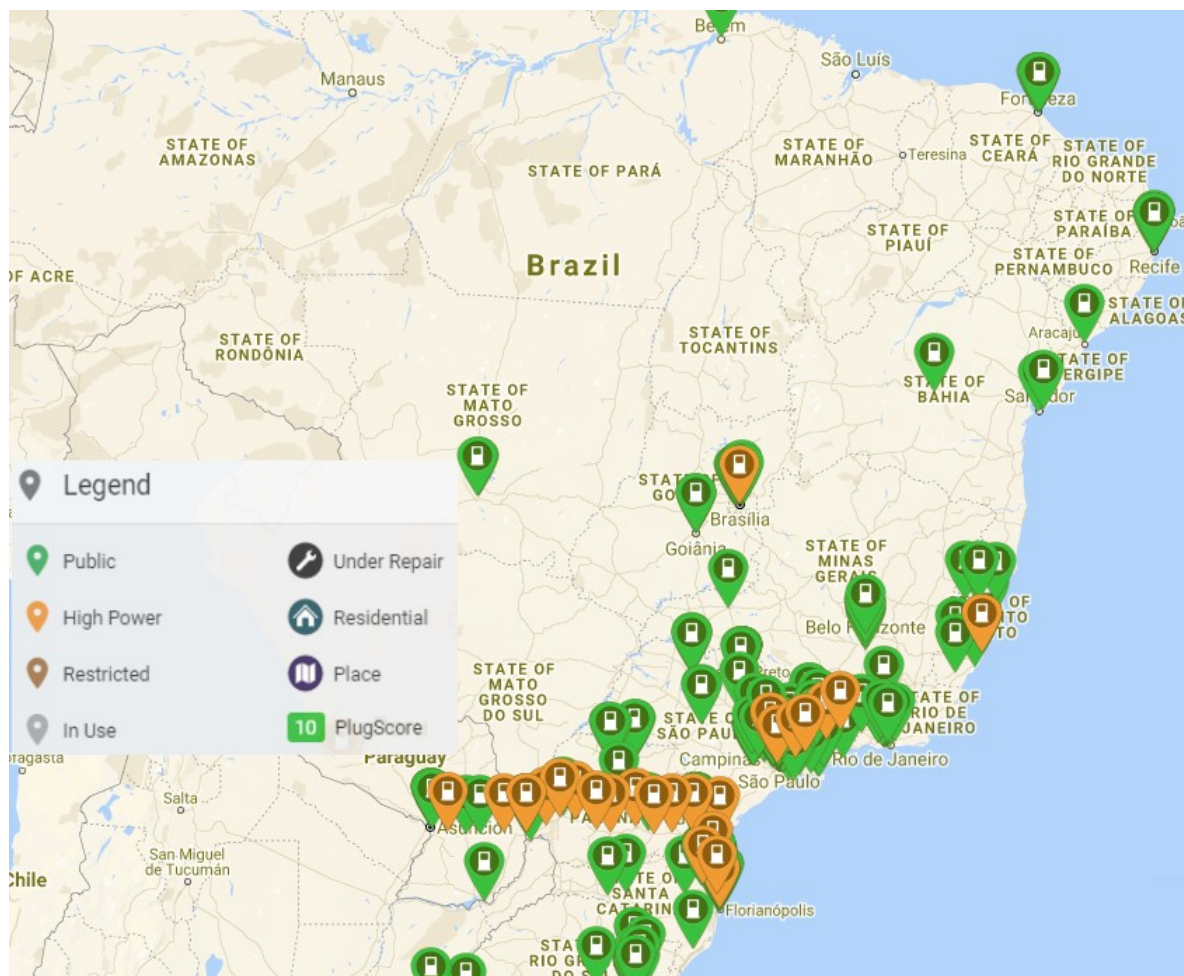
Com isso, surge a discussão acerca da padronização dos carregamentos e de qual padrão de carregamento deve prevalecer, dadas as opções listadas na Figura 15. O Modo 1 de carregamento é pouco utilizado, sendo mais recorrente em situações de emergência, quando o automóvel é carregado através de tomadas comuns padrão Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT),  $127 V_{AC}/230 V_{AC}$ .

Carregadores do modo 2 normalmente são vendidos junto com o EV e, para tal, os fabricantes disponibilizam cabeamento especial com controlador incorporado, só permitindo a operação de recarga em condições seguras, tal como observável no lado esquerdo da Figura 14.

O Modo 3 de recarga é o modo mais presente para os EVs atuais, e também é o modo mais presente nos eletropostos, dadas as maiores potências de recarga, resultando em maior velocidade de recarga.

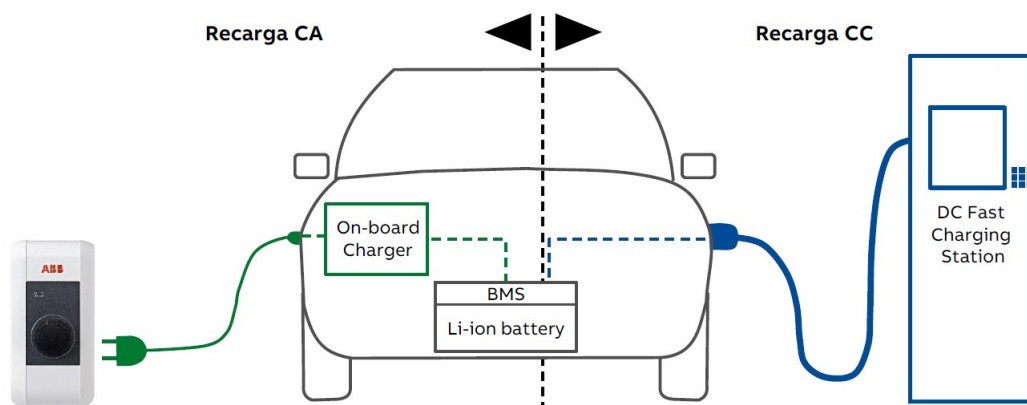
O modo 4 é o de recarga rápida, em Corrente Contínua. Quando recarrega-se em CA o carro deve ter um conversor CA/CC para carregar a bateria, isto é, o controle de carga é realizado pelo veículo (ABB, 2020). Nesse caso, a liberação de carga é feita pelo carro, que estabelece comunicação com a estação de carga (carregador) a fim de liberar o fluxo de potência, garantindo a segurança durante o manuseio do carregador. Essa função é exercida por um controlador de carga (*on-board charger*), integrado com o BMS, tal qual apresentado na Figura 14, os quais monitoram, durante o carregamento do banco, características da bateria tais como tensão (V), corrente (I), temperatura e estado de carga (*State of Charge (SoC)*).

Figura 13 – Infraestrutura de eletropostos no Brasil



Fonte: Adaptado de PlugShare (2020)

Figura 14 – Distinção entre os carregamentos CA e CC



Fonte: ABB (2020)

De forma geral, a ABB (2020) acredita que a maior demanda de carregadores será em CA, os quais podem ser instalados em casas, condomínios de apartamentos

Figura 15 – Características elétricas de recarga conforme ABNT IEC 62196-2

Modo	Fases	Corrente	Tensão	Potência
		Máxima (A)	máxima (V)	Máxima (kW)
<b>Modo 1 (CA)</b>	1	16	250	4,0
	3	16	480	13,3
<b>Modo 2 (CA)</b>	1	32	250	8,0
	3	32	480	26,6
<b>Modo 3 (CA)</b>	1	32	250	8,0
	3	63	480	52,4
<b>Modo 4 (CC)</b>	--	400	600	240,0

Fonte: Adaptado de Arioli (2016)

e escritórios, ruas, edifícios comerciais, etc. Apesar disso, Anegawa (2011) aponta que, de certa maneira, o carregamento rápido (CC) também será necessário, e seria mais efetivo instalar uma quantia moderada que carregadores rápidos do que aumentar a potência de saída dos carregadores CA individuais. Anegawa (2011) ainda afirma que os carregadores CC serão então suplementares, com o intuito de alcançar diminuição substancial no tempo de carregamento.

A ABB (2020) ainda fornece alguns *insights* sobre como deverá se dar os carregamentos, dado que os carros estão estacionados por 97% do tempo. Hábitos de condução e de estacionamento sugerem que 80% do carregamento será realizado durante a noite e em casa, e que será improvável o compartilhamento de carregador no período noturno. 70% do total de carregadores serão instalados em propriedades privadas. Em 2050 a quantidade de carregadores será 1,6 vezes maior que o número de veículos elétricos circulantes.

Ainda, mesmo que a legislação ainda não permita a comercialização direta de energia, dado que isso é exclusividade das concessionárias, a Resolução Normativa no 819, de 19 de junho de 2018 garante que estabelecimentos com eletropostos públicos possam realizar atividades de recarga de veículos elétricos, inclusive para fins de exploração comercial a preços livremente negociados, caracterizando a modalidade de recarga pública (ANEEL, 2018). É permitido também que distribuidora de energia local também, a seu critério, instale eletropostos em sua área de concessão, destinados à recarga pública de veículos elétricos (ANEEL, 2018). Esse é o caso de algumas concessionárias de energia, como a COPEL, que instalou a maior eletrovia do Brasil, com 730 quilômetros de extensão e 12 eletropostos espalhados, ligando o Porto de

Paranaguá e as Cataratas do Iguaçu (COPEL, 2019).

### 3.4 POLÍTICAS E INCENTIVOS PARA O MERCADO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

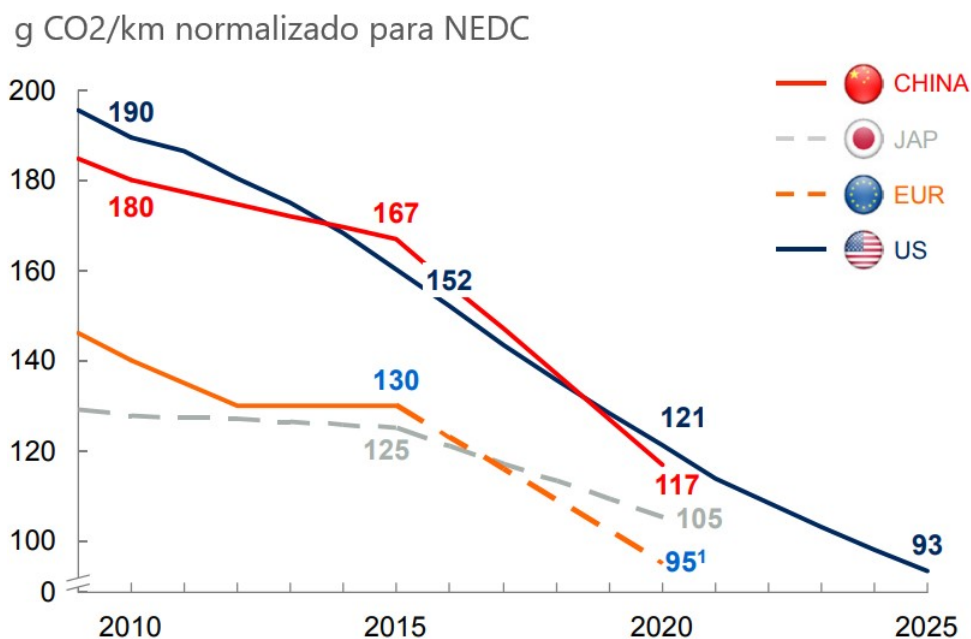
Sabendo da relevância e da influência das políticas públicas para o desenvolvimento do país, faz-se necessário o levantamento das políticas que podem contribuir para a promoção da mobilidade elétrica. A subseção 3.1 aponta a crescente oferta de veículos de emissão zero, apresentando uma visão geral dos preços praticados pelo mercado, os quais podem estar relacionados com a ainda pequena difusão desses veículos. Mesmo que estejamos tratando de veículos de zero emissões, sendo o preço deles muito mais elevado do que veículos a combustão, é necessário que os governos tomem medidas para que os fabricantes tenham segurança para desenvolver e comercializar esses veículos, tornando a mobilidade elétrica economicamente viável. Para isso, a *Hybrid & Electric Vehicle Implementing Agreement - International Energy Agency* (IA-HEV) aponta como importantes objetivos de curto-prazo a redução dos custos das baterias, em  $R\$/kWh$ , e o aumento de suas capacidades, podendo ser indicado pela Energia Específica, em  $kWh/kg$ . Além disso, a subseção 3.3 mostra que a infraestrutura de estações de carregamento está em expansão, apresentando também alguns modelos de negócio desse mercado e indicando que a carregabilidade e a autonomia dos veículos não deve acrescentar entraves à difusão dos mesmos. Do mesmo modo, deverá haver a ampla disponibilidade de peças de reposição e de mão de obra especializada para manutenção, de maneira que o consumidor também tenha confiança para trafegar com esses veículos.

Na atualidade alguns governos têm demonstrado o interesse na redução da dependência de petróleo e na redução das emissões equivalentes em todo o uso final de energia, incluindo o setor de transportes. Segundo a McKinsey&Company e Amsterdam Roundtables Foundation (2012), diversos países ao redor do mundo têm estabelecido metas para redução das emissões equivalentes para veículos automotores, assim como evidenciado na Figura 16.

Em vista disso, em 1993 foi criado o IA-HEV, com o objetivo de disseminar informações sobre mobilidade elétrica, configurando um fórum internacional dedicado à aceleração da introdução e adoção dos veículos elétricos. A iniciativa atualmente tem como membros os seguintes países: Áustria, Canadá, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Irlanda, Itália, Holanda, Portugal, Coreia do Sul, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia, Grã-Bretanha e os Estados Unidos da América. A IEA (2013) aponta que a mobilidade elétrica está em diferentes estágios de desenvolvimento e difusão em diferentes países ao redor do mundo, sendo explícitos na Tabela 4 as políticas e incentivos que estão em vigência em alguns países membros do acordo.

Ainda, uma importante pesquisa documental que identifica as iniciativas relacionadas à mobilidade elétrica no Brasil é a Sistematização de Iniciativas de Mobilidade

Figura 16 – Metas para redução das emissões locais devidas à veículos automotores em diferentes países do mundo



Fonte: McKinsey&Company e Amsterdam Roundtables Foundation (2012)

Elétrica no Brasil, a qual está no âmbito do Projeto de Cooperação Brasil Alemanha em Sistemas de Propulsão Eficiente (PROMOB-e), elaborada sob demanda da Agência Alemã para Cooperação Interanacional (*Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ)) e pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) do Brasil. O documento caracteriza as ações em quatro grupos, sendo eles: políticas públicas; iniciativa privada e Parceria público-privada (PPP); formação e P&D; e financiamento. Nas subseções seguintes serão abordados algumas das políticas e incentivos que são considerados mais representativos dentre aqueles listados e quantificados pela obra do MDIC (2018).

### 3.4.1 Políticas Públicas

Segundo o MDIC (2018), políticas públicas são aquelas ações e iniciativas que são coordenadas ou executadas exclusivamente por entidades públicas, sendo elas dos âmbitos federal, estadual ou municipal. Na tentativa de melhor distinguir as competências e alcance dos poderes públicos nos diferentes âmbitos, os parágrafos seguintes descrevem algumas das políticas já aplicadas no Brasil.

#### 3.4.1.1 Federais

No âmbito das políticas públicas federais podem também estar presentes os P&Ds e formações. As formações são aquelas ações desenvolvidas por universidades,



Tabela 4 – Planos de implementação e incentivos financeiros relacionados a mobilidade elétrica em nível nacional de alguns países membros do IA-HEV

	AT	DK	FIN	FRA	DE	COR	NED	POR	ES	UK	USA
Plano nacional de implementação da mobilidade elétrica	X				X	X	X	X	X		
Impostos para vendas dependem do nível de emissões	X			X						X	
Impostos reduzidos para vendas de veículos eficientes	X	X									
Impostos reduzidos para vendas de veículos de baixa emissão			X								
Redução ou isenção de impostos para compra de VEs		X			X	X	X	X		X	X
Taxa anual reduzida para veículos de baixa emissão		X	X	X							
Isenção de taxa anual para veículos de baixa emissão					X		X	X			
Sobretaxação dos combustíveis fósseis	X		X								
Subsídio para a compra de VEs	X					X	X		X	X	
Subsídio para instalação de estações de carregamento				X					X	X	X

Legenda: AT - Áustria, DK - Dinamarca, FIN - Finlândia, FRA - França, DE - Alemanha, COR- Coreia do Sul, NED - Holanda, POR - Portugal, ES - Espanha, UK - Grã-Bretanha, USA - Estados Unidos da América.

Fonte: Adaptado de IEA (2013)

departamentos e grupos de estudo, enquanto para P&D são compreendidos projetos de pesquisa e desenvolvimento públicos e/ou privados, assim como os realizados com recursos de P&D da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O chamado Programa de P&D ANEEL – Projetos em Mobilidade Elétrica, sendo iniciado em 2008, envolvendo também concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia, o qual busca promover a inovação no setor elétrico brasileiro e

tem como instrumento a Lei nº 9.991/2000, que determina que as concessionárias e permissionárias são obrigadas a aplicar anualmente um percentual da sua Receita Operacional Líquida (ROL) em No caso dos P&Ds Estratégicos da ANEEL a empresa proponente do projeto deve arcar com, no mínimo, 10% do valor total do projeto em recursos financeiros e o prazo de execução dos projetos é de 48 meses. Segundo a ANEEL (2019b), o P&D nº 22 - “Desenvolvimento de Soluções em Mobilidade Elétrica Eficiente” ocorrido no ano de 2019 aprovou 30 das 38 propostas de projeto recebidas, totalizando R\$ 463,8 milhões, dos quais R\$ 72,2 milhões são compostos pela contrapartida das empresas envolvidas, sendo que as temáticas de alguns desses projetos podem ser contempladas na Tabela 14. A ANEEL também tem contribuído para ações de incentivo à eletrificação. Graças à REN Nº 819/2018 foram estabelecidos os procedimentos e condições para realização de atividades de recarga de veículos elétricos por concessionárias e permissionárias de serviço público de distribuição de energia elétrica, doravante denominadas distribuidoras, e demais interessados. A resolução conta com diretrizes para a permissão da recarga de EVs, inclusive com fins comerciais, também de EVs de propriedade distinta do titular da Unidade Consumidora (UC) com preços livremente negociados, como também estabelece que as concessionárias de energia podem instalar eletropostos nas suas áreas de concessão. É de se salientar, no entanto, que o Art. 10 veda a possibilidade de injeção de energia na rede elétrica por meio dos EVs, dificultando por ora a difusão do conceito de *Vehicle to Grid* (V2G) (ANEEL, 2018).

Também neste âmbito está a Seleção pública MCT/Finep/FNDCT – Subvenção Econômica à Inovação 01/2010, a qual consiste em seleção pública com concessão de recursos de subvenção econômica para apoiar empresas brasileiras no desenvolvimento de produtos, processos e serviços inovadores. A seleção pública contava com R\$ 500 milhões para serem alocados em projetos de tecnologia da informação e comunicação, energia, etc, dentre os quais foram aprovados alguns projetos relacionados a EV, os quais estão dispostos na Tabela 15 e somam cerca de R\$ 12,5 milhões em investimentos.

Outra simbólica política pública é a Portaria do DENATRAN nº 279/2010, a qual dispõe sobre a alteração da forma de tração para tração elétrica de automóveis, caminhonetes, caminhonetes e utilitários (DENATRAN, 2010).

Mais uma importante política pública é o Projeto de Lei nº 3.895, de 2012, do deputado Sr. Ronaldo Benedet, o qual acrescenta o Art. 16-A à Lei nº 9074, de 7 de julho de 1995, visando estabelecer que a atividade de revenda varejista de eletricidade para abastecimento de veículo elétrico ou elétrico híbrido Plug-in poderá ser exercida pelas concessionárias ou permissionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica ou por revendedores varejistas de eletricidade devidamente registrados na ANEEL. O projeto de lei também prevê que esses revendedores varejistas também

possam gerar, parcial ou totalmente, a energia elétrica por eles comercializada (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2012b). O projeto tramita de forma ordinária e é sujeito à apreciação conclusiva pelas comissões, sendo que já passou pela Comissão de Ciência e Tecnologia, Comunicação e Informática (CCTCI), também pela Comissão de Minas e Energia (CME) e Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania (CCJC), no entanto agora se encontra arquivado (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2020). Outra iniciativa que parte da Câmara é o PL nº 4.751/2012, que institui a obrigatoriedade de instalação de eletropostos em vias públicas e em ambientes residenciais e comerciais. O projeto também já passou por algumas comissões e se encontra arquivado (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2012a). Também da Câmara partiu a criação da Frente Parlamentar Mista em Defesa da Eletromobilidade Brasileira, a qual tem o objetivo de incentivar os parlamentares na elaboração de propostas para incrementar a difusão dos EVs.

Algumas resoluções da Câmara de Comércio Exterior (CAMEX) são importantes no tocante da facilitação de importação de EVs, como é o caso das Resoluções Camex nº 86, de 18 de setembro de 2014, nº 97, de 27 de outubro de 2015, e nº 27, de 24 de março de 2016, as quais visam isentar ou reduzir as alíquotas do II de EV de passeio (com capacidade máxima de 6 passageiros) e de BEVs para transporte de mercadorias, conforme a Tabela 5. O instrumento para tal benefício é a inserção dos EVs, dado sua eficiência energética por km, na *Lista Brasileira de Exceções à Tarifa Externa Comum* (Letec). Para os veículos que não se enquadram nas especificações da Tabela 5 a alíquota de II é de 35% (CÂMARA DE COMÉRCIO EXTERIOR, 2015).

Tabela 5 – Alíquotas de imposto de importação (II) para EVs

<b>Consumo energético (MJ/km)</b>	<b>Desmontado</b>	<b>Semidesmontado</b>	<b>Montado</b>
<b>0,01-1,10</b>	0%	0%	2%
<b>1,10-1,68</b>	0%	2%	4%
<b>1,68-2,07</b>	2%	5%	7%

Fonte: MDIC (2018)

Além disso, em 2018 foi criado, através da Lei nº 13.755/2018, o Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística, programa de desenvolvimento do setor automotivo no Brasil, onde os fabricantes de veículos e fornecedores ganham incentivos para P&D e nacionalização de autopeças e, em contrapartida, devem cumprir metas de eficiência energética e de sistemas de segurança veicular (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2018b). Entre as principais obrigações e requisitos para os fabricantes serem habilitados a participar do programa estão: I) rotulagem veicular (PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM VEICULAR (PBE)); II) eficiência energética veicular; III)

desempenho estrutural associado a tecnologias assistivas à direção; e IV) dispêndios com pesquisa e desenvolvimento tecnológico. A rotulagem veicular diz respeito à informações sobre sua eficiência energética, à exemplo da Figura 18, a qual é aferida anualmente pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), tais como o consumo em km/L e as emissões de  $CO_2$ , sendo que a partir de 1/1/2020 os veículos devem incorporar também informações sobre nível de equipamentos e sistemas de segurança. O Inmetro (2020b) divulga anualmente as tabelas de EE e de emissões de escapamento de GEE. O decreto Decreto nº 9.442/2018 reformula a alíquota do IPI com base na EE (índices de consumo e de emissões), em substituição à capacidade cúbica dos motores (não importando mais se o veículo é 1.0 ou 2.0), dispondo que as metas de redução mínima de consumo, relacionadas ao aumento das EE veicular, sejam proporcionais ao desconto no IPI concedido pelo programa, de acordo com a Tabela 6, e considerando ainda que haverá multa para cada unidade de veículo que for vendida de pagar multas de (de R\$ 50 a R\$ 360 por unidade, dependendo da distância percentual da meta estabelecida). As alíquotas para carros de passeio e comerciais leves seguem sendo: 7% (modelos 1.0); 11% (acima de 1.0 até 2.0, flex ou a etanol); 13% (acima de 1.0 até 2.0 a gasolina); 18% (acima de 2.0, flex ou a etanol); 25% (acima de 2.0, a gasolina); utilitários (4% e 8%), de acordo com a UOL Carros (2019).

Um dos mais significativos incentivos federais é aquele assinado através da PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA (2018a), o qual altera as alíquotas de IPI sobre os veículos elétricos e híbridos, conforme critérios partilhados entre EE e Massa em Ordem de Marcha (MOM), como explícito na Figura 17. Por exemplo, veículos com eficiência menor ou igual a 1,10 MJ/km, o que equivale 0,305 kWh/km, têm a alíquota de IPI entre 9 e 10%, a depender de sua MOM. O Nissan Leaf, por exemplo, apresenta eficiência de cerca de 0,164 kWh/km, fazendo com que seja beneficiado com ordens de alíquota similares às mencionadas.

No tocante aos incentivos ao P&D os fabricantes se comprometem com um investimento mínimo (de 0,5% até 1,2% sobre a receita operacional) gradativo no decorrer dos anos (ou seja, em 2022 os integrantes da ANFAVEA terão de investir R\$ 5 bilhões ao ano em P&D), podendo, em função disso, deduzir até 30% dos investimentos realizados em P&D no Imposto de Renda (IR) e no Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL), limitado a 30% dos tributos devidos e, caso não registrem lucro, as empresas poderão acumular esses créditos tributários para abatimento futuro. Além disso, a dedução aumenta para 45% do IR e CSLL caso o investimento for em áreas como propulsão alternativa a combustíveis fósseis e manufatura avançada, por exemplo (AUTOMOTIVE BUSINESS, 2019a).

Figura 17 – Alterar as alíquotas do IPI incidente sobre veículos equipados com motores híbridos e elétricos

TIPI	Eficiência Energética (EE) (MJ/km)	(MOM) (kg)	Alíquota (%)
8703.40.00 e 8703.60.00 <b>HÍBRIDOS</b>	EE <= 1,10	MOM <= 1400	9
		1400 < MOM <= 1700	10
		MOM >1700	11
	1,10 < EE <= 1,68	MOM <= 1400	12
		1400 < MOM <= 1700	13
		MOM >1700	15
	EE > 1,68	MOM <= 1400	17
		1400 < MOM <= 1700	19
		MOM >1700	20
8703.80.00 <b>ELÉTRICOS</b>	EE <= 0,66	MOM <= 1400	7
		1400 < MOM <= 1700	8
		MOM >1700	9
	0,66 < EE <= 1,35	MOM <= 1400	10
		1400 < MOM <= 1700	12
		MOM >1700	14
	EE > 1,35	MOM <= 1400	14
		1400 < MOM <= 1700	16
		MOM >1700	18

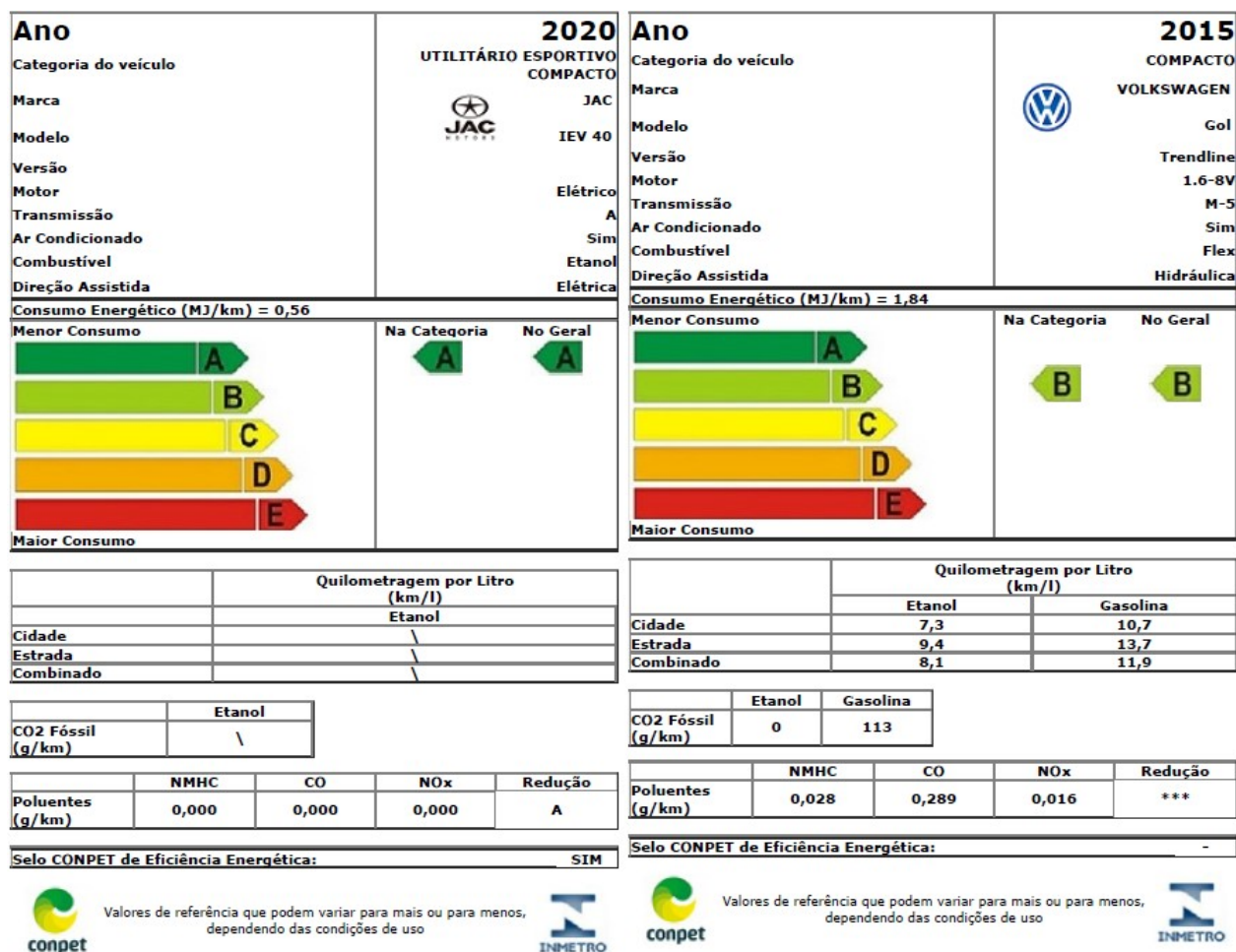
Fonte: Adaptado de PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA (2018a)

#### 3.4.1.2 Estaduais e municipais

Ainda, a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE) aponta que veículos elétricos já são isentos de IPVA em oito estados brasileiros, sendo que em três outros estados os EVs já têm alíquota diferenciada, como demonstra a Figura 19.

Ainda, alguns municípios já concedem o incentivo, à exemplo da cidade de São Paulo (2014), que teve sancionada pelo então prefeito, Fernando Haddad, a Lei Municipal nº 15.997 de 27 maio de 2014, a qual estabelece a política municipal de incentivo ao uso de carros elétricos ou movidos a hidrogênio e, a partir do Art. 3º, visa incentivar o uso dos veículos elétricos ou movidos a hidrogênio mediante devolução da quota-parte do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA). Segundo a CPFL (2020) a arrecadação é feita pelo Estado e cada município tem direito a 50% do valor. A medida leva em conta também os carros híbridos. O benefício é restrito aos cinco primeiros anos de rodagem do veículo e é limitado a veículos com valor igual ou inferior a R\$150.000,00. Além disso, a regulamentação ainda prevê, através do do Art. 5º, a exclusão desses veículos do rodízio municipal de circulação de veículos.

Figura 18 – Exemplos de etiquetagem veicular de EVs e ICEs



Fonte: Autor, adaptado de Programa Brasileiro de Etiquetagem (2020) e Inmetro (2020a)

### 3.4.2 Financiamento

Já a classificação de financiamento é composta, em geral, por iniciativas para o provisionamento de linhas de crédito especiais para a compra de veículos elétricos e híbridos. À exemplo da Caixa Econômica Federal, que assinou acordo de colaboração com a ABVE (2020a) para a criação de linha de crédito para financiamento de veículos elétricos e híbridos e financiamento de infraestrutura de carregamento. A Hitech Electric (2020) aponta que as taxas da Caixa iniciam em 1,24% a.m., com prazo de 60 meses e no mínimo 30% de entrada do valor total do veículo. Ainda, segundo a Automotive Business (2019b), o Itaú Unibanco também oferece linhas de crédito especiais para esse segmento, com taxas partindo de 0,89% a.m., conforme as condições e o relacionamento com o banco.

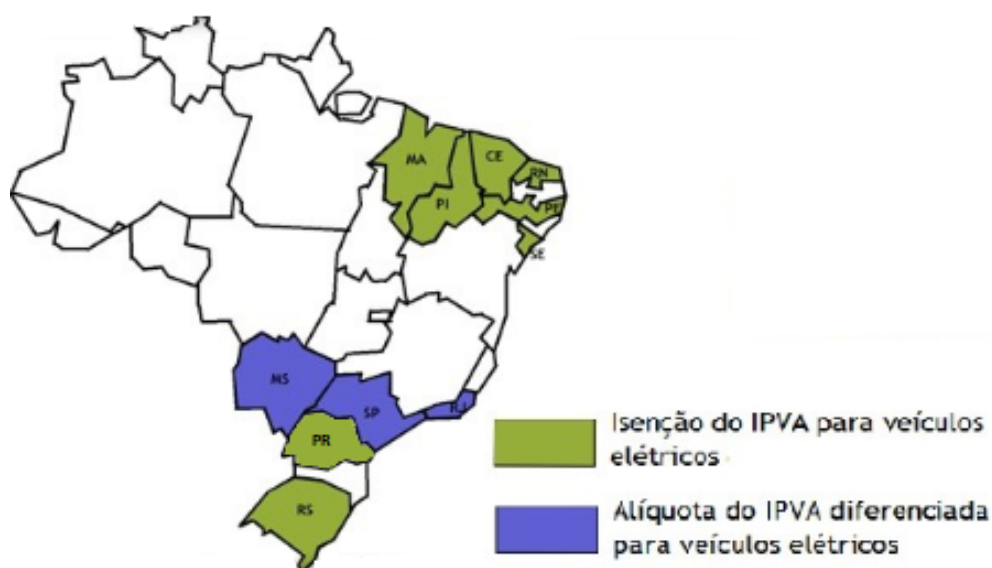
Por outro lado, também há provisionamento de linhas de crédito especiais para o incentivo de projetos de inovação na área de mobilidade elétrica, como é o caso do Plano de Ação Conjunta Inova Energia, o qual é integrado pelo Banco Nacional de

Tabela 6 – Descontos das alíquotas de IPI para veículos de fabricantes que atingirem as metas de EE veicular

Tipo de veículo	Redução mínima de consumo (MJ/km)	Desconto IPI
<b>Leves</b>	16,70%	1%
	21,50%	2%
<b>4x4 e SUVs grandes</b>	5,60%	1%
	9,80%	2%
<b>Comerciais leves</b>	14,20%	1%
	19,10%	2%

Fonte: Autor, com base em Automotive Business (2019a) e PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA (2018b)

Figura 19 – Unidades federativas brasileiras com isenção parcial ou total de IPVA



Fonte: Adaptado de ABVE (2020b)

Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), pela ANEEL e pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). Neste caso, o BNDES fornece as mesmas condições e normas vigentes do produto BNDES Finem, o qual é destinado para o financiamento de inovações potencialmente disruptivas. Entre as linhas temáticas contempladas há aquela que é dedicada a veículos elétricos e híbridos e sistemas de eficiência energética em veículos nas áreas de motores e sistemas de tração (*powertrain*), bem como projetos relacionados a baterias e acumuladores (CASTRO; BARROS; VEIGA, 2013). Entre as empresas e organizações que foram contemplados, nesse aspecto, com recursos reembolsáveis (crédito) estão ACUMULADORES MOURA S/A, FIAT AUTOMÓVEIS SA, WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A. e a VOLVO DO BRASIL

VEÍCULOS LTDA.



## 4 METODOLOGIA

### 4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

A dinâmica de sistemas (DS) é descrita como a ciência do comportamento retroalimentativo em sistemas sociais, na qual o emprego de ferramentas de simulações computacionais visa expor a natureza dos modelos em vias de interpretar e de estender os conceitos de sistemas não-lineares com múltiplas retroalimentações ao longo do tempo (FORRESTER, 1968). Neumann *et al.* (2014) aponta como estando entre os elementos básicos em modelos de Dinâmica de Sistemas os *feedbacks* (*loop*, retroalimentação), fluxos, acumulação de fluxos (estoques) e variáveis auxiliares, como pode ser observado na Figura 20. Equações ou regras de decisão implementadas nos fluxos de entrada (*inflows*) e saída (*outflows*) representam, respectivamente, taxas de acumulação e vazão, controlando os valores dos estoques ao longo do tempo, modificando o estado do sistema. A soma de todas as entradas subtraídas das saídas constitui o fluxo líquido. Os estoques acumulam o fluxo líquido ao longo do tempo, isto é, matematicamente os estoques integram os fluxos líquidos que, em consequência disso, são as derivadas do estoque.

De forma simplificada, na mesma Figura 20 pode-se reconhecer alguns dos elementos básicos da modelagem em Dinâmica de sistemas, entre os quais estão os Estoques, simbolizados pelos retângulos, os quais representam acúmulos de determinado recurso (produtos, dinheiro, pessoas, etc), e podem ter sua dinâmica representada pela Equação 9.

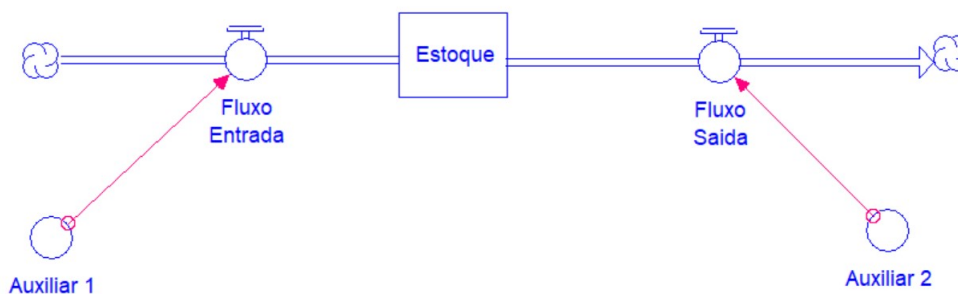
$$Estoque(t + dt) = Estoque(t) + (Fluxo(dt) \times dt) \quad (9)$$

Outro elemento de modelagem em DS observáveis na Figura 20 e também na Equação 9 são os Fluxos, representados na figura de uma torneira ou válvula, os quais regulam o transporte de recursos no sistema. Os Fluxos, por sua vez, são mensurados em unidade de alguma grandeza (adotantes, metros, metros cúbicos, etc) pela unidade de tempo (segundos, semanas, anos, etc). Por fim, outro elemento observável na Figura 20 e que é usual em modelos de DS são as variáveis auxiliares, representadas pelos círculos, configurando os parâmetros de cálculo dos modelos, podendo assumir valores constantes ou até mesmo variáveis.

Diante disso, o fluxo de adoção para o modelo de Bass, tal qual exposto na Figura 3 (subseção 2.1.1), é regulada pelos coeficientes de adoção  $p$  e  $q$ , e consome o estoque de Adotantes potenciais, abastecendo o estoque de adotantes reais ( $A_k(t)$ ).

Para os submodelos de emissões equivalentes de  $CO_2$  foram aplicados os equacionamentos apresentados por Benvenuti, Maldonado e Campos (2019), com base no ANTT (2014) e também com dados complementares do Inmetro (2020b). A discussão e equacionamento aprofundado de todos os submodelos mencionados se

Figura 20 – Notações básicas de dinâmica de sistemas



Fonte: Autor

encontram no Capítulo 5.

Sendo assim, o presente trabalho utilizou-se da fundamentação teórica oferecida por Bass (1969), Sterman (2000) e Morecroft (2015) para compor o modelo de difusão dos EVs no Brasil, ainda apoiando-se em dados do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários ANTT (2014) e de Benvenuti, Maldonado e Campos (2019) para prospectar as emissões de gases de efeito estufa resultantes das atividades rodoviárias no país, caracterizada, ao longo dos anos, pela frota de automóveis a combustão, elétricos e híbridos.

#### 4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente seção visa descrever as etapas do procedimento metodológico. Cada objetivo específico listado na subseção 1.2.2 corresponde a, no mínimo, uma etapa do procedimento metodológico, conforme listado no Quadro 1.

Quadro 1 – Etapas do procedimento metodológico.

1.2.2 Objetivos Específicos	4.2 Procedimentos metodológicos
a) Projetar a difusão de veículos elétricos no mercado automobilístico brasileiro	4.2.1 Construção do Modelo
	4.2.1 Calibração e validação do modelo
b) Designar os cenários e políticas a serem testados	4.2.3 Determinação dos cenários e das políticas simulados
c) Avaliar o impacto das políticas na difusão dos tipos de veículo e nas emissões equivalente totais.	4.2.4 Análise e avaliação dos cenários e políticas

Fonte: Autor.

### 4.2.1 Construção do Modelo

O modelo constitui-se na interconexão de diversos submodelos que, entre outros, modelam a difusão de cada tipo de veículo leve no Brasil, tendo em vista determinar as fatias de mercado de veículos que possuem distintas trações ou motorizações. O submodelo global de projeção de vendas de veículos leves no Brasil apoia-se em um modelo de previsão elementar, onde incidem comportamentos de tendência e sazonalidade, com base no amplo histórico proporcionado pela ANFAVEA (2020).

Os submodelos para os veículos BEV, HEV e PHEV utilizam-se do modelo de projeção de vendas proposto por Bass (1969), o qual oferece análises prospectivas para o comportamento de adoção de produtos que, neste presente momento, são considerados inovadores, dado seu ínfimo estado de difusão no mercado.

### 4.2.2 Calibração e validação do modelo

Inicialmente todas as calibrações e validações dos submodelos foram feitas individualmente e, após a integração dos submodelos, foram feitas outras calibrações, sendo processos rotineiros no desenvolver deste trabalho. O solucionamento da calibração dos parâmetros  $p$  e  $q$  neste trabalho se apoia na formulação generalizada do problema de otimização:

Para uma função objetivo  $f(x) : X \subseteq \mathbb{R}^D \rightarrow \mathbb{R}$  onde  $X \neq \emptyset$  e  $D$  é o número real de parâmetros, e o problema de minimização é encontrar

$$x^* \in X \quad \text{de forma que} \quad f(x^*) \leq f(x) \quad \forall \quad x \in X$$

onde

$$f(x^*) \neq -\infty$$

, sendo que as funções objetivo serão as métricas *RMSE* e *MAE*, apresentadas no decorrer desta subseção.

O método de otimização aplicado neste trabalho é a heurística *Differential Evolution* (DE), a qual é própria também para encontrar soluções razoáveis em funções possivelmente não-diferenciáveis ou não-contínuas. A ideia do método é adaptar e refinar a varredura durante o processo evolucionário de iterações matemáticas. A DE opera inicialmente uma pesquisa exploratória global e, nos estágios avançados do processo evolucionário, realiza uma exploração local (YANG *et al.*, 2010). O *Solver* que implementa a heurística é instrínseco do STELLA, utilizado para a modelagem deste trabalho em dinâmica de sistemas.

De acordo com Moro (2017) a escolha da ferramenta apropriada para a validação de um modelo deve partir da análise dos erros  $e_t$  gerados por cada modelo, calculado conforme a Equação 10, sendo  $X_d$  e  $X_m$  os dados históricos e os simulados

no modelo, respectivamente.

$$e_t = X_m - X_d \quad (10)$$

Sterman (2000) aponta que uma das métricas mais difundidas é o  $R^2$ , o coeficiente de determinação, o qual é adimensional e é calculado como sendo o quadrado do coeficiente de correlação  $r$ . Este coeficiente de correlação  $r$  estima o grau de relacionamento linear entre as variáveis, estando relacionado ao conceito de covariância. Portanto, sendo  $X$  o valor do dado da série temporal e  $n$  a quantia total de dados, temos os cálculos do valor médio  $\mu$  da série (Equação 11) e de seu desvio padrão  $\sigma$  (Equação 12), sendo possível o cálculo de  $r$ , o qual é representado pela Equação 13.

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X \quad (11)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X - \mu)^2} \quad (12)$$

$$r = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{(X_d - \mu_d)(X_m - \mu_m)}{(\sigma_d)(\sigma_m)} \quad (13)$$

Portanto, o cálculo do coeficiente de determinação  $R^2$  está demonstrado na Equação 14. Nota-se que se o modelo replicar exatamente os dados históricos  $R^2 = 1$ , isto é, à medida que  $R^2$  se aproxima de 1 mais preciso é o modelo.

$$R^2 = r^2 = \left( \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{(X_d - \mu_d)(X_m - \mu_m)}{(\sigma_d)(\sigma_m)} \right)^2 \quad (14)$$

Outra métrica aplicável é o *Root Mean Square Error (RMSE)*, o qual é afetado de forma quadrática pelos erros residuais, o que o torna um indicador sensível a *outliers* (valores discrepantes). O coeficiente *RMSE* é calculado a partir do erro quadrado médio (*Mean Square Error (MSE)*). Ambas os indicadores estão apresentados, respectivamente, nas Equações 16 e 15.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_m - X_d)^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2 \quad (15)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (16)$$

O Erro Médio Absoluto *MAE* pondera linearmente todos os erros, oferecendo uma medida direta e robusta da dispersão de variáveis em séries de dados.

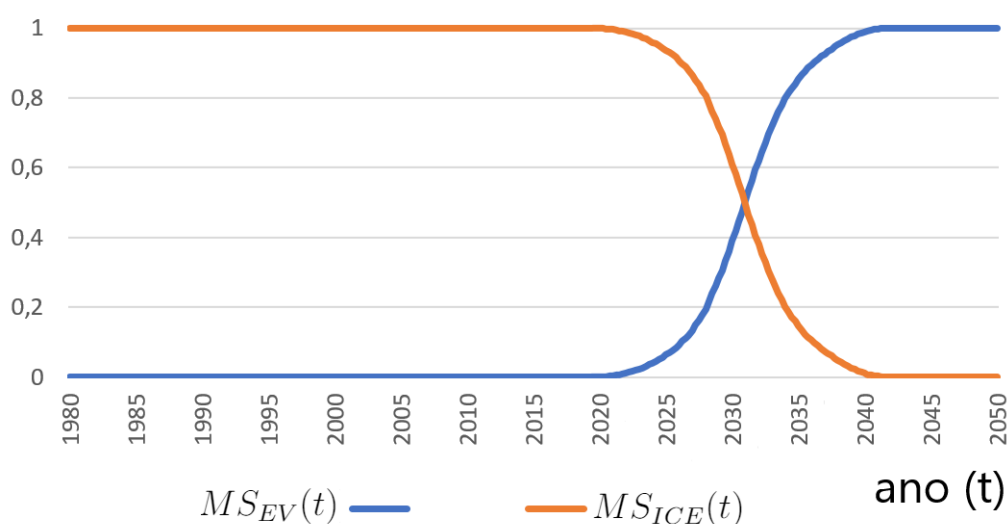
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_m - X_d| \quad (17)$$

A aplicação desses indicadores de erro é recorrente ao longo deste trabalho e os resultados da validação estão devidamente demonstrados e analisado na Seção 5.2.

### 4.2.3 Determinação das políticas e cenários testados

Neste trabalho os cenários são tratados como sendo os objetos que retratam a condição de reorganização das participações de mercado (*Market Share* ou participação de mercado (MS)) em função de determinados preceitos. O cenário base é denominado BAU (*Business As Usual*), e leva em conta que a participação de mercado do conjunto de veículos elétricos e híbridos ( $MS_{EV}(t)$ ) passa a aumentar rapidamente a partir do ano 2025, passando a dominar o MS aproximadamente em 2040, conforme exposto na Figura 21.

Figura 21 – *Market Share*  $MS_{EV}(t)$  dos veículos de motorização EV em detrimento dos de motorização ICE



Fonte: Autor

O modelo base BAU também considera que os percentuais de participação de mercado  $MS_k(t)$  entre os EVs ( $MS_{EV}(t)$ ) permanecem equivalentes entre si, ou seja,  $MS_{BEV}(t)|_{t=2050} = MS_{HEV}(t)|_{t=2050} = MS_{PHEV}(t)|_{t=2050} = 33,3\%$ , isto é, a probabilidade de um elemento do sistema adotar a tecnologia  $k$  no ano  $t$  da simulação é igual para os veículos elétricos e híbridos. A premissa de adotar um cenário base com probabilidades equânimes é geralmente recomendável em conjunturas onde o grau de incerteza é alto.

Além do cenário base BAU, abordarse-á também o cenário denominado BAU-ICE, o qual considera que os percentuais de participação de mercado  $MS_k(t)$  entre os EVs ( $MS_{EV}(t)$ ) permanecem equivalentes aos valores de MS atuais ( $t=2020$ ), ou seja,  $MS_{EV}(t) = 0,05\%$  e  $MS_{ICE}(t) = 99,5\%$  para todos os períodos futuros da simulação. Esse cenário base BAU-ICE deverá servir, portanto, para averiguar que todos os cenários posteriores devem apresentar redução relativa no sentido das emissões equivalentes totais devidas ao tráfego da frota de veículos no Brasil, dado que nesse

caso os veículos elétricos e híbridos continuariam ocupando uma mínima porcentagem de vendas.

A partir do cenário base BAU são propostas alternativas de cenários e políticas que podem incidir e interferir na dinâmica do sistema, sendo implementados a partir de alterações em algumas variáveis do modelo. As subsubseções seguintes têm o intuito de descrever e justificar os cenários e as políticas simuladas.

#### 4.2.3.1 Cenários

A partir da constatação do comportamento de vendas/licenciamento de veículos automotores no Brasil desde 1980 é possível prospectar a predisposição de vendas também no futuro, com base nos dados da ANFAVEA (2020). À variável de comportamento de vendas é dado o nome de  $V_k(t)$ , a qual permeia o total de vendas de veículos automotores leves no Brasil, sem distinguir o tipo de veículo. Agora, visando determinar as frações de mercado que serão ocupadas por determinado tipo de veículo, sendo veículos a tração por motor a combustão interna ou veículos que contenham também tração elétrica (EV, como fonte primária ou complementar), o presente trabalho se apropria do conceito MS e propõe como premissa que os EV devem assumir, gradualmente, maiores frações de mercado, conforme a ilustração da Figura 21.

Com isso, é possível sondar diversos cenários de dominância de determinado tipo de tecnologia em detrimento dos outros, como evidencia a Tabela 7. As alterações nos cenários passam a vigorar a partir do tempo de simulação  $t = 2020$ , com o objetivo de não afetar a calibração prévia do modelo ante ao cenário atual real. As demais particularidades da modelagem da participação de mercado de cada tipo de veículo serão melhor abordadas na Seção 5.1.

A partir dessa perspectiva, são enumerados e brevemente descritos a seguir os cenários de *Market Share* pensados para cada tipo de EV.

- a) **Cenário 1 - Domínio dos BEV em 2050:** Neste cenário os veículos BEV passam a dominar gradualmente o mercado de veículos automotores leves até o ano de 2050, e a proporção de mercado abocanhada é descrita conforme a Tabela 8 e a Figura 22.
- b) **Cenário 2 - Domínio dos HEV em 2050:** Neste cenário os veículos HEV passam a conquistar aos poucos o mercado de veículos automotores leves até o ano de 2050, e a proporção de mercado abocanhada é descrita conforme a Tabela 9 e a Figura 23.
- c) **Cenário 3 - Domínio dos PHEV em 2050:** Neste cenário os veículos PHEV passam a dominar progressivamente o mercado de veículos automotores leves até o ano de 2050, e a proporção de mercado abocanhada é descrita conforme a Tabela 10 e a Figura 24.

Tabela 7 – Cenários de *Market Share*  $MS_{EV}(t)$  para cada tipo de motorização EV

Cenário	Descrição	MSk(t)	BEV	HEV	PHEV
1	Dominância dos BEVs	MS (t=2020)	0,45%	91,0%	8,55%
		MS (t=2050)	90%	5%	5%
2	Dominância dos HEVs	MS (t=2020)	0,45%	91,0%	8,55%
		MS (t=2050)	5%	90%	5%
3	Dominância dos PHEVs	MS (t=2020)	0,45%	91,0%	8,55%
		MS (t=2050)	5%	5%	90%

Fonte: Autor

Tabela 8 – Cenário 1 - Domínio dos BEV em 2050

MSk(t)/ano	MS em 2020	MS em 2050
<b>BEV</b>	0,45%	90%
<b>HEV</b>	91,0%	5%
<b>PHEV</b>	8,55%	5%

Fonte: Autor

Tabela 9 – Cenário 2 - Domínio dos HEV em 2050

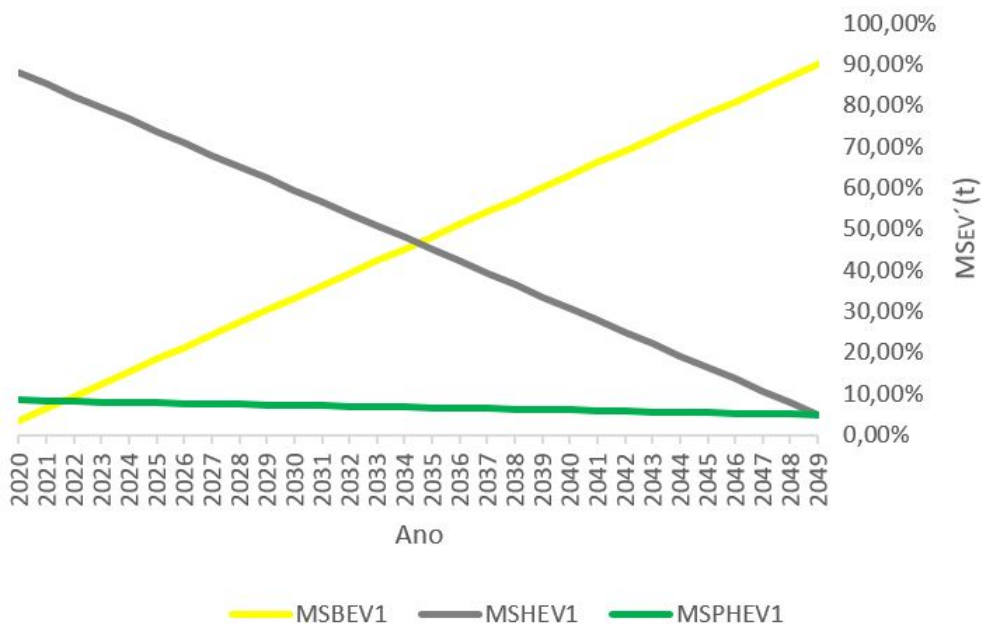
MSk(t)/ano	MS em 2020	MS em 2050
<b>BEV</b>	0,45%	5%
<b>HEV</b>	91,0%	90%
<b>PHEV</b>	8,55%	5%

Fonte: Autor

#### 4.2.3.2 Políticas

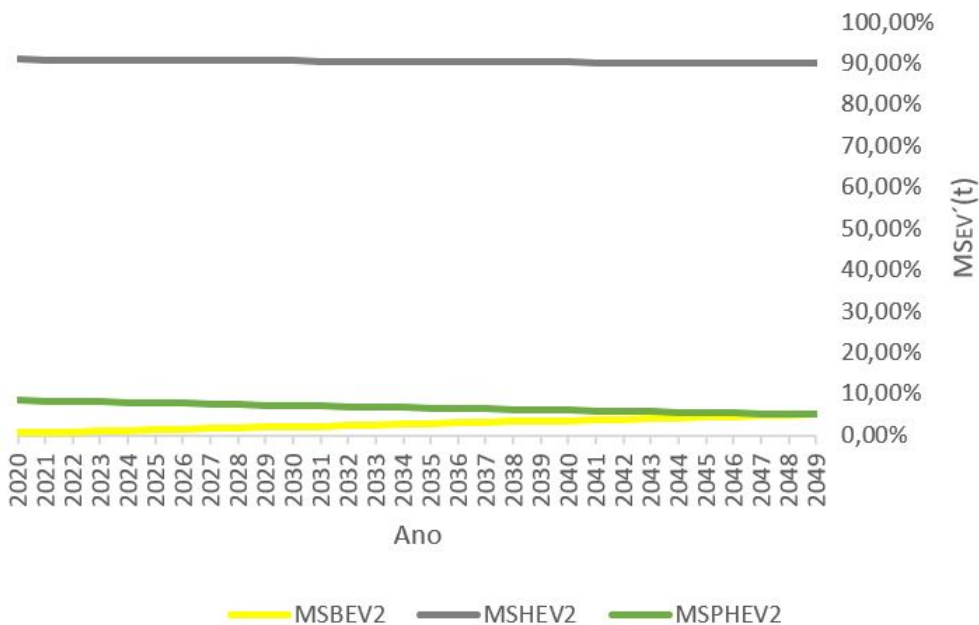
Sterman (2000) afirma que à medida que a confiança no modelo cresce, dados os resultados obtidos a partir das métricas de erro, é hora para pensar na análise das políticas. As políticas podem incluir termos de concessão e níveis de subvenção, juntamente com incentivos de compra. O impacto de cada combinação de políticas depende de diversos fatores, incluindo as incertezas do mercado, mudanças na economia, da-

Figura 22 – Cenário 1: *Market Share* dos veículos de motorização EV com predominância dos BEV



Fonte: Autor

Figura 23 – Cenário 2: *Market Share* dos veículos de motorização EV com predominância dos HEV



Fonte: Autor

dos demográficos, preço dos combustíveis, bem como do interesse dos fabricantes em desenvolverem veículos de qualidade com baixo custo unitário. Com isso, a partir do apanhado geral de políticas discutidas na subseção 3.4, classificam-se duas esferas

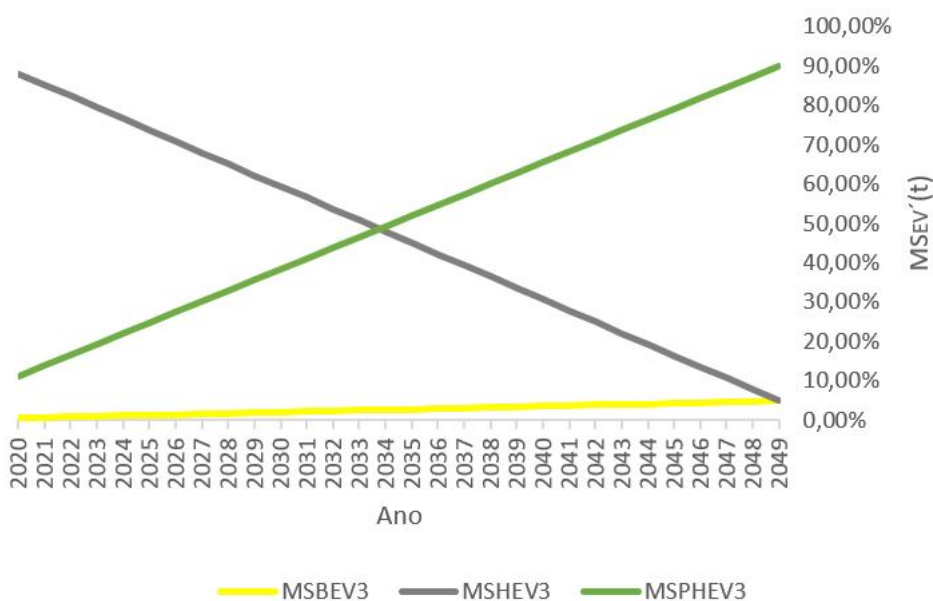


Tabela 10 – Cenário 3 - Domínio dos PHEV em 2050

MSk(t)/ano	MS em 2020	MS em 2050
<b>BEV</b>	0,45%	5%
<b>HEV</b>	91,0%	5%
<b>PHEV</b>	8,55%	90%

Fonte: Autor

Figura 24 – Cenário 3: *Market Share* dos veículos de motorização EV com predominância dos PHEV



Fonte: Autor

de incentivo à mobilidade elétrica: o incentivo à compra e o incentivo no uso (operação) do veículo.

O incentivo à compra de veículos EV pode-se dar através da Redução ou isenção de IPI e Imposto de Importação, sendo um dos incentivos mais discutidos na literatura. Outro interessante cenário que deve reduzir o preço de compra de veículos com algum tipo de tração elétrica é a redução dos custos específicos das baterias, por exemplo, através do efeito da curva de aprendizado no preço dos bancos de baterias e portanto redução no preço final de venda dos EVs, conforme explícito na subseção 3.2. Visando acrescentar esse efeito ao modelo, a subsubseção 5.1.6.5 se ocupará em equacionar e detalhar os efeitos da curva de aprendizado das baterias de Lítio nos diversos tipos de EVs.

Já no incentivo ao uso de veículos pode-se pensar em reduções ou isenções de IPVA, conforme abordado em 3.4, ou também a redução do preço de energia elétrica para os usuários de veículos elétricos. Nesse aspecto também poderia se pensar o in-

centivo à autoprodução de energia através de fontes limpas, apoiado nas modalidades de geração distribuída, visando fazer com que os veículos elétricos sejam movidos à energia de baixa emissão. Nesse escopo também está o incentivo à ampliação das redes públicas de recarga de veículos elétricos, bem como a criação de instrumentos financeiros que permitam atenuar a perda de valor de revenda dos híbridos e elétricos. No intuito de modelar o que abrange esse incentivo serão aplicados incrementos periódicos nos coeficientes  $q$  pertencentes aos distintos submodelos de EVs.

Com base no que foi apreentado em termos de políticas, foram implementadas duas diferentes políticas na modelagem do presente trabalho, sendo as políticas enumeradas nos itens a seguir.

- a) **Política 1 - Efeito da curva de aprendizado das baterias de tecnologias de íons de Lítio na compra de veículos elétricos:** Sabe-se que os custos com baterias compõem parte considerável do custo final do veículo e, além disso, conhece-se um histórico de custos das baterias, possibilitando a modelagem da política 1, com base no equacionamento apresentado em 2.1.2 e nos conceitos discutidos em 3.2,
- b) **Política 2 - Incremento nos coeficientes  $q_{EV}$ :** Visando dar ênfase nos benefícios relativos que advêm da operação de veículos elétricos, tais quais a redução de custos com manutenção, a redução da emissão de gases, entre outros, podendo esses ser traduzidos através do coeficiente de adoção por imitação (ou propaganda). A presente política é implementada a partir do aumento gradual absoluto dos coeficientes  $q_{BEV}$ ,  $q_{HEV}$  e PHEV, de modo a ser possível verificar seus efeitos nas taxas de adoção  $L_k(t)$  e nos adotantes totais reais  $A_k(t)$ .

#### 4.2.4 União das políticas e cenários testados

O Quadro 2 denomina a combinação de cenários e políticas, em ordem alfabética.

Quadro 2 – Matriz de Políticas e Cenários.

	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
<b>Política 1</b>	A	C	E
<b>Política 2</b>	B	D	F

Fonte: Autor.

Em consequência disso, conjunto dos cenários e políticas formam as simulações A, B, C, e assim por diante, conforme melhor visível no Quadro 3.

Quadro 3 – Descrição das simulações

<b>Simulação</b>	<b>Descrição.</b>
<b>BAU-ICE</b>	<i>Business As Usual-Internal Combustion Engine</i> ou cenário base ICE: os percentuais de participação de mercado para o conjunto dos EVs (elétricos e híbridos) permanecem nos mesmo níveis atuais, isto é, $MSEV(t)=0,05\%$ , e com isso as vendas anuais de veículos automotores no Brasil continuarão sendo dominadas pelos veículos a combustão.
<b>BAU</b>	<i>Business As Usual</i> ou cenário base: os percentuais de participação de mercado entre os EVs permanecem equânimes; não é adicionada a influência da curva de aprendizado; os coeficientes qEV permanecem inalterados.
<b>A</b>	Dominância BEV + Curva aprendizado baterias.
<b>B</b>	Dominância BEV + Incremento nos coeficientes qEV.
<b>C</b>	Dominância HEV + Curva aprendizado baterias.
<b>D</b>	Dominância HEV + Incremento nos coeficientes qEV.
<b>E</b>	Dominância PHEV + Curva aprendizado baterias.
<b>F</b>	Dominância PHEV + Incremento nos coeficientes qEV.

Fonte: Autor.

#### 4.2.5 Análise e avaliação dos cenários e políticas

Essa etapa é aquela que, por fim, visa analisar os resultados a partir dos cenários e políticas simulados. A variável de Market Share  $MS_k(t)$  é postulada pelos cenários (ver 4.2.3.1), e juntamente com as políticas implementadas (vide a subsubseção 4.2.3.2) influenciarão na taxa de adoção anual  $L_k(t)$ , a qual integrada no tempo e descontados os descartes resulta na frota circulante  $A_k(t)$  de determinada tecnologia  $k$  de tração veicular.

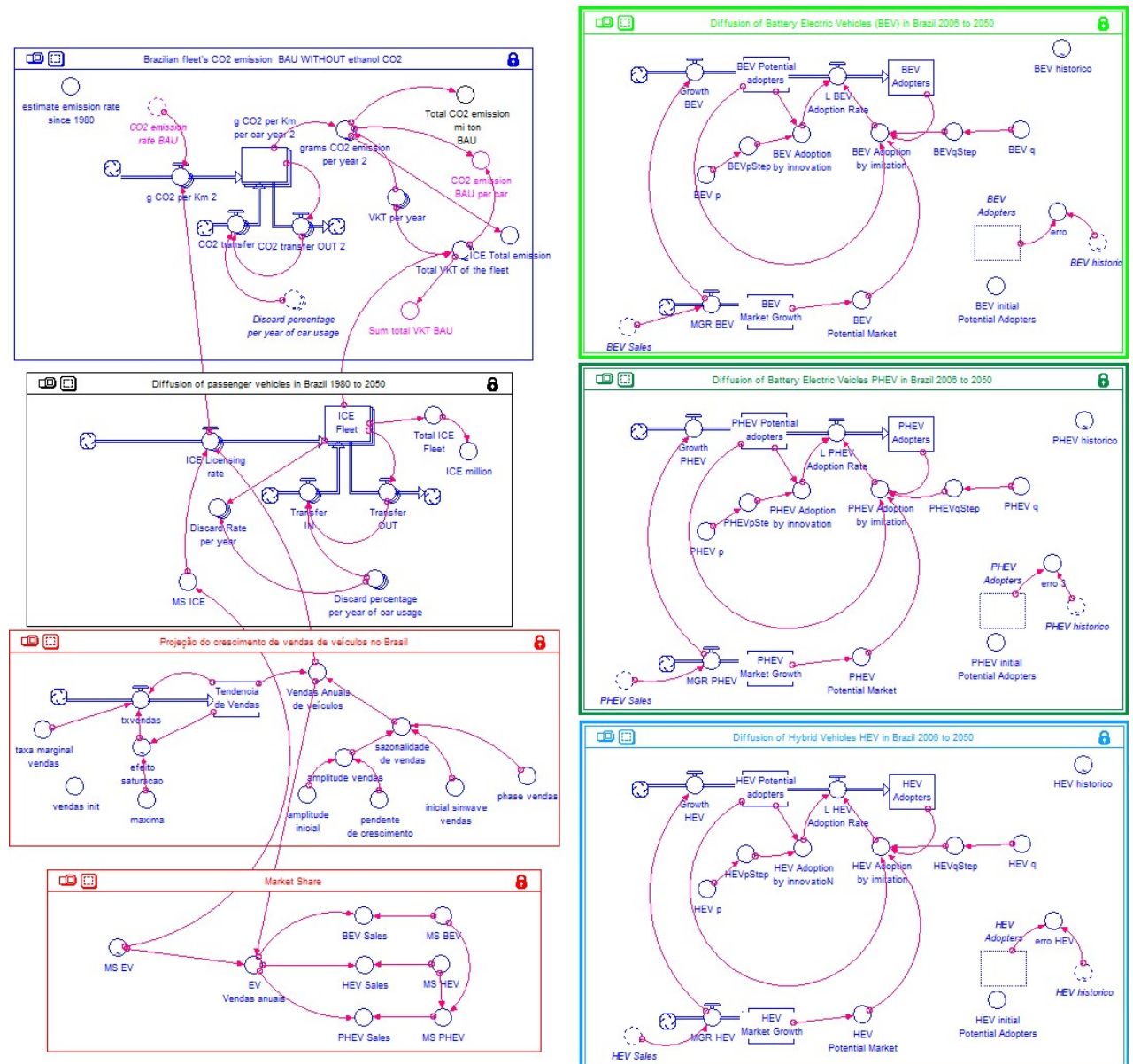
A partir da quantia de veículos na frota, multiplicada pela distância anual média percorrida e pela taxa média de emissões para aquela tecnologia  $k$  de motorização, obter-se-á a quantia média de emissões totais equivalentes da frota circulante, em milhões de toneladas de  $CO_2$ .

A fim de elucidar os resultados, o Capítulo 6 ocupa-se na discussão e comparação dos gráficos dos cenários em conjunto com as políticas em termos dos indicadores  $MS_k(t)$ ,  $A_k(t)$ ,  $L_k(t)$ ,  $EF_k(t)$ .

## 5 CONSTRUÇÃO DO MODELO

A interação dos submodelos descritos nas próximas seções está exposta na Figura 25. Toda a modelagem em termos de notações do Software STELLA também está disponível no Apêndice C. Cada um dos submodelos desenvolvidos para cada tecnologia  $k$  de motorização está relacionado com as variáveis de mercado, modeladas nos quadros em vermelho (Figura 25).

Figura 25 – Modelo de difusão de veículos automotores leves no Brasil de 1980 a 2050



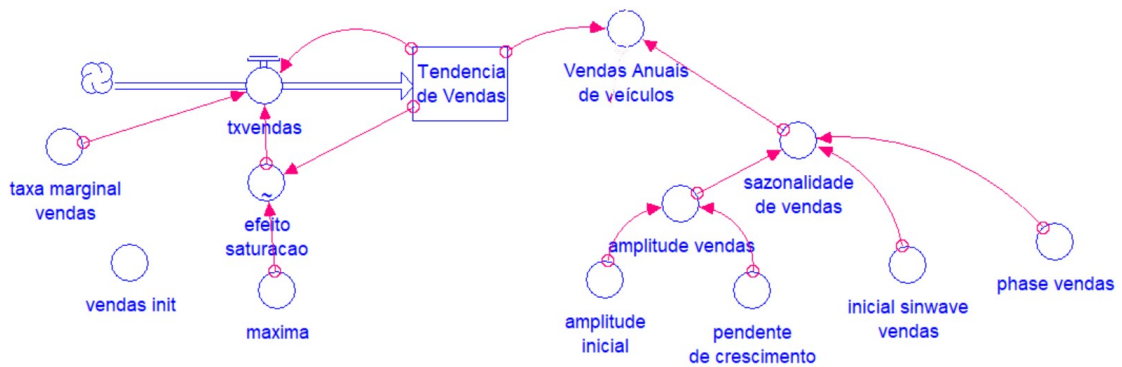
Fonte: Autor

### 5.1 SUBMODELO DE VEÍCULOS

Ao observar a série temporal de vendas anuais de veículos, fornecido pela ANFAVEA (2020), percebe-se a presença de dois comportamentos: tendência e sazonalidade. Partindo do pressuposto de que as vendas de veículos automotores seguirão essa direção, independente de serem ICE ou EV, e visando simular ambos os efeitos na taxa de licenciamento ou venda anual de veículos  $V_k(t)$ , onde  $V_k(t)=(L_{ICE}(t)+L_{BEV}(t)+L_{HEV}(t)+L_{PHEV}(t))$  foram implementados duas diferentes estruturas, sendo elas a Taxa de Vendas  $V_k^T(t)$  que denota a tendência linear de crescimento, seja pelo crescimento do poder aquisitivo da população ou por outros fatores, e a Taxa de Vendas  $V_k^S(t)$ , que simula o comportamento sazonal de vendas ao longo dos períodos históricos e econômicos, objetivando simular as crises ou incentivos que incidiram nos mesmos. Essa modelagem está representada pela Equação 18 e pela Figura 26 e o resultante quantitativo das equações implementadas se encontra demonstrado graficamente no gráfico da Figura 27.

$$V_k(t) = V_k^T(t) \times (1 + V_k^S(t)) = L_{ICE}(t) + L_{BEV}(t) + L_{HEV}(t) + L_{PHEV}(t) \quad (18)$$

Figura 26 – Estrutura de comportamento e tendência de vendas de veículos até 2050

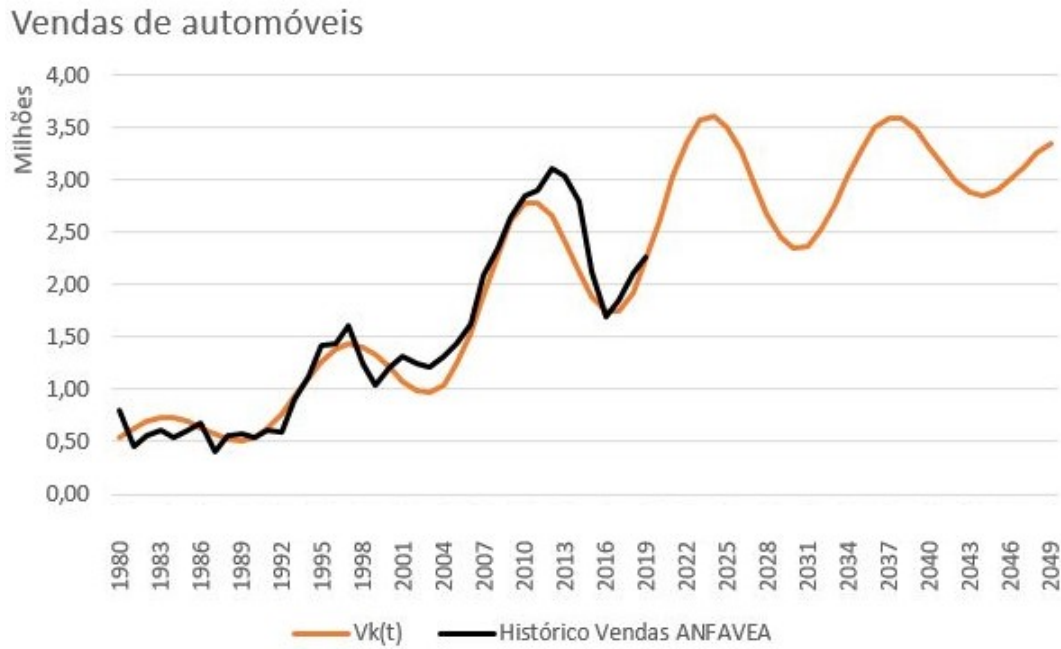


Fonte: Autor

O elemento de tendência de vendas  $V_k^T(t)$  é um *Stock* e implementa a Equação 19, consistindo em um sistema retroalimentado, visto que a Taxa de Vendas  $T_x(t)$  é um *Flow* que implementa a Equação 20, representado pela curva cinza da Figura 27. O elemento  $V_k^T(t)$  ainda leva em conta uma taxa marginal de vendas  $T_{MG}(t)$ , calibrada em 5% ao ano e, além disso também tem-se a limitação pelo efeito de saturação, a qual é definida pela Equação 21, onde, por constatação, máxima=3,11 milhões de adotantes.

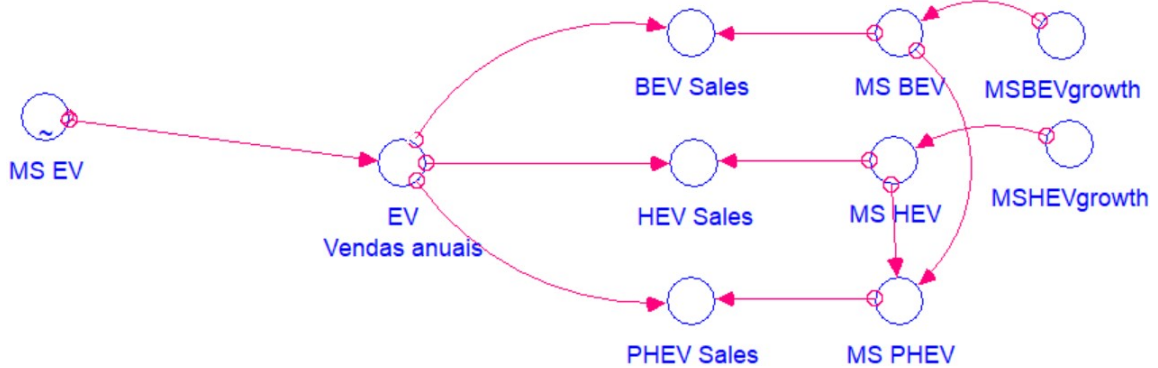
$$V_k^T(t) = V_k^T(t - 1) + T_x(t) = \int_{t_0=1980}^t T_x(t)dt \quad (19)$$

Figura 27 – As vendas anuais de veículos  $V_k(t)$  até 2050



Fonte: Autor e ANFAVEA (2020)

Figura 28 – Estrutura de *Market Share* para EV no Brasil



Fonte: Autor

$$T_x(t) = T_{MG}(t) \times \gamma(t) \times V_k^T(t - 1) \tag{20}$$

$$\gamma(t) = \frac{V_k^T(t)}{\text{maxima}} \tag{21}$$

Enquanto isso, o elemento de vendas sazonais  $V_k^S(t)$ , representado pela Equação 25, implementa uma onda senoidal com amplitude variável  $\alpha(t)$  e com período  $\tau$ . Somado à isso, também tem-se um valor inicial  $V_k^S(t_0)$ . Por constatação,  $\tau$  foi definido como sendo  $\tau=13,76$  anos.

$$V_k^S(t) = V_k^S(t_0) + \alpha(t) \sin(\omega t) \tag{22}$$

A amplitude variável  $\alpha(t)$  da onda senoidal é dada pela Equação 23, a qual é diretamente proporcional à taxa pendente de crescimento constante de 1,1%, que na verdade pode ser de decréscimo ou de incremento, conforme as respectivas funções degrau  $\delta(t)$  incidentes no instantes  $t_0$  que foram definidos durante a calibração.

$$\alpha(t) = \alpha(t_0) + (c \times t) \times (\delta(t_0 = 2001) - 2 \times \delta(t_0 = 2010)) \quad (23)$$

Sabendo que a frequência  $f$  de uma onda senoidal é dada por  $f = \frac{1}{\tau}$  e, dada a definição da frequência angular  $\omega$  pela Equação 24, temos por fim a Equação 25, que melhor representa as sazonalidades de vendas.

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{\tau} \quad (24)$$

$$V_k^S(t) = V_k^S(t_0) + \alpha(t) \sin\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right) \quad (25)$$

### 5.1.1 Submodelo para o *Market Share*

Agora, em consequência das premissas de  $V_k(t)$ , o fator que sofrerá alterações ao longo dos anos será a fração de participação de mercado de cada tipo  $k$  de veículo, sendo representada pela figura do *Market Share*  $MS_k(t)$ , o qual é modelado de acordo com a Figura 28. Ainda, pensando no *Market Share* como elemento que gera incerteza, tanto na proporção de veículos ICE, quanto entre os próprios EV (BEV, HEV e PHEV), pode-se vislumbrar alguns cenários de dominância de determinadas tecnologias de EV em relação às outras, constituindo maior adaptação desse tipo  $k$  de tecnologia de veículo ao mercado. Portanto, assume-se que haverá um incremento do  $MS_k(t)$  dos EV ( $MS_{EV}(t)$ ) em detrimento do  $MS_k(t)$  dos ICE ( $MS_{ICE}(t)$ ), ou seja, à medida que crescer a participação de mercado dos EV, a participação dos ICE cairá na mesma proporção, logo,  $MS_{ICE}(t) = (1 - MS_{EV}(t))$ , sendo  $MS_{EV}(t) = MS_{BEV}(t) + MS_{HEV}(t) + MS_{PHEV}(t)$ , como demonstra a Figura 21.

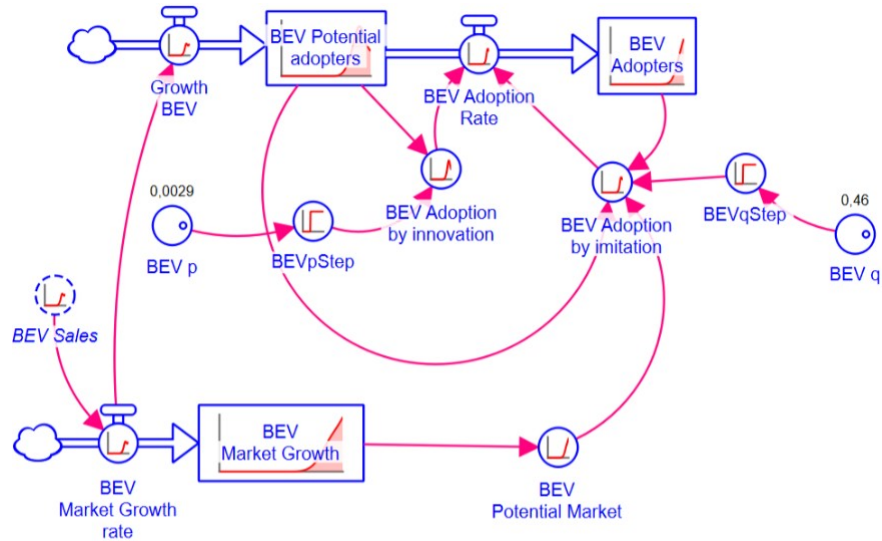
Em vista do que foi apresentado na subsubseção 4.2.3.1, cada tipo  $k$  de veículo terá uma correspondente taxa de crescimento de mercado  $MGR_k(t)$ , baseado nos cenários de *Market Share* e comportamento de vendas, conforme a Equação 26, do qual o resultado será utilizado para modelagens nas subseções seguintes.

$$MGR_k(t) = V_k(t) \times MS_k(t) \quad (26)$$

### 5.1.2 Submodelo para veículos elétricos a bateria BEV

Conforme a modelagem de Bass (1969) e o submodelo representado na Figura 29, a adoção por inovação e adoção por imitação em um período  $t$  são expressas no modelo através de um *Converter* e estão apresentadas, respectivamente, nas Equações 27 e 28.

Figura 29 – Submodelo de Difusão dos BEV



Fonte: Autor

$$Inovadores = p_k \times PA_k(t) \quad (27)$$

$$Imitadores = q_k \times PM_k(t) \quad (28)$$

Entretanto, como o modelo se inicial em  $t=1980$  e a difusão dos EV só inicia em 2006, é necessária uma correção no modelo, através da multiplicação das Equações 27 e 28 por uma função degrau  $\delta(t)$  com  $t_0=2005$  e, portanto, os cálculos corrigidos são aqueles expostos nas Equações 30 e 31 abaixo.

$$\delta(t) = \begin{cases} 0, & t \leq t_0 \\ 1, & t > t_0 \end{cases} \quad (29)$$

$$Inovadores' = p_k \times PA_k(t) \times \delta(t) \quad (30)$$

$$Imitadores' = q_k \times PM_k(t) \times \delta(t) \quad (31)$$

Sendo assim, a soma das Equações 30 e 31, dos adotantes inovadores e imitadores, constituirá a taxa anual de licenciamento  $L_k(t)$ , implementada através da Equação 32.

$$L_k(t) = Inovadores' + Imitadores' = \delta(t) \left( (p_k \times PA_k(t)) + (q_k \times PM_k(t)) \right) \quad (32)$$

Os adotantes  $A_k(t)$  dessa tecnologia de veículo, modelados como sendo um *Stock* serão, portanto, representados pela Equação 33, sendo descritos pela soma dos



indivíduos que já eram adotantes no período anterior da simulação com a taxa anual de licenciamento deste veículo neste período da simulação, isto é, é o acumulado das taxas de licenciamento anuais (veículos emplacados) de cada veículo de tipo  $k$ , se não considerarem-se quaisquer taxas de veículos que saem de circulação devido a furtos e roubos (sem a recuperação do veículo pelo proprietário), perda total em acidentes e desgaste mecânico ou de lataria que impede seu uso, etc. Isso presume que qualquer indivíduo que pertença ao grupo  $A_k(t)$  não tornará a fazer parte dos adotantes potenciais  $PA_k(t)$ , no entanto, para o caso  $k=ICE$  foi adicionada a complexidade da taxa  $DR_{k,j}(t)$  de descarte do sistema por ano  $j$  de uso, conforme a Equação 34. Dado que os EV estão há pouco tempo  $t$  no sistema, optou-se por não adicionar essa complexidade ao modelo dos EV.

$$A_k(t) = A_k(t - 1) + L_k(t) = \int_{t=t_0}^t L_k(t) dt \quad (33)$$

$$A_k(t) = \int_{t=t_0}^t L_k(t) dt - \int_{t=t_0}^{t-1} \left( DR_{k,j}(t) \times A_k(t) \right) dt \quad (34)$$

Agora, então, é preciso determinar as variáveis necessárias para o cálculo de  $p_k$  e  $q_k$ , sendo respectivamente as variáveis  $PA_k(t)$  e  $PM_k(t)$ . Os Adotantes potenciais  $PA_k(t)$ , por sua vez, podem ser calculados de acordo com a Equação 35, sendo constituídos pelos adotantes potenciais do período anterior em adição ao saldo da taxa de crescimento de mercado  $MGR_k(t)$  em subtração da taxa de adoção ou licenciamento  $L_k(t)$ .

$$PA_k(t) = PA_k(t - 1) + \left( MGR_k(t) - L_k(t) \right) \quad (35)$$

Já o mercado potencial  $PM_k(t)$  deve ser calculado pela Equação 36, sendo o já definido através da Equação 26.

$$PM_k(t) = PM_k(t - 1) + MGR_k(t) \quad (36)$$

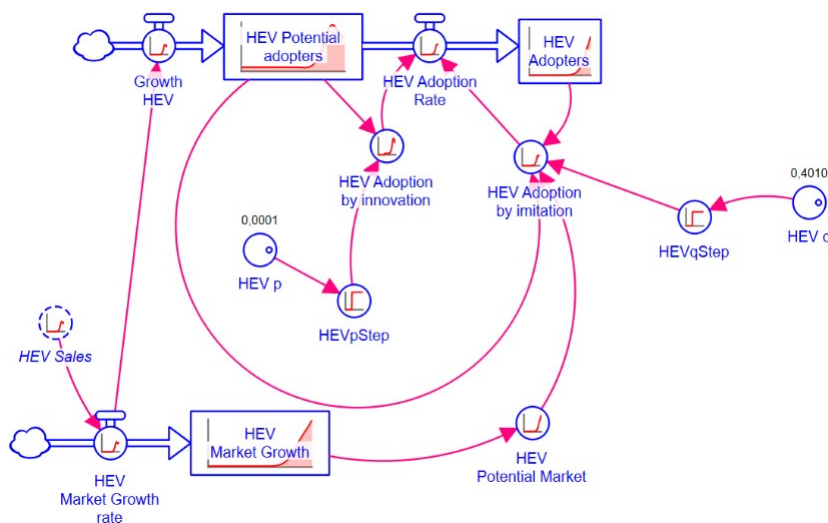
Onde o crescimento de mercado inicial é  $PM_k(t = 2006) = A_k(t = 2006)$  para  $k=(BEV, HEV, \text{ ou } PHEV)$ , ou seja, o valor inicial é equivalente ao número inicial de adotantes.

Quando trata-se dos BEV, neste caso,  $k=BEV$  e  $A_k(t)=A_{BEV}(t)$ , onde  $PM_{BEV}(t = t_0) = A_{BEV}(t_0 = 2006) = 1$ , ou seja, a difusão desses veículos inicia no período  $t_0$ , dada a função  $\delta(t)$  aplicada nesse instante. Os ajustes dos coeficientes  $p_{BEV}$  e  $q_{BEV}$  realizaram-se de acordo com a metodologia descrita na subseção 4.2.2 e estão explicados, passo a passo, na Seção 5.2.

### 5.1.3 Submodelo para os veículos híbridos HEV

O caso dos HEV é análogo ao dos BEV, sendo  $k=HEV$  e  $A_k(t)=A_{HEV}(t)$ , onde  $PM_{HEV}(t = t_0) = A_{HEV}(t_0 = 2006) = 1$ , ou seja, a difusão desses veículos inicia no período  $t_0$ , dada a função  $\delta(t)$  aplicada nesse instante e está representada pelo submodelo da Figura 30. As calibrações do submodelo através do ajuste fino dos coeficientes  $p_{HEV}$  e  $q_{HEV}$  realizaram-se de acordo com as metodologias descritas na subseção 4.2.2 e estão explicadas, passo a passo, na Seção 5.2.

Figura 30 – Submodelo de Difusão dos HEV



Fonte: Autor

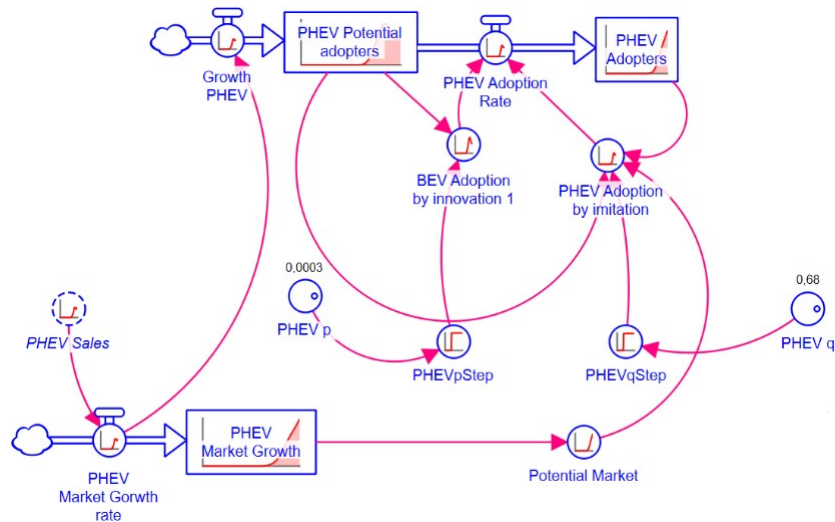
### 5.1.4 Submodelo para os veículos híbridos plug-in PHEV

De forma análoga aos EV anteriores, para os PHEV temos  $k=PHEV$  e  $A_k(t)=A_{PHEV}(t)$ , onde  $PM_{PHEV}(t = t_0) = A_{PHEV}(t_0 = 2006) = 1$ . O submodelo para os PHEV é representado na Figura 31 e sua calibração é realizada por ajuste fino dos coeficientes  $p_{PHEV}$  e  $q_{PHEV}$ , a qual segue a metodologia abordada na subseção 4.2.2 e descrita, com mais profundidade, na Seção 5.2.

### 5.1.5 Submodelo para os veículos a combustão interna ICE

Dado o amplo histórico de licenciamento anual de veículos a combustão (ICE) fornecido pela ANFAVEA (2020), desde 1980 até a atualidade, configurando um mercado já muito bem consolidado, não sendo necessário o emprego dos equacionamentos de Bass (1969). Com isso, a partir da série temporal da taxa de adoção podem ser observados justamente os comportamentos modelados pela Equação para 18, sendo porém a taxa de adoção  $L_{ICE}(t)$  correspondente ao complemento da taxa anual de vendas  $V_k(t)$  que não se deve à totalidade de EV, isto é, todos os elementos do sistema

Figura 31 – Submodelo de Difusão dos PHEV



Fonte: Autor

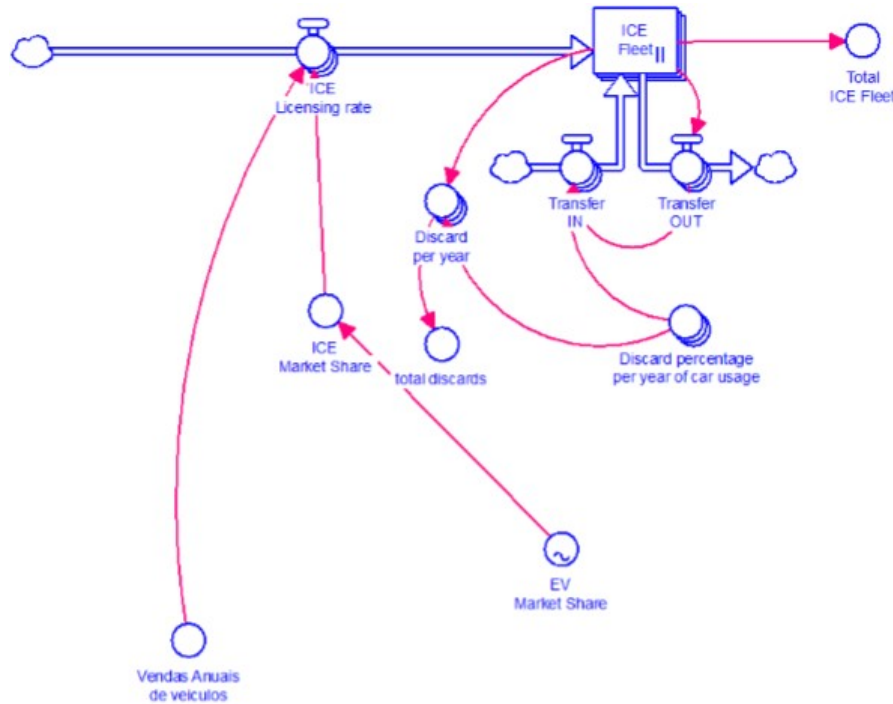
que não pertencerem aos estoques de adotantes potenciais dos EV farão parte do grupo de adotantes de veículos ICE, compoento a taxa de licenciamento  $L_{ICE}(t)$ , a qual é modelada como sendo um *Flow* e representada pela Equação 37.

$$L_{ICE}(t) = V_k(t) \times (1 - MS_{EV}(t)) = V_k(t) \times MS_{ICE}(t) \quad (37)$$

Ainda, dado que a simulação inicia-se em  $t_0=1980$ , caso os automóveis não fossem descartados do sistema, chegando no ano de 2020 haveriam automóveis de 40 anos no sistema, o que sabe-se que não é aplicável, pois ano a ano alguns automóveis saem de circulação por diversos motivos, entre eles estão acidentes com perda total e também furtos que resultam em desmonte, etc. Em consequência disso, como já enunciado na Equação 34, o *Stock* que representa a quantidade de adotantes  $A_{ICE}(t)$  é dado pela soma dos indivíduos que já eram adotantes de veículos com ICE em todos os períodos anteriores à simulação com a taxa anual de licenciamento deste veículo neste período da simulação, subtraíndo-se os veículos que deixam o sistema através da taxa anual  $DR_{k,j}(t)$  de descarte do sistema por ano  $j$  de uso, conforme agora descrito pela Equação 38.

$$A_{ICE}(t) = \int_{t=t_0}^t L_{ICE}(t)dt - \int_{t=t_0}^{t-1} (DR_{k,j}(t) \times A_{ICE}(t))dt \quad (38)$$

Figura 32 – Submodelo de Difusão dos ICE



Fonte: Adaptado de Benvenuti, Maldonado e Campos (2019)

### 5.1.6 Submodelo para as emissões equivalentes

#### 5.1.6.1 Fatores de emissão média de CO<sub>2</sub> e emissões equivalentes para veículos a combustão interna

A taxa de emissão de CO<sub>2</sub> faz o papel de variável auxiliar (*Converter*) e pode ser descrita pela equação 39. Os dados de entrada para as taxas de emissão são aqueles coletados através do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (ANTT, 2014), enquanto as proporções de veículos na frota são periodicamente dispostas pelo DENATRAN (2019).

$$EF_{ICE}(t) = ef_{ICE}(t) \times A_{ICE}(t) \times D_j(t) \quad (39)$$

O coeficiente  $ef_{ICE}(t)$  pode ser obtido a partir da metodologia descrita por (ANTT, 2014) e também adotada por Benvenuti, Maldonado e Campos (2019), calculado pela Equação 40.

$$\begin{aligned} ef_{ICE}(t) = & \left( ef_{gasolC}(t) \times L_{gasolC}(t) \right) + \left( ef_{etanol}(t) \times L_{etanol}(t) \right) + \left( ef_{fl,gasol}(t) \right. \\ & + ef_{fl,ga,BAU}(t) \times \left( L_{fl}(t) \times (1 - L_{fl,etanol}(t)) \right) \\ & \left. + \left( ef_{fl,etanol}(t) + ef_{fl,et,BAU}(t) \right) \times \left( L_{fl}(t) \times L_{fl,etanol}(t) \right) \right) \quad (40) \end{aligned}$$

A intensidade de uso  $D_j(t)$  referência para os veículos automotores leves adotada neste trabalho, para fins de validação com dados históricos, é a mesma intensidade de uso de referência para veículos do ciclo de Otto adotada por ANTT (2014), a qual pode ser apreciada na Tabela 11, que retrata as distâncias percorridas por veículo em função do seu ano de idade através do declínio anual linear de cerca de 600 quilômetros rodados por ano. Dado que os submodelos de veículos elétricos e híbridos EV não mapeiam a idade dos veículos, tampouco a taxa anual de descarte, a intensidade de uso referente utilizada nesses submodelos é um valor médio de quilômetros percorridos ao longo da vida útil de um veículo  $\bar{D}_j(t)$ .

Tabela 11 – Intensidade de uso  $D_j(t)$  de referência para veículos automotores leves

<b>Idade do Veículo (anos)</b>	<b>Intensidade de uso (km/ano)</b>
1	10000
2	19400
3	18800
4	18200
5	17600
6	17000
7	16400
8	15800
9	15200
10	14600
11	14000
12	13400
13	12800
14	12200
<b>15</b>	<b>11600</b>
<b>16</b>	<b>11000</b>
<b>17</b>	<b>10400</b>
<b>18</b>	<b>9800</b>
<b>19</b>	<b>9200</b>
<b>20</b>	<b>8600</b>
<b>20 ou mais</b>	<b>2674</b>

Fonte: Adaptado de ANTT (2014)

#### 5.1.6.2 Fatores de emissão média de CO<sub>2</sub> e emissões equivalentes para HEV

O fator de emissões equivalente para os HEV foi definido de acordo com a média dos veículos HEV disponíveis no Brasil, com base nas tabelas PBE divulgadas anualmente pelo Inmetro (2020b). Os valores considerados para o fator de emissões de CO<sub>2</sub> dos HEV ( $ef_{HEV}(t)$ ) podem ser encontrados na última coluna da Figura 54,

disposta no Anexo A.

$$EF_{HEV}(t) = ef_{HEV}(t) \times A_{HEV}(t) \times \bar{D}_j(t) \quad (41)$$

#### 5.1.6.3 Fatores de emissão média de CO<sub>2</sub> e emissões equivalentes para PHEV

O fator de emissões equivalente para os PHEV foi definido de acordo com a média de emissões dos veículos PHEV disponíveis no Brasil, com base nas tabelas PBE divulgadas anualmente pelo Inmetro (2020b). Os valores considerados para o fator de emissões equivalentes dos veículos PHEV ( $ef_{PHEV}(t)$ ) podem ser encontrados na Figura 54, disposta no Anexo A.

$$EF_{PHEV}(t) = ef_{PHEV}(t) \times A_{PHEV}(t) \times \bar{D}_j(t) \quad (42)$$

#### 5.1.6.4 Fatores de emissão média de CO<sub>2</sub> e emissões equivalentes para BEV

Os BEV, por exemplo, não apresentam emissões locais de gases de efeito estufa, os quais seriam provenientes da combustão, no entanto, poder-se-á considerar que emitem, por kWh consumido, a quantia relativa e proporcional aos fatores de emissão do SIN, que correspondem atualmente a aproximadamente 0,075kgCO<sub>2</sub>eq/kWh. Em contraponto, no Reino Unido o valor médio para emissões pelo consumo de eletricidade é de 0,61kgCO<sub>2</sub>eq/kWh. O MCTIC (2020) atualiza mensalmente os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> *grid/ano* pela geração de energia elétrica no SIN. O fator é mensurado, em tonCO<sub>2</sub> /MWh, com base na média de todas as gerações provenientes de todas as usinas operantes, e não somente daquelas que estejam funcionando na margem, utilizando a metodologia ofertada pela Convenção das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima UNFCCC (2018). Esses dados, que podem ser encontrados na Tabela 12, também são usados para a realização de inventários corporativos de emissões da energia elétrica consumida, no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Com base nisso, considera-se pertinente o uso do fator equivalente da rede para quantificar a magnitude das emissões provenientes do carregamento das baterias para a mobilidade elétrica. Sendo assim, a partir das emissões equivalentes do SIN,  $EF_{SIN}(t)$  em gCO<sub>2</sub>/kWh e com base no quantitativo de adotantes  $A_{BEV}(t)$ , considerando ainda a distância anual percorrida (intensidade de uso) por ano de idade  $j$ ,  $D_j(t)$  em km/ano, e a eficiência dos veículos elétricos  $\eta_{BEV}(t)$  em kWh/km rodado (ver Figura 52), obtemos o fator de emissão anual dos veículos elétricos a bateria da seguinte Equação 43. Outras demais informações podem ser encontradas no Apêndice B.

$$EF_{BEV}(t) = EF_{SIN}(t) \times A_{BEV}(t) \times \bar{D}_j(t) \times \eta_{BEV}(t) \quad (43)$$

Tabela 12 –  $EF_{SIN}$  - Fatores de emissões de  $CO_2$  equivalentes do Sistema Interligado Nacional

	<b>Fator Médio Anual (tCO<sub>2</sub>/MWh)</b>
<b>2006</b>	0,0323
<b>2007</b>	0,0293
<b>2008</b>	0,0484
<b>2009</b>	0,0246
<b>2010</b>	0,0512
<b>2011</b>	0,0292
<b>2012</b>	0,0653
<b>2013</b>	0,0960
<b>2014</b>	0,1355
<b>2015</b>	0,1244
<b>2016</b>	0,0817
<b>2017</b>	0,0927
<b>2018</b>	0,0740
<b>2019</b>	0,0750

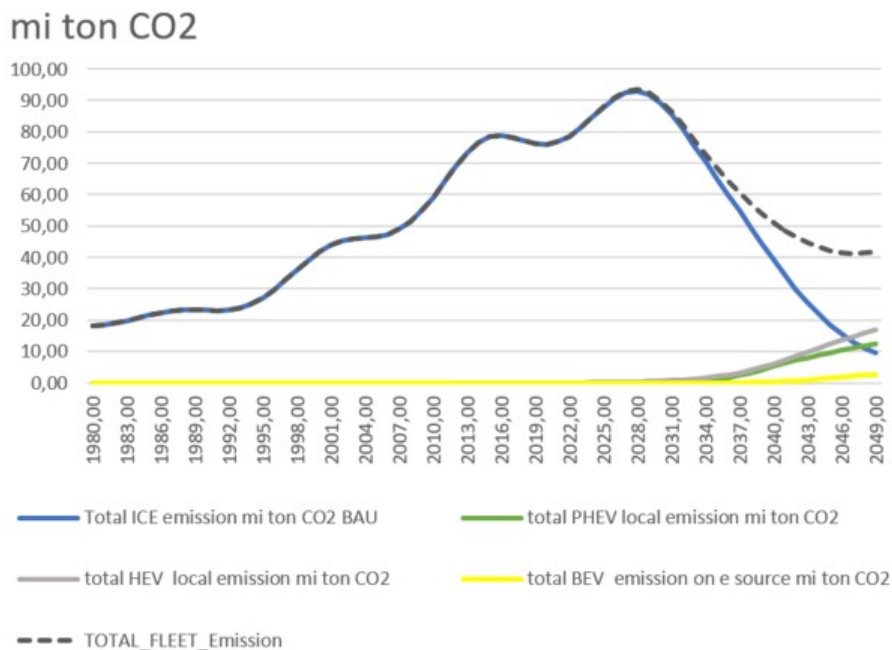
Fonte: MCTIC (2020)

O resultado dos cálculos de emissões equivalentes com base nos históricos e médias utilizadas encontra-se então na Figura 33, sendo os valores que serão considerados para os cálculos de emissões das frotas circulantes simuladas neste trabalho. Os dados de validação de  $CO_2$  são aqueles mesmos considerados nos cenários de Benvenuti, Maldonado e Campos (2019).

#### 5.1.6.5 Construção das curvas de aprendizado para as baterias de íons de Lítio

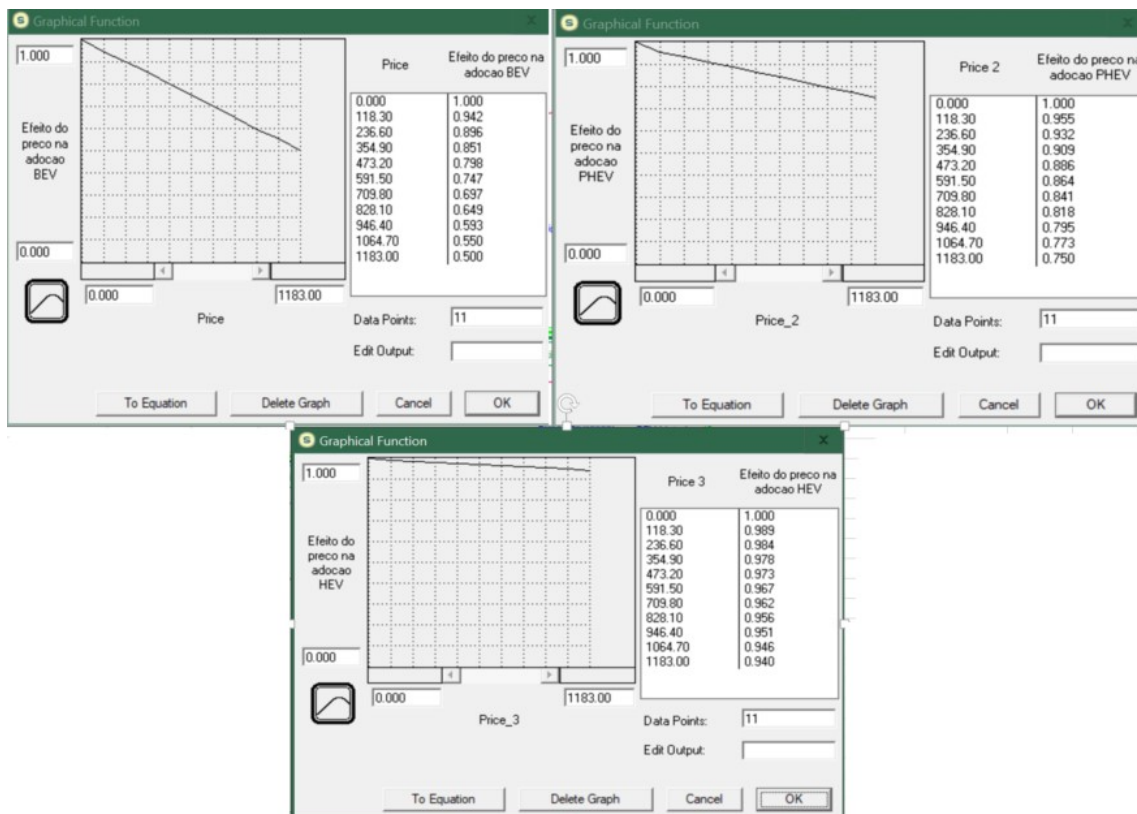
Visando diferenciar o efeito da redução dos preços de um componente do veículo no preço final de venda e portanto no acréscimo da taxa de adoção do mesmo, é de se ponderar que veículos que contam com maior quantidade desse determinado componente sofrerão maior efeito na adoção, e isso é o que as curvas expostas na Figura 34 pretende implementar. A lógica utilizada para definir o valor inicial da curva é baseado na capacidade média do banco de baterias dos veículos de cada tecnologia, segundo estimativa possível de se verificar na Figura 10 da subseção 3.2, a partir da qual adota-se neste trabalho, para fins deste cálculo, curvas distintas para simular o efeito do preço das baterias, dado que a influência será mais forte nos BEV, seguido pelos PHEV e uma menor influência para os HEV. Para os BEV o efeito começou em 50%, e cresceu linearmente até 100%. Para os outros tipos de veículos foi aplicado o mesmo princípio, sendo que para os PHEV considerou-se o início em 75%, e para os HEV adotou-se o início em 94%. Para a calibração dos parâmetros das curvas foram utilizados os dados históricos fornecidos pela NEF (2019).

Figura 33 – Emissões equivalentes em g CO2/km percorrido para as frotas de veículos das diferentes motorizações: BAU



Fonte: Autor

Figura 34 – Efeito do preço na adoção para as diferentes tecnologias de veículos



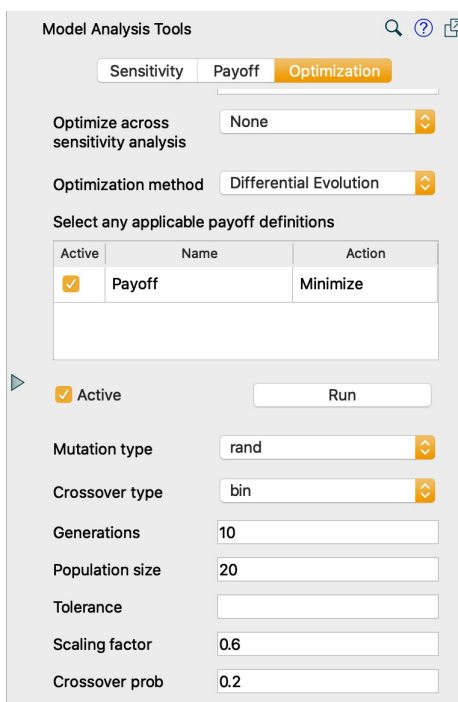
Fonte: Autor





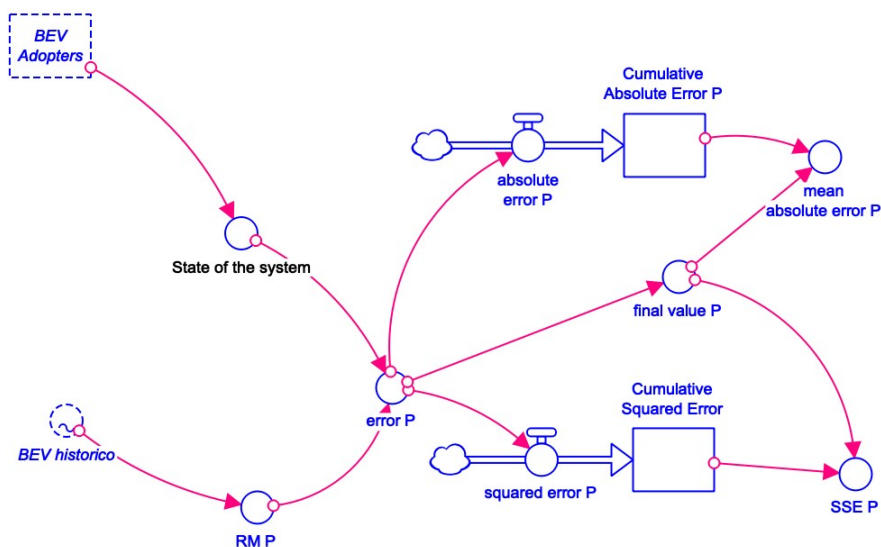
muito alto pode desperdiçar desnecessariamente tempo de cálculo. Enfim, o número de gerações (*generations*) também irá interferir no processo de otimização, dado que esse número deverá ser grande o bastante para viabilizar uma solução satisfatória e em tempo hábil.

Figura 36 – Parâmetros estabelecidos no *STELLA* para a otimização através do método *Differential Evolution*



Fonte: Autor

Figura 37 – Estrutura exemplo para otimização dos parâmetros dos BEV's



Fonte: Autor

Como exemplo da aplicação do método de validação, a estrutura da Figura 37 compara os dados históricos e os simulados, aplicando as métricas estatísticas estabelecidas. Os valores das métricas para antes e depois da calibração dos modelos podem ser verificados na Tabela 13. A partir da verificação da mesma é notável que, após a calibração, os valores de  $R^2$ , calculados pela Equação 14, estão cada vez mais próximos de 1, sinalizando que os dados simulados estão mais próximos dos dados históricos e que, em consequência disso, o modelo representa melhor a realidade. É de se ressaltar, é claro, que em modelos estatísticos com demasiados parâmetros os valores de  $R^2$  podem também se aproximar de 1, mesmo que não signifiquem que os parâmetros ajustados sejam significativos, isto é, em casos como esses poderia estar caracterizada uma situação de *overfitting*.

É também de se esperar que para os modelos ajustados os valores de  $MAE$ , calculados através da Equação 17, estejam cada vez menores, o que significa que diminuiu a diferença absoluta média dos dados simulados para os dados históricos. Por exemplo, para o caso dos PHEV a diferença média entre a quantidade de veículos histórica e a quantidade simulada é de cerca de 13 unidades de veículos e, considerando uma população total de 486 veículos, simboliza um erro percentual médio de 2,7%. Esse baixo erro percentual pode ser percebido no Gráfico da Figura 38B, dada a similaridade entre os gráficos do Histórico e do Simulado.

Tabela 13 – Dados das métricas referentes à calibração e validação do modelo

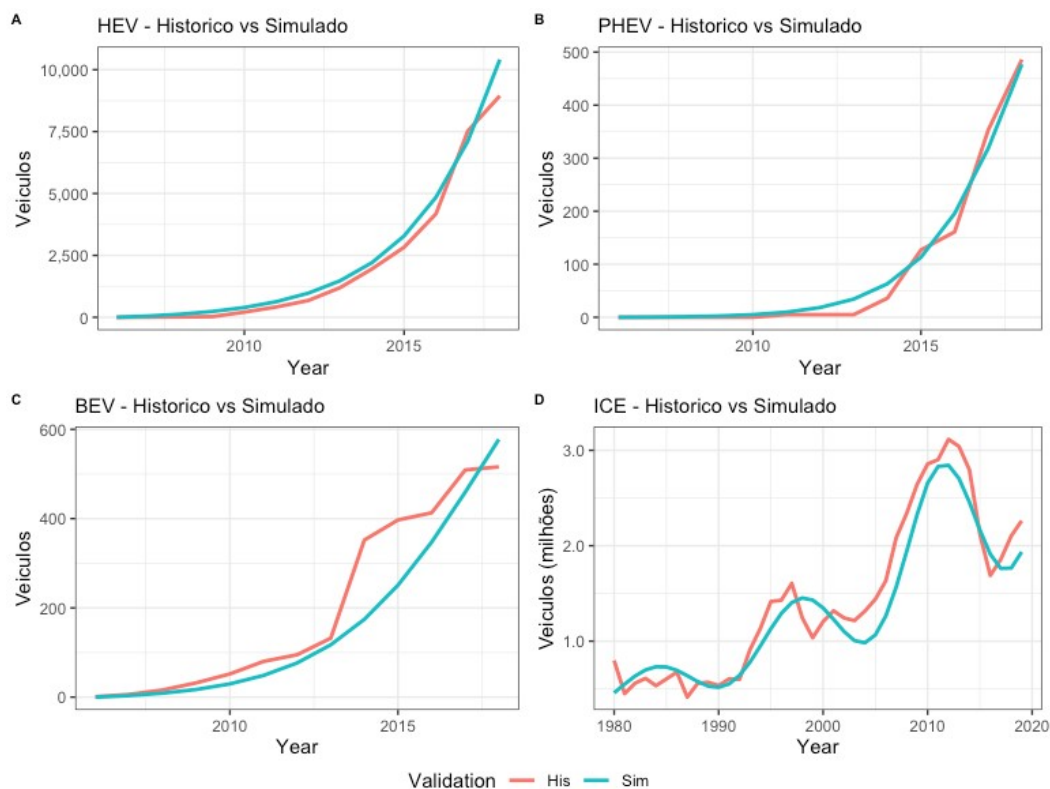
	HEV	BEV	PHEV	ICE
<b>R2</b>	0.99	0.90	0.99	0.94
<b>RMSE</b>	506.60	71.15	18.57	238260.86
<b>MAE</b>	353.33	47.16	13.47	200217.73

Fonte: Autor

As curvas das taxas de licenciamento  $L_k(t)$  anuais Históricas x Simuladas para os modelos de cada veículo  $k$  depois da calibração pode ser apreciado na Figura 38. Os dados  $L_k(t)$  anuais Históricas para  $k=IEC$ , por exemplo, são dispostos mensalmente pela ANFAVEA (2020), enquanto os  $L_k(t)$  simulados são aqueles provenientes do modelo construído e explicado durante esta Seção 5.1.

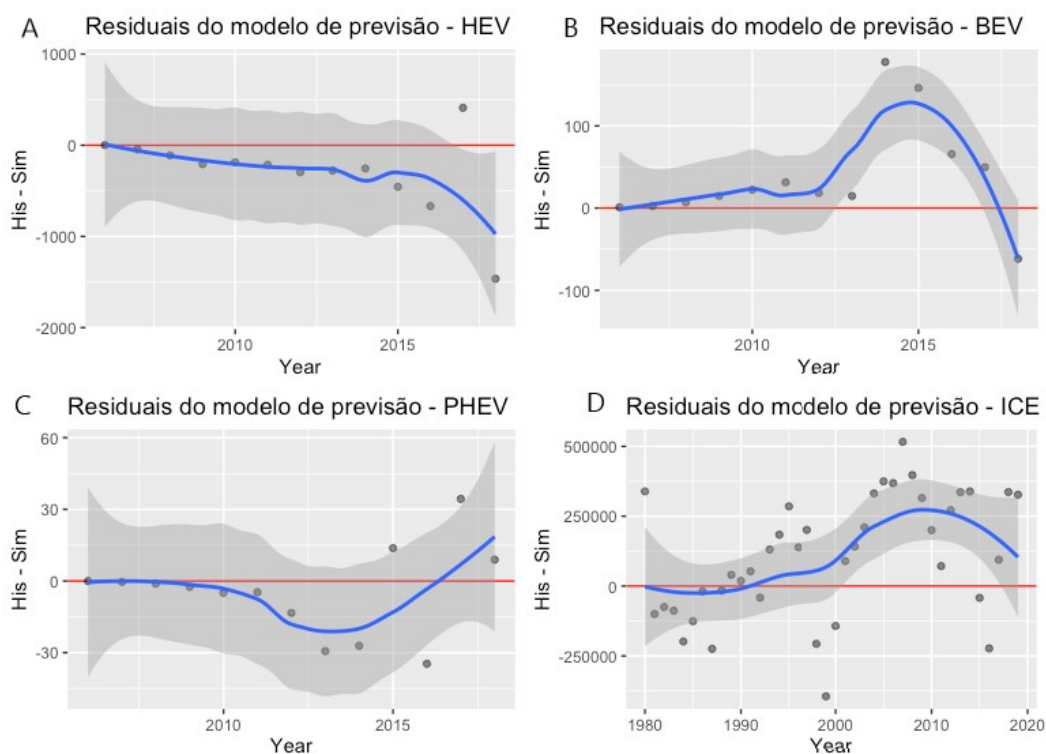
Visando melhor compreender o efeito dos ajustes nos parâmetros  $p$  e  $q$  através da ferramenta de otimização do software STELLA, a Figura 39 apresenta os gráficos de erros residuais.

Figura 38 – Taxas de vendas  $L_k(t)$  históricas e simuladas



Fonte: Autor

Figura 39 – Residuais dos modelos de previsão de cada tipo de veículo



Fonte: Autor

## 6 RESULTADOS

De posse do modelo base validado e calibrado, as Seções seguintes abordam os resultados de cada uma das simulações listadas na matriz de cenários e políticas que consta no Quadro 3, abordado no Capítulo 4.

### 6.1 CENÁRIO BASE: BAU-ICE

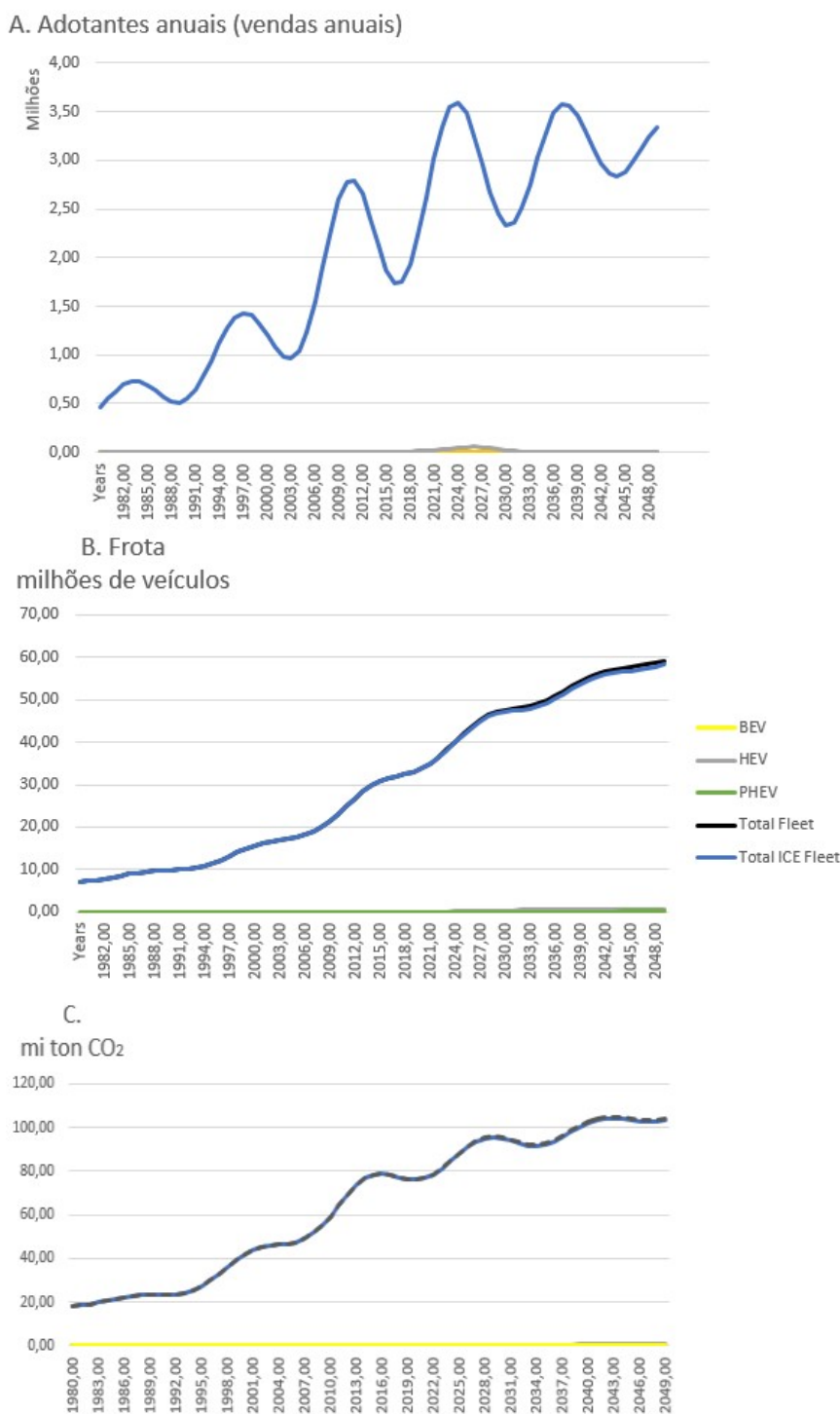
A simulação BAU-ICE é aquela na qual assume-se que nada de novo acontece com o mercado de EVs, fazendo com que os veículos motorizados à ICE continuem dominando as vendas de veículos no Brasil, tal como observável através dos valores de adotantes/vendas anuais para essa simulação são encontrados na Figura 40.A. As Figuras 40.B e 40.C evidenciam ainda, respectivamente, o volume da frota total e a massa total de gases emitidos por essa frota, configurando, no tocante às emissões de GEE, o *worst case* entre todos os simulados.

### 6.2 CENÁRIO BASE: BAU

O modelo base é aquele a partir do qual se referenciarão as demais simulações. Os valores de adotantes anuais expostos na Figura 41.A são aqueles referentes à participação equânime de mercado para os diferentes tipos de EV, considerando a premissa da substituição da frota à combustão pelas frotas de elétricos e híbridos (BEV, HEV, e PHEV). Nessa Figura percebe-se o comportamento de adoção previsto por Bass, onde as curvas de taxas anuais de adoção apresentam uma crescente até alcançar a saturação e o conseqüente declínio. Ao tempo final de simulação, no ano de 2050, percebe-se através da Figura 41.B que os adotantes acumulados para os quatro tipos de motorização estariam bem equilibrados, com aproximadamente 1/4 de frota para cada tipo  $k$  de veículo. Esse equilíbrio entre as diferentes tecnologias no tocante ao número de adotantes se deve também, mais uma vez, ao fatiamento igualitário das participações de mercado MS, as quais alimentam os mercados potenciais dos submodelos de veículos BEV, HEV, e PHEV.

A Figura 33 explicitou anteriormente as taxas de emissão de  $CO_2$  utilizadas para cada tipo de veículo, com base nos dados de MMA (2013a) e Benvenuti, Maldonado e Campos (2019). Esses autores ainda projetavam políticas de mitigação das emissões para os veículos a combustão, de forma geral. Neste trabalho, porém, assume-se que as taxas de emissões são constantes a partir do presente ano de 2020. Agora, para o cenário base tem-se as emissões na Figura 41.C, evidenciando que a premissa de substituição das frotas a combustão por frotas mais eficientes (vide Figura 21) podem reduzir notoriamente os níveis de emissões equivalentes totais da frota, mesmo que a frota tenha aumentado. O resultado disso é que, para o cenário BAU as emissões totais

Figura 40 – Resultados para o cenário base BAU-ICE

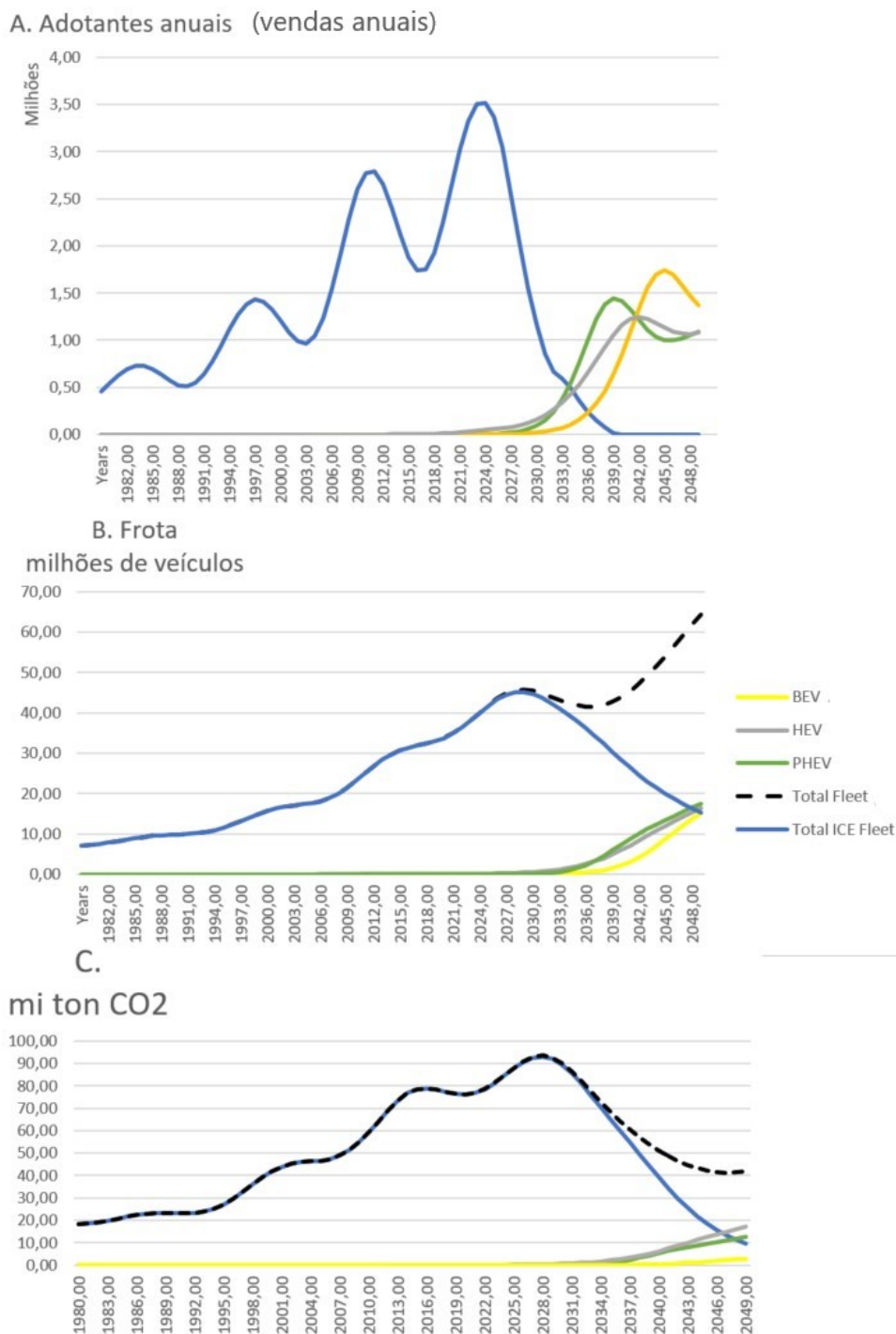


Fonte: Autor.

em 2050 estariam no patamar das emissões do ano 2000, mesmo que a frota total tenha aumentado três vezes em relação àquele período. Isto é, no ano de 2050 para uma população projetada de 233 milhões de pessoas (IBGE, 2019), nesse cenário haveriam 64 milhões de automóveis leves, distribuídos entre diferentes tecnologias de

motorização, aqueles quais estariam emitindo anualmente 41,9 milhões de toneladas de  $CO_2$  equivalentes, somando as ditas emissões por fontes móveis (emissões de escapamento) ou então pela emissão na fonte geradora de energia elétrica (fonte fixa e remota à operação de um BEV, por exemplo).

Figura 41 – Resultados para o cenário base BAU



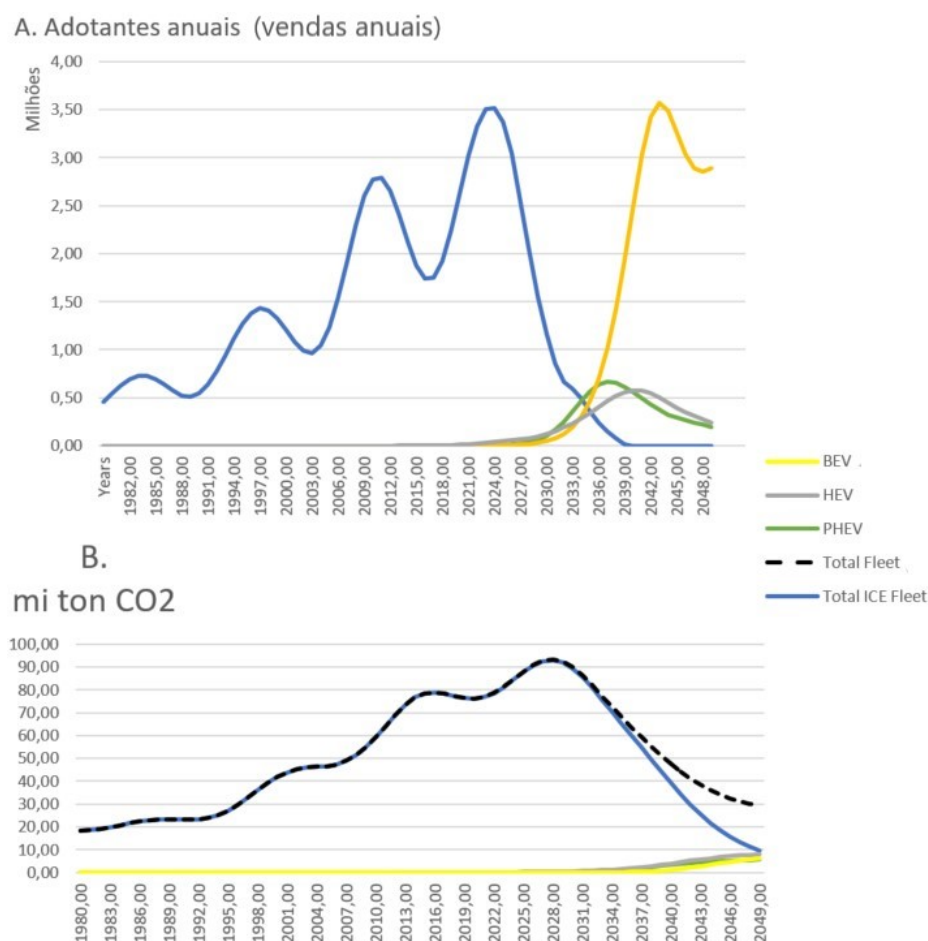
Fonte: Autor.

### 6.3 CENÁRIO 1

#### 6.3.1 A: Dominância BEV + Curva aprendizado baterias

Como o resultado do primeiro cenário, os adotantes anuais para cada tipo de tecnologia estão explícitos na Figura 42.A, demonstrando a ação conjunta do Cenário de dominância dos BEVs na participação de mercado com o efeito da curva da aprendizado no preço das baterias. Os resultados para a modelagem do efeito da curva da aprendizado estão melhor descritos no Apêndice B. Na Figura 42.B tem-se, por fim, as emissões resultantes da frota circulante da Simulação A. Nesta simulação a frota total no ano de 2050 estaria emitindo o equivalente à frota brasileira de veículos leves no ano de 1996, cerca de 30 milhões de toneladas de  $CO_2$ , caracterizando esta como a Simulação de resultado mais otimista entre todos os calculados.

Figura 42 – Resultados para a simulação A



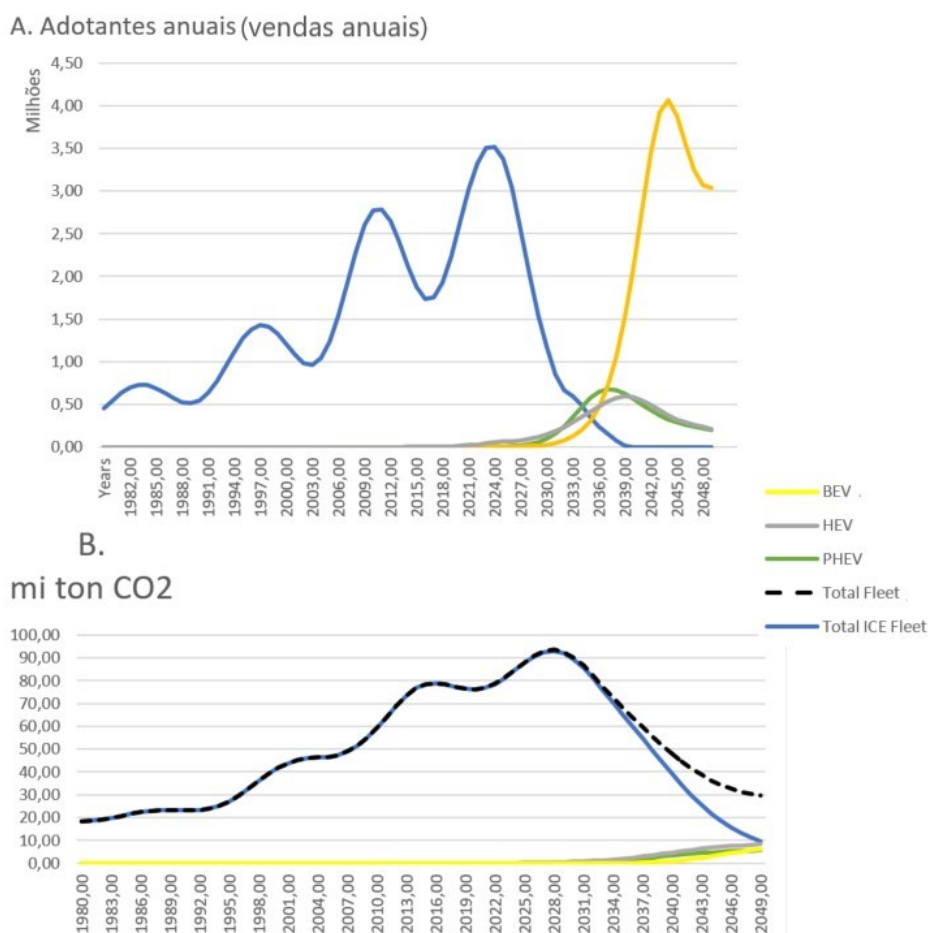
Fonte: Autor.



### 6.3.2 B: Dominância BEV + Incremento nos coeficientes qEV

O crescimento linear dos coeficientes de adoção por imitação é o mesmo para os Quadros B, D e F, sendo ampliado à taxa absoluta de 0,05 ao ano, a partir do ano de 2020, não prejudicando a calibragem que foi realizada com base nos dados históricos. A Figura 43.B representa as taxas de adoção para o Quadro B, onde pode verificar-se que um fator de forte influência continua sendo a própria participação de mercado MS. O resultado dessa matriz em termos de emissões equivalentes de gases de efeito estufa está exposto na Figura 43.B. Sendo a participação de mercado (MS) uma variável de sensibilidade no modelo e dada a prevalência dos BEV na mesma, os resultados para taxas de adoção e níveis de emissão da Simulação B são muito similares aos da Simulação A. No entanto, a diferenciação mais significativa acontece para a adoção dos BEVs, dado que no caso da Simulação A o preço das baterias de íons de Lítio impactam distintamente para os BEV, HEV, e PHEV, em função da capacidade de armazenamento das baterias exigidas para cada tecnologia  $k$ .

Figura 43 – Resultados para a simulação B



Fonte: Autor.

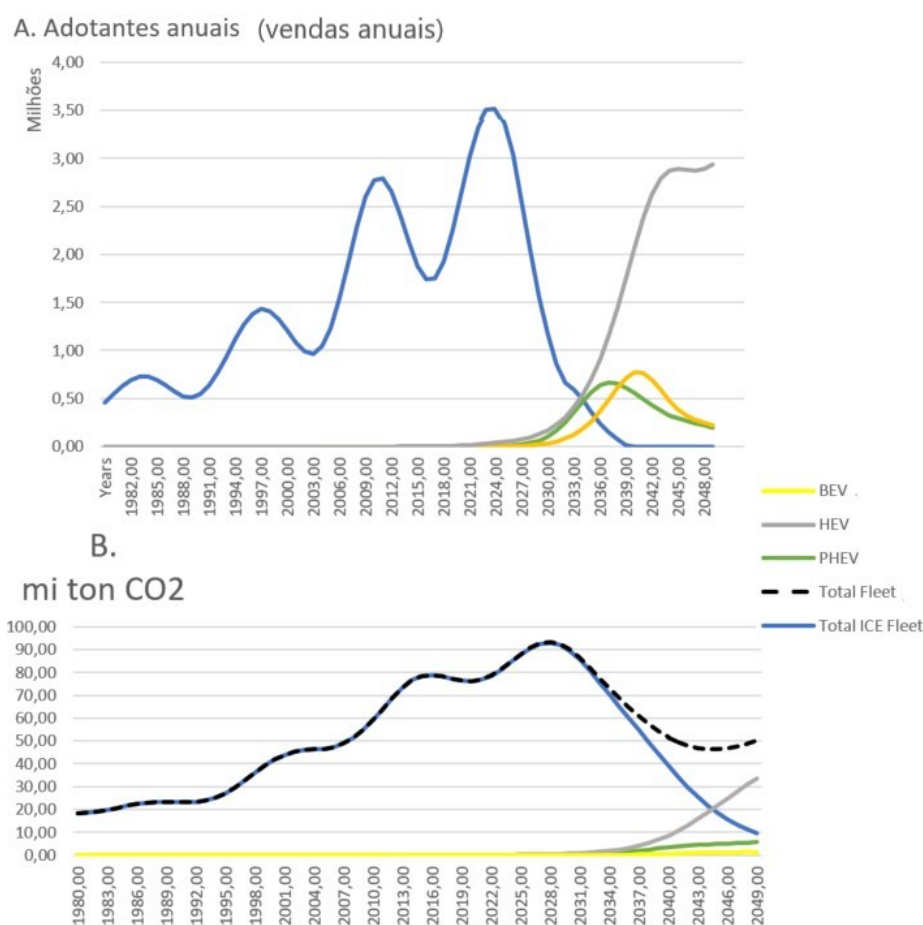
## 6.4 CENÁRIO 2

### 6.4.1 C: Dominância HEV + Curva aprendizado baterias

Essa simulação foi desenvolvida a partir da metodologia similar à usada na Simulação A (subseção 6.3.1). A queda do preço (Figura 53, Apêndice B) provoca então um efeito na adoção dos variados tipos veículos, além do que, nesse caso a definição das variáveis de MS privilegia os HEVs, determinando a tecnologia *k* dominante no sistema, conforme explícito em termos de adotantes anuais para cada tipo de tecnologia na Figura 44.A. Com isso percebe-se que os veículos híbridos HEV alcançam o auge de vendas em 2044, com 2,8 milhões de unidades e, em contraponto, os veículos elétricos a bateria BEV e os híbridos plug-in PHEV completam juntos 40% das vendas de veículos leves no Brasil.

Na Figura 44.B tem-se as emissões resultantes da frota circulante. Observa-se então que no ano de 2050 as emissões equivalentes da frota seriam equiparáveis aos níveis de 2008 emitindo 50 milhões de toneladas de  $CO_2$  por ano.

Figura 44 – Resultados para a simulação C

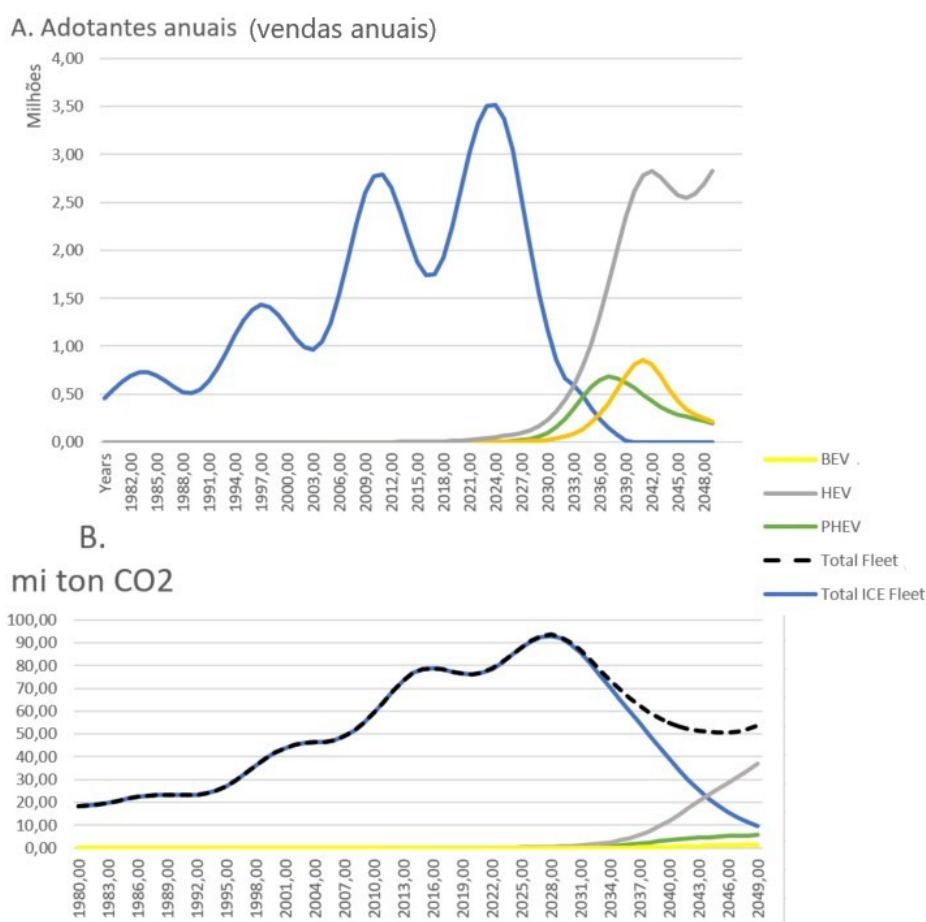


Fonte: Autor.

### 6.4.2 D: Dominância HEV + Incremento nos coeficientes qEV

O crescimento linear dos coeficientes de adoção por imitação  $q_k$  adotado para a Simulação D é aquele mesmo para Simulações B e F. A Figura 45.A representa as taxas de adoção para o Quadro D, e se a compararmos com a Figura 44.A verifica-se claramente a distinção entre os efeitos da curva de aprendizado no preço e também do coeficiente de adoção por imitação. a partir da qual se verifica a dominância do MS (eixo à direita) por parte dos HEV, resultando também na maior taxa de adoção entre os EVs dessa Simulação. Pode-se perceber que na altura do ano de 2042 os HEV terão cerca de 2,8 milhões de adotantes anuais, enquanto o restante das tecnologias de motorização somariam juntas cerca de 1,25 milhão de adotantes anuais.

Figura 45 – Resultados para a simulação D



Fonte: Autor.

No tocante às emissões de  $CO_2$ , os resultados para o Quadro D se encontram na Figura 45.B, onde pode-se observar que as emissões equivalentes do tráfego anual dos HEV está muito próxima da linha que caracteriza as emissões totais. Isso se dá pois, além de ser nesse caso a frota mais populosa, os HEV são também os mais poluentes entre os veículos eletrificados EVs. Seria de se esperar, a priori, que os

cenários de dominância HEV não sejam relativamente os mais satisfatórios na questão ambiental.

## 6.5 CENÁRIO 3

### 6.5.1 E: Dominância PHEV + Curva aprendizado baterias

A partir de metodologia similar à usada nas subseções 6.3.1 e 6.4.1 também é levado o contexto da Simulação E. Os adotantes anuais para cada tecnologia  $k$  estão explícitos na Figura 46.A, graficando a intersecção da dominância do *Market Share* MS pelos PHEV com o efeito da curva da aprendizado no preço das baterias, o qual também é mais brando, já que o banco de baterias de veículos PHEV com as tecnologias atuais têm em torno de 12 kWh de capacidade, enquanto os BEVs, por exemplo, têm em média bancos de 40 kWh, os quais acarretariam diretamente no preço final de venda do produto.

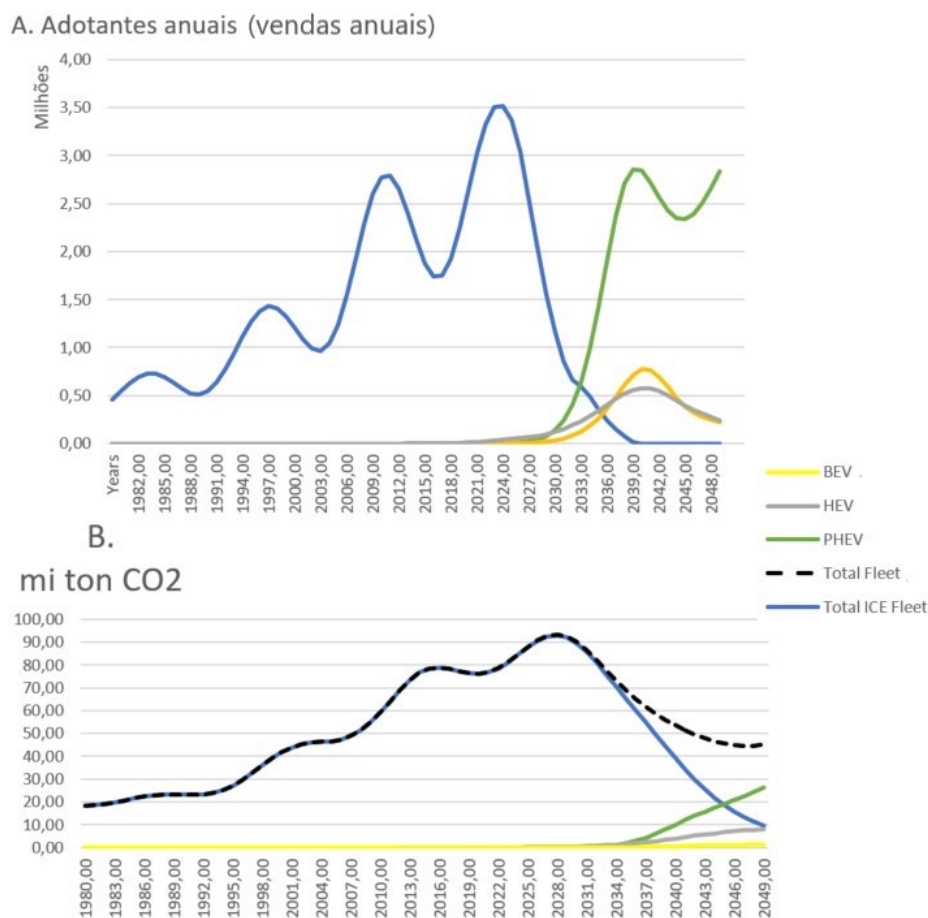
Na Figura 46.B tem-se, em consequência da frota total circulante, as emissões resultantes da frota circulante equivalente simulada pela presente Simulação E. No período final da Simulação, o ano de 2050, as emissões equivalentes da frota total estão na ordem de 44 milhões de toneladas de  $CO_2$ , sendo comparável ao nível efetivo de emissões da frota brasileira em 2001. Essa é a simulação que favorece os PHEV e esses representam uma tecnologia intermediária em nível de emissões, quando comparado aos BEV e aos HEV, então agora é interessante notar o nível de emissões (Figura 46.B,) e compará-los com os níveis de emissões resultantes em simulações que favorecem os HEV (ver Figura 44.B), por exemplo.

### 6.5.2 F: Dominância PHEV + Incremento nos coeficientes qEV

Da mesma forma que para as demais simulações que envolvem mudança no incremento periódico de  $q_k$  é realizada essa Simulação. Assim como na Simulação E da subseção 6.5.1, na Simulação F também predominam os PHEV, resultando igualmente na maior taxa de adoção entre os EV, conforme observável na Figura 47.A.

Em relação às emissões, essa Simulação F não difere muito da E, dado que no ano de 2050, por exemplo, as emissões totais da frota seriam de 45,7 mi ton  $CO_2$ , enquanto as emissões seriam de 45,3 mi ton  $CO_2$  na Simulação E, tal qual apresentado na Figura 46.B. Na Figura 46.B. pode-se observar que as emissões equivalentes do tráfego anual dos PHEV não estão tão próximas da linha que caracteriza as emissões totais, posto que as emissões HEV exercem papel relevante nas emissões totais, mesmo que esses tenham a frota relativamente menor. O cenário de dominância PHEV pode ser considerado então algo intermediário, ou seja, não tão benéfico na questão ambiental quanto os cenários de prevalência dos BEVs, porém já se leva como

Figura 46 – Resultados para a simulação E



Fonte: Autor.

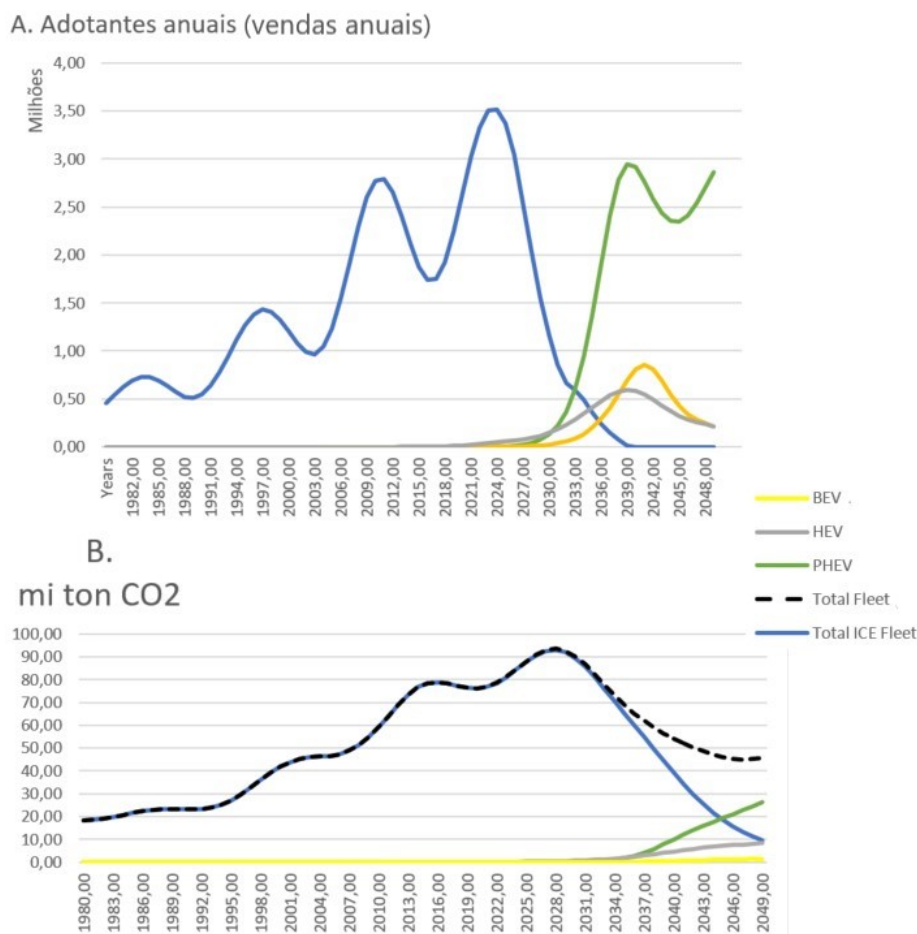
um aumento de eficiência para veículos a combustão, em virtude de a tração se dar majoritariamente pelo motor a combustão (ICE).

## 6.6 COMPARATIVO DOS QUADROS

### 6.6.1 Comparativo de adotantes de tecnologias de veículos elétricos e híbridos nos diferentes cenários

A Figuras 48.A, 48.B e 48.C realizam um comparativo e evidenciam quais conjuntos de cenários e políticas (figurados na Simulação) são mais benéficos para a difusão de determinado tipo de veículo elétrico ou híbrido. As figuras retratam os adotantes acumulados  $A_k(t)$ , diferentemente das subseções anteriores, que tratavam em termos de taxa de adoção  $L_k(t)$ . A partir das figuras referidas confirma-se que o maior fator de influência continua sendo a participação de mercado MS e que tanto a alteração em  $q_k$  quanto o efeito da curva de aprendizado influenciam de modo similar para os cenários de dominância de determinada tecnologia de motorização. A dominância na participação de mercado (vendas anuais) acaba resultando na prevalência dessa

Figura 47 – Resultados para a simulação F



Fonte: Autor.

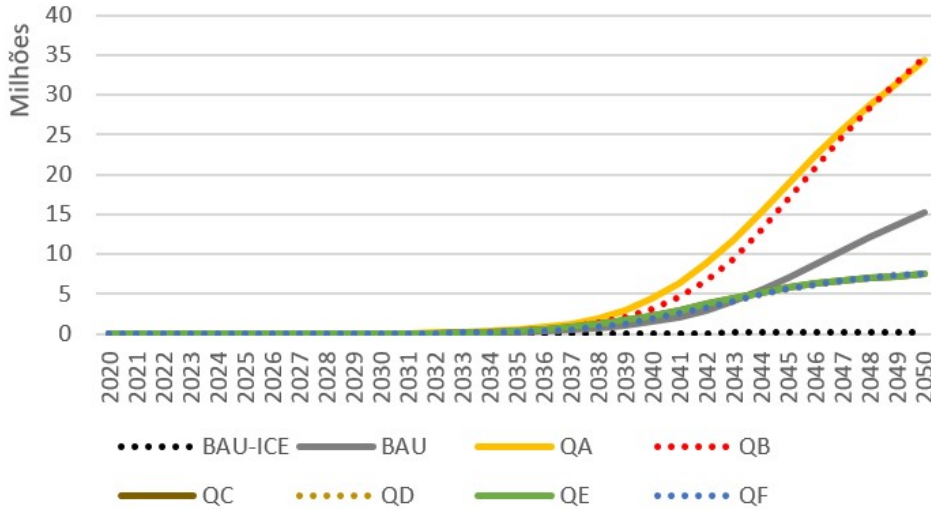
tecnologia de motorização na frota total de automóveis.

### 6.6.2 Comparativo das emissões totais resultantes do tráfego das frotas equivalentes aos cenários simulados

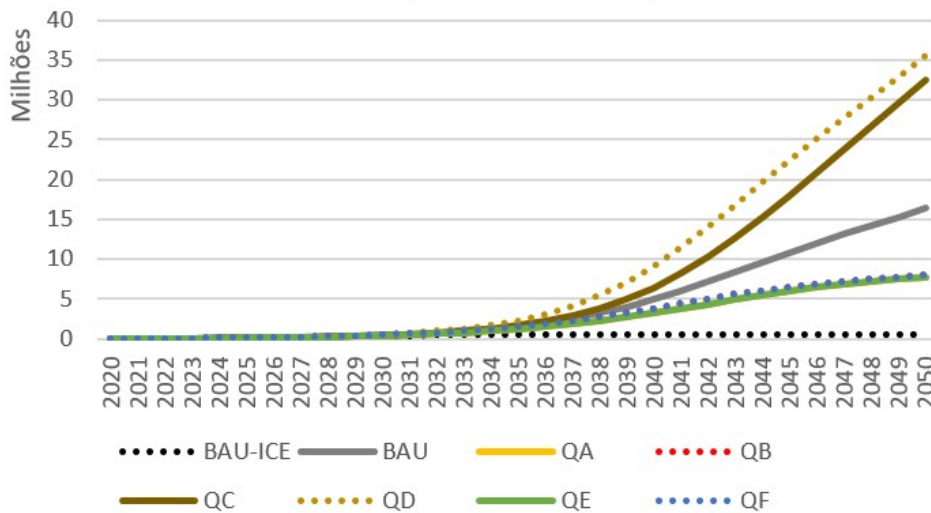
O gráfico exposto na Figura 49 é um dos mais relevantes produtos do trabalho. Nesse contexto, é sempre mais conveniente analisar a Simulação de interesse diante do cenário de manutenção do *Market Share* (MS) nos padrões atuais, figurado no cenário base BAU-ICE, buscando a melhora relativa na conjuntura de emissões. A partir da Figura 49 confirma-se o peso da premissa de substituição de frota ICE por EVs, pois a contar de 2030 as emissões totais da frota passam a cair bruscamente, justamente pela ação da variável  $MS_{EV}(t)$  sobre os mercados potenciais dos EVs, resultando na maior difusão dos veículos elétricos e híbridos e na conseqüente diminuição das emissões totais anuais resultates da circulação da frota de veículos leves no Brasil. Isto é, para todos os cenários, exceto o BAU-ICE, mesmo que nesse horizonte a frota total aumente significativamente, as emissões totais diminuem relativamente, em função da

Figura 48 – Adotantes (vendas anuais)  $A_{BEV}(t)$  (A),  $A_{HEV}(t)$  (B) e  $A_{PHEV}(t)$  (C) para as diversas simulações

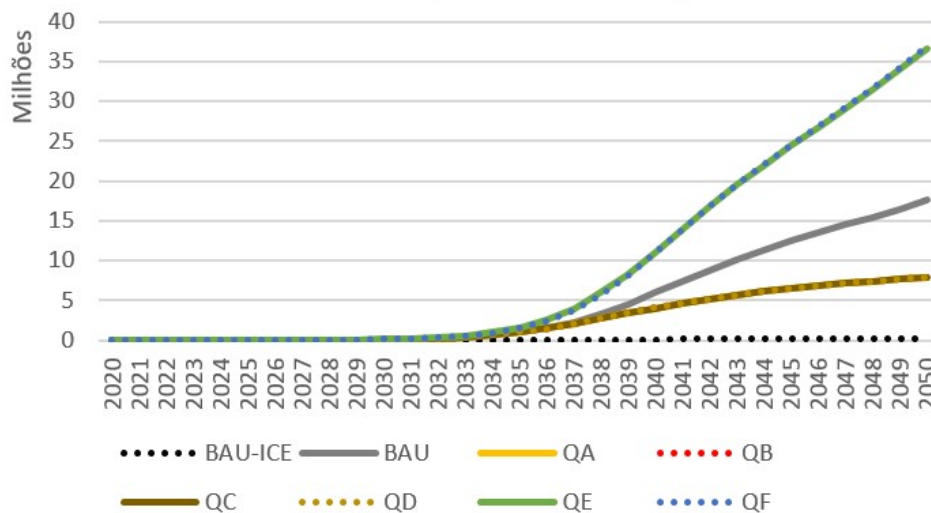
A. Adotantes Anuais BEV (vendas anuais)



B. Adotantes anuais HEV (vendas anuais)



C. Adotantes anuais PHEV (vendas anuais)

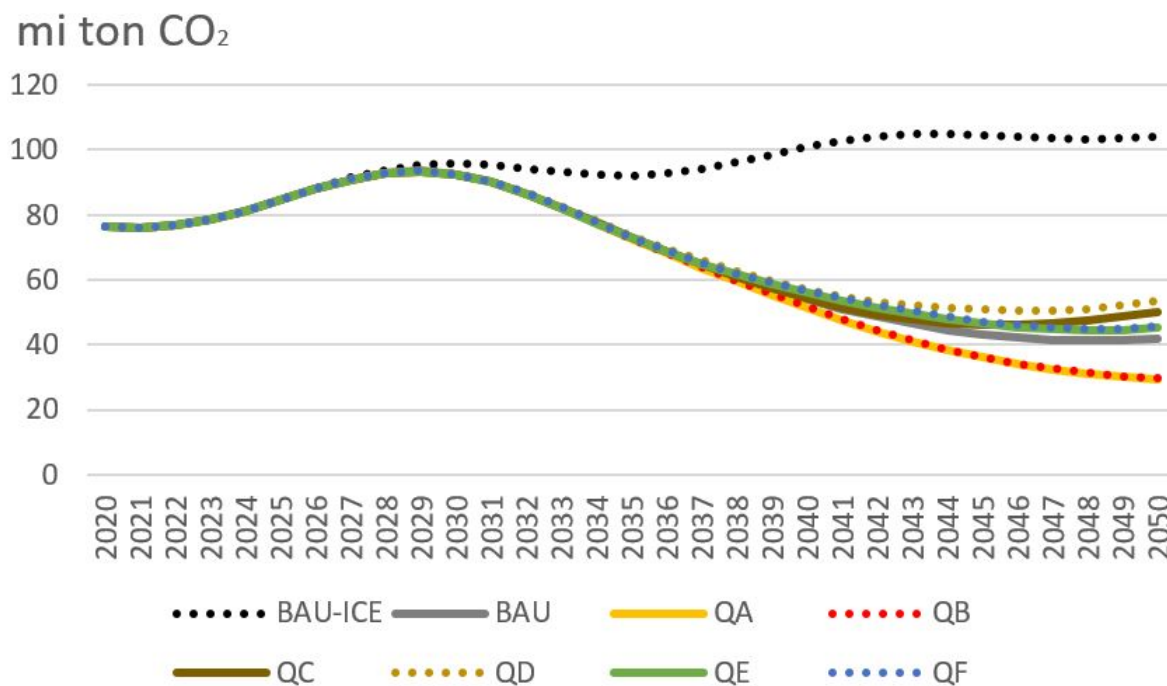


Fonte: Autor.

inserção da eletrificação através dos EVs. Na maioria dos cenários alternativos, no ano final de simulação (2050), as frotas emitem cerca de metade do que emitiriam no cenário BAU-ICE. Por exemplo, para a Simulação Simulação D (QD), em relação à simulação BAU-ICE haveria a redução do nível total de emissões em 48%. Já para as Simulações Simulação A (QA) e Simulação B (QB), em relação à simulação BAU-ICE haveria a redução de 71% no nível total de emissões.

Nesse universo, o favorecimento da difusão dos HEV, em relação aos demais EVs, seria o menos benéfico. Já os PHEV prosseguem como tecnologia transitória, figurando algo intermediário entre os HEV e os BEV. Por conseguinte, a tecnologia de motorização BEV deve ser aquela a ser almejada, visando reduzir intensamente a expectativa de emissões de GEE no horizonte de 30 anos.

Figura 49 – Comparativo das emissões totais resultantes das frotas equivalentes para os diversos cenários simulados



Fonte: Autor.



## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A eletrificação na construção de veículos automotores vêm tendo seus efeitos discutidos amplamente em meios acadêmicos multidisciplinares e também na indústria. É fato que os agentes governamentais desempenham papel importante nesse contexto, assim como os próprios fabricantes de veículos e fornecedores de componentes para os mesmos, aqueles quais vêm empenhando conhecimento e recursos com o intuito de tornar viável a mobilidade elétrica, face às metas de redução das emissões de gases de efeito estufa, na conjuntura da sustentabilidade e da transição energética.

A vasta disponibilidade de informações e dados históricos, ainda que dispersos, sobre a temática das frotas de veículos leves no Brasil e suas respectivas emissões, motiva a revisão de literatura e o enquadramento da modelagem no escopo de dinâmica de sistemas, dadas as numerosas variáveis envolvidas. Os resultados das prospecções variam de acordo com o método escolhido e com as premissas adotadas. Além do que, à medida que acrescentam-se variáveis no modelo, crescem as fontes de incertezas. O presente trabalho adota a metodologia de Sterman (2000) e Morecroft (2015), o passo a passo para a modelagem em dinâmica de sistemas, em conjunto com a previsão com base em séries temporais, além dos modelos de difusão de Bass (1969) para tecnologias inovadoras, além dos cálculos de emissões.

O trabalho adota a premissa de crescentes vendas de veículos no Brasil, com base na série temporal de vendas de veículos automotores, com decorrência de sazonalidade e tendência. Além disso, considera-se que os veículos elétricos e híbridos passam a conquistar parcelas de mercado com o passar do tempo, apoiado nos modelos de difusão de Bass para cada tipo de veículo. O acumulado de vendas denota a frota circulante, descontados os veículos que anualmente saem de circulação. Cada veículo percorre distância média anual, conforme consideram os órgãos responsáveis, e cada tipo de veículo apresenta emissões de escapamento locais ou na fonte, sendo possível calcular a quantia de gases de efeito estufa equivalente ao tráfego da frota.

Conclui-se que os cenários onde há o favorecimento da difusão de veículos elétricos a bateria (BEV) são os mais benéficos no tocante às emissões de equivalentes de gases de efeito estufa. Ainda que durante a fase de fabricação os BEVs sejam pouco mais danosos ao ambiente, durante sua operação ele não apresentam emissões locais, apenas emissões equivalentes na fonte, que se devem à fonte geradora de eletricidade. Além da ausência de poluição local por emissões de escapamento, também é de se ressaltar a questão da poluição sonora, posto que os veículos elétricos praticamente não produzem ruídos, em contraponto aos veículos a combustão.

Para uma temática que se delinea dentro de um universo de possibilidades, são inúmeras as recomendações que podem ser abordadas. Primeiramente pode-se testar e analisar cenários distintos dos que foram aqui retratados. Poderiam, por exemplo,

ser prospectados outros cenários de *Market Share* MS, se condizentes com alguma expectativa de realidade, sendo possível também efetuar deslocamentos temporais nas curvas de *Market Share* dos veículos elétricos, em geral.

Outra análise interessante é a do *Capital Expenditures* (CAPEX), sabendo que é fator essencial no processo decisório para compra de um produto, em particular um produto com tanto valor agregado, a análise de retorno de investimento em um carro elétrico se comparado com um carro à combustão, considerando custos com combustível, Impostos (IPVA) e manutenção pode ser uma reflexão interessante a ser feita, dado que CAPEX e *Operational Expenditures* (OPEX) compõem juntos o *Total cost of ownership* (TCO). Sabe-se também sobre a presença de oscilações de mercado que acarretam nos valores do barril de petróleo, o que afeta o OPEX de veículos a combustão. É fato que, atualmente, os OPEX para os BEV já são bem inferiores aos dos ICE, dado que o custo de manutenção para os BEV é, em geral, bem inferior. Ainda nesse âmbito, a energia elétrica também passa por reajustes tarifários anuais, o que também acarretaria no OPEX dos BEV mas, nesse caso, fica ainda mais evidente o benefício relativo de combinar o carregamento de veículos elétricos com a geração distribuída, em particular a energia solar fotovoltaica, sendo possível carregar os veículos com energia limpa. Para isso, seria interessante um estudo de caso de um BEV, por exemplo, em comparação com um carro a combustão ICE ou híbrido (HEV ou PHEV) da mesma faixa de valor, a partir de estudos de viabilidade financeira, através do qual obter-se-ia um melhor payback à medida que diminuem os preços dos BEV, por diversos fatores, incluindo o preço das baterias,

Uma idéia é também prever as taxas de emissão equivalentes do SIN em função do crescimento da geração distribuída, reduzindo as emissões equivalentes para veículos elétricos BEV, ou também prever a melhoria tecnológica e melhoria da eficiência dos veículos, assim como fazem Benvenuti, Maldonado e Campos (2019) para os veículos flex.

## REFERÊNCIAS

ABB. **Webinar: Carregadores para Veículos Elétricos**. 2020. Acesso em: 13 abr. 2020.

ABVE. **Caixa Econômica Federal**. 2020. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/portfolio/caixa-economica-federal/>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

ABVE. **IPVA para veículos elétricos**. 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/39LvJgi>>. Acesso em: 5 abr. 2020.

AFDC. **How Do All-Electric Cars Work?** Maio 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3f5U97l>>.

ANEEL. **Chamada de P&D da ANEEL atinge meio bilhão de reais de investimentos em mobilidade elétrica**. 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/2RxnQ7Q>>. Acesso em: 13 abr. 2020.

ANEEL. **Mobilidade elétrica: ANEEL aprova 30 projetos com investimento de R\$ 463,8 milhões**. 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/2yf0EVm>>. Acesso em: 13 abr. 2020.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA No 819, DE 19 DE JUNHO DE 2018**. 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2018819.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2020.

ANEGAWA, Takafumi. Safety design of CHAdeMO quick charging system. **World Electric Vehicle Journal**, v. 4, p. 855–859, jan. 2011. DOI: <10.3390/wevj4040855>.

ANFAVEA. **Autoveículos - Produção, licenciamento, exportações em unidades de montados e CKD (desmontados), exportações em valor e emprego**. [S.l.], 2020. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/estatisticas>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

ANTP. **Revista dos Transportes Públicos**. 2019. Disponível em: <<http://files.antp.org.br/2019/4/16/rtp151-e.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

ANTP. **Transporte e Mobilidade Urbana**. 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80076/Transporte.pdf>>. Acesso em: 1 jun. 2019.

ANTT. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. Jan. 2014. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br>>. Acesso em: 1 jun. 2020.

ARIOLI, Vitor Torquato. **Análise de Impactos Técnicos Provocados pela Penetração Massiva de Veículos Elétricos em Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. 2016. Diss. (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

AUTO ESPORTE. **"SUPER-RODÍZIO" DE SP ISENTA HÍBRIDOS E ELÉTRICOS: VEJA QUAIS MODELOS ESTÃO LIVRES DAS RESTRIÇÕES**. 2020. Disponível em: <<https://glo.bo/3cV2vwQ>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

AUTOMOTIVE BUSINESS. **Indústria automotiva toma o rumo da Rota 2030**. 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/3hjvqyi>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

AUTOMOTIVE BUSINESS. **Itaú Unibanco cria condições especiais para elétricos e híbridos**: Instituição oferece taxas a partir de 0,79% ao mês, conforme o perfil do cliente. 2019. Disponível em: <<http://automotivebusiness.com.br/noticia/29492/itau-unibanco-cria-condicoes-especiais-para-eletricos-e-hibridos>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

BASS, Frank M. A New Product Growth for Model Consumer Durables. **Management Science**, v. 15, p. 215–227, 1969. Disponível em: <<https://doi.org/10.1287/mnsc.15.5.215>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

BENVENUTTI, Livia M.; MALDONADO, Mauricio Uriona; CAMPOS, Lucila M.S. The impact of  $CO_2$  mitigation policies on light vehicle fleet in Brazil. **Energy Policy**, Brazil, v. 126, p. 370–379, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.014>>.

BMW. **BMW i3**. 2020. Disponível em: <<https://www.bmw.com.br/pt/all-models/bmw-i/3/2017/autonomia-carregamento-eficiencia.html>>. Acesso em: 29 mar. 2020.

BÔA NOVA, Antonio Carlos. **Energia e Classes Sociais no Brasil**. São Paulo, Brasil: Edições Loyola, 1985. P. 247.

CÂMARA DE COMÉRCIO EXTERIOR. **RESOLUÇÃO Nº 97, DE 26 DE OUTUBRO DE 2015**. 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2RSMiAN>>. Acesso em: 18 abr. 2020.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **PL 3895/2012**: Propostas Legislativas. 2020. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/545232>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **PL 4751/2012**. 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/2wCYSwA>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **PROJETO DE LEI N.º 3.895-B, DE 2012**. 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/2wCYSwA>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de; BARROS, Daniel Chiari; VEIGA, Suzana Gonzaga da. Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 37, p. 489–494, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2VOhNgq>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

CHEVROLET. **Bolt EV**. 2020. Disponível em: <<https://www.chevrolet.com.br/carros/bolt-ev>>. Acesso em: 29 mar. 2020.

COPEL. **Copel inaugura maior eletrovia do país**. 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/2zEUcrJ>>. Acesso em: 23 nov. 2020.

CPFL. **São Paulo aprova redução de IPVA para carros elétricos e híbridos**. 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3aMPzch>>. Acesso em: 5 abr. 2020.

DENATRAN. **Frota de Veículos - 2019**: Frota por UF e Tipo de Veículo. 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/2WOi02G>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

DENATRAN. **PORTARIA Nº 279 ,DE 15 DE ABRIL DE 2010**. 2010. Disponível em: <<https://infraestrutura.gov.br/images/Portarias-Denatran/2010/Portaria2792010.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

EPE. **Balanço Energético Nacional 2018: Ano Base 2017**. Nov. 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/30qyKza>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

FINEP. **SELEÇÃO PÚBLICA MCT/FINEP/FNDCT - Subvenção Econômica à Inovação - 01/2010**. 2010. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/images/chamadas-publicas/resultado-final-etapa-conclusiva-Subvencao-2010.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2020.

FORD. **2020 Fusion Hybrid Titanium**. 2020. Disponível em: <<https://www.ford.com/cars/fusion/models/fusion-hybrid-titanium/>>. Acesso em: 1 mai. 2020.

FORRESTER, Jay W. Industrial Dynamics - After the First Decade. **Management Science**, United Kingdom, v. 14, n. 7, p. 398–415, 1968. Disponível em: <<https://doi.org/10.1287/mnsc.14.7.398>>. Acesso em: 1 jun. 2019.

FUEL ECONOMY. **All-Electric Vehicles**. Maio 2020. Disponível em: <<https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>>.

FUEL ECONOMY. **Fuel Economy Guide 2020**. Maio 2020. Disponível em: <<https://www.fueleconomy.gov/feg/pdfs/guides/FEG2020.pdf>>.

HITECH ELECTRIC. **Caixa Econômica aprova financiamento para carros elétricos**. 2020. Disponível em:

<<https://hitech-e.com.br/blog/caixa-aprova-financiamento-para-carros-eletricos/>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

IBGE. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**. Jun. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

IBPT. **Frota Brasileira de Veículos em Circulação**: Frota por UF e Tipo de Veículo. 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2OqDC0u>>. Acesso em: 1 abr. 2019.

IEA. **Global EV Outlook 2019**. Mai. 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/3bK6dJ7>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

IEA. **Hybrid & Electric Vehicle Implementing Agreement**: Success factors for hybrid and electric vehicle deployment. Dez. 2013. Disponível em: <[http://www.ieahev.org/assets/1/7/IA-HEV%5C\\_Outlook%5C\\_2013.pdf](http://www.ieahev.org/assets/1/7/IA-HEV%5C_Outlook%5C_2013.pdf)>. Acesso em: 16 mai. 2019.

INMETRO. **Consulta de Veículos Leves**. 2020. Disponível em: <<http://pbeveicular.petrobras.com.br/TabelaConsumo.aspx>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

INMETRO. **Tabelas de Consumo/Eficiência Energética Veículos Automotores Leves**. 2020. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos\\_leves\\_2020.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2020.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2020.

ISEE SYSTEMS. **Calibration in Stella**. 2017. Disponível em: <<https://blog.iseesystems.com/modeling-tips/calibration-in-stella/>>. Acesso em: 12 jul. 2020.

JAC MOTORS. **JAC iEV20**. 2020. Disponível em: <<https://www.jacmotors.com.br/veiculos/eletricos-detalhes/iev20>>. Acesso em: 29 mar. 2020.

JAGUAR. **JAGUAR I-PACE**. 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3e3cUbb>>. Acesso em: 1 mai. 2020.

KLASEN, Jörg; NEUMANN, Donald. An agent-based method for planning innovations. **International Journal of Innovation and Sustainable Development**, United Kingdom, v. 5, n. 2/3, p. 159–184, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1504/IJISD.2011.043073>>. Acesso em: 1 jun. 2019.

MAHAJAN, Vijay; MULLER, Eitan; BASS, Frank M. New product diffusion models in marketing: A review and directions for research. **Journal of Marketing**, v. 54, p. 1–26, 1990. Disponível em: <<https://doi.org/10.2307/1252170>>.

MAIER, Frank H. New product diffusion models in innovation management - a system dynamics perspective. **System Dynamics Review**, United Kingdom, v. 14, n. 4, p. 285–308, 1998. Disponível em: <[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1727\(199824\)14:4%3C285::AID-SDR153%3E3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1727(199824)14:4%3C285::AID-SDR153%3E3.0.CO;2-F)>. Acesso em: 1 jun. 2019.

MCKINSEY&COMPANY; AMSTERDAM ROUNDTABLES FOUNDATION. **Electric vehicles in Europe: gearing up for a new phase?** Empresa de Pesquisa Energética. 2012. Disponível em: <<https://mck.co/2xD8lyY>>. Acesso em: 17 abr. 2020.

MCTIC. **Fator médio - Inventários corporativos**. 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3dlqAyx>>. Acesso em: 22 mar. 2020.

MDIC. **Sistematização de Iniciativas de Mobilidade Elétrica no Brasil**. [S.l.], 2018. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITORIO/sdci/promob-e-sistematizacao-de-iniciativas-de-mobilidade-eletrica-no-brasil-2019.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2020.

MILANEZ, Artur Yabe *et al.* O ACORDO DE PARIS E A TRANSIÇÃO PARA O SETOR DE TRANSPORTES DE BAIXO CARBONO: O PAPEL DA PLATAFORMA PARA O BIOFUTURO. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 45, p. 285–340, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/34P0FeC>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

MMA. **PROCONVE: Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores**. 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2VYZ44b>>. Acesso em:

MMA. **Resumo PROCONVE**. Nov. 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2VYZ44b>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

MORECROFT, John Douglas William. *Strategic Modelling and Business Dynamics: A Feedback Systems Approach: Second Edition*, p. 1–466, jan. 2015. DOI: <10.1002/9781119176831>.

MORO, Matheus Fernando. **Modelo Híbrido de Séries Temporais Para Previsão de Demanda do Mercado Imobiliário de São Paulo**. 2017. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

NEF, Bloomberg. **A Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices**. 2019. Disponível em: <<https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

NEUMANN, Donald *et al.* Um novo modelo de previsão de demanda para inovações radicais. **Production**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 605–617, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-65132013005000077>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

- NISSAN. **Leaf EV**. 2020. Disponível em: <<https://www.nissan.com.br/veiculos/modelos/leaf/autonomia-recarga.html#>>. Acesso em: 29 mar. 2020.
- PLUGSHARE. **EV Charging Station Map**. 2020. Disponível em: <<https://www.plugshare.com/>>. Acesso em: 29 mar. 2020.
- PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **DECRETO Nº 9.442, DE 5 DE JULHO DE 2018**. 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2RPW1YI>>. Acesso em: 14 abr. 2020.
- PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **LEI Nº 13.755, DE 10 DE DEZEMBRO DE 2018**. 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/34QA7K0>>. Acesso em: 14 abr. 2020.
- PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM. **Consulta de Veículos Leves**. 2020. Disponível em: <<http://pbeveicular.petrobras.com.br/TabelaConsumo.aspx>>. Acesso em: 14 abr. 2020.
- QUATRO RODAS. **BMW i3 ganha novas baterias e reestreeia versão elétrica no Brasil**. 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/2Y1ItNN>>. Acesso em: 14 abr. 2020.
- ROGERS, Everett M. **Diffusion of Innovations**. New York, USA: The Free Press, 1983. P. 453.
- SÃO PAULO. **Lei Municipal nº 15.997 de 27 maio de 2014**. Mai. 2014. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br>>. Acesso em: 5 abr. 2020.
- SCHWUNK, Simon; VETTER, Matthias; ARMBRUSTER, Nils. **Battery management and energy management**. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. Jan. 2010. Acesso em: 1 jun. 2020.
- SRINIVASAN, Venkat. Batteries for Vehicular Applications. **AIP Conference Proceedings**, American Institute of Physics, International, v. 283, n. 1044, p. 283–296, set. 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1063/1.2993726>>.
- STERMAN, John David. **Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a complex world**. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.
- STERNER, Michael; STADLER, Ingo. **Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration**. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2014. ISBN 9783642373800. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/978-3-642-37380-0>>.
- TOYOTA. **Corolla**. 2020. Disponível em: <<https://www.toyota.com.br/modelos/corolla/>>. Acesso em: 29 mar. 2020.



TOYOTA. **Prius**. 2020. Disponível em: <<https://www.toyota.com.br/modelos/prius/>>. Acesso em: 29 mar. 2020.

UNFCCC. **Tool to calculate the emission factor for an electricity system**. 2018. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-07-v7.0.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2020.

UOL CARROS. **Nova rota para os carros: Entenda o que o programa Rota 2030 propõe para o futuro do carro brasileiro**. 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/2zhuZmz>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de. **Transporte e Meio Ambiente**. São Paulo, Brasil: Annablume Editora, 2009. P. 197.

WALTRICH, G; SILVA, G S; GREIDANUS, M D R. Electric Vehicle Modelling. **IEEE UFSC Student Branch**, 2019.

WALTRICH, Gierry; HELDWEIN, Marcelo L. Modeling and simulation of electric vehicles (EVs) and design of batteries for EVs. **Instituto de Eletrônica de Potência - UFSC**, 2019.

WTTW. **Falling Battery Price Transforms Economics of Green Energy**. 2020. Disponível em: <<https://news.wttw.com/2020/01/02/falling-battery-price-transforms-economics-green-energy>>. Acesso em: 5 jan. 2020.

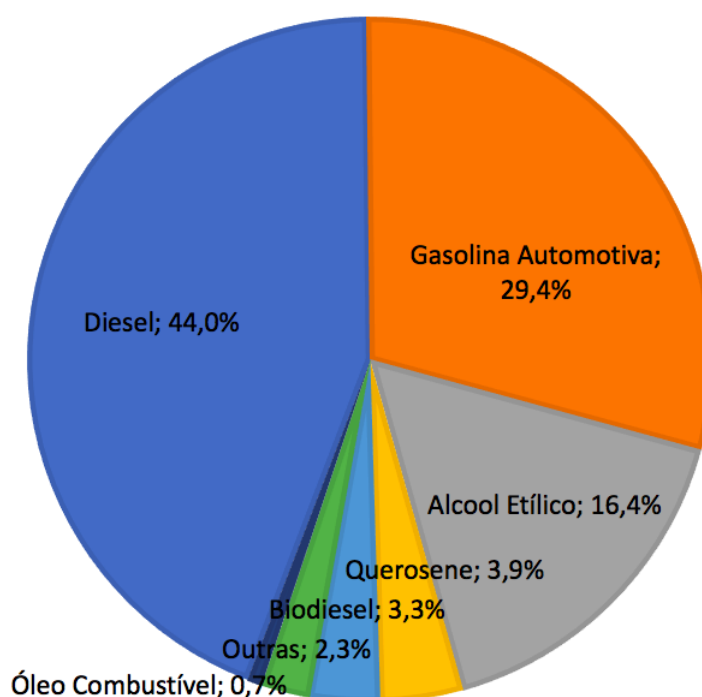
YANG, SH *et al.* Prediction of surface roughness in turning operations by computer vision using neural network trained by differential evolution algorithm. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 51, p. 965–971, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00170-010-2668-5>>. Acesso em: 23 abr. 2020.

## APÊNDICE A – A PARCELA DOS TRANSPORTES NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

O transporte é uma atividade essencial à civilização e viabiliza amplos benefícios à ela, possibilitando a circulação de pessoas e de mercadorias utilizadas por elas e, em consequência disso, a realização das primordiais atividades sociais e econômicas (VASCONCELLOS, 2009). Já a Figura 50 descreve os tipos de combustíveis empregados no transporte e sua representatividade, verificando-se, por exemplo, que os consumos de diesel e gasolina totalizam juntos cerca de 74% do consumo em transportes. A frota brasileira atual pode ser descrita na Figura 51, a qual reafirma predominância de uma frota movida a combustíveis fósseis.

Caso busque-se uma referência quantitativa para as proporções de veículos automotores atualmente no Brasil, pode-se tomar como base os dados fornecidos pela ANFAVEA (2020), ou também pelo Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação (IBPT), os quais descrevem e classificam por tipo a frota de veículos circulantes no Brasil.

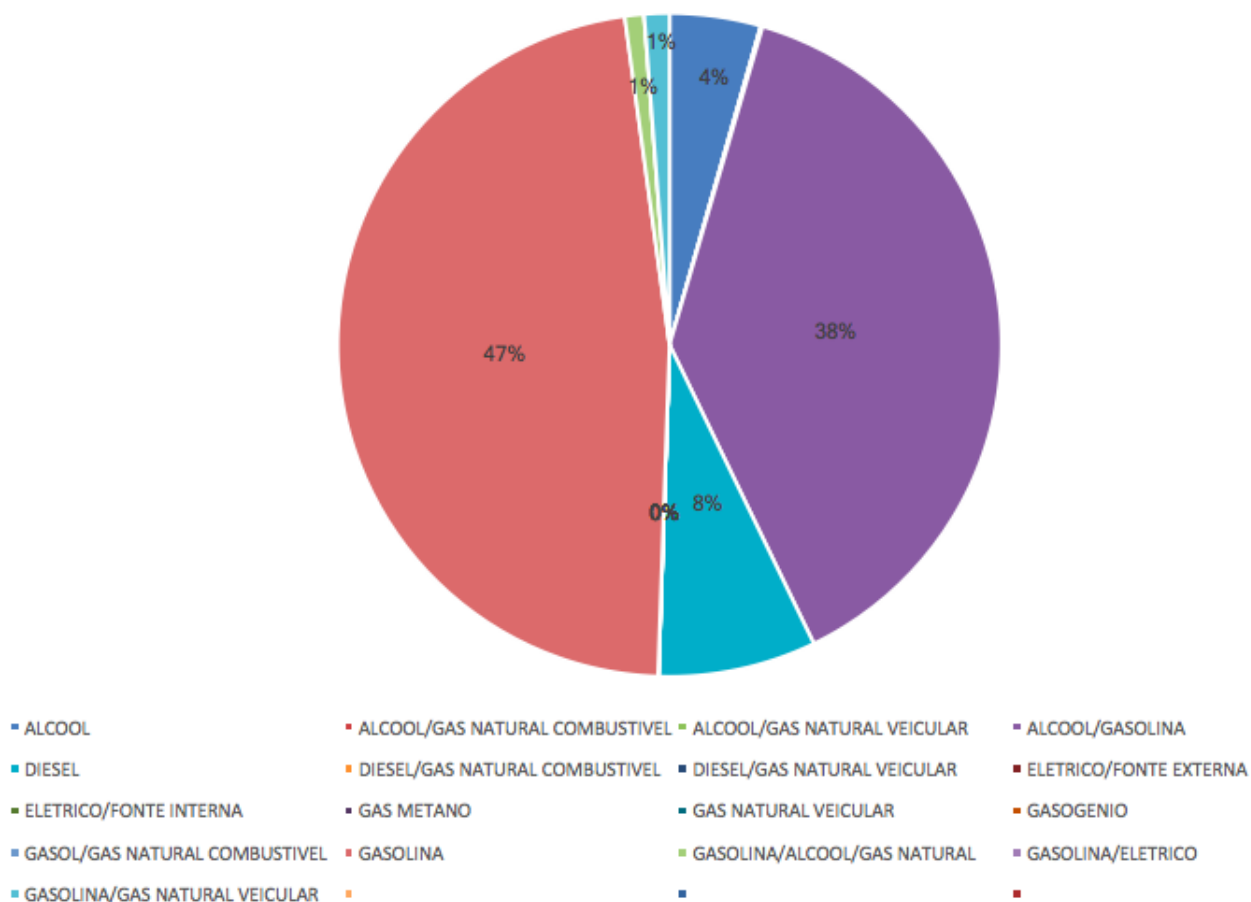
Figura 50 – Consumo de Energia por Tipo no Setor de Transportes



Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de dados da EPE (2018)

É de se ressaltar que o tráfego das frotas abordadas gera efeitos ambientais. O Quadro 4 reúne diversos efeitos importantes listados por uma série de autores. Entre os efeitos mencionados no Quadro 4, o presente trabalho buscará dar ênfase também aos efeitos do tráfego de veículos automotores rodoviários na poluição do

Figura 51 – Frota atual por tipo de combustível



Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de dados do DENATRAN (2019)

ar, ou seja, às emissões de escapamento, as quais serão melhor abordadas nas subseções seguintes.

Quadro 4 – Efeitos Ambientais e externos do transporte segundo vários autores.

Button (1993)	Verhoef (1994)	Litman(1996)
Poluição do ar	Congestionamento	Acidentes
Água	Acidentes	Congestionamento
Solo	Poluição	Estacionamento
Lixo sólido	Ruído	Uso do solo
Acidente	Estacionamento	Valor da terra
Ruído	Recursos naturais	Poluição do ar
Destruição urbana	Lixo	Ruído
Congestionamento	Efeito "barreira"	Recursos naturais
	Impacto visual	Efeito "barreira"
		Poluição da água
		Lixo sólido

Fonte: Adaptado de Vasconcellos (2009)

## APÊNDICE B – ESPECIFICAÇÕES DE BEV'S E OS RESULTADOS DA CURVA DE APRENDIZADO PARA AS BATERIAS

Figura 52 – Especificações de alguns BEVs encontrados nos mercados nacionais e internacionais

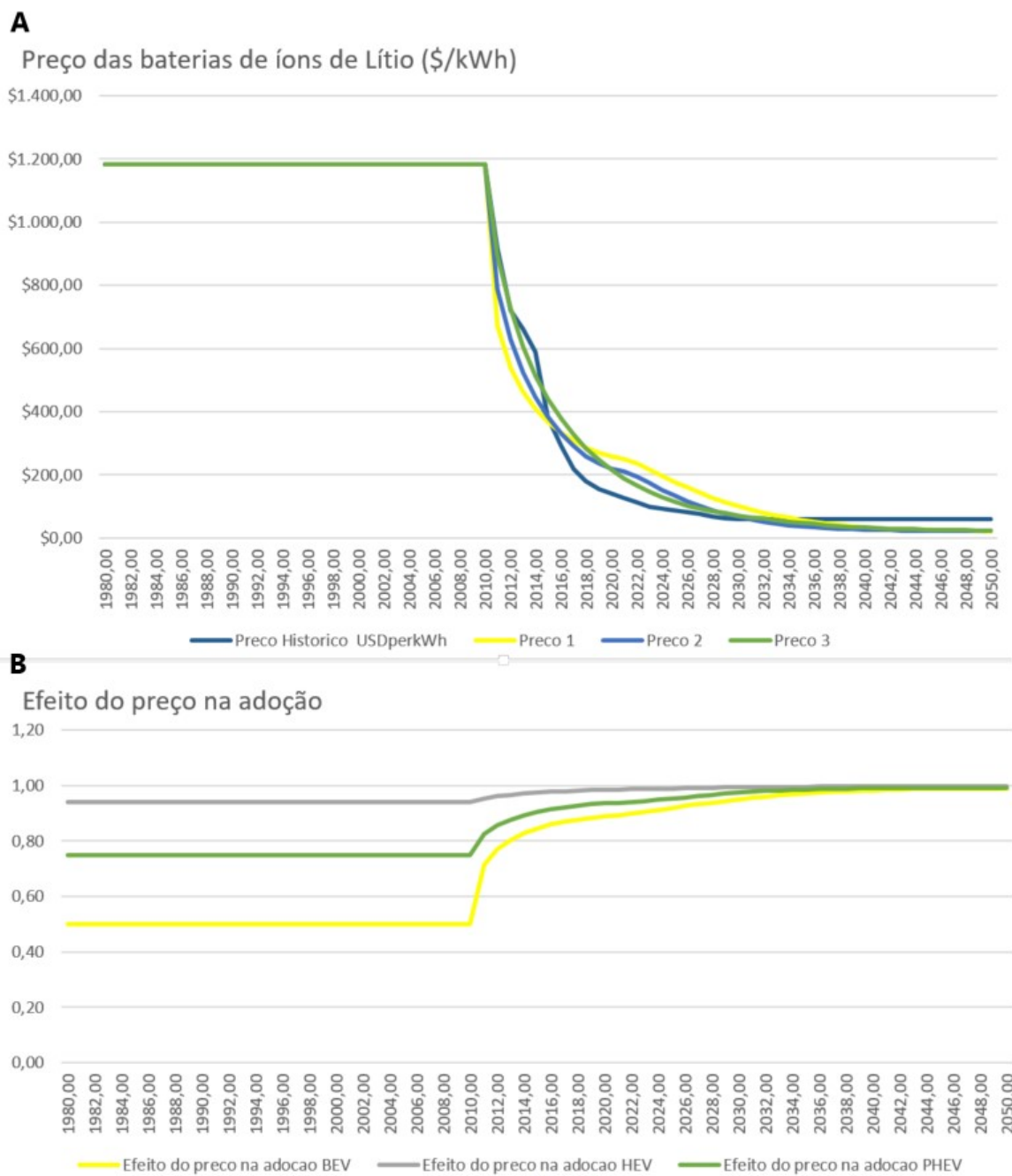
BEV	Capacidade Bateria (kWh)	Aceleração (0-100)(s)	V máxima (km/h)	Autonomia (km)	Eficiência kWh/100k m	EE (MJ/km)	Eficiência km/kWh	Eficiência (kWh/km)
Nissan Leaf	40	7,9	144	220	16,4	0,5904	6,0976	0,1640
2019 Nissan Leaf	62	7,3	157	330	19,4	0,6979	5,1581	0,1939
Mitsubishi i-MiEV	16	15,9	130	160	19,1	0,6876	5,2356	0,1910
Hyundai Kona Electric (2019)	64	7,9	167	415	17,5	0,6286	5,7272	0,1746
Hyundai Ioniq Electric	28	9,7	165	260	15,7	0,5652	6,3694	0,1570
Kia Soul EV	33	11,2	145	175	20,4	0,7344	4,9020	0,2040
BYD e6	63	9	140	300	18,0	0,6480	5,5556	0,1800
BMW i3 (REX 94Ah)	42,4	6,9	160	230	16,5	0,5940	6,0606	0,1650
VW e-UP	32,3	11,9	130	200	16,8	0,6048	5,9524	0,1680
VW e-Golf	35,8	9,6	150	192	18,4	0,6624	5,4348	0,1840
Audi e-tron (2019)	95	4,5	210	328	28,3	1,0178	3,5370	0,2827
Renault Zoe R90	44,1	13,2	135	260	15,8	0,5688	6,3291	0,1580
Citroen C Zero	16	14,5	130	150	16,1	0,5796	6,2112	0,1610
Peugeot iOn	16	15,9	130	150	16,1	0,5796	6,2112	0,1610
Fiat 500e	42	9	150	250	19,1	0,6876	5,2356	0,1910
Jaguar I-PACE	90	4,5	200	470	22,0	0,7920	4,5455	0,2200
Smart EQ fortwo (2017-2019)	16,7	11,5	130	105	19,4	0,6979	5,1581	0,1939
Tesla Model 3	75	5,9	210	500	15,6	0,5616	6,4103	0,1560
Tesla Model S Long Range	100	3,8	250	525	18,1	0,6516	5,5249	0,1810
Tesla Model S Performance	100	2,6	250	510	18,6	0,6696	5,3763	0,1860
Tesla Model X Long Range	100	4,6	250	460	20,7	0,7452	4,8309	0,2070
Tesla Model X Performance	100	2,9	250	445	21,3	0,7668	4,6948	0,2130
Tesla Model S P100D	100	2,6	250	507	18,6	0,6696	5,3763	0,1860
Chevrolet Bolt	60	6,5	148	416	17,6	0,6350	5,6689	0,1764
<b>Média</b>	<b>57,14</b>	<b>8,30</b>	<b>174</b>	<b>315</b>	<b>18,56</b>	<b>0,6682</b>	<b>5,4835</b>	<b>0,1856</b>

Fonte: Autor, com base em EV-DataBase (2020).

A Figura 53.A é resultado da formulação explícita na Equação 4 da Subseção

2.1.2 . A queda do preço provoca então um efeito na adoção dos variados tipos veículos, conforme a Figura 53.B , levando em conta os parâmetros calibrados na Subsubseção 5.1.6.5 e também que os preços das baterias para cada tecnologia (BEV, HEV e PHEV) foram calibrados individualmente.

Figura 53 – Resultados da parametrização das curva de aprendizado: Quadros A, C e E



Preço 1: considerado para os BEV.  
 Preço 2: considerado para os HEV.  
 Preço 3: considerado para os PHEV.

Fonte: Autor.

## APÊNDICE C – EQUACIONAMENTO DO TRABALHO EMT ERMOS DE DINÂMICA DE SISTEMAS - STELLA

Em seguida é apresentado o equacionamento realizado no *Software* STELLA para a simulação base (BAU). Porém, algumas notações foram alteradas para permitir a compilação na plataforma LaTeX. Caso o leitor deseje ter acesso aos arquivos de modelagem, favor solicitar via e-mail: [ccgarbelotto@gmail.com](mailto:ccgarbelotto@gmail.com).

Top-Level Model: BEV Adopters(t) = BEV Adopters(t - dt) + (BEV Adoption Rate) X dt (NON-NEGATIVE) INIT BEV Adopters = 0 UNITS: vehicle INFLOWS: BEV Adoption Rate = STEP((BEV Adoption by innovation+BEV Adoption by imitation);2005) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year

BEV Market Growth(t) = BEV Market Growth(t - dt) + (BEV Market Growth rate) X dt (NON-NEGATIVE) INIT BEV Market Growth = initial BEV Potential Adopters UNITS: vehicle INFLOWS: BEV Market Growth rate = BEV Sales (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year

BEV Potential adopters(t) = BEV Potential adopters(t - dt) + (Growth BEV - BEV Adoption Rate) X dt (NON-NEGATIVE) INIT BEV Potential adopters = initial BEV Potential Adopters UNITS: vehicle INFLOWS: Growth BEV = BEV Market Growth rate (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year OUTFLOWS: BEV Adoption Rate = STEP((BEV Adoption by innovation+BEV Adoption by imitation);2005) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year

g CH4 per Km per car year 3(Year1)(t) = g CH4 per Km per car year 3(Year1)(t - dt) + (g CH4 per Km(Year1) + CH4 transfer IN(Year1) - CO2 transfer OUT 3(Year1)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH4 per Km per car year 3(Year1) = Fleet distribution per year(Year1) X CH4 estimate emission rate since 1980  
 g CH4 per Km per car year 3(Year2)(t) = g CH4 per Km per car year 3(Year2)(t - dt) + (g CH4 per Km(Year2) + CH4 transfer IN(Year2) - CO2 transfer OUT 3(Year2)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH4 per Km per car year 3(Year2) = Fleet distribution per year(Year2) X CH4 estimate emission rate since 1980  
 g CH4 per Km per car year 3(Year3)(t) = g CH4 per Km per car year 3(Year3)(t - dt) + (g CH4 per Km(Year3) + CH4 transfer IN(Year3) - CO2 transfer OUT 3(Year3)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH4 per Km per car year 3(Year3) = Fleet distribution per year(Year3) X CH4 estimate emission rate since 1980  
 g CH4 per Km per car year 3(Year4)(t) = g CH4 per Km per car year 3(Year4)(t - dt) + (g CH4 per Km(Year4) + CH4 transfer IN(Year4) - CO2 transfer OUT 3(Year4)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH4 per Km per car year 3(Year4) = Fleet distribution per year(Year4) X CH4 estimate emission rate since 1980  
 g CH4 per Km per car year 3(Year5)(t) = g CH4 per Km per car year 3(Year5)(t - dt) + (g CH4 per Km(Year5) + CH4 transfer IN(Year5) - CO2 transfer OUT 3(Year5)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH4 per Km per car year 3(Year5) = Fleet distribution per year(Year5) X CH4 esti-



mate emission rate since 1980 g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year6)(t) = g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year6)(t - dt) + (g CH<sub>4</sub> per Km(Year6) + CH<sub>4</sub> transfer IN(Year6) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 3(Year6)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year6) = Fleet distribution per year(Year6) X CH<sub>4</sub> estimate emission rate since 1980 g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year7)(t) = g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year7)(t - dt) + (g CH<sub>4</sub> per Km(Year7) + CH<sub>4</sub> transfer IN(Year7) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 3(Year7)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year7) = Fleet distribution per year(Year7) X CH<sub>4</sub> estimate emission rate since 1980 g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year8)(t) = g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year8)(t - dt) + (g CH<sub>4</sub> per Km(Year8) + CH<sub>4</sub> transfer IN(Year8) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 3(Year8)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year8) = Fleet distribution per year(Year8) X CH<sub>4</sub> estimate emission rate since 1980 g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year9)(t) = g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year9)(t - dt) + (g CH<sub>4</sub> per Km(Year9) + CH<sub>4</sub> transfer IN(Year9) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 3(Year9)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year9) = Fleet distribution per year(Year9) X CH<sub>4</sub> estimate emission rate since 1980 g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year10)(t) = g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year10)(t - dt) + (g CH<sub>4</sub> per Km(Year10) + CH<sub>4</sub> transfer IN(Year10) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 3(Year10)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year10) = Fleet distribution per year(Year10) X CH<sub>4</sub> estimate emission rate since 1980 g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year11)(t) = g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year11)(t - dt) + (g CH<sub>4</sub> per Km(Year11) + CH<sub>4</sub> transfer IN(Year11) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 3(Year11)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year11) = Fleet distribution per year(Year11) X CH<sub>4</sub> estimate emission rate since 1980 g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year12)(t) = g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year12)(t - dt) + (g CH<sub>4</sub> per Km(Year12) + CH<sub>4</sub> transfer IN(Year12) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 3(Year12)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year12) = Fleet distribution per year(Year12) X CH<sub>4</sub> estimate emission rate since 1980 g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year13)(t) = g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year13)(t - dt) + (g CH<sub>4</sub> per Km(Year13) + CH<sub>4</sub> transfer IN(Year13) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 3(Year13)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year13) = Fleet distribution per year(Year13) X CH<sub>4</sub> estimate emission rate since 1980 g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year14)(t) = g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year14)(t - dt) + (g CH<sub>4</sub> per Km(Year14) + CH<sub>4</sub> transfer IN(Year14) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 3(Year14)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year14) = Fleet distribution per year(Year14) X CH<sub>4</sub> estimate emission rate since 1980 g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year15)(t) = g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year15)(t - dt) + (g CH<sub>4</sub> per Km(Year15) + CH<sub>4</sub> transfer IN(Year15) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 3(Year15)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year15) = Fleet distribution per year(Year15) X CH<sub>4</sub> estimate emission rate since 1980 g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year16)(t) = g CH<sub>4</sub> per Km per car year 3(Year16)(t - dt) + (g CH<sub>4</sub> per Km(Year16) + CH<sub>4</sub> transfer IN(Year16) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 3(Year16))

$X dt$  (NON-NEGATIVE) INIT g CH4 per Km per car year 3(Year16) = Fleet distribution per year(Year16) X CH4 estimate emission rate since 1980 g CH4 per Km per car year 3(Year17)(t) = g CH4 per Km per car year 3(Year17)(t - dt) + (g CH4 per Km(Year17) + CH4 transfer IN(Year17) - CO2 transfer OUT 3(Year17)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH4 per Km per car year 3(Year17) = Fleet distribution per year(Year17) X CH4 estimate emission rate since 1980 g CH4 per Km per car year 3(Year18)(t) = g CH4 per Km per car year 3(Year18)(t - dt) + (g CH4 per Km(Year18) + CH4 transfer IN(Year18) - CO2 transfer OUT 3(Year18)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH4 per Km per car year 3(Year18) = Fleet distribution per year(Year18) X CH4 estimate emission rate since 1980 g CH4 per Km per car year 3(Year19)(t) = g CH4 per Km per car year 3(Year19)(t - dt) + (g CH4 per Km(Year19) + CH4 transfer IN(Year19) - CO2 transfer OUT 3(Year19)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH4 per Km per car year 3(Year19) = Fleet distribution per year(Year19) X CH4 estimate emission rate since 1980 g CH4 per Km per car year 3(Year20)(t) = g CH4 per Km per car year 3(Year20)(t - dt) + (g CH4 per Km(Year20) + CH4 transfer IN(Year20) - CO2 transfer OUT 3(Year20)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH4 per Km per car year 3(Year20) = Fleet distribution per year(Year20) X CH4 estimate emission rate since 1980 g CH4 per Km per car year 3(Year20plus)(t) = g CH4 per Km per car year 3(Year20plus)(t - dt) + (g CH4 per Km(Year20plus) + CH4 transfer IN(Year20plus) - CO2 transfer OUT 3(Year20plus)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CH4 per Km per car year 3(Year20plus) = Fleet distribution per year(Year20plus) X CH4 estimate emission rate since 1980

INFLOWS: g CH4 per Km(Year1) = ICE Licensing rate(Year1) X CH4 emission rate (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year2) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year3) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year4) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year5) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year6) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year7) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year8) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year9) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year10) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year11) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year12) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year13) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year14) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year15) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year16) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year17) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year18) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year19) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year20) = 0 (UNIFLOW) g CH4 per Km(Year20plus) = 0 (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year1) = CO2 transfer OUT 3(Year1) X Discard percentage per year of car usage(Year1) X 0 (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year2) = CO2 transfer OUT 3(Year1) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year1)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year3) = CO2 transfer OUT 3(Year2) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year2)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year4) = CO2 transfer OUT 3(Year3) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year3)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year5) = CO2 transfer OUT 3(Year4) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year4)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year6) = CO2 transfer OUT 3(Year5) X (1-Discard percentage per year of car

usage(Year5)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year7) = CO2 transfer OUT 3(Year6) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year6)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year8) = CO2 transfer OUT 3(Year7) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year7)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year9) = CO2 transfer OUT 3(Year8) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year8)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year10) = CO2 transfer OUT 3(Year9) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year9)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year11) = CO2 transfer OUT 3(Year10) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year10)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year12) = CO2 transfer OUT 3(Year11) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year11)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year13) = CO2 transfer OUT 3(Year12) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year12)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year14) = CO2 transfer OUT 3(Year13) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year13)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year15) = CO2 transfer OUT 3(Year14) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year14)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year16) = CO2 transfer OUT 3(Year15) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year15)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year17) = CO2 transfer OUT 3(Year16) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year16)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year18) = CO2 transfer OUT 3(Year17) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year17)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year19) = CO2 transfer OUT 3(Year18) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year18)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year20) = CO2 transfer OUT 3(Year19) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year19)) (UNIFLOW) CH4 transfer IN(Year20plus) = CO2 transfer OUT 3(Year20) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year20))+(CO2 transfer OUT 3(Year20plus) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year20plus))) (UNIFLOW) OUTFLOWS: CO2 transfer OUT 3(Year) = g CH4 per Km per car year 3(Year) (UNIFLOW)

g CO2 per Km per car year 2(Year1)(t) = g CO2 per Km per car year 2(Year1)(t - dt) + (g CO2 per Km 2(Year1) + CO2 transfer IN 2(Year1) - CO2 transfer OUT 2(Year1)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CO2 per Km per car year 2(Year1) = Fleet distribution per year(Year1) X estimate emission rate since 1980 g CO2 per Km per car year 2(Year2)(t) = g CO2 per Km per car year 2(Year2)(t - dt) + (g CO2 per Km 2(Year2) + CO2 transfer IN 2(Year2) - CO2 transfer OUT 2(Year2)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CO2 per Km per car year 2(Year2) = Fleet distribution per year(Year2) X estimate emission rate since 1980 g CO2 per Km per car year 2(Year3)(t) = g CO2 per Km per car year 2(Year3)(t - dt) + (g CO2 per Km 2(Year3) + CO2 transfer IN 2(Year3) - CO2 transfer OUT 2(Year3)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CO2 per Km per car year 2(Year3) = Fleet distribution per year(Year3) X estimate emission rate since 1980 g CO2 per Km per car year 2(Year4)(t) = g CO2 per Km per car year 2(Year4)(t - dt) + (g CO2 per Km 2(Year4) + CO2 transfer IN 2(Year4) - CO2 transfer OUT 2(Year4)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CO2 per Km per car year 2(Year4) = Fleet distribution per year(Year4) X estimate emission rate since



$2(\text{Year15}) = \text{Fleet distribution per year}(\text{Year15}) \times \text{estimate emission rate since 1980 g CO}_2 \text{ per Km per car year } 2(\text{Year16})(t) = \text{g CO}_2 \text{ per Km per car year } 2(\text{Year16})(t - dt) + (\text{g CO}_2 \text{ per Km } 2(\text{Year16}) + \text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year16}) - \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year16})) \times dt$  (NON-NEGATIVE) INIT g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year16) = Fleet distribution per year(Year16) X estimate emission rate since 1980 g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year17)(t) = g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year17)(t - dt) + (g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year17) + CO<sub>2</sub> transfer IN 2(Year17) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 2(Year17)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year17) = Fleet distribution per year(Year17) X estimate emission rate since 1980 g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year18)(t) = g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year18)(t - dt) + (g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year18) + CO<sub>2</sub> transfer IN 2(Year18) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 2(Year18)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year18) = Fleet distribution per year(Year18) X estimate emission rate since 1980 g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year19)(t) = g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year19)(t - dt) + (g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year19) + CO<sub>2</sub> transfer IN 2(Year19) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 2(Year19)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year19) = Fleet distribution per year(Year19) X estimate emission rate since 1980 g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year20)(t) = g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year20)(t - dt) + (g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year20) + CO<sub>2</sub> transfer IN 2(Year20) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 2(Year20)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year20) = Fleet distribution per year(Year20) X estimate emission rate since 1980 g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year20plus)(t) = g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year20plus)(t - dt) + (g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year20plus) + CO<sub>2</sub> transfer IN 2(Year20plus) - CO<sub>2</sub> transfer OUT 2(Year20plus)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT g CO<sub>2</sub> per Km per car year 2(Year20plus) = Fleet distribution per year(Year20plus) X estimate emission rate since 1980

INFLOWS: g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year1) = CO<sub>2</sub> emission rate BAU X ICE Licensing rate(Year1) (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year2) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year3) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year4) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year5) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year6) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year7) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year8) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year9) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year10) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year11) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year12) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year13) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year14) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year15) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year16) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year17) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year18) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year19) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year20) = 0 (UNIFLOW) g CO<sub>2</sub> per Km 2(Year20plus) = 0 (UNIFLOW) CO<sub>2</sub> transfer IN 2(Year1) = CO<sub>2</sub> transfer OUT 2(Year1) X Discard percentage per year of car usage(Year1) X 0 (UNIFLOW) CO<sub>2</sub> transfer IN 2(Year2) = CO<sub>2</sub> transfer OUT 2(Year1) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year1)) (UNIFLOW) CO<sub>2</sub> transfer IN 2(Year3) = CO<sub>2</sub> transfer OUT 2(Year2) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year2)) (UNIFLOW) CO<sub>2</sub> trans-

$\text{fer IN } 2(\text{Year}4) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}3) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}3))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}5) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}4) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}4))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}6) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}5) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}5))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}7) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}6) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}6))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}8) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}7) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}7))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}9) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}8) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}8))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}10) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}9) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}9))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}11) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}10) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}10))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}12) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}11) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}11))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}13) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}12) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}12))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}14) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}13) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}13))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}15) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}14) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}14))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}16) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}15) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}15))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}17) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}16) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}16))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}18) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}17) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}17))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}19) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}18) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}18))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}20) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}19) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}19))$  (UNIFLOW)  $\text{CO}_2 \text{ transfer IN } 2(\text{Year}20\text{plus}) = \text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}20) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}20)) + (\text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}20\text{plus}) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}20\text{plus})))$  (UNIFLOW) OUTFLOWS:  $\text{CO}_2 \text{ transfer OUT } 2(\text{Year}) = \text{g CO}_2 \text{ per Km per car year } 2(\text{Year})$  (UNIFLOW)

$\text{g N}_2\text{O per Km per car year } 4(\text{Year}1)(t) = \text{g N}_2\text{O per Km per car year } 4(\text{Year}1)(t - dt) + (\text{g N}_2\text{O per Km } 4(\text{Year}1) + \text{N}_2\text{O transfer IN}(\text{Year}1) - \text{N}_2\text{O transfer OUT}(\text{Year}1)) \times dt$  (NON-NEGATIVE) INIT  $\text{g N}_2\text{O per Km per car year } 4(\text{Year}1) = \text{Fleet distribution per year}(\text{Year}1) \times \text{N}_2\text{O estimate emission rate since 1980}$   $\text{g N}_2\text{O per Km per car year } 4(\text{Year}2)(t) = \text{g N}_2\text{O per Km per car year } 4(\text{Year}2)(t - dt) + (\text{g N}_2\text{O per Km } 4(\text{Year}2) + \text{N}_2\text{O transfer IN}(\text{Year}2) - \text{N}_2\text{O transfer OUT}(\text{Year}2)) \times dt$  (NON-NEGATIVE) INIT  $\text{g N}_2\text{O per Km per car year } 4(\text{Year}2) = \text{Fleet distribution per year}(\text{Year}2) \times \text{N}_2\text{O estimate emission rate since 1980}$   $\text{g N}_2\text{O per Km per car year } 4(\text{Year}3)(t) = \text{g N}_2\text{O per Km per car year } 4(\text{Year}3)(t - dt) + (\text{g N}_2\text{O per Km } 4(\text{Year}3) + \text{N}_2\text{O transfer IN}(\text{Year}3) - \text{N}_2\text{O transfer OUT}(\text{Year}3)) \times dt$  (NON-NEGATIVE) INIT  $\text{g N}_2\text{O per Km per car year } 4(\text{Year}3)$

$4(\text{Year}3) = \text{Fleet distribution per year}(\text{Year}3) \times \text{N2O estimate emission rate since 1980}$   
 $\text{g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}4)(t) = \text{g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}4)(t - dt)$   
 $+ (\text{g N2O per Km } 4(\text{Year}4) + \text{N2O transfer IN}(\text{Year}4) - \text{N2O transfer OUT}(\text{Year}4)) \times dt$   
 $(\text{NON-NEGATIVE}) \text{ INIT g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}4) = \text{Fleet distribution per}$   
 $\text{year}(\text{Year}4) \times \text{N2O estimate emission rate since 1980 g N2O per Km per car year}$   
 $4(\text{Year}5)(t) = \text{g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}5)(t - dt) + (\text{g N2O per Km } 4(\text{Year}5)$   
 $+ \text{N2O transfer IN}(\text{Year}5) - \text{N2O transfer OUT}(\text{Year}5)) \times dt (\text{NON-NEGATIVE}) \text{ INIT g}$   
 $\text{N2O per Km per car year } 4(\text{Year}5) = \text{Fleet distribution per year}(\text{Year}5) \times \text{N2O esti-}$   
 $\text{mate emission rate since 1980 g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}6)(t) = \text{g N2O per}$   
 $\text{Km per car year } 4(\text{Year}6)(t - dt) + (\text{g N2O per Km } 4(\text{Year}6) + \text{N2O transfer IN}(\text{Year}6)$   
 $- \text{N2O transfer OUT}(\text{Year}6)) \times dt (\text{NON-NEGATIVE}) \text{ INIT g N2O per Km per car year}$   
 $4(\text{Year}6) = \text{Fleet distribution per year}(\text{Year}6) \times \text{N2O estimate emission rate since 1980}$   
 $\text{g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}7)(t) = \text{g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}7)(t - dt)$   
 $+ (\text{g N2O per Km } 4(\text{Year}7) + \text{N2O transfer IN}(\text{Year}7) - \text{N2O transfer OUT}(\text{Year}7)) \times dt$   
 $(\text{NON-NEGATIVE}) \text{ INIT g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}7) = \text{Fleet distribution per}$   
 $\text{year}(\text{Year}7) \times \text{N2O estimate emission rate since 1980 g N2O per Km per car year}$   
 $4(\text{Year}8)(t) = \text{g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}8)(t - dt) + (\text{g N2O per Km } 4(\text{Year}8)$   
 $+ \text{N2O transfer IN}(\text{Year}8) - \text{N2O transfer OUT}(\text{Year}8)) \times dt (\text{NON-NEGATIVE}) \text{ INIT g}$   
 $\text{N2O per Km per car year } 4(\text{Year}8) = \text{Fleet distribution per year}(\text{Year}8) \times \text{N2O estimate}$   
 $\text{emission rate since 1980 g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}9)(t) = \text{g N2O per Km per}$   
 $\text{car year } 4(\text{Year}9)(t - dt) + (\text{g N2O per Km } 4(\text{Year}9) + \text{N2O transfer IN}(\text{Year}9) - \text{N2O}$   
 $\text{transfer OUT}(\text{Year}9)) \times dt (\text{NON-NEGATIVE}) \text{ INIT g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}9)$   
 $= \text{Fleet distribution per year}(\text{Year}9) \times \text{N2O estimate emission rate since 1980 g N2O}$   
 $\text{per Km per car year } 4(\text{Year}10)(t) = \text{g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}10)(t - dt) + (\text{g}$   
 $\text{N2O per Km } 4(\text{Year}10) + \text{N2O transfer IN}(\text{Year}10) - \text{N2O transfer OUT}(\text{Year}10)) \times dt$   
 $(\text{NON-NEGATIVE}) \text{ INIT g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}10) = \text{Fleet distribution per}$   
 $\text{year}(\text{Year}10) \times \text{N2O estimate emission rate since 1980 g N2O per Km per car year}$   
 $4(\text{Year}11)(t) = \text{g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}11)(t - dt) + (\text{g N2O per Km } 4(\text{Year}11)$   
 $+ \text{N2O transfer IN}(\text{Year}11) - \text{N2O transfer OUT}(\text{Year}11)) \times dt (\text{NON-NEGATIVE}) \text{ INIT}$   
 $\text{g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}11) = \text{Fleet distribution per year}(\text{Year}11) \times \text{N2O}$   
 $\text{estimate emission rate since 1980 g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}12)(t) = \text{g N2O per}$   
 $\text{Km per car year } 4(\text{Year}12)(t - dt) + (\text{g N2O per Km } 4(\text{Year}12) + \text{N2O transfer IN}(\text{Year}12)$   
 $- \text{N2O transfer OUT}(\text{Year}12)) \times dt (\text{NON-NEGATIVE}) \text{ INIT g N2O per Km per car year}$   
 $4(\text{Year}12) = \text{Fleet distribution per year}(\text{Year}12) \times \text{N2O estimate emission rate since}$   
 $1980 \text{ g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}13)(t) = \text{g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}13)(t -$   
 $dt) + (\text{g N2O per Km } 4(\text{Year}13) + \text{N2O transfer IN}(\text{Year}13) - \text{N2O transfer OUT}(\text{Year}13))$   
 $\times dt (\text{NON-NEGATIVE}) \text{ INIT g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}13) = \text{Fleet distribution}$   
 $\text{per year}(\text{Year}13) \times \text{N2O estimate emission rate since 1980 g N2O per Km per car year}$   
 $4(\text{Year}14)(t) = \text{g N2O per Km per car year } 4(\text{Year}14)(t - dt) + (\text{g N2O per Km } 4(\text{Year}14)$

$+ \text{N2O transfer IN(Year14)} - \text{N2O transfer OUT(Year14)} \times dt$  (NON-NEGATIVE) INIT  
 $g \text{ N2O per Km per car year 4(Year14)} = \text{Fleet distribution per year(Year14)} \times \text{N2O}$   
 $\text{estimate emission rate since 1980 } g \text{ N2O per Km per car year 4(Year15)(t)} = g \text{ N2O per}$   
 $\text{Km per car year 4(Year15)(t - dt)} + (g \text{ N2O per Km 4(Year15)} + \text{N2O transfer IN(Year15)}$   
 $- \text{N2O transfer OUT(Year15)}) \times dt$  (NON-NEGATIVE) INIT  $g \text{ N2O per Km per car year}$   
 $4(\text{Year15}) = \text{Fleet distribution per year(Year15)} \times \text{N2O estimate emission rate since}$   
 $1980 g \text{ N2O per Km per car year 4(Year16)(t)} = g \text{ N2O per Km per car year 4(Year16)(t -}$   
 $\text{dt)} + (g \text{ N2O per Km 4(Year16)} + \text{N2O transfer IN(Year16)} - \text{N2O transfer OUT(Year16)})$   
 $\times dt$  (NON-NEGATIVE) INIT  $g \text{ N2O per Km per car year 4(Year16)} = \text{Fleet distribution}$   
 $\text{per year(Year16)} \times \text{N2O estimate emission rate since 1980 } g \text{ N2O per Km per car year}$   
 $4(\text{Year17})(t) = g \text{ N2O per Km per car year 4(Year17)(t - dt)} + (g \text{ N2O per Km 4(Year17)}$   
 $+ \text{N2O transfer IN(Year17)} - \text{N2O transfer OUT(Year17)}) \times dt$  (NON-NEGATIVE) INIT  
 $g \text{ N2O per Km per car year 4(Year17)} = \text{Fleet distribution per year(Year17)} \times \text{N2O}$   
 $\text{estimate emission rate since 1980 } g \text{ N2O per Km per car year 4(Year18)(t)} = g \text{ N2O per}$   
 $\text{Km per car year 4(Year18)(t - dt)} + (g \text{ N2O per Km 4(Year18)} + \text{N2O transfer IN(Year18)}$   
 $- \text{N2O transfer OUT(Year18)}) \times dt$  (NON-NEGATIVE) INIT  $g \text{ N2O per Km per car year}$   
 $4(\text{Year18}) = \text{Fleet distribution per year(Year18)} \times \text{N2O estimate emission rate since}$   
 $1980 g \text{ N2O per Km per car year 4(Year19)(t)} = g \text{ N2O per Km per car year 4(Year19)(t -}$   
 $\text{dt)} + (g \text{ N2O per Km 4(Year19)} + \text{N2O transfer IN(Year19)} - \text{N2O transfer OUT(Year19)})$   
 $\times dt$  (NON-NEGATIVE) INIT  $g \text{ N2O per Km per car year 4(Year19)} = \text{Fleet distribution}$   
 $\text{per year(Year19)} \times \text{N2O estimate emission rate since 1980 } g \text{ N2O per Km per car year}$   
 $4(\text{Year20})(t) = g \text{ N2O per Km per car year 4(Year20)(t - dt)} + (g \text{ N2O per Km 4(Year20)}$   
 $+ \text{N2O transfer IN(Year20)} - \text{N2O transfer OUT(Year20)}) \times dt$  (NON-NEGATIVE) INIT  
 $g \text{ N2O per Km per car year 4(Year20)} = \text{Fleet distribution per year(Year20)} \times \text{N2O}$   
 $\text{estimate emission rate since 1980 } g \text{ N2O per Km per car year 4(Year20plus)(t)} = g$   
 $\text{N2O per Km per car year 4(Year20plus)(t - dt)} + (g \text{ N2O per Km 4(Year20plus)} + \text{N2O}$   
 $\text{transfer IN(Year20plus)} - \text{N2O transfer OUT(Year20plus)}) \times dt$  (NON-NEGATIVE) INIT  
 $g \text{ N2O per Km per car year 4(Year20plus)} = \text{Fleet distribution per year(Year20plus)}$   
 $\times \text{N2O estimate emission rate since 1980}$  INFLOWS:  $g \text{ N2O per Km 4(Year1)} = \text{ICE}$   
 $\text{Licensing rate(Year1)} \times \text{N2O emission rate (UNIFLOW)}$   $g \text{ N2O per Km 4(Year2)} = 0$   
 $(\text{UNIFLOW})$   $g \text{ N2O per Km 4(Year3)} = 0$  (UNIFLOW)  $g \text{ N2O per Km 4(Year4)} = 0$  (UNI-  
 $\text{FLOW})$   $g \text{ N2O per Km 4(Year5)} = 0$  (UNIFLOW)  $g \text{ N2O per Km 4(Year6)} = 0$  (UNIFLOW)  
 $g \text{ N2O per Km 4(Year7)} = 0$  (UNIFLOW)  $g \text{ N2O per Km 4(Year8)} = 0$  (UNIFLOW)  $g$   
 $\text{N2O per Km 4(Year9)} = 0$  (UNIFLOW)  $g \text{ N2O per Km 4(Year10)} = 0$  (UNIFLOW)  $g$   
 $\text{N2O per Km 4(Year11)} = 0$  (UNIFLOW)  $g \text{ N2O per Km 4(Year12)} = 0$  (UNIFLOW)  $g$   
 $\text{N2O per Km 4(Year13)} = 0$  (UNIFLOW)  $g \text{ N2O per Km 4(Year14)} = 0$  (UNIFLOW)  $g$   
 $\text{N2O per Km 4(Year15)} = 0$  (UNIFLOW)  $g \text{ N2O per Km 4(Year16)} = 0$  (UNIFLOW)  $g$   
 $\text{N2O per Km 4(Year17)} = 0$  (UNIFLOW)  $g \text{ N2O per Km 4(Year18)} = 0$  (UNIFLOW)  $g$   
 $\text{N2O per Km 4(Year19)} = 0$  (UNIFLOW)  $g \text{ N2O per Km 4(Year20)} = 0$  (UNIFLOW)  $g$



$N_2O \text{ per Km}^4(\text{Year}_{20plus}) = 0$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_1) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_1) \times \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_1) \times 0$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_2) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_1) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_1))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_3) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_2) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_2))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_4) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_3) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_3))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_5) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_4) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_4))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_6) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_5) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_5))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_7) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_6) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_6))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_8) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_7) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_7))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_9) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_8) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_8))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_{10}) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_9) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_9))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_{11}) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_{10}) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_{10}))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_{12}) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_{11}) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_{11}))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_{13}) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_{12}) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_{12}))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_{14}) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_{13}) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_{13}))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_{15}) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_{14}) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_{14}))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_{16}) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_{15}) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_{15}))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_{17}) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_{16}) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_{16}))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_{18}) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_{17}) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_{17}))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_{19}) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_{18}) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_{18}))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_{20}) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_{19}) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_{19}))$  (UNIFLOW)  $N_2O \text{ transfer IN}(\text{Year}_{20plus}) = N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_{20}) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_{20})) + (N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}_{20plus}) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(\text{Year}_{20plus})))$  (UNIFLOW) OUTFLOWS:  $N_2O \text{ transfer OUT}(\text{Year}) = g \text{ N}_2O \text{ per Km}^4 \text{ per car year}^4(\text{Year})$  (UNIFLOW)

$HEV \text{ Adopters}(t) = HEV \text{ Adopters}(t - dt) + (HEV \text{ Adoption Rate}) \times dt$  (NON-NEGATIVE) INIT  $HEV \text{ Adopters} = 1$  UNITS: vehicle INFLOWS:  $HEV \text{ Adoption Rate} = (HEV \text{ Adoption by innovation} + HEV \text{ Adoption by imitation})$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year

$HEV \text{ Market Growth}(t) = HEV \text{ Market Growth}(t - dt) + (HEV \text{ Market Growth rate}) \times dt$  (NON-NEGATIVE) INIT  $HEV \text{ Market Growth} = \text{initial HEV Potential Adopters}$

UNITS: vehicle INFLOWS: HEV Market Growth rate = HEV Sales (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year

HEV Potential adopters(t) = HEV Potential adopters(t - dt) + (Growth HEV - HEV Adoption Rate) X dt (NON-NEGATIVE) INIT HEV Potential adopters = 425110 UNITS: vehicle INFLOWS: Growth HEV = HEV Market Growth rate (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year OUTFLOWS: HEV Adoption Rate = (HEV Adoption by innovation+HEV Adoption by imitation) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year

ICE Fleet(Year1)(t) = ICE Fleet(Year1)(t - dt) + (Transfer IN(Year1) + ICE Licensing rate(Year1) - Transfer OUT(Year1)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year1) = Fleet distribution per year(Year1) UNITS: vehicle ICE Fleet(Year2)(t) = ICE Fleet(Year2)(t - dt) + (Transfer IN(Year2) + ICE Licensing rate(Year2) - Transfer OUT(Year2)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year2) = Fleet distribution per year(Year2) UNITS: vehicle ICE Fleet(Year3)(t) = ICE Fleet(Year3)(t - dt) + (Transfer IN(Year3) + ICE Licensing rate(Year3) - Transfer OUT(Year3)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year3) = Fleet distribution per year(Year3) UNITS: vehicle ICE Fleet(Year4)(t) = ICE Fleet(Year4)(t - dt) + (Transfer IN(Year4) + ICE Licensing rate(Year4) - Transfer OUT(Year4)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year4) = Fleet distribution per year(Year4) UNITS: vehicle ICE Fleet(Year5)(t) = ICE Fleet(Year5)(t - dt) + (Transfer IN(Year5) + ICE Licensing rate(Year5) - Transfer OUT(Year5)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year5) = Fleet distribution per year(Year5) UNITS: vehicle ICE Fleet(Year6)(t) = ICE Fleet(Year6)(t - dt) + (Transfer IN(Year6) + ICE Licensing rate(Year6) - Transfer OUT(Year6)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year6) = Fleet distribution per year(Year6) UNITS: vehicle ICE Fleet(Year7)(t) = ICE Fleet(Year7)(t - dt) + (Transfer IN(Year7) + ICE Licensing rate(Year7) - Transfer OUT(Year7)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year7) = Fleet distribution per year(Year7) UNITS: vehicle ICE Fleet(Year8)(t) = ICE Fleet(Year8)(t - dt) + (Transfer IN(Year8) + ICE Licensing rate(Year8) - Transfer OUT(Year8)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year8) = Fleet distribution per year(Year8) UNITS: vehicle ICE Fleet(Year9)(t) = ICE Fleet(Year9)(t - dt) + (Transfer IN(Year9) + ICE Licensing rate(Year9) - Transfer OUT(Year9)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year9) = Fleet distribution per year(Year9) UNITS: vehicle ICE Fleet(Year10)(t) = ICE Fleet(Year10)(t - dt) + (Transfer IN(Year10) + ICE Licensing rate(Year10) - Transfer OUT(Year10)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year10) = Fleet distribution per year(Year10) UNITS: vehicle ICE Fleet(Year11)(t) = ICE Fleet(Year11)(t - dt) + (Transfer IN(Year11) + ICE Licensing rate(Year11) - Transfer OUT(Year11)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year11) = Fleet distribution per year(Year11) UNITS: vehicle ICE Fleet(Year12)(t) = ICE Fleet(Year12)(t - dt) + (Transfer IN(Year12) + ICE Licensing rate(Year12) - Transfer OUT(Year12)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year12) = Fleet distribution per year(Year12) UNITS: vehicle ICE Fleet(Year13)(t)

= ICE Fleet(Year13)(t - dt) + (Transfer IN(Year13) + ICE Licensing rate(Year13) - Transfer OUT(Year13)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year13) = Fleet distribution per year(Year13) UNITS: vehicle  
 ICE Fleet(Year14)(t) = ICE Fleet(Year14)(t - dt) + (Transfer IN(Year14) + ICE Licensing rate(Year14) - Transfer OUT(Year14)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year14) = Fleet distribution per year(Year14) UNITS: vehicle  
 ICE Fleet(Year15)(t) = ICE Fleet(Year15)(t - dt) + (Transfer IN(Year15) + ICE Licensing rate(Year15) - Transfer OUT(Year15)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year15) = Fleet distribution per year(Year15) UNITS: vehicle  
 ICE Fleet(Year16)(t) = ICE Fleet(Year16)(t - dt) + (Transfer IN(Year16) + ICE Licensing rate(Year16) - Transfer OUT(Year16)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year16) = Fleet distribution per year(Year16) UNITS: vehicle  
 ICE Fleet(Year17)(t) = ICE Fleet(Year17)(t - dt) + (Transfer IN(Year17) + ICE Licensing rate(Year17) - Transfer OUT(Year17)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year17) = Fleet distribution per year(Year17) UNITS: vehicle  
 ICE Fleet(Year18)(t) = ICE Fleet(Year18)(t - dt) + (Transfer IN(Year18) + ICE Licensing rate(Year18) - Transfer OUT(Year18)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year18) = Fleet distribution per year(Year18) UNITS: vehicle  
 ICE Fleet(Year19)(t) = ICE Fleet(Year19)(t - dt) + (Transfer IN(Year19) + ICE Licensing rate(Year19) - Transfer OUT(Year19)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year19) = Fleet distribution per year(Year19) UNITS: vehicle  
 ICE Fleet(Year20)(t) = ICE Fleet(Year20)(t - dt) + (Transfer IN(Year20) + ICE Licensing rate(Year20) - Transfer OUT(Year20)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year20) = Fleet distribution per year(Year20) UNITS: vehicle  
 ICE Fleet(Year20plus)(t) = ICE Fleet(Year20plus)(t - dt) + (Transfer IN(Year20plus) + ICE Licensing rate(Year20plus) - Transfer OUT(Year20plus)) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet(Year20plus) = Fleet distribution per year(Year20plus) UNITS: vehicle  
 UNITS: vehicle  
 UNITS: vehicle INFLOWS: Transfer IN(Year1) = Transfer OUT(Year1) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year1)) X 0 (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 Transfer IN(Year2) = Transfer OUT(Year1) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year1)) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 Transfer IN(Year3) = Transfer OUT(Year2) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year2)) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 Transfer IN(Year4) = Transfer OUT(Year3) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year3)) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 Transfer IN(Year5) = Transfer OUT(Year4) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year4)) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 Transfer IN(Year6) = Transfer OUT(Year5) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year5)) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 Transfer IN(Year7) = Transfer OUT(Year6) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year6)) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 Transfer IN(Year8) = Transfer OUT(Year7) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year7)) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 Transfer IN(Year9) = Transfer OUT(Year8) X (1-Discard percentage per year of car usage(Year8)) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 Transfer IN(Year10) = Transfer

$OUT(Year9) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(Year9))$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $Transfer\ IN(Year11) = Transfer\ OUT(Year10) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(Year10))$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $Transfer\ IN(Year12) = Transfer\ OUT(Year11) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(Year11))$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $Transfer\ IN(Year13) = Transfer\ OUT(Year12) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(Year12))$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $Transfer\ IN(Year14) = Transfer\ OUT(Year13) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(Year13))$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $Transfer\ IN(Year15) = Transfer\ OUT(Year14) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(Year14))$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $Transfer\ IN(Year16) = Transfer\ OUT(Year15) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(Year15))$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $Transfer\ IN(Year17) = Transfer\ OUT(Year16) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(Year16))$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $Transfer\ IN(Year18) = Transfer\ OUT(Year17) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(Year17))$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $Transfer\ IN(Year19) = Transfer\ OUT(Year18) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(Year18))$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $Transfer\ IN(Year20) = Transfer\ OUT(Year19) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(Year19))$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $Transfer\ IN(Year20plus) = (Transfer\ OUT(Year20) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(Year20))) + (Transfer\ OUT(Year20plus) \times (1 - \text{Discard percentage per year of car usage}(Year20plus)))$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year1) = Vendas\ Anuais\ de\ veiculos \times ICE\ Market\ Share$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year2) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year3) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year4) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year5) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year6) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year7) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year8) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year9) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year10) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year11) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year12) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year13) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year14) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year15) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year16) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year17) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year18) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year19) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year20) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $ICE\ Licensing\ rate(Year20plus) = 0$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 UNITS: vehicle/year  
 OUTFLOWS:  $Transfer\ OUT(Year1) = ICE\ Fleet(Year1)$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year  
 $Transfer\ OUT(Year2) = ICE\ Fleet(Year2)$  (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year

UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year3) = ICE Fleet(Year3) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year4) = ICE Fleet(Year4) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year5) = ICE Fleet(Year5) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year6) = ICE Fleet(Year6) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year7) = ICE Fleet(Year7) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year8) = ICE Fleet(Year8) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year9) = ICE Fleet(Year9) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year10) = ICE Fleet(Year10) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year11) = ICE Fleet(Year11) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year12) = ICE Fleet(Year12) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year13) = ICE Fleet(Year13) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year14) = ICE Fleet(Year14) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year15) = ICE Fleet(Year15) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year16) = ICE Fleet(Year16) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year17) = ICE Fleet(Year17) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year18) = ICE Fleet(Year18) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year19) = ICE Fleet(Year19) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year20) = ICE Fleet(Year20) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year Transfer OUT(Year20plus) = ICE Fleet(Year20plus) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year UNITS: vehicle/year

ICE Fleet Historico(t) = ICE Fleet Historico(t - dt) + (Flow 3 - Flow 4) X dt (NON-NEGATIVE) INIT ICE Fleet Historico = Frota estimada 1980 MMA 2013 INFLOWS: Flow 3 = Historico Taxa adocao 1980 2020 (UNIFLOW) OUTFLOWS: Flow 4 = total discards (UNIFLOW)

PHEV Adopters(t) = PHEV Adopters(t - dt) + (PHEV Adoption Rate) X dt (NON-NEGATIVE) INIT PHEV Adopters = 0 UNITS: vehicle INFLOWS: PHEV Adoption Rate = (BEV Adoption by innovation 1+PHEV Adoption by imitation) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year

PHEV Market Growth(t) = PHEV Market Growth(t - dt) + (PHEV Market Growth rate) X dt (NON-NEGATIVE) INIT PHEV Market Growth = initial PHEV Potential Adopters UNITS: vehicle INFLOWS: PHEV Market Growth rate = PHEV Sales (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year

PHEV Potential adopters(t) = PHEV Potential adopters(t - dt) + (Growth PHEV - PHEV Adoption Rate) X dt (NON-NEGATIVE) INIT PHEV Potential adopters = initial PHEV Potential Adopters UNITS: vehicle INFLOWS: Growth PHEV = PHEV Market Growth rate (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year OUTFLOWS: PHEV Adoption Rate = (BEV Adoption by innovation 1+PHEV Adoption by imitation) (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year

Tendencia de Vendas(t) = Tendencia de Vendas(t - dt) + (txvendas) X dt (NON-NEGATIVE) INIT Tendencia de Vendas = vendas init UNITS: vehicle/year INFLOWS:

txvendas = taxa marginal vendas X efeito saturação X Tendência de Vendas (UNIFLOW) UNITS: vehicle/year/Years

amplitude inicial = 0,43

amplitude vendas = amplitude inicial+RAMP(pendente de crescimento; 2001)-RAMP(pendente de crescimento X 2,0; 2010)

BEV Adoption by imitation = BEV Adopters X BEV Potential adopters X BEVqStep/(BEV Potential Market)

BEV Adoption by innovation = BEV Potential adopters X BEVpStep

BEV Adoption by innovation 1 = PHEV Potential adopters X PHEVpStep

BEV Emission on electricity source(Year) = BEV Adopters X EV Efficiency kWh per km X SIN CO2 per kWh X VKT per year(Year)

BEV emission on source = SUM(BEV Emission on electricity source)

BEV Fleet mi = BEV Adopters/10<sup>6</sup>

BEV historico = GRAPH(TIME) (2006,00, 1), (2007,00, 6), (2008,00, 16), (2009,00, 32), (2010,00, 52), (2011,00, 80), (2012,00, 95), (2013,00, 132), (2014,00, 352), (2015,00, 397), (2016,00, 413), (2017,00, 509), (2018,00, 516)

BEV Market Share = 0,33 UNITS: Dimensionless

BEV p = 0,0029

BEV Potential Market = BEV Market Growth

BEV q = 0,46

BEV Sales = Vendas anuais VE X BEV Market Share UNITS: vehicle/year

BEVpStep = STEP(BEV p; 2006)

BEVqStep = STEP(BEV q; 2006)

CH4 emission per car average = SUM(grams CH4 emission per year)/SUM(total vehicle usage 3)

CH4 emission rate = (Petrol CH4 emission rate X New petrol licensing proportion) + (Ethanol CH4 emission rate X New ethanol licensing proportion) + ( (Flex fuel petrol CH4 emission rate+Flex petrol CH4 emission rate BAU) X New flex fuels licensing proportion X (1-flexfuel powered by ethanol rate) ) + ( (Flex fuel ethanol CH4 emission rate+Flex ethanol CH4 emission rate BAU) X New flex fuels licensing proportion X flexfuel powered by ethanol rate )

CH4 estimate emission rate since 1980 = 0,44327

CH4 validation = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,390294735204), (1981,00, 0,389797771569), (1982,00, 0,437888382719), (1983,00, 0,264399668018), (1984,00, 0,246532811925), (1985,00, 0,244839630808), (1986,00, 0,244836963853), (1987,00, 0,243599968003), (1988,00, 0,255), (1989,00, 0,24), (1990,00, 0,209776030896), (1991,00, 0,188577389557), (1992,00, 0,09), (1993,00, 0,0937590217581), (1994,00, 0,152894102399), (1995,00, 0,149858483734), (1996,00, 0,100266153011), (1997,00, 0,0500173202261), (1998,00, 0,0350126611043), (1999,00, 0,0350953546203),

(2000,00, 0,0320128923419), (2001,00, 0,0271481067103), (2002,00, 0,0276165711803), (2003,00, 0,027437553806), (2004,00, 0,0280144806297), (2005,00, 0,0291158045254), (2006,00, 0,0307105621348), (2007,00, 0,0294181369484), (2008,00, 0,0262958091433), (2009,00, 0,0199586967671), (2010,00, 0,0292704936938), (2011,00, 0,0235353581234), (2012,00, 0,0210449288967), (2013,00, 0,0182149191786), (2014,00, 0,0116086997975), (2015,00, 0,0110501644184), (2016,00, 0,0106033299669), (2017,00, 0,0101560842338), (2018,00, 0,00971429376365), (2019,00, 0,0092820032992), (2020,00, 0,00886192229365), (2021,00, 0,00845578658481), (2022,00, 0,00806462641935), (2023,00, 0,00768896446971), (2024,00, 0,0073503988785), (2025,00, 0,00700007309685), (2026,00, 0,00666665404721), (2027,00, 0,00634931367611), (2028,00, 0,00604726517895), (2029,00, 0,00575976090622), (2030,00, 0,00548609037817), (2031,00, 0,00522557840225), (2032,00, 0,00497758328775), (2033,00, 0,0047414951526), (2034,00, 0,0045167343175), (2035,00, 0,00430274978267), (2036,00, 0,00409901778303), (2037,00, 0,00390504041756), (2038,00, 0,00372034434902), (2039,00, 0,00354447957035), (2040,00, 0,00337701823419), (2041,00, 0,0032175535423), (2042,00, 0,00306569869174), (2043,00, 0,0029210858748), (2044,00, 0,00278336532993), (2045,00, 0,00265220444099), (2046,00, 0,00252728688234), (2047,00, 0,00240831180734), (2048,00, 0,00229499307809), (2049,00, 0,00218705853415), (2050,00, 0,00208424929838)

CO2 emission BAU per car = SUM(grams CO2 emission per year 2)/SUM(Total VKT of the fleet)

CO2 emission rate BAU = (Gasoline C CO2 emission rate X New petrol licensing proportion) + (Ethanol CO2 emission rate X New ethanol licensing proportion X 0) + ( (Flex fuel petrol emission rate+Flex fuel petrol emission rate BAU) X New flex fuels licensing proportion X (1-(Flex fuel ethanol proportion BAU)) ) + ( (Flex fuel ethanol emission rate+Flex fuel ethanol emission rate BAU) X New flex fuels licensing proportion X 0 X Flex fuel ethanol proportion BAU )

CO2 emission rate RED = (Gasoline C CO2 emission rate X New petrol licensing proportion) + (Ethanol CO2 emission rate X New ethanol licensing proportion) + ( (Flex fuel petrol emission rate+Flex fuel petrol emission rate BAU) X New flex fuels licensing proportion X (1-flexfuel powered by ethanol rate) ) + ( (Flex fuel ethanol emission rate+Flex fuel ethanol emission rate BAU) X New flex fuels licensing proportion X flexfuel powered by ethanol rate )

CO2 eq BAU = Total CO2 emission mi ton BAU+(21 X Total CH4 emission fleet average)+(310 X Total N2O emission fleet average)

CO2 POLICY 1A CO2 ETANOL = GRAPH(TIME) (1980,00, 197,519388403), (1981,00, 197,498740747), (1982,00, 199,496791139), (1983,00, 192,288748112), (1984,00, 191,749989867), (1985,00, 191,62688149), (1986,00, 191,97837516), (1987,00, 191,798495347), (1988,00, 192,301641562), (1989,00, 194,692329671), (1990,00, 199,869724638), (1991,00, 198,132090796), (1992,00, 199,680859501), (1993,00, 197,813502344), (1994,00, 199,081728556), (1995,00, 199,797560255),

(1996,00, 199,961296916), (1997,00, 199,994962701), (1998,00, 199,993095742), (1999,00, 199,916803094), (2000,00, 199,992969645), (2001,00, 199,900597612), (2002,00, 197,730250109), (2003,00, 194,059602021), (2004,00, 190,030229974), (2005,00, 187,098657493), (2006,00, 198,482195853), (2007,00, 196,177697467), (2008,00, 180,050834637), (2009,00, 178,303571966), (2010,00, 174,336316713), (2011,00, 176,928916486), (2012,00, 176,704077755), (2013,00, 175,368161322), (2014,00, 171,347653144), (2015,00, 168,362798199), (2016,00, 164,787925121), (2017,00, 161,34238224), (2018,00, 158,019091625), (2019,00, 154,809407449), (2020,00, 140,0), (2021,00, 136,92), (2022,00, 133,90776), (2023,00, 130,96178928), (2024,00, 128,080629916), (2025,00, 125,262856058), (2026,00, 122,507073224), (2027,00, 119,811917613), (2028,00, 117,176055426), (2029,00, 114,598182207), (2030,00, 112,077022198), (2031,00, 109,61132771), (2032,00, 107,1998785), (2033,00, 104,841481173), (2034,00, 102,534968587), (2035,00, 100,279199278), (2036,00, 98,0730568942), (2037,00, 95,9154496426), (2038,00, 93,8053097504), (2039,00, 91,7415929359), (2040,00, 89,7232778913), (2041,00, 87,7493657777), (2042,00, 85,8188797306), (2043,00, 83,9308643765), (2044,00, 82,0843853603), (2045,00, 80,2785288823), (2046,00, 78,5124012469), (2047,00, 76,7851284195), (2048,00, 75,0958555943), (2049,00, 73,4437467712), (2050,00, 71,8279843422)

CO2 POLICY 1B CO2 ETANOL = GRAPH(TIME) (1980,00, 197,519388403), (1981,00, 197,498740747), (1982,00, 199,496791139), (1983,00, 192,288748112), (1984,00, 191,749989867), (1985,00, 191,62688149), (1986,00, 191,97837516), (1987,00, 191,798495347), (1988,00, 192,301641562), (1989,00, 194,692329671), (1990,00, 199,869724638), (1991,00, 198,132090796), (1992,00, 199,680859501), (1993,00, 197,813502344), (1994,00, 199,081728556), (1995,00, 199,797560255), (1996,00, 199,961296916), (1997,00, 199,994962701), (1998,00, 199,993095742), (1999,00, 199,916803094), (2000,00, 199,992969645), (2001,00, 199,900597612), (2002,00, 197,730250109), (2003,00, 194,059602021), (2004,00, 190,030229974), (2005,00, 187,098657493), (2006,00, 198,482195853), (2007,00, 196,177697467), (2008,00, 180,050834637), (2009,00, 178,303571966), (2010,00, 174,336316713), (2011,00, 176,928916486), (2012,00, 176,704077755), (2013,00, 175,368161322), (2014,00, 171,347653144), (2015,00, 168,362798199), (2016,00, 164,787925121), (2017,00, 161,34238224), (2018,00, 158,019091625), (2019,00, 154,809407449), (2020,00, 140,0), (2021,00, 134,68), (2022,00, 129,56216), (2023,00, 124,63879792), (2024,00, 119,902523599), (2025,00, 115,346227702), (2026,00, 110,96307105), (2027,00, 106,74647435), (2028,00, 102,690108324), (2029,00, 98,7878842081), (2030,00, 95,0339446082), (2031,00, 91,4226547131), (2032,00, 87,948593834), (2033,00, 84,6065472683), (2034,00, 81,3914984721), (2035,00, 78,2986215301), (2036,00, 75,323273912), (2037,00, 72,4609895033), (2038,00, 69,7074719022), (2039,00, 67,0585879699), (2040,00, 64,5103616271), (2041,00, 62,0589678852),



(2042,00, 59,7007271056), (2043,00, 57,4320994756), (2044,00, 55,2496796955), (2045,00, 53,1501918671), (2046,00, 51,1304845761), (2047,00, 49,1875261623), (2048,00, 47,3184001681), (2049,00, 45,5203009617), (2050,00, 43,7905295252)

CO2 validation = GRAPH(TIME) (1980,00, 197,519388403), (1981,00, 197,498740747), (1982,00, 199,496791139), (1983,00, 192,288748112), (1984,00, 191,749989867), (1985,00, 191,62688149), (1986,00, 191,97837516), (1987,00, 191,798495347), (1988,00, 192,301641562), (1989,00, 194,692329671), (1990,00, 199,869724638), (1991,00, 198,132090796), (1992,00, 199,680859501), (1993,00, 197,813502344), (1994,00, 199,081728556), (1995,00, 199,797560255), (1996,00, 199,961296916), (1997,00, 199,994962701), (1998,00, 199,993095742), (1999,00, 199,916803094), (2000,00, 199,992969645), (2001,00, 199,900597612), (2002,00, 197,730250109), (2003,00, 194,059602021), (2004,00, 190,030229974), (2005,00, 187,098657493), (2006,00, 198,482195853), (2007,00, 196,177697467), (2008,00, 180,050834637), (2009,00, 178,303571966), (2010,00, 174,336316713), (2011,00, 176,928916486), (2012,00, 176,704077755), (2013,00, 175,368161322), (2014,00, 171,347653144), (2015,00, 168,362798199), (2016,00, 164,787925121), (2017,00, 161,34238224), (2018,00, 158,019091625), (2019,00, 154,809407449), (2020,00, 151,70432243), (2021,00, 148,695159906), (2022,00, 145,773936004), (2023,00, 142,933515593), (2024,00, 139,833134254), (2025,00, 137,208953511), (2026,00, 134,634020687), (2027,00, 132,107411525), (2028,00, 129,628219115), (2029,00, 127,195553569), (2030,00, 124,808541697), (2031,00, 122,4663267), (2032,00, 120,168067857), (2033,00, 117,912940228), (2034,00, 115,700134353), (2035,00, 113,528855964), (2036,00, 111,398325703), (2037,00, 109,307778833), (2038,00, 107,256464975), (2039,00, 105,243647829), (2040,00, 103,268604917), (2041,00, 101,330627316), (2042,00, 99,4290194135), (2043,00, 97,5630986471), (2044,00, 95,7321952671), (2045,00, 93,9356520927), (2046,00, 92,1728242773), (2047,00, 90,4430790762), (2048,00, 88,7457956201), (2049,00, 87,0803646919), (2050,00, 85,4461885081)

CO2 validation without ethanol = GRAPH(TIME) (1980,00, 143,137843051), (1981,00, 142,664544352), (1982,00, 188,465126399), (1983,00, 23,2377790644), (1984,00, 10,8880198756), (1985,00, 8,066051346), (1986,00, 16,1232128431), (1987,00, 11,9998933429), (1988,00, 23,5333309453), (1989,00, 78,3342044917), (1990,00, 197,013745274), (1991,00, 157,182597048), (1992,00, 192,684458468), (1993,00, 149,879709892), (1994,00, 178,950797845), (1995,00, 195,359547383), (1996,00, 199,112823297), (1997,00, 199,884531826), (1998,00, 199,841736196), (1999,00, 198,092907595), (2000,00, 199,838845726), (2001,00, 197,721435227), (2002,00, 190,369931644), (2003,00, 185,16035716), (2004,00, 163,443766013), (2005,00, 136,280308497), (2006,00, 102,882313275), (2007,00, 109,68038583), (2008,00, 100,347003668), (2009,00, 99,6462761755), (2010,00, 89,7046015583),

(2011,00, 102,298993425), (2012,00, 90,9853650436), (2013,00, 95,9688879485),  
 (2014,00, 94,2270106806), (2015,00, 92,5815488284), (2016,00, 89,1508221868),  
 (2017,00, 86,1823562696), (2018,00, 83,5742216295), (2019,00, 81,2480997665),  
 (2020,00, 79,1438376282), (2021,00, 77,2152445135), (2022,00, 75,4268518959),  
 (2023,00, 73,7514184081), (2024,00, 71,5057073516), (2025,00, 70,1573485015),  
 (2026,00, 68,8344151964), (2027,00, 67,5364279956), (2028,00, 66,2629164989),  
 (2029,00, 65,0134191761), (2030,00, 63,7874832002), (2031,00, 62,5846642829),  
 (2032,00, 61,4045265135), (2033,00, 60,2466422015), (2034,00, 59,1105917208),  
 (2035,00, 57,9959633585), (2036,00, 56,9023531648), (2037,00, 55,8293648073),  
 (2038,00, 54,776609427), (2039,00, 53,7437054975), (2040,00, 52,7302786868),  
 (2041,00, 51,7359617215), (2042,00, 50,7603942536), (2043,00, 49,8032227304),  
 (2044,00, 48,8641002656), (2045,00, 47,9426865143), (2046,00, 47,0386475494),  
 (2047,00, 46,1516557403), (2048,00, 45,2813896347), (2049,00, 44,4275338416),  
 (2050,00, 43,5897789173)

Discard per year(Year1) = ICE Fleet(Year1) X Discard percentage per year of car usage(Year1)  
 Discard per year(Year2) = ICE Fleet(Year2) X Discard percentage per year of car usage(Year2)  
 Discard per year(Year3) = ICE Fleet(Year3) X Discard percentage per year of car usage(Year3)  
 Discard per year(Year4) = ICE Fleet(Year4) X Discard percentage per year of car usage(Year4)  
 Discard per year(Year5) = ICE Fleet(Year5) X Discard percentage per year of car usage(Year5)  
 Discard per year(Year6) = ICE Fleet(Year6) X Discard percentage per year of car usage(Year6)  
 Discard per year(Year7) = ICE Fleet(Year7) X Discard percentage per year of car usage(Year7)  
 Discard per year(Year8) = ICE Fleet(Year8) X Discard percentage per year of car usage(Year8)  
 Discard per year(Year9) = ICE Fleet(Year9) X Discard percentage per year of car usage(Year9)  
 Discard per year(Year10) = ICE Fleet(Year10) X Discard percentage per year of car usage(Year10)  
 Discard per year(Year11) = ICE Fleet(Year11) X Discard percentage per year of car usage(Year11)  
 Discard per year(Year12) = ICE Fleet(Year12) X Discard percentage per year of car usage(Year12)  
 Discard per year(Year13) = ICE Fleet(Year13) X Discard percentage per year of car usage(Year13)  
 Discard per year(Year14) = ICE Fleet(Year14) X Discard percentage per year of car usage(Year14)  
 Discard per year(Year15) = ICE Fleet(Year15) X Discard percentage per year of car usage(Year15)  
 Discard per year(Year16) = ICE Fleet(Year16) X Discard percentage per year of car usage(Year16)  
 Discard per year(Year17) = ICE Fleet(Year17) X Discard percentage per year of car usage(Year17)  
 Discard per year(Year18) = ICE Fleet(Year18) X Discard percentage per year of car usage(Year18)  
 Discard per year(Year19) = ICE Fleet(Year19) X Discard percentage per year of car usage(Year19)  
 Discard per year(Year20) = ICE Fleet(Year20) X Discard percentage per year of car usage(Year20)  
 Discard per year(Year20plus) = ICE Fleet(Year20plus) X Discard percentage per year of car usage(Year20plus)  
 Discard percentage per year of car usage(Year20plus)

car usage(Year1) = 0,0037 Discard percentage per year of car usage(Year2) = 0,0065  
 Discard percentage per year of car usage(Year3) = 0,0102 Discard percentage per  
 year of car usage(Year4) = 0,0150 Discard percentage per year of car usage(Year5) =  
 0,0207 Discard percentage per year of car usage(Year6) = 0,0272 Discard percentage  
 per year of car usage(Year7) = 0,0342 Discard percentage per year of car usage(Year8)  
 = 0,0415 Discard percentage per year of car usage(Year9) = 0,0489 Discard per-  
 centage per year of car usage(Year10) = 0,0561 Discard percentage per year of car  
 usage(Year11) = 0,0631 Discard percentage per year of car usage(Year12) = 0,0697  
 Discard percentage per year of car usage(Year13) = 0,0759 Discard percentage per  
 year of car usage(Year14) = 0,0816 Discard percentage per year of car usage(Year15)  
 = 0,0868 Discard percentage per year of car usage(Year16) = 0,0915 Discard  
 percentage per year of car usage(Year17) = 0,0957 Discard percentage per year of car  
 usage(Year18) = 0,0995 Discard percentage per year of car usage(Year19) = 0,1029  
 Discard percentage per year of car usage(Year20) = 0,1060 Discard percentage per  
 year of car usage(Year20plus) = 1/20

efeito saturação = GRAPH(Tendencia de Vendas/maxima) (0,000, 1,000),  
 (0,0588235294118, 1,000), (0,117647058824, 1,000), (0,176470588235, 1,000),  
 (0,235294117647, 0,995), (0,294117647059, 0,979), (0,352941176471, 0,952),  
 (0,411764705882, 0,904), (0,470588235294, 0,856), (0,529411764706, 0,787),  
 (0,588235294118, 0,691), (0,647058823529, 0,234), (0,705882352941, 0,128),  
 (0,764705882353, 0,064), (0,823529411765, 0,016), (0,882352941176, 0,000),  
 (0,941176470588, 0,000), (1,000, 0,000) UNITS: Dimensionless

estimate emission rate since 1980 = 175 estimate emission rate since 1980 RED  
 = 200

Ethanol CH4 emission rate = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,24), (1981,00, 0,24),  
 (1982,00, 0,24), (1983,00, 0,24), (1984,00, 0,24), (1985,00, 0,24), (1986,00, 0,24),  
 (1987,00, 0,24), (1988,00, 0,255), (1989,00, 0,24), (1990,00, 0,195), (1991,00, 0,165),  
 (1992,00, 0,09), (1993,00, 0,105), (1994,00, 0,186), (1995,00, 0,186), (1996,00, 0,16),  
 (1997,00, 0,08), (1998,00, 0,051), (1999,00, 0,045), (2000,00, 0,048), (2001,00, 0,04),  
 (2002,00, 0,043), (2003,00, 0,043), (2004,00, 0,045), (2005,00, 0,045), (2006,00,  
 0,032), (2007,00, 0,0), (2008,00, 0,0), (2009,00, 0,0), (2010,00, 0,0), (2011,00, 0,0),  
 (2012,00, 0,0), (2013,00, 0,0), (2014,00, 0,0), (2015,00, 0,0), (2016,00, 0,0), (2017,00,  
 0,0), (2018,00, 0,0), (2019,00, 0,0), (2020,00, 0,0), (2021,00, 0,0), (2022,00, 0,0),  
 (2023,00, 0,0), (2024,00, 0,0), (2025,00, 0,0), (2026,00, 0,0), (2027,00, 0,0), (2028,00,  
 0,0), (2029,00, 0,0), (2030,00, 0,0), (2031,00, 0,0), (2032,00, 0,0), (2033,00, 0,0),  
 (2034,00, 0,0), (2035,00, 0,0), (2036,00, 0,0), (2037,00, 0,0), (2038,00, 0,0), (2039,00,  
 0,0), (2040,00, 0,0), (2041,00, 0,0), (2042,00, 0,0), (2043,00, 0,0), (2044,00, 0,0),  
 (2045,00, 0,0), (2046,00, 0,0), (2047,00, 0,0), (2048,00, 0,0), (2049,00, 0,0), (2050,00,  
 0,0)

Ethanol CO2 emission rate = GRAPH(TIME) (1980,00, 174,72), (1981,00, 174,72), (1982,00, 174,72), (1983,00, 174,72), (1984,00, 174,72), (1985,00, 174,72), (1986,00, 174,72), (1987,00, 174,72), (1988,00, 174,72), (1989,00, 164,2), (1990,00, 163,6), (1991,00, 163,1), (1992,00, 165,6), (1993,00, 165,6), (1994,00, 165,6), (1995,00, 164,9), (1996,00, 177,95), (1997,00, 177,95), (1998,00, 177,95), (1999,00, 177,95), (2000,00, 177,95), (2001,00, 177,95), (2002,00, 191,0), (2003,00, 183,0), (2004,00, 160,0), (2005,00, 160,0), (2006,00, 200,0), (2007,00, 200,0), (2008,00, 200,0), (2009,00, 200,0), (2010,00, 200,0), (2011,00, 200,0), (2012,00, 200,0), (2013,00, 200,0), (2014,00, 200,0), (2015,00, 0,0), (2016,00, 0,0), (2017,00, 0,0), (2018,00, 0,0), (2019,00, 0,0), (2020,00, 0,0), (2021,00, 0,0), (2022,00, 0,0), (2023,00, 0,0), (2024,00, 0,0), (2025,00, 0,0), (2026,00, 0,0), (2027,00, 0,0), (2028,00, 0,0), (2029,00, 0,0), (2030,00, 0,0), (2031,00, 0,0), (2032,00, 0,0), (2033,00, 0,0), (2034,00, 0,0), (2035,00, 0,0), (2036,00, 0,0), (2037,00, 0,0), (2038,00, 0,0), (2039,00, 0,0), (2040,00, 0,0), (2041,00, 0,0), (2042,00, 0,0), (2043,00, 0,0), (2044,00, 0,0), (2045,00, 0,0), (2046,00, 0,0), (2047,00, 0,0), (2048,00, 0,0), (2049,00, 0,0), (2050,00, 0,0)

Ethanol N2O emission rate = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,007), (1981,00, 0,007), (1982,00, 0,007), (1983,00, 0,007), (1984,00, 0,006), (1985,00, 0,006), (1986,00, 0,006), (1987,00, 0,006), (1988,00, 0,006), (1989,00, 0,006), (1990,00, 0,006), (1991,00, 0,006), (1992,00, 0,006), (1993,00, 0,006), (1994,00, 0,017), (1995,00, 0,017), (1996,00, 0,017), (1997,00, 0,017), (1998,00, 0,017), (1999,00, 0,017), (2000,00, 0,017), (2001,00, 0,017), (2002,00, 0,017), (2003,00, 0,017), (2004,00, 0,017), (2005,00, 0,017), (2006,00, 0,017), (2007,00, 0,0), (2008,00, 0,0), (2009,00, 0,0), (2010,00, 0,0), (2011,00, 0,0), (2012,00, 0,0), (2013,00, 0,0), (2014,00, 0,0), (2015,00, 0,0), (2016,00, 0,0), (2017,00, 0,0), (2018,00, 0,0), (2019,00, 0,0), (2020,00, 0,0), (2021,00, 0,0), (2022,00, 0,0), (2023,00, 0,0), (2024,00, 0,0), (2025,00, 0,0), (2026,00, 0,0), (2027,00, 0,0), (2028,00, 0,0), (2029,00, 0,0), (2030,00, 0,0), (2031,00, 0,0), (2032,00, 0,0), (2033,00, 0,0), (2034,00, 0,0), (2035,00, 0,0), (2036,00, 0,0), (2037,00, 0,0), (2038,00, 0,0), (2039,00, 0,0), (2040,00, 0,0), (2041,00, 0,0), (2042,00, 0,0), (2043,00, 0,0), (2044,00, 0,0), (2045,00, 0,0), (2046,00, 0,0), (2047,00, 0,0), (2048,00, 0,0), (2049,00, 0,0), (2050,00, 0,0)

EV Efficiency kWh per km = 0,1802

EV Fleet mi = Total EV Fleet/10<sup>6</sup>

EV local emissions = HEV local emission+HPEV local emission

EV Market Share = GRAPH(TIME) (2006,00, 0,000), (2007,22222222, 0,000), (2008,44444444, 0,000), (2009,66666667, 0,000), (2010,88888889, 0,000), (2012,11111111, 0,000), (2013,33333333, 0,000), (2014,55555556, 0,000), (2015,77777778, 0,000), (2017,00, 0,000), (2018,22222222, 0,000), (2019,44444444, 0,000), (2020,66666667, 0,00180392156862), (2021,88888889, 0,0091699346405), (2023,11111111, 0,0241560457516), (2024,33333333, 0,0463670900177), (2025,55555556,

0,0765723622781), (2026,77777778, 0,121202561327), (2028,00, 0,192779220779), (2029,22222222, 0,300816558441), (2030,44444444, 0,438911382734), (2031,66666667, 0,584160260695), (2032,88888889, 0,711470588235), (2034,11111111, 0,806962710084), (2035,33333333, 0,871006302521), (2036,55555556, 0,914150910364), (2037,77777778, 0,947745098039), (2039,00, 0,974982572574), (2040,22222222, 0,992961229946), (2041,44444444, 1,000), (2042,66666667, 1,000), (2043,88888889, 1,000), (2045,11111111, 1,000), (2046,33333333, 1,000), (2047,55555556, 1,000), (2048,77777778, 1,000), (2050,00, 1,000) UNITS: Dimensionless

EV SIN emissions = BEV emission on source+HEV emission on source+HPEV emission on source

EV Total SIN and local emissions = EV SIN emissions+EV local emissions

Fleet distribution per year(Year1) = Percentage rate fleet distribution per year(Year1) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year2) = Percentage rate fleet distribution per year(Year2) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year3) = Percentage rate fleet distribution per year(Year3) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year4) = Percentage rate fleet distribution per year(Year4) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year5) = Percentage rate fleet distribution per year(Year5) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year6) = Percentage rate fleet distribution per year(Year6) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year7) = Percentage rate fleet distribution per year(Year7) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year8) = Percentage rate fleet distribution per year(Year8) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year9) = Percentage rate fleet distribution per year(Year9) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year10) = Percentage rate fleet distribution per year(Year10) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year11) = Percentage rate fleet distribution per year(Year11) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year12) = Percentage rate fleet distribution per year(Year12) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year13) = Percentage rate fleet distribution per year(Year13) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year14) = Percentage rate fleet distribution per year(Year14) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year15) = Percentage rate fleet distribution per year(Year15) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year16) = Percentage rate fleet distribution per year(Year16) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year17) = Percentage rate fleet distribution per year(Year17) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year18) = Percentage rate fleet distribution per year(Year18) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year19) = Percentage rate fleet distribution per year(Year19) X Frota estimada 1980 MMA 2013  
 Fleet distribution per year(Year20) = Percentage rate fleet distribution per year(Year20) X Frota estimada 1980 MMA 2013

X Frota estimada 1980 MMA 2013 Fleet distribution per year(Year20plus) = Percentage rate fleet distribution per year(Year20plus) X Frota estimada 1980 MMA 2013

Flex ethanol CH4 emission rate BAU = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,0), (1981,00, 0,0), (1982,00, 0,0), (1983,00, 0,0), (1984,00, 0,0), (1985,00, 0,0), (1986,00, 0,0), (1987,00, 0,0), (1988,00, 0,0), (1989,00, 0,0), (1990,00, 0,0), (1991,00, 0,0), (1992,00, 0,0), (1993,00, 0,0), (1994,00, 0,0), (1995,00, 0,0), (1996,00, 0,0), (1997,00, 0,0), (1998,00, 0,0), (1999,00, 0,0), (2000,00, 0,0), (2001,00, 0,0), (2002,00, 0,0), (2003,00, 0,0), (2004,00, 0,0), (2005,00, 0,0), (2006,00, 0,0), (2007,00, 0,0), (2008,00, 0,0), (2009,00, 0,0), (2010,00, 0,0), (2011,00, 0,0), (2012,00, 0,0), (2013,00, 0,0), (2014,00, 0,0), (2015,00, 0,0190909090909), (2016,00, 0,0182231404959), (2017,00, 0,0173948159279), (2018,00, 0,0166041424766), (2019,00, 0,0158494087277), (2020,00, 0,0151289810582), (2021,00, 0,014441300101), (2022,00, 0,0137848773692), (2023,00, 0,0131582920342), (2024,00, 0,0125601878508), (2025,00, 0,0119892702213), (2026,00, 0,011444303393), (2027,00, 0,0109241077842), (2028,00, 0,0104275574304), (2029,00, 0,00995357754721), (2030,00, 0,00950114220416), (2031,00, 0,00906927210397), (2032,00, 0,00865703246288), (2033,00, 0,00826353098729), (2034,00, 0,00788791594242), (2035,00, 0,00752937430867), (2036,00, 0,00718713002191), (2037,00, 0,00686044229364), (2038,00, 0,00654860400757), (2039,00, 0,00625094018904), (2040,00, 0,00596680654409), (2041,00, 0,00569558806481), (2042,00, 0,00543669769823), (2043,00, 0,00518957507558), (2044,00, 0,00495368529942), (2045,00, 0,00472851778581), (2046,00, 0,00451358515918), (2047,00, 0,0043084221974), (2048,00, 0,00411258482479), (2049,00, 0,00392564915094), (2050,00, 0,00374721055317)

Flex ethanol N2O emission rate BAU = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,0), (1981,00, 0,0), (1982,00, 0,0), (1983,00, 0,0), (1984,00, 0,0), (1985,00, 0,0), (1986,00, 0,0), (1987,00, 0,0), (1988,00, 0,0), (1989,00, 0,0), (1990,00, 0,0), (1991,00, 0,0), (1992,00, 0,0), (1993,00, 0,0), (1994,00, 0,0), (1995,00, 0,0), (1996,00, 0,0), (1997,00, 0,0), (1998,00, 0,0), (1999,00, 0,0), (2000,00, 0,0), (2001,00, 0,0), (2002,00, 0,0), (2003,00, 0,0), (2004,00, 0,0), (2005,00, 0,0), (2006,00, 0,0), (2007,00, 0,0), (2008,00, 0,0), (2009,00, 0,0), (2010,00, 0,0), (2011,00, 0,0), (2012,00, 0,0), (2013,00, 0,0), (2014,00, 0,0), (2015,00, 0,017), (2016,00, 0,017), (2017,00, 0,017), (2018,00, 0,017), (2019,00, 0,017), (2020,00, 0,017), (2021,00, 0,017), (2022,00, 0,017), (2023,00, 0,017), (2024,00, 0,017), (2025,00, 0,017), (2026,00, 0,017), (2027,00, 0,017), (2028,00, 0,017), (2029,00, 0,017), (2030,00, 0,017), (2031,00, 0,017), (2032,00, 0,017), (2033,00, 0,017), (2034,00, 0,017), (2035,00, 0,017), (2036,00, 0,017), (2037,00, 0,017), (2038,00, 0,017), (2039,00, 0,017), (2040,00, 0,017), (2041,00, 0,017), (2042,00, 0,017), (2043,00, 0,017), (2044,00, 0,017), (2045,00, 0,017), (2046,00, 0,017), (2047,00, 0,017), (2048,00, 0,017), (2049,00, 0,017), (2050,00, 0,017)

Flex fuel ethanol CH4 emission rate = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,0), (1981,00, 0,0), (1982,00, 0,0), (1983,00, 0,0), (1984,00, 0,0), (1985,00, 0,0), (1986,00, 0,0),

(1987,00, 0,0), (1988,00, 0,0), (1989,00, 0,0), (1990,00, 0,0), (1991,00, 0,0), (1992,00, 0,0), (1993,00, 0,0), (1994,00, 0,0), (1995,00, 0,0), (1996,00, 0,0), (1997,00, 0,0), (1998,00, 0,0), (1999,00, 0,0), (2000,00, 0,0), (2001,00, 0,0), (2002,00, 0,0), (2003,00, 0,04), (2004,00, 0,037), (2005,00, 0,037), (2006,00, 0,034), (2007,00, 0,034), (2008,00, 0,031), (2009,00, 0,039), (2010,00, 0,05), (2011,00, 0,042), (2012,00, 0,028), (2013,00, 0,032), (2014,00, 0,02), (2015,00, 0,0), (2016,00, 0,0), (2017,00, 0,0), (2018,00, 0,0), (2019,00, 0,0), (2020,00, 0,0), (2021,00, 0,0), (2022,00, 0,0), (2023,00, 0,0), (2024,00, 0,0), (2025,00, 0,0), (2026,00, 0,0), (2027,00, 0,0), (2028,00, 0,0), (2029,00, 0,0), (2030,00, 0,0), (2031,00, 0,0), (2032,00, 0,0), (2033,00, 0,0), (2034,00, 0,0), (2035,00, 0,0), (2036,00, 0,0), (2037,00, 0,0), (2038,00, 0,0), (2039,00, 0,0), (2040,00, 0,0), (2041,00, 0,0), (2042,00, 0,0), (2043,00, 0,0), (2044,00, 0,0), (2045,00, 0,0), (2046,00, 0,0), (2047,00, 0,0), (2048,00, 0,0), (2049,00, 0,0), (2050,00, 0,0)

Flex fuel ethanol emission rate = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,0), (1981,00, 0,0), (1982,00, 0,0), (1983,00, 0,0), (1984,00, 0,0), (1985,00, 0,0), (1986,00, 0,0), (1987,00, 0,0), (1988,00, 0,0), (1989,00, 0,0), (1990,00, 0,0), (1991,00, 0,0), (1992,00, 0,0), (1993,00, 0,0), (1994,00, 0,0), (1995,00, 0,0), (1996,00, 0,0), (1997,00, 0,0), (1998,00, 0,0), (1999,00, 0,0), (2000,00, 0,0), (2001,00, 0,0), (2002,00, 0,0), (2003,00, 200,0), (2004,00, 190,0), (2005,00, 180,0), (2006,00, 195,0), (2007,00, 195,0), (2008,00, 175,0), (2009,00, 171,0), (2010,00, 171,0), (2011,00, 170,0), (2012,00, 173,0), (2013,00, 169,0), (2014,00, 165,0), (2015,00, 0,0), (2016,00, 0,0), (2017,00, 0,0), (2018,00, 0,0), (2019,00, 0,0), (2020,00, 0,0), (2021,00, 0,0), (2022,00, 0,0), (2023,00, 0,0), (2024,00, 0,0), (2025,00, 0,0), (2026,00, 0,0), (2027,00, 0,0), (2028,00, 0,0), (2029,00, 0,0), (2030,00, 0,0), (2031,00, 0,0), (2032,00, 0,0), (2033,00, 0,0), (2034,00, 0,0), (2035,00, 0,0), (2036,00, 0,0), (2037,00, 0,0), (2038,00, 0,0), (2039,00, 0,0), (2040,00, 0,0), (2041,00, 0,0), (2042,00, 0,0), (2043,00, 0,0), (2044,00, 0,0), (2045,00, 0,0), (2046,00, 0,0), (2047,00, 0,0), (2048,00, 0,0), (2049,00, 0,0), (2050,00, 0,0)

Flex fuel ethanol emission rate BAU = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,0), (1981,00, 0,0), (1982,00, 0,0), (1983,00, 0,0), (1984,00, 0,0), (1985,00, 0,0), (1986,00, 0,0), (1987,00, 0,0), (1988,00, 0,0), (1989,00, 0,0), (1990,00, 0,0), (1991,00, 0,0), (1992,00, 0,0), (1993,00, 0,0), (1994,00, 0,0), (1995,00, 0,0), (1996,00, 0,0), (1997,00, 0,0), (1998,00, 0,0), (1999,00, 0,0), (2000,00, 0,0), (2001,00, 0,0), (2002,00, 0,0), (2003,00, 0,0), (2004,00, 0,0), (2005,00, 0,0), (2006,00, 0,0), (2007,00, 0,0), (2008,00, 0,0), (2009,00, 0,0), (2010,00, 0,0), (2011,00, 0,0), (2012,00, 0,0), (2013,00, 0,0), (2014,00, 0,0), (2015,00, 157,0), (2016,00, 153,646095683), (2017,00, 150,363838973), (2018,00, 147,1516993), (2019,00, 144,008178794), (2020,00, 140,931811581), (2021,00, 137,921163102), (2022,00, 134,974829444), (2023,00, 132,091436685), (2024,00, 129,269640254), (2025,00, 126,508124302), (2026,00, 123,805601091), (2027,00, 121,160810391), (2028,00, 118,572518894), (2029,00, 116,03951964), (2030,00, 113,56063145), (2031,00, 111,13469838), (2032,00, 108,760589178),

(2033,00, 106,437196761), (2034,00, 104,163437693), (2035,00, 101,938251685), (2036,00, 99,7606010963), (2037,00, 97,6294704552), (2038,00, 95,5438659814), (2039,00, 93,5028151245), (2040,00, 91,5053661101), (2041,00, 89,5505874961), (2042,00, 87,6375677384), (2043,00, 85,7654147656), (2044,00, 83,9332555631), (2045,00, 82,140235766), (2046,00, 80,3855192609), (2047,00, 78,6682877956), (2048,00, 76,9877405981), (2049,00, 75,3430940024), (2050,00, 73,7335810839)

Flex fuel ethanol N2O emission rate = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,0), (1981,00, 0,0), (1982,00, 0,0), (1983,00, 0,0), (1984,00, 0,0), (1985,00, 0,0), (1986,00, 0,0), (1987,00, 0,0), (1988,00, 0,0), (1989,00, 0,0), (1990,00, 0,0), (1991,00, 0,0), (1992,00, 0,0), (1993,00, 0,0), (1994,00, 0,0), (1995,00, 0,0), (1996,00, 0,0), (1997,00, 0,0), (1998,00, 0,0), (1999,00, 0,0), (2000,00, 0,0), (2001,00, 0,0), (2002,00, 0,0), (2003,00, 0,017), (2004,00, 0,017), (2005,00, 0,017), (2006,00, 0,017), (2007,00, 0,017), (2008,00, 0,017), (2009,00, 0,017), (2010,00, 0,017), (2011,00, 0,017), (2012,00, 0,017), (2013,00, 0,017), (2014,00, 0,017), (2015,00, 0,0), (2016,00, 0,0), (2017,00, 0,0), (2018,00, 0,0), (2019,00, 0,0), (2020,00, 0,0), (2021,00, 0,0), (2022,00, 0,0), (2023,00, 0,0), (2024,00, 0,0), (2025,00, 0,0), (2026,00, 0,0), (2027,00, 0,0), (2028,00, 0,0), (2029,00, 0,0), (2030,00, 0,0), (2031,00, 0,0), (2032,00, 0,0), (2033,00, 0,0), (2034,00, 0,0), (2035,00, 0,0), (2036,00, 0,0), (2037,00, 0,0), (2038,00, 0,0), (2039,00, 0,0), (2040,00, 0,0), (2041,00, 0,0), (2042,00, 0,0), (2043,00, 0,0), (2044,00, 0,0), (2045,00, 0,0), (2046,00, 0,0), (2047,00, 0,0), (2048,00, 0,0), (2049,00, 0,0), (2050,00, 0,0)

Flex fuel ethanol proportion BAU = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,0), (1981,00, 0,0), (1982,00, 0,0), (1983,00, 0,0), (1984,00, 0,0), (1985,00, 0,0), (1986,00, 0,0), (1987,00, 0,0), (1988,00, 0,0), (1989,00, 0,0), (1990,00, 0,0), (1991,00, 0,0), (1992,00, 0,0), (1993,00, 0,0), (1994,00, 0,0), (1995,00, 0,0), (1996,00, 0,0), (1997,00, 0,0), (1998,00, 0,0), (1999,00, 0,0), (2000,00, 0,0), (2001,00, 0,0), (2002,00, 0,0), (2003,00, 0,33), (2004,00, 0,6), (2005,00, 0,55), (2006,00, 0,3), (2007,00, 0,55), (2008,00, 0,57), (2009,00, 0,53), (2010,00, 0,53), (2011,00, 0,43), (2012,00, 0,43), (2013,00, 0,33), (2014,00, 0,34), (2015,00, 0,4), (2016,00, 0,36), (2017,00, 0,446), (2018,00, 0,446), (2019,00, 0,446), (2020,00, 0,4464), (2021,00, 0,4464), (2022,00, 0,4464), (2023,00, 0,4464), (2024,00, 0,4464), (2025,00, 0,4464), (2026,00, 0,4464), (2027,00, 0,4464), (2028,00, 0,4464), (2029,00, 0,4464), (2030,00, 0,4464), (2031,00, 0,4464), (2032,00, 0,4464), (2033,00, 0,4464), (2034,00, 0,4464), (2035,00, 0,4464), (2036,00, 0,4464), (2037,00, 0,4464), (2038,00, 0,4464), (2039,00, 0,4464), (2040,00, 0,4464), (2041,00, 0,4464), (2042,00, 0,4464), (2043,00, 0,4464), (2044,00, 0,4464), (2045,00, 0,4464), (2046,00, 0,4464), (2047,00, 0,4464), (2048,00, 0,4464), (2049,00, 0,4464), (2050,00, 0,4464)

Flex fuel petrol CH4 emission rate = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,0), (1981,00, 0,0), (1982,00, 0,0), (1983,00, 0,0), (1984,00, 0,0), (1985,00, 0,0), (1986,00, 0,0),



(1987,00, 0,0), (1988,00, 0,0), (1989,00, 0,0), (1990,00, 0,0), (1991,00, 0,0), (1992,00, 0,0), (1993,00, 0,0), (1994,00, 0,0), (1995,00, 0,0), (1996,00, 0,0), (1997,00, 0,0), (1998,00, 0,0), (1999,00, 0,0), (2000,00, 0,0), (2001,00, 0,0), (2002,00, 0,0), (2003,00, 0,012), (2004,00, 0,02), (2005,00, 0,027), (2006,00, 0,028), (2007,00, 0,028), (2008,00, 0,024), (2009,00, 0,003), (2010,00, 0,009), (2011,00, 0,008), (2012,00, 0,014), (2013,00, 0,006), (2014,00, 0,004), (2015,00, 0,0), (2016,00, 0,0), (2017,00, 0,0), (2018,00, 0,0), (2019,00, 0,0), (2020,00, 0,0), (2021,00, 0,0), (2022,00, 0,0), (2023,00, 0,0), (2024,00, 0,0), (2025,00, 0,0), (2026,00, 0,0), (2027,00, 0,0), (2028,00, 0,0), (2029,00, 0,0), (2030,00, 0,0), (2031,00, 0,0), (2032,00, 0,0), (2033,00, 0,0), (2034,00, 0,0), (2035,00, 0,0), (2036,00, 0,0), (2037,00, 0,0), (2038,00, 0,0), (2039,00, 0,0), (2040,00, 0,0), (2041,00, 0,0), (2042,00, 0,0), (2043,00, 0,0), (2044,00, 0,0), (2045,00, 0,0), (2046,00, 0,0), (2047,00, 0,0), (2048,00, 0,0), (2049,00, 0,0), (2050,00, 0,0)

Flex fuel petrol emission rate = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,0), (1981,00, 0,0), (1982,00, 0,0), (1983,00, 0,0), (1984,00, 0,0), (1985,00, 0,0), (1986,00, 0,0), (1987,00, 0,0), (1988,00, 0,0), (1989,00, 0,0), (1990,00, 0,0), (1991,00, 0,0), (1992,00, 0,0), (1993,00, 0,0), (1994,00, 0,0), (1995,00, 0,0), (1996,00, 0,0), (1997,00, 0,0), (1998,00, 0,0), (1999,00, 0,0), (2000,00, 0,0), (2001,00, 0,0), (2002,00, 0,0), (2003,00, 210,0), (2004,00, 201,0), (2005,00, 188,0), (2006,00, 203,0), (2007,00, 203,0), (2008,00, 181,0), (2009,00, 178,0), (2010,00, 177,0), (2011,00, 178,0), (2012,00, 180,0), (2013,00, 176,0), (2014,00, 173,0), (2015,00, 0,0), (2016,00, 0,0), (2017,00, 0,0), (2018,00, 0,0), (2019,00, 0,0), (2020,00, 0,0), (2021,00, 0,0), (2022,00, 0,0), (2023,00, 0,0), (2024,00, 0,0), (2025,00, 0,0), (2026,00, 0,0), (2027,00, 0,0), (2028,00, 0,0), (2029,00, 0,0), (2030,00, 0,0), (2031,00, 0,0), (2032,00, 0,0), (2033,00, 0,0), (2034,00, 0,0), (2035,00, 0,0), (2036,00, 0,0), (2037,00, 0,0), (2038,00, 0,0), (2039,00, 0,0), (2040,00, 0,0), (2041,00, 0,0), (2042,00, 0,0), (2043,00, 0,0), (2044,00, 0,0), (2045,00, 0,0), (2046,00, 0,0), (2047,00, 0,0), (2048,00, 0,0), (2049,00, 0,0), (2050,00, 0,0)

Flex fuel petrol emission rate BAU = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,0), (1981,00, 0,0), (1982,00, 0,0), (1983,00, 0,0), (1984,00, 0,0), (1985,00, 0,0), (1986,00, 0,0), (1987,00, 0,0), (1988,00, 0,0), (1989,00, 0,0), (1990,00, 0,0), (1991,00, 0,0), (1992,00, 0,0), (1993,00, 0,0), (1994,00, 0,0), (1995,00, 0,0), (1996,00, 0,0), (1997,00, 0,0), (1998,00, 0,0), (1999,00, 0,0), (2000,00, 0,0), (2001,00, 0,0), (2002,00, 0,0), (2003,00, 0,0), (2004,00, 0,0), (2005,00, 0,0), (2006,00, 0,0), (2007,00, 0,0), (2008,00, 0,0), (2009,00, 0,0), (2010,00, 0,0), (2011,00, 0,0), (2012,00, 0,0), (2013,00, 0,0), (2014,00, 0,0), (2015,00, 167,0), (2016,00, 163,61), (2017,00, 160,3), (2018,00, 157,04), (2019,00, 153,86), (2020,00, 150,74), (2021,00, 147,68), (2022,00, 144,69), (2023,00, 141,75), (2024,00, 138,88), (2025,00, 136,06), (2026,00, 133,3), (2027,00, 130,6), (2028,00, 127,95), (2029,00, 125,36), (2030,00, 122,81), (2031,00, 120,32), (2032,00, 117,88), (2033,00, 115,49), (2034,00, 113,15), (2035,00, 110,86), (2036,00, 108,61), (2037,00, 106,41), (2038,00, 104,25), (2039,00, 102,13), (2040,00, 100,06), (2041,00,

98,03), (2042,00, 96,05), (2043,00, 94,1), (2044,00, 92,19), (2045,00, 90,32), (2046,00, 88,49), (2047,00, 86,69), (2048,00, 84,94), (2049,00, 83,21), (2050,00, 81,53)

Flex fuel petrol N2O emission rate = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,0), (1981,00, 0,0), (1982,00, 0,0), (1983,00, 0,0), (1984,00, 0,0), (1985,00, 0,0), (1986,00, 0,0), (1987,00, 0,0), (1988,00, 0,0), (1989,00, 0,0), (1990,00, 0,0), (1991,00, 0,0), (1992,00, 0,0), (1993,00, 0,0), (1994,00, 0,0), (1995,00, 0,0), (1996,00, 0,0), (1997,00, 0,0), (1998,00, 0,0), (1999,00, 0,0), (2000,00, 0,0), (2001,00, 0,0), (2002,00, 0,0), (2003,00, 0,023), (2004,00, 0,022), (2005,00, 0,021), (2006,00, 0,02), (2007,00, 0,02), (2008,00, 0,021), (2009,00, 0,019), (2010,00, 0,019), (2011,00, 0,019), (2012,00, 0,019), (2013,00, 0,019), (2014,00, 0,019), (2015,00, 0,0), (2016,00, 0,0), (2017,00, 0,0), (2018,00, 0,0), (2019,00, 0,0), (2020,00, 0,0), (2021,00, 0,0), (2022,00, 0,0), (2023,00, 0,0), (2024,00, 0,0), (2025,00, 0,0), (2026,00, 0,0), (2027,00, 0,0), (2028,00, 0,0), (2029,00, 0,0), (2030,00, 0,0), (2031,00, 0,0), (2032,00, 0,0), (2033,00, 0,0), (2034,00, 0,0), (2035,00, 0,0), (2036,00, 0,0), (2037,00, 0,0), (2038,00, 0,0), (2039,00, 0,0), (2040,00, 0,0), (2041,00, 0,0), (2042,00, 0,0), (2043,00, 0,0), (2044,00, 0,0), (2045,00, 0,0), (2046,00, 0,0), (2047,00, 0,0), (2048,00, 0,0), (2049,00, 0,0), (2050,00, 0,0)

Flex petrol CH4 emission rate BAU = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,0), (1981,00, 0,0), (1982,00, 0,0), (1983,00, 0,0), (1984,00, 0,0), (1985,00, 0,0), (1986,00, 0,0), (1987,00, 0,0), (1988,00, 0,0), (1989,00, 0,0), (1990,00, 0,0), (1991,00, 0,0), (1992,00, 0,0), (1993,00, 0,0), (1994,00, 0,0), (1995,00, 0,0), (1996,00, 0,0), (1997,00, 0,0), (1998,00, 0,0), (1999,00, 0,0), (2000,00, 0,0), (2001,00, 0,0), (2002,00, 0,0), (2003,00, 0,0), (2004,00, 0,0), (2005,00, 0,0), (2006,00, 0,0), (2007,00, 0,0), (2008,00, 0,0), (2009,00, 0,0), (2010,00, 0,0), (2011,00, 0,0), (2012,00, 0,0), (2013,00, 0,0), (2014,00, 0,0), (2015,00, 0,0037575757575758), (2016,00, 0,00352984389348), (2017,00, 0,00331591396054), (2018,00, 0,00311494947808), (2019,00, 0,00292616466123), (2020,00, 0,00274882134843), (2021,00, 0,00258222611519), (2022,00, 0,00242572756276), (2023,00, 0,00227871377107), (2024,00, 0,00214060990616), (2025,00, 0,00201087597245), (2026,00, 0,0018890047014), (2027,00, 0,00177451956798), (2028,00, 0,00166697292749), (2029,00, 0,00156594426522), (2030,00, 0,00147103855218), (2031,00, 0,00138188470053), (2032,00, 0,00129813411262), (2033,00, 0,00121945931792), (2034,00, 0,00114555269259), (2035,00, 0,00107612525667), (2036,00, 0,00101090554415), (2037,00, 0,000949638541472), (2038,00, 0,000892084690473), (2039,00, 0,000838018951657), (2040,00, 0,000787229924284), (2041,00, 0,000739519019782), (2042,00, 0,000694699685249), (2043,00, 0,000652596674022), (2044,00, 0,000613045360445), (2045,00, 0,000575891096176), (2046,00, 0,000540988605498), (2047,00, 0,000508201417286), (2048,00, 0,00047740133139), (2049,00, 0,000448467917367), (2050,00, 0,000421288043587)

Flex petrol N2O emission rate BAU = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,0), (1981,00, 0,0), (1982,00, 0,0), (1983,00, 0,0), (1984,00, 0,0), (1985,00, 0,0), (1986,00, 0,0), (1987,00, 0,0), (1988,00, 0,0), (1989,00, 0,0), (1990,00, 0,0), (1991,00, 0,0), (1992,00,

0,0), (1993,00, 0,0), (1994,00, 0,0), (1995,00, 0,0), (1996,00, 0,0), (1997,00, 0,0), (1998,00, 0,0), (1999,00, 0,0), (2000,00, 0,0), (2001,00, 0,0), (2002,00, 0,0), (2003,00, 0,0), (2004,00, 0,0), (2005,00, 0,0), (2006,00, 0,0), (2007,00, 0,0), (2008,00, 0,0), (2009,00, 0,0), (2010,00, 0,0), (2011,00, 0,0), (2012,00, 0,0), (2013,00, 0,0), (2014,00, 0,0), (2015,00, 0,019), (2016,00, 0,019), (2017,00, 0,019), (2018,00, 0,019), (2019,00, 0,019), (2020,00, 0,019), (2021,00, 0,019), (2022,00, 0,019), (2023,00, 0,019), (2024,00, 0,019), (2025,00, 0,019), (2026,00, 0,019), (2027,00, 0,019), (2028,00, 0,019), (2029,00, 0,019), (2030,00, 0,019), (2031,00, 0,019), (2032,00, 0,019), (2033,00, 0,019), (2034,00, 0,019), (2035,00, 0,019), (2036,00, 0,019), (2037,00, 0,019), (2038,00, 0,019), (2039,00, 0,019), (2040,00, 0,019), (2041,00, 0,019), (2042,00, 0,019), (2043,00, 0,019), (2044,00, 0,019), (2045,00, 0,019), (2046,00, 0,019), (2047,00, 0,019), (2048,00, 0,019), (2049,00, 0,019), (2050,00, 0,019)

flexfuel powered by ethanol rate = 0,5

Frota estimada 1980 MMA 2013 = 7121867

Frota estimada 2000 ANFAVEA 2017 = 15531100

Frota estimada 2010 = 24002340

Gasol kmL inventario = GRAPH(TIME) (2006,00, 11,30), (2007,00, 11,30), (2008,00, 9,74), (2009,00, 9,90), (2010,00, 10,40), (2011,00, 11,20), (2012,00, 11,30), (2013,00, 10,00), (2014,00, 10,00), (2015,00, 10,00), (2016,00, 10,00), (2017,00, 10,00), (2018,00, 10,00), (2019,00, 10,00), (2020,00, 10,00), (2021,00, 10,00), (2022,00, 10,00), (2023,00, 10,00), (2024,00, 10,00), (2025,00, 10,00), (2026,00, 10,00), (2027,00, 10,00), (2028,00, 10,00), (2029,00, 10,00), (2030,00, 10,00), (2031,00, 10,00), (2032,00, 10,00), (2033,00, 10,00), (2034,00, 10,00), (2035,00, 10,00), (2036,00, 10,00), (2037,00, 10,00), (2038,00, 10,00), (2039,00, 10,00), (2040,00, 10,00), (2041,00, 10,00), (2042,00, 10,00), (2043,00, 10,00), (2044,00, 10,00), (2045,00, 10,00), (2046,00, 10,00), (2047,00, 10,00), (2048,00, 10,00), (2049,00, 10,00), (2050,00, 10,00)

Gasoline C CO2 emission rate = GRAPH(TIME) (1980,00, 174,72), (1981,00, 174,72), (1982,00, 174,72), (1983,00, 174,72), (1984,00, 174,72), (1985,00, 174,72), (1986,00, 174,72), (1987,00, 174,72), (1988,00, 174,72), (1989,00, 174,72), (1990,00, 177,11), (1991,00, 178,7), (1992,00, 193,4), (1993,00, 193,4), (1994,00, 193,4), (1995,00, 206,9), (1996,00, 202,45), (1997,00, 202,45), (1998,00, 202,45), (1999,00, 202,45), (2000,00, 202,45), (2001,00, 202,45), (2002,00, 198,0), (2003,00, 194,0), (2004,00, 190,0), (2005,00, 192,0), (2006,00, 174,0), (2007,00, 174,0), (2008,00, 201,0), (2009,00, 222,0), (2010,00, 207,0), (2011,00, 198,0), (2012,00, 199,0), (2013,00, 220,0), (2014,00, 205,0), (2015,00, 187,0), (2016,00, 185,877573848), (2017,00, 184,761884811), (2018,00, 183,65289245), (2019,00, 182,550556571), (2020,00, 181,454837219), (2021,00, 180,365694681), (2022,00, 179,283089479), (2023,00, 178,206982376), (2024,00, 177,137334368), (2025,00, 176,074106686),

(2026,00, 175,017260793), (2027,00, 173,966758383), (2028,00, 172,922561382), (2029,00, 171,884631943), (2030,00, 170,852932445), (2031,00, 170,852932445), (2032,00, 170,852932445), (2033,00, 170,852932445), (2034,00, 170,852932445), (2035,00, 170,852932445), (2036,00, 170,852932445), (2037,00, 170,852932445), (2038,00, 170,852932445), (2039,00, 170,852932445), (2040,00, 170,852932445), (2041,00, 170,852932445), (2042,00, 170,852932445), (2043,00, 170,852932445), (2044,00, 170,852932445), (2045,00, 170,852932445), (2046,00, 170,852932445), (2047,00, 170,852932445), (2048,00, 170,852932445), (2049,00, 170,852932445), (2050,00, 170,852932445)

grams CH4 emission per year(Year1) = g CH4 per Km per car year 3(Year1) X Intensity of use 3(Year1) grams CH4 emission per year(Year2) = g CH4 per Km per car year 3(Year2) X Intensity of use 3(Year2) grams CH4 emission per year(Year3) = g CH4 per Km per car year 3(Year3) X Intensity of use 3(Year3) grams CH4 emission per year(Year4) = g CH4 per Km per car year 3(Year4) X Intensity of use 3(Year4) grams CH4 emission per year(Year5) = g CH4 per Km per car year 3(Year5) X Intensity of use 3(Year5) grams CH4 emission per year(Year6) = g CH4 per Km per car year 3(Year6) X Intensity of use 3(Year6) grams CH4 emission per year(Year7) = g CH4 per Km per car year 3(Year7) X Intensity of use 3(Year7) grams CH4 emission per year(Year8) = g CH4 per Km per car year 3(Year8) X Intensity of use 3(Year8) grams CH4 emission per year(Year9) = g CH4 per Km per car year 3(Year9) X Intensity of use 3(Year9) grams CH4 emission per year(Year10) = g CH4 per Km per car year 3(Year10) X Intensity of use 3(Year10) grams CH4 emission per year(Year11) = g CH4 per Km per car year 3(Year11) X Intensity of use 3(Year11) grams CH4 emission per year(Year12) = g CH4 per Km per car year 3(Year12) X Intensity of use 3(Year12) grams CH4 emission per year(Year13) = g CH4 per Km per car year 3(Year13) X Intensity of use 3(Year13) grams CH4 emission per year(Year14) = g CH4 per Km per car year 3(Year14) X Intensity of use 3(Year14) grams CH4 emission per year(Year15) = g CH4 per Km per car year 3(Year15) X Intensity of use 3(Year15) grams CH4 emission per year(Year16) = g CH4 per Km per car year 3(Year16) X Intensity of use 3(Year16) grams CH4 emission per year(Year17) = g CH4 per Km per car year 3(Year17) X Intensity of use 3(Year17) grams CH4 emission per year(Year18) = g CH4 per Km per car year 3(Year18) X Intensity of use 3(Year18) grams CH4 emission per year(Year19) = g CH4 per Km per car year 3(Year19) X Intensity of use 3(Year19) grams CH4 emission per year(Year20) = g CH4 per Km per car year 3(Year20) X Intensity of use 3(Year20) grams CH4 emission per year(Year20plus) = g CH4 per Km per car year 3(Year20plus) X Intensity of use 3(Year20plus) grams CO2 emission per year 2(Year1) = g CO2 per Km per car year 2(Year1) X VKT per year(Year1) grams CO2 emission per year 2(Year2) = g CO2 per Km per car year 2(Year2) X VKT per year(Year2) grams CO2 emission per year 2(Year3) = g CO2 per Km per car year 2(Year3) X VKT per year(Year3) grams CO2 emission per

year 2(Year4) = g CO2 per Km per car year 2(Year4) X VKT per year(Year4) grams CO2  
emission per year 2(Year5) = g CO2 per Km per car year 2(Year5) X VKT per year(Year5)  
grams CO2 emission per year 2(Year6) = g CO2 per Km per car year 2(Year6) X VKT  
per year(Year6) grams CO2 emission per year 2(Year7) = g CO2 per Km per car year  
2(Year7) X VKT per year(Year7) grams CO2 emission per year 2(Year8) = g CO2 per  
Km per car year 2(Year8) X VKT per year(Year8) grams CO2 emission per year 2(Year9)  
= g CO2 per Km per car year 2(Year9) X VKT per year(Year9) grams CO2 emission  
per year 2(Year10) = g CO2 per Km per car year 2(Year10) X VKT per year(Year10)  
grams CO2 emission per year 2(Year11) = g CO2 per Km per car year 2(Year11) X  
VKT per year(Year11) grams CO2 emission per year 2(Year12) = g CO2 per Km per  
car year 2(Year12) X VKT per year(Year12) grams CO2 emission per year 2(Year13) =  
g CO2 per Km per car year 2(Year13) X VKT per year(Year13) grams CO2 emission  
per year 2(Year14) = g CO2 per Km per car year 2(Year14) X VKT per year(Year14)  
grams CO2 emission per year 2(Year15) = g CO2 per Km per car year 2(Year15) X  
VKT per year(Year15) grams CO2 emission per year 2(Year16) = g CO2 per Km per  
car year 2(Year16) X VKT per year(Year16) grams CO2 emission per year 2(Year17) =  
g CO2 per Km per car year 2(Year17) X VKT per year(Year17) grams CO2 emission  
per year 2(Year18) = g CO2 per Km per car year 2(Year18) X VKT per year(Year18)  
grams CO2 emission per year 2(Year19) = g CO2 per Km per car year 2(Year19) X  
VKT per year(Year19) grams CO2 emission per year 2(Year20) = g CO2 per Km per car  
year 2(Year20) X VKT per year(Year20) grams CO2 emission per year 2(Year20plus)  
= g CO2 per Km per car year 2(Year20plus) X VKT per year(Year20plus) grams N2O  
emission per year(Year1) = g N2O per Km per car year 4(Year1) X Intensity of use  
4(Year1) grams N2O emission per year(Year2) = g N2O per Km per car year 4(Year2)  
X Intensity of use 4(Year2) grams N2O emission per year(Year3) = g N2O per Km per  
car year 4(Year3) X Intensity of use 4(Year3) grams N2O emission per year(Year4) = g  
N2O per Km per car year 4(Year4) X Intensity of use 4(Year4) grams N2O emission per  
year(Year5) = g N2O per Km per car year 4(Year5) X Intensity of use 4(Year5) grams  
N2O emission per year(Year6) = g N2O per Km per car year 4(Year6) X Intensity of use  
4(Year6) grams N2O emission per year(Year7) = g N2O per Km per car year 4(Year7)  
X Intensity of use 4(Year7) grams N2O emission per year(Year8) = g N2O per Km per  
car year 4(Year8) X Intensity of use 4(Year8) grams N2O emission per year(Year9) = g  
N2O per Km per car year 4(Year9) X Intensity of use 4(Year9) grams N2O emission per  
year(Year10) = g N2O per Km per car year 4(Year10) X Intensity of use 4(Year10) grams  
N2O emission per year(Year11) = g N2O per Km per car year 4(Year11) X Intensity of  
use 4(Year11) grams N2O emission per year(Year12) = g N2O per Km per car year  
4(Year12) X Intensity of use 4(Year12) grams N2O emission per year(Year13) = g N2O  
per Km per car year 4(Year13) X Intensity of use 4(Year13) grams N2O emission per  
year(Year14) = g N2O per Km per car year 4(Year14) X Intensity of use 4(Year14) grams

$N_2O$  emission per year(Year15) = g  $N_2O$  per Km per car year 4(Year15) X Intensity of use 4(Year15) grams  $N_2O$  emission per year(Year16) = g  $N_2O$  per Km per car year 4(Year16) X Intensity of use 4(Year16) grams  $N_2O$  emission per year(Year17) = g  $N_2O$  per Km per car year 4(Year17) X Intensity of use 4(Year17) grams  $N_2O$  emission per year(Year18) = g  $N_2O$  per Km per car year 4(Year18) X Intensity of use 4(Year18) grams  $N_2O$  emission per year(Year19) = g  $N_2O$  per Km per car year 4(Year19) X Intensity of use 4(Year19) grams  $N_2O$  emission per year(Year20) = g  $N_2O$  per Km per car year 4(Year20) X Intensity of use 4(Year20) grams  $N_2O$  emission per year(Year20plus) = g  $N_2O$  per Km per car year 4(Year20plus) X Intensity of use 4(Year20plus)

HEV Adoption by imitation = HEV Adopters X HEV Potential adopters X HEVqStep/(HEV Potential Market)

HEV Adoption by innovation = HEV Potential adopters X HEVpStep

HEV Emission on electricity source(Year) = HEV Adopters X EV Efficiency kWh per km X SIN CO<sub>2</sub> per kWh X VKT per year(Year) X HEV Grid Electricity Use factor

HEV Emission on site(Year) = HEV Adopters X CO<sub>2</sub> emission rate BAU X VKT per year(Year) X (1-HEV Epower train use rate)

HEV emission on source = SUM(HEV Emission on electricity source)

HEV Epower train use rate = 0,5

HEV Fleet mi = HEV Adopters/10<sup>6</sup>

HEV historico = GRAPH(TIME) (2006,00, 1), (2007,00, 5), (2008,00, 15), (2009,00, 28), (2010,00, 209), (2011,00, 417), (2012,00, 678), (2013,00, 1199), (2014,00, 1957), (2015,00, 2828), (2016,00, 4180), (2017,00, 7531), (2018,00, 8946)

HEV local emission = SUM(HEV Emission on site)

HEV Market Share = 0,33 UNITS: Dimensionless

HEV p = 0,0001

HEV Potential Market = HEV Market Growth UNITS: vehicle

HEV q = 0,401

HEV Sales = Vendas anuais VE X HEV Market Share UNITS: vehicle/year

HEVpStep = STEP(HEV p; 2006)

HEVqStep = STEP(HEV q; 2006)

Historico frota circulante = GRAPH(TIME) (1980,00, 7121867,0), (1981,00, 7378114,0), (1982,00, 7713813,0), (1983,00, 8071429,0), (1984,00, 8322118,0), (1985,00, 8611972,0), (1986,00, 8942225,0), (1987,00, 8982450,0), (1988,00, 9142705,0), (1989,00, 9288751,0), (1990,00, 9379570,0), (1991,00, 9516078,0), (1992,00, 9635000,0), (1993,00, 10050000,0), (1994,00, 10670000,0), (1995,00, 11550000,0), (1996,00, 12430000,0), (1997,00, 13450000,0), (1998,00, 14100000,0), (1999,00, 14530000,0), (2000,00, 15530000,0), (2001,00, 16210000,0), (2002,00, 16880000,0), (2003,00, 17460000,0), (2004,00, 18140000,0), (2005,00, 18930000,0), (2006,00, 19890000,0), (2007,00, 21300000,0), (2008,00, 22920000,0), (2009,00,

24810000,0), (2010,00, 26890000,0), (2011,00, 28950000,0), (2012,00, 31120000,0), (2013,00, 33090000,0), (2014,00, 34680000,0), (2015,00, 35470000,0), (2016,00, 35750000,0), (2017,00, 0,0), (2018,00, 0,0), (2019,00, 0,0), (2020,00, 0,0), (2021,00, 0,0), (2022,00, 0,0), (2023,00, 0,0), (2024,00, 0,0), (2025,00, 0,0), (2026,00, 0,0), (2027,00, 0,0), (2028,00, 0,0), (2029,00, 0,0), (2030,00, 0,0), (2031,00, 0,0), (2032,00, 0,0), (2033,00, 0,0), (2034,00, 0,0), (2035,00, 0,0), (2036,00, 0,0), (2037,00, 0,0), (2038,00, 0,0), (2039,00, 0,0), (2040,00, 0,0), (2041,00, 0,0), (2042,00, 0,0), (2043,00, 0,0), (2044,00, 0,0), (2045,00, 0,0), (2046,00, 0,0), (2047,00, 0,0), (2048,00, 0,0), (2049,00, 0,0), (2050,00, 0,0)

Historico Taxa adocao 1980 2016 = GRAPH(TIME) (1980,00, 797395), (1981,00, 449872), (1982,00, 559191), (1983,00, 610126), (1984,00, 533424), (1985,00, 603623), (1986,00, 675353), (1987,00, 413438), (1988,00, 559542), (1989,00, 569231), (1990,00, 534769), (1991,00, 604510), (1992,00, 600189), (1993,00, 910605), (1994,00, 1135000), (1995,00, 1416000), (1996,00, 1429000), (1997,00, 1605000), (1998,00, 1246000), (1999,00, 1036000), (2000,00, 1205000), (2001,00, 1318000), (2002,00, 1243000), (2003,00, 1216000), (2004,00, 1315000), (2005,00, 1440000), (2006,00, 1633000), (2007,00, 2086000), (2008,00, 2341000), (2009,00, 2644000), (2010,00, 2857000), (2011,00, 2902000), (2012,00, 3115000), (2013,00, 3041000), (2014,00, 2795000), (2015,00, 2123000), (2016,00, 1677000), (2017,00, 0), (2018,00, 0), (2019,00, 0), (2020,00, 0), (2021,00, 0), (2022,00, 0), (2023,00, 0), (2024,00, 0), (2025,00, 0), (2026,00, 0), (2027,00, 0), (2028,00, 0), (2029,00, 0), (2030,00, 0), (2031,00, 0), (2032,00, 0), (2033,00, 0), (2034,00, 0), (2035,00, 0), (2036,00, 0), (2037,00, 0), (2038,00, 0), (2039,00, 0), (2040,00, 0), (2041,00, 0), (2042,00, 0), (2043,00, 0), (2044,00, 0), (2045,00, 0), (2046,00, 0), (2047,00, 0), (2048,00, 0), (2049,00, 0), (2050,00, 0)

Historico Taxa adocao 1980 2020 = GRAPH(TIME) (1980,00, 797395), (1981,00, 449872), (1982,00, 559191), (1983,00, 610126), (1984,00, 533424), (1985,00, 603623), (1986,00, 675353), (1987,00, 413438), (1988,00, 559542), (1989,00, 569231), (1990,00, 534769), (1991,00, 604510), (1992,00, 600189), (1993,00, 910605), (1994,00, 1135000), (1995,00, 1416000), (1996,00, 1429000), (1997,00, 1605000), (1998,00, 1246000), (1999,00, 1036000), (2000,00, 1205000), (2001,00, 1318000), (2002,00, 1243000), (2003,00, 1216000), (2004,00, 1315000), (2005,00, 1440000), (2006,00, 1633000), (2007,00, 2086000), (2008,00, 2341000), (2009,00, 2644000), (2010,00, 2857000), (2011,00, 2902000), (2012,00, 3115000), (2013,00, 3041000), (2014,00, 2795000), (2015,00, 2123000), (2016,00, 1688289), (2017,00, 1856580), (2018,00, 2102114), (2019,00, 2262069), (2020,00, 2262069), (2021,00, 2262069), (2022,00, 2262069), (2023,00, 2262069), (2024,00, 2262069), (2025,00, 2262069), (2026,00, 2262069), (2027,00, 2262069), (2028,00, 2262069), (2029,00, 2262069), (2030,00, 2262069), (2031,00, 2262069), (2032,00, 2262069),

(2033,00, 2262069), (2034,00, 2262069), (2035,00, 2262069), (2036,00, 2262069),  
 (2037,00, 2262069), (2038,00, 2262069), (2039,00, 2262069), (2040,00, 2262069),  
 (2041,00, 2262069), (2042,00, 2262069), (2043,00, 2262069), (2044,00, 2262069),  
 (2045,00, 2262069), (2046,00, 2262069), (2047,00, 2262069), (2048,00, 2262069),  
 (2049,00, 2262069), (2050,00, 2262069)

HPEV Emission on electricity source(Year) = PHEV Adopters X EV Efficiency  
 kWh per km X SIN CO2 per kWh X VKT per year(Year) X Grid Electricity Use factor

HPEV Emission on site(Year) = PHEV Adopters X CO2 emission rate BAU X  
 VKT per year(Year) X (1-Grid Electricity Use factor)

HPEV emission on source = SUM(HPEV Emission on electricity source)

HPEV Fleet mi = PHEV Adopters/10<sup>6</sup>

HPEV local emission = SUM(HPEV Emission on site)

HPEV total emission = HPEV emission on source+HPEV local emission

ICE Fleet mi = Total ICE Fleet/10<sup>6</sup>

ICE Market Share = 1-EV Market Share UNITS: Dimensionless

ICE Total emission = SUM(grams CO2 emission per year 2)

Increase rate 2002 = GRAPH(TIME) (2000,00, 0,024), (2001,00, 0,027),  
 (2002,00, 0,025), (2003,00, 0,024), (2004,00, 0,023), (2005,00, 0,022), (2006,00,  
 0,021), (2007,00, 0,02), (2008,00, 0,019), (2009,00, 0,019), (2010,00, 0,018), (2011,00,  
 0,018), (2012,00, 0,017), (2013,00, 0,017), (2014,00, 0,016), (2015,00, 0,016),  
 (2016,00, 0,015), (2017,00, 0,015), (2018,00, 0,014), (2019,00, 0,014), (2020,00,  
 0,014), (2021,00, 0,014), (2022,00, 0,013), (2023,00, 0,012), (2024,00, 0,012),  
 (2025,00, 0,011), (2026,00, 0,01), (2027,00, 0,009), (2028,00, 0,009), (2029,00, 0,008),  
 (2030,00, 0,007), (2031,00, 0,006), (2032,00, 0,005), (2033,00, 0,005), (2034,00,  
 0,005), (2035,00, 0,004), (2036,00, 0,004), (2037,00, 0,003), (2038,00, 0,003),  
 (2039,00, 0,002), (2040,00, 0,002), (2041,00, 0,001), (2042,00, 0,001), (2043,00, 0),  
 (2044,00, -0,001), (2045,00, -0,001), (2046,00, -0,001), (2047,00, -0,001), (2048,00,  
 -0,002), (2049,00, -0,002), (2050,00, -0,002)

inicial sinwave vendas = 0,35

initial BEV Potential Adopters = 1020 UNITS: vehicle

initial HEV Potential Adopters = 425110 UNITS: vehicle

Initial PA = Populacao acima 20 abaixo 80 anos 2011-Frota estimada 1980 MMA  
 2013

initial PHEV Potential Adopters = 1000 UNITS: vehicle

Intensity of use 3(Year1) = 10000 Intensity of use 3(Year2) = 19400 Intensity of  
 use 3(Year3) = 18800 Intensity of use 3(Year4) = 18200 Intensity of use 3(Year5) =  
 17600 Intensity of use 3(Year6) = 17000 Intensity of use 3(Year7) = 16400 Intensity of  
 use 3(Year8) = 15800 Intensity of use 3(Year9) = 15200 Intensity of use 3(Year10) =  
 14600 Intensity of use 3(Year11) = 14000 Intensity of use 3(Year12) = 13400 Intensity



of use 3(Year13) = 12800 Intensity of use 3(Year14) = 12200 Intensity of use 3(Year15) = 11600 Intensity of use 3(Year16) = 11000 Intensity of use 3(Year17) = 10400 Intensity of use 3(Year18) = 9800 Intensity of use 3(Year19) = 9200 Intensity of use 3(Year20) = 8600 Intensity of use 3(Year20plus) = 2672 Intensity of use 4(Year1) = 10000 Intensity of use 4(Year2) = 19400 Intensity of use 4(Year3) = 18800 Intensity of use 4(Year4) = 18200 Intensity of use 4(Year5) = 17600 Intensity of use 4(Year6) = 17000 Intensity of use 4(Year7) = 16400 Intensity of use 4(Year8) = 15800 Intensity of use 4(Year9) = 15200 Intensity of use 4(Year10) = 14600 Intensity of use 4(Year11) = 14000 Intensity of use 4(Year12) = 13400 Intensity of use 4(Year13) = 12800 Intensity of use 4(Year14) = 12200 Intensity of use 4(Year15) = 11600 Intensity of use 4(Year16) = 11000 Intensity of use 4(Year17) = 10400 Intensity of use 4(Year18) = 9800 Intensity of use 4(Year19) = 9200 Intensity of use 4(Year20) = 8600 Intensity of use 4(Year20plus) = 2672

maxima = 3110000 UNITS: vehicle/year

MCTIC Benchmark = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,0), (1981,00, 0,0), (1982,00, 0,0), (1983,00, 0,0), (1984,00, 0,0), (1985,00, 0,0), (1986,00, 0,0), (1987,00, 0,0), (1988,00, 0,0), (1989,00, 0,0), (1990,00, 0,0), (1991,00, 0,0), (1992,00, 0,0), (1993,00, 0,0), (1994,00, 0,0), (1995,00, 0,0), (1996,00, 0,0), (1997,00, 0,0), (1998,00, 0,0), (1999,00, 0,0), (2000,00, 0,0), (2001,00, 0,0), (2002,00, 0,0), (2003,00, 0,0), (2004,00, 0,0), (2005,00, 0,0), (2006,00, 0,0), (2007,00, 0,0), (2008,00, 0,0), (2009,00, 0,0), (2010,00, 0,0), (2011,00, 0,0), (2012,00, 0,0), (2013,00, 0,0), (2014,00, 0,0), (2015,00, 0,0), (2016,00, 0,0), (2017,00, 0,0), (2018,00, 0,0), (2019,00, 0,0), (2020,00, 0,0), (2021,00, 0,0), (2022,00, 0,0), (2023,00, 0,0), (2024,00, 0,0), (2025,00, 71,0), (2026,00, 0,0), (2027,00, 0,0), (2028,00, 0,0), (2029,00, 0,0), (2030,00, 75,0), (2031,00, 0,0), (2032,00, 0,0), (2033,00, 0,0), (2034,00, 0,0), (2035,00, 0,0), (2036,00, 0,0), (2037,00, 0,0), (2038,00, 0,0), (2039,00, 0,0), (2040,00, 0,0), (2041,00, 0,0), (2042,00, 0,0), (2043,00, 0,0), (2044,00, 0,0), (2045,00, 0,0), (2046,00, 0,0), (2047,00, 0,0), (2048,00, 0,0), (2049,00, 0,0), (2050,00, 0,0)

MP pos ajuste historico = 95080610

N2O emission per car average 4 = SUM(grams N2O emission per year)/SUM(total vehicle usage 4) N2O emission rate = (Petrol N2O emission rate X New petrol licensing proportion) + (Ethanol N2O emission rate X New ethanol licensing proportion) + ( (Flex fuel petrol N2O emission rate+Flex petrol N2O emission rate BAU) X New flex fuels licensing proportion X (1-flexfuel powered by ethanol rate) ) + ( (Flex fuel ethanol N2O emission rate+Flex ethanol N2O emission rate BAU) X New flex fuels licensing proportion X flexfuel powered by ethanol rate ) N2O estimate emission rate since 1980 = 0,006 N2O validation = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,00556862156949), (1981,00, 0,00557335455648), (1982,00, 0,00511534873601), (1983,00, 0,00676762220936), (1984,00, 0,00589111980124), (1985,00, 0,00591933948654), (1986,00, 0,00583876787157), (1987,00, 0,00588000106657), (1988,00, 0,00576466669055), (1989,00, 0,00521665795508),

(1990,00, 0,00402986254726), (1991,00, 0,00442817402952), (1992,00, 0,00407315541532), (1993,00, 0,00450120290108), (1994,00, 0,0214737699461), (1995,00, 0,0218839886846), (1996,00, 0,0219778205824), (1997,00, 0,0219971132956), (1998,00, 0,0219960434049), (1999,00, 0,0219523226899), (2000,00, 0,0219959711432), (2001,00, 0,0219430358807), (2002,00, 0,0218073215062), (2003,00, 0,0208469242439), (2004,00, 0,0205235761692), (2005,00, 0,0198610994574), (2006,00, 0,0185500862336), (2007,00, 0,0187814294025), (2008,00, 0,0194451160906), (2009,00, 0,0184799583316), (2010,00, 0,0180505853746), (2011,00, 0,0183657893767), (2012,00, 0,0180268704932), (2013,00, 0,018180957201), (2014,00, 0,0181955634254), (2015,00, 0,018191884573), (2016,00, 0,0181438963207), (2017,00, 0,0181079094102), (2018,00, 0,0180809224361), (2019,00, 0,0180606846118), (2020,00, 0,018045508048), (2021,00, 0,0180341269784), (2022,00, 0,0180255921909), (2023,00, 0,0180191918613), (2024,00, 0,018), (2025,00, 0,018), (2026,00, 0,018), (2027,00, 0,018), (2028,00, 0,018), (2029,00, 0,018), (2030,00, 0,018), (2031,00, 0,018), (2032,00, 0,018), (2033,00, 0,018), (2034,00, 0,018), (2035,00, 0,018), (2036,00, 0,018), (2037,00, 0,018), (2038,00, 0,018), (2039,00, 0,018), (2040,00, 0,018), (2041,00, 0,018), (2042,00, 0,018), (2043,00, 0,018), (2044,00, 0,018), (2045,00, 0,018), (2046,00, 0,018), (2047,00, 0,018), (2048,00, 0,018), (2049,00, 0,018), (2050,00, 0,018)

New ethanol licensing proportion = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,284310784743), (1981,00, 0,286677278242), (1982,00, 0,0576743680052), (1983,00, 0,883811104678), (1984,00, 0,945559900622), (1985,00, 0,95966974327), (1986,00, 0,919383935785), (1987,00, 0,940000533285), (1988,00, 0,882333345273), (1989,00, 0,608328977542), (1990,00, 0,0149312736323), (1991,00, 0,214087014761), (1992,00, 0,0365777076579), (1993,00, 0,250601450538), (1994,00, 0,105246010773), (1995,00, 0,0232022630835), (1996,00, 0,00443588351691), (1997,00, 0,000577340870423), (1998,00, 0,000791319020827), (1999,00, 0,00953546202609), (2000,00, 0,000805771368872), (2001,00, 0,0113928238672), (2002,00, 0,0385356987697), (2003,00, 0,0295314781026), (2004,00, 0,0384326284921), (2005,00, 0,0216087710466), (2006,00, 0,00121012931745), (2007,00, 0,0000435244977636), (2008,00, 0,0000301702030455), (2009,00, 0,000023225239515), (2010,00, 0,0000169422672989), (2011,00, 0,0000153027829502), (2012,00, 0,0000160823697022), (2013,00, 0,00000961804424698), (2014,00, 0,00000361149292617), (2015,00, 0,0), (2016,00, 0,0), (2017,00, 0,0), (2018,00, 0,0), (2019,00, 0,0), (2020,00, 0,0), (2021,00, 0,0), (2022,00, 0,0), (2023,00, 0,0), (2024,00, 0,0), (2025,00, 0,0), (2026,00, 0,0), (2027,00, 0,0), (2028,00, 0,0), (2029,00, 0,0), (2030,00, 0,0), (2031,00, 0,0), (2032,00, 0,0), (2033,00, 0,0), (2034,00, 0,0), (2035,00, 0,0), (2036,00, 0,0), (2037,00, 0,0), (2038,00, 0,0), (2039,00, 0,0), (2040,00, 0,0), (2041,00, 0,0), (2042,00, 0,0), (2043,00, 0,0), (2044,00, 0,0), (2045,00, 0,0), (2046,00, 0,0), (2047,00, 0,0), (2048,00, 0,0), (2049,00, 0,0), (2050,00, 0,0)

New flex fuels licensing proportion = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,0), (1981,00,

0,0), (1982,00, 0,0), (1983,00, 0,0), (1984,00, 0,0), (1985,00, 0,0), (1986,00, 0,0), (1987,00, 0,0), (1988,00, 0,0), (1989,00, 0,0), (1990,00, 0,0), (1991,00, 0,0), (1992,00, 0,0), (1993,00, 0,0), (1994,00, 0,0), (1995,00, 0,0), (1996,00, 0,0), (1997,00, 0,0), (1998,00, 0,0), (1999,00, 0,0), (2000,00, 0,0), (2001,00, 0,0), (2002,00, 0,0), (2003,00, 0,034949843689), (2004,00, 0,215128877913), (2005,00, 0,526232729205), (2006,00, 0,978029299642), (2007,00, 0,887062633203), (2008,00, 0,910831964899), (2009,00, 0,919914043769), (2010,00, 0,989804990653), (2011,00, 0,877963088296), (2012,00, 0,990930592338), (2013,00, 0,93961360668), (2014,00, 0,934786911083), (2015,00, 0,936038475683), (2016,00, 0,952034559778), (2017,00, 0,964030196587), (2018,00, 0,973025854624), (2019,00, 0,97977179607), (2020,00, 0,984830650665), (2021,00, 0,988624340547), (2022,00, 0,991469269701), (2023,00, 0,993602712903), (2024,00, 1,0), (2025,00, 1,0), (2026,00, 1,0), (2027,00, 1,0), (2028,00, 1,0), (2029,00, 1,0), (2030,00, 1,0), (2031,00, 1,0), (2032,00, 1,0), (2033,00, 1,0), (2034,00, 1,0), (2035,00, 1,0), (2036,00, 1,0), (2037,00, 1,0), (2038,00, 1,0), (2039,00, 1,0), (2040,00, 1,0), (2041,00, 1,0), (2042,00, 1,0), (2043,00, 1,0), (2044,00, 1,0), (2045,00, 1,0), (2046,00, 1,0), (2047,00, 1,0), (2048,00, 1,0), (2049,00, 1,0), (2050,00, 1,0)

New petrol licensing proportion = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,715689215257), (1981,00, 0,713322721758), (1982,00, 0,942325631995), (1983,00, 0,116188895322), (1984,00, 0,05444400993778), (1985,00, 0,04033025673), (1986,00, 0,0806160642154), (1987,00, 0,0599994667145), (1988,00, 0,117666654727), (1989,00, 0,391671022458), (1990,00, 0,985068726368), (1991,00, 0,785912985239), (1992,00, 0,963422292342), (1993,00, 0,749398549462), (1994,00, 0,894753989227), (1995,00, 0,976797736917), (1996,00, 0,995564116483), (1997,00, 0,99942265913), (1998,00, 0,999208680979), (1999,00, 0,990464537974), (2000,00, 0,999194228631), (2001,00, 0,988607176133), (2002,00, 0,96146430123), (2003,00, 0,935518678208), (2004,00, 0,746438493595), (2005,00, 0,452158499748), (2006,00, 0,0207605710403), (2007,00, 0,112893842299), (2008,00, 0,0891378648978), (2009,00, 0,0800627309912), (2010,00, 0,0101780670798), (2011,00, 0,122021608921), (2012,00, 0,00905332529215), (2013,00, 0,0603767752754), (2014,00, 0,0652094774242), (2015,00, 0,0639615243171), (2016,00, 0,0479654402217), (2017,00, 0,0359698034127), (2018,00, 0,0269741453756), (2019,00, 0,0202282039298), (2020,00, 0,0151693493353), (2021,00, 0,0113756594533), (2022,00, 0,00853073029942), (2023,00, 0,00639728709709), (2024,00, 0,0), (2025,00, 0,0), (2026,00, 0,0), (2027,00, 0,0), (2028,00, 0,0), (2029,00, 0,0), (2030,00, 0,0), (2031,00, 0,0), (2032,00, 0,0), (2033,00, 0,0), (2034,00, 0,0), (2035,00, 0,0), (2036,00, 0,0), (2037,00, 0,0), (2038,00, 0,0), (2039,00, 0,0), (2040,00, 0,0), (2041,00, 0,0), (2042,00, 0,0), (2043,00, 0,0), (2044,00, 0,0), (2045,00, 0,0), (2046,00, 0,0), (2047,00, 0,0), (2048,00, 0,0), (2049,00, 0,0), (2050,00, 0,0)

p 2002 = GRAPH(TIME) (2002,00, 0,003), (2004,00, 0,003), (2006,00, 0,002), (2008,00, 0,002), (2010,00, 0,002), (2012,00, 0,002), (2014,00, 0,002), (2016,00,

0,002), (2018,00, 0,002), (2020,00, 0,002145), (2022,00, 0,002), (2024,00, 0,002), (2026,00, 0,002), (2028,00, 0,002), (2030,00, 0,002), (2032,00, 0,002), (2034,00, 0,002), (2036,00, 0,002), (2038,00, 0,002), (2040,00, 0,002), (2042,00, 0,002), (2044,00, 0,002), (2046,00, 0,002), (2048,00, 0,002), (2050,00, 0,002)

pendente de crescimento = 0,011

Percentage rate fleet distribution per year(Year1) = 0,0741 Percentage rate fleet distribution per year(Year2) = 0,0808 Percentage rate fleet distribution per year(Year3) = 0,0819 Percentage rate fleet distribution per year(Year4) = 0,0822 Percentage rate fleet distribution per year(Year5) = 0,0758 Percentage rate fleet distribution per year(Year6) = 0,0678 Percentage rate fleet distribution per year(Year7) = 0,0609 Percentage rate fleet distribution per year(Year8) = 0,0527 Percentage rate fleet distribution per year(Year9) = 0,0446 Percentage rate fleet distribution per year(Year10) = 0,0393 Percentage rate fleet distribution per year(Year11) = 0,0348 Percentage rate fleet distribution per year(Year12) = 0,0320 Percentage rate fleet distribution per year(Year13) = 0,0300 Percentage rate fleet distribution per year(Year14) = 0,0303 Percentage rate fleet distribution per year(Year15) = 0,0311 Percentage rate fleet distribution per year(Year16) = 0,0291 Percentage rate fleet distribution per year(Year17) = 0,0291 Percentage rate fleet distribution per year(Year18) = 0,0274 Percentage rate fleet distribution per year(Year19) = 0,0269 Percentage rate fleet distribution per year(Year20) = 0,0243 Percentage rate fleet distribution per year(Year20plus) = 0,0450

Petrol CH4 emission rate = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,45), (1981,00, 0,45), (1982,00, 0,45), (1983,00, 0,45), (1984,00, 0,36), (1985,00, 0,36), (1986,00, 0,3), (1987,00, 0,3), (1988,00, 0,255), (1989,00, 0,24), (1990,00, 0,21), (1991,00, 0,195), (1992,00, 0,09), (1993,00, 0,09), (1994,00, 0,149), (1995,00, 0,149), (1996,00, 0,1), (1997,00, 0,05), (1998,00, 0,035), (1999,00, 0,035), (2000,00, 0,032), (2001,00, 0,027), (2002,00, 0,027), (2003,00, 0,027), (2004,00, 0,027), (2005,00, 0,025), (2006,00, 0,017), (2007,00, 0,017), (2008,00, 0,014), (2009,00, 0,008), (2010,00, 0,007), (2011,00, 0,013), (2012,00, 0,026), (2013,00, 0,006), (2014,00, 0,006), (2015,00, 0,0055757575757576), (2016,00, 0,0051815120906), (2017,00, 0,00481514254884), (2018,00, 0,00447467792418), (2019,00, 0,0041582865558), (2020,00, 0,00386426629428), (2021,00, 0,00359103534418), (2022,00, 0,00333712375419), (2023,00, 0,00310116550894), (2024,00, 0,00288189118003), (2025,00, 0,00267812109659), (2026,00, 0,00248875899885), (2027,00, 0,00231278614035), (2028,00, 0,00214925580719), (2029,00, 0,00199728822486), (2030,00, 0,00185606582513), (2031,00, 0,00172482884759), (2032,00, 0,00160287125231), (2033,00, 0,00148953692134), (2034,00, 0,00138421612892), (2035,00, 0,00128634226122), (2036,00, 0,001195388768), (2037,00, 0,00111086632986), (2038,00, 0,00103232022573), (2039,00, 0,000959327886534), (2040,00, 0,00089149662183), (2041,00, 0,000828461507155), (2042,00, 0,000769883420791), (2043,00, 0,000715447219321), (2044,00, 0,000664860042197), (2045,00, 0,000617849736183),

(2046,00, 0,0005741633912), (2047,00, 0,000533565979701), (2048,00, 0,000495839092248), (2049,00, 0,000460779762493), (2050,00, 0,000428199375246)

Petrol N2O emission rate = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,005), (1981,00, 0,005), (1982,00, 0,005), (1983,00, 0,005), (1984,00, 0,004), (1985,00, 0,004), (1986,00, 0,004), (1987,00, 0,004), (1988,00, 0,004), (1989,00, 0,004), (1990,00, 0,004), (1991,00, 0,004), (1992,00, 0,004), (1993,00, 0,004), (1994,00, 0,022), (1995,00, 0,022), (1996,00, 0,022), (1997,00, 0,022), (1998,00, 0,022), (1999,00, 0,022), (2000,00, 0,022), (2001,00, 0,022), (2002,00, 0,022), (2003,00, 0,021), (2004,00, 0,021), (2005,00, 0,021), (2006,00, 0,021), (2007,00, 0,021), (2008,00, 0,024), (2009,00, 0,024), (2010,00, 0,023), (2011,00, 0,021), (2012,00, 0,021), (2013,00, 0,021), (2014,00, 0,021), (2015,00, 0,021), (2016,00, 0,021), (2017,00, 0,021), (2018,00, 0,021), (2019,00, 0,021), (2020,00, 0,021), (2021,00, 0,021), (2022,00, 0,021), (2023,00, 0,021), (2024,00, 0,021), (2025,00, 0,021), (2026,00, 0,021), (2027,00, 0,021), (2028,00, 0,021), (2029,00, 0,021), (2030,00, 0,021), (2031,00, 0,021), (2032,00, 0,021), (2033,00, 0,021), (2034,00, 0,021), (2035,00, 0,021), (2036,00, 0,021), (2037,00, 0,021), (2038,00, 0,021), (2039,00, 0,021), (2040,00, 0,021), (2041,00, 0,021), (2042,00, 0,021), (2043,00, 0,021), (2044,00, 0,021), (2045,00, 0,021), (2046,00, 0,021), (2047,00, 0,021), (2048,00, 0,021), (2049,00, 0,021), (2050,00, 0,021)

phase vendas = 13,76

PHEV Adoption by imitation = PHEV Adopters X PHEV Potential adopters X PHEVqStep/(Potential Market)

PHEV historico = GRAPH(TIME) (2006,00, 0,0), (2007,00, 0,0), (2008,00, 0,0), (2009,00, 0,0), (2010,00, 0,0), (2011,00, 5,0), (2012,00, 5,0), (2013,00, 5,0), (2014,00, 36,0), (2015,00, 127,0), (2016,00, 161,0), (2017,00, 353,0), (2018,00, 486,0)

PHEV Market Share = 1-HEV Market Share-BEV Market Share UNITS: Dimensionless

PHEV p = 0,0003

PHEV q = 0,68

PHEV Sales = Vendas anuais VE X PHEV Market Share UNITS: vehicle/year

PHEVpStep = STEP(PHEV p; 2006)

PHEVqStep = STEP(PHEV q; 2006)

Populacao acima 20 abaixo 80 anos 1980 = 62264683

Populacao acima 20 abaixo 80 anos 2010 = 126575653

Populacao acima 20 abaixo 80 anos 2011 = 62264683

Populacao acima 20 abaixo 80 em 2000 = 101471261

Potential Market = PHEV Market Growth UNITS: vehicle

Prognose by Benvenuti = GRAPH(TIME) (1980,00, 7122579), (1981,00, 7651000), (1982,00, 8095000), (1983,00, 8400000), (1984,00, 8700000), (1985,00,

9100000), (1986,00, 9400000), (1987,00, 9600000), (1988,00, 9800000), (1989,00, 1e+07), (1990,00, 10200000), (1991,00, 10500000), (1992,00, 10800000), (1993,00, 11200000), (1994,00, 11900000), (1995,00, 12800000), (1996,00, 13800000), (1997,00, 14900000), (1998,00, 1,6e+07), (1999,00, 16900000), (2000,00, 17500000), (2001,00, 1,8e+07), (2002,00, 18500000), (2003,00, 1,9e+07), (2004,00, 19500000), (2005,00, 2e+07), (2006,00, 2,1e+07), (2007,00, 2,2e+07), (2008,00, 2,3e+07), (2009,00, 2,5e+07), (2010,00, 2,6e+07), (2011,00, 2,8e+07), (2012,00, 3,1e+07), (2013,00, 3,3e+07), (2014,00, 3,4e+07), (2015,00, 3,6e+07), (2016,00, 3,7e+07), (2017,00, 3,8e+07), (2018,00, 4e+07), (2019,00, 4,1e+07), (2020,00, 4,2e+07), (2021,00, 4,4e+07), (2022,00, 4,5e+07), (2023,00, 4,8e+07), (2024,00, 5,1e+07), (2025,00, 5,5e+07), (2026,00, 5,9e+07), (2027,00, 6,3e+07), (2028,00, 6,8e+07), (2029,00, 7,3e+07), (2030,00, 7,8e+07), (2031,00, 82500000), (2032,00, 8,6e+07), (2033,00, 8,9e+07), (2034,00, 9,1e+07), (2035,00, 9,3e+07), (2036,00, 9,5e+07), (2037,00, 9,6e+07), (2038,00, 9,7e+07), (2039,00, 9,8e+07), (2040,00, 98800000), (2041,00, 99800000), (2042,00, 1,01e+08), (2043,00, 1,02e+08), (2044,00, 1,04e+08), (2045,00, 1,05e+08), (2046,00, 1,07e+08), (2047,00, 1,08e+08), (2048,00, 109600000), (2049,00, 110300000), (2050,00, 110500000)

Prognose by Benvenuti in mi = Prognose by Benvenuti/10<sup>6</sup>

q 2002 = GRAPH(TIME) (2002,00, 0,0740), (2003,09090909, 0,0750), (2004,18181818, 0,1000), (2005,27272727, 0,1160), (2006,36363636, 0,1300), (2007,45454545, 0,1550), (2008,54545455, 0,1590), (2009,63636364, 0,1680), (2010,72727273, 0,1610), (2011,81818182, 0,1410), (2012,90909091, 0,1140), (2014,00, 0,0810), (2015,09090909, 0,0720), (2016,18181818, 0,1110), (2017,27272727, 0,1680), (2018,36363636, 0,2490), (2019,45454545, 0,3060), (2020,54545455, 0,3570), (2021,63636364, 0,3600), (2022,72727273, 0,3500), (2023,81818182, 0,3120), (2024,90909091, 0,2640), (2026,00, 0,2310), (2027,09090909, 0,2310), (2028,18181818, 0,2310), (2029,27272727, 0,2370), (2030,36363636, 0,2580), (2031,45454545, 0,3030), (2032,54545455, 0,3990), (2033,63636364, 0,4290), (2034,72727273, 0,4170), (2035,81818182, 0,3690), (2036,90909091, 0,3210), (2038,00, 0,3090), (2039,09090909, 0,3360), (2040,18181818, 0,3990), (2041,27272727, 0,4500), (2042,36363636, 0,4890), (2043,45454545, 0,4890), (2044,54545455, 0,4710), (2045,63636364, 0,4290), (2046,72727273, 0,3870), (2047,81818182, 0,3630), (2048,90909091, 0,3540), (2050,00, 0,3540)

sazonalidade de vendas = inicial sinwave vendas+SINWAVE(amplitude vendas; phase vendas)

SIN CO2 per kWh = GRAPH(TIME) (2006,00, 32,3), (2007,00, 29,3), (2008,00, 48,4), (2009,00, 24,6), (2010,00, 51,2), (2011,00, 29,2), (2012,00, 65,3), (2013,00, 96,0), (2014,00, 135,5), (2015,00, 98,93), (2016,00, 110,14), (2017,00, 104,4), (2018,00, 104,4), (2019,00, 103,6), (2020,00, 104,3), (2021,00, 99,4), (2022,00, 101,5),

(2023,00, 103,6), (2024,00, 106,4), (2025,00, 112,0), (2026,00, 109,9), (2027,00, 107,1), (2028,00, 110,6), (2029,00, 111,3), (2030,00, 111,3), (2031,00, 111,3), (2032,00, 111,3), (2033,00, 111,3), (2034,00, 111,3), (2035,00, 111,3), (2036,00, 111,3), (2037,00, 111,3), (2038,00, 111,3), (2039,00, 111,3), (2040,00, 111,3), (2041,00, 111,3), (2042,00, 111,3), (2043,00, 111,3), (2044,00, 111,3), (2045,00, 111,3), (2046,00, 111,3), (2047,00, 111,3), (2048,00, 111,3), (2049,00, 111,3), (2050,00, 111,3)

Sum total VKT BAU = SUM(Total VKT of the fleet)/10<sup>6</sup>

taxa de crescimento = GRAPH(TIME) (1980,00, 0,018), (1982,00, 0,018), (1984,00, 0,017), (1986,00, 0,016), (1988,00, 0,015), (1990,00, 0,014), (1992,00, 0,014), (1994,00, 0,012), (1996,00, 0,011), (1998,00, 0,01), (2000,00, 0,009), (2002,00, 0,008), (2004,00, 0,007), (2006,00, 0,006), (2008,00, 0,005), (2010,00, 0,004), (2012,00, 0,003), (2014,00, 0,002), (2016,00, 0,001), (2018,00, 0,001), (2020,00, 0), (2022,00, 0), (2024,00, -0,001), (2026,00, -0,002), (2028,00, -0,003), (2030,00, -0,003), (2032,00, -0,003), (2034,00, -0,003), (2036,00, -0,003), (2038,00, -0,003), (2040,00, -0,003), (2042,00, -0,003), (2044,00, -0,003), (2046,00, -0,003), (2048,00, -0,003), (2050,00, -0,003)

taxa marginal vendas = 0,05 UNITS: 1/year

TesteImportacao = GRAPH(TIME) (1980,00, 234,0), (2003,333333333, 235,0), (2026,666666667, 45,0), (2050,00, 67,0)

Total CH4 emission fleet average = SUM(grams CH4 emission per year)/10<sup>12</sup>

Total CO2 emission mi ton BAU = SUM(grams CO2 emission per year 2)/10<sup>12</sup>

total discards = SUM(Discard per year)

Total EV CO2 emission mi ton = EV Total SIN and local emissions/10<sup>12</sup>

Total EV Fleet = BEV Adopters+HEV Adopters+PHEV Adopters

Total ICE and EV Fleet = BEV Adopters+HEV Adopters+PHEV Adopters+Total ICE Fleet

Total ICE and EV Fleet mi = Total ICE and EV Fleet/10<sup>6</sup>

Total ICE Fleet = SUM(ICE Fleet)

Total N2O emission fleet average = SUM(grams N2O emission per year)/10<sup>12</sup>

total vehicle usage 3(Year) = ICE Fleet(Year) X Intensity of use 3(Year)

total vehicle usage 4(Year) = ICE Fleet(Year) X Intensity of use 4(Year)

Total VKT of the fleet(Year) = ICE Fleet(Year) X VKT per year(Year)

Vendas Anuais de veiculos = Tendencia de Vendas X (1+sazonalidade de vendas)

Vendas anuais VE = EV Market Share X Vendas Anuais de veiculos UNITS: vehicle/year

vendas init = 339668 UNITS: vehicle/year

VKT per year(Year1) = 10000 VKT per year(Year2) = 19400 VKT per year(Year3)

= 18800 VKT per year(Year4) = 18200 VKT per year(Year5) = 17600 VKT per year(Year6) = 17000 VKT per year(Year7) = 16400 VKT per year(Year8) = 15800 VKT per year(Year9) = 15200 VKT per year(Year10) = 14600 VKT per year(Year11) = 14000 VKT per year(Year12) = 13400 VKT per year(Year13) = 12800 VKT per year(Year14) = 12200 VKT per year(Year15) = 11600 VKT per year(Year16) = 11000 VKT per year(Year17) = 10400 VKT per year(Year18) = 9800 VKT per year(Year19) = 9200 VKT per year(Year20) = 8600 VKT per year(Year20plus) = 2672

( The model has 196 (876) variables (array expansion in parens). In root model and 0 additional modules with 20 sectors. Stocks: 15 (95) Flows: 24 (264) Converters: 157 (517) Constants: 40 (140) Equations: 141 (641) Graphicals: 45 (45) )



## ANEXO A – FATORES MÉDIOS DE EMISSÃO DE ESCAPAMENTO

Figura 54 – Fatores de emissões de escapamento para HEV's e PHEV's, em g/km.

Tipo	Veículo	Emissões de escapamento			
		Poluentes			GEE
		NMHC (g/km)	CO (g/km)	NOx (g/km)	CO2 fóssil (g/km)
HEV	TOYOTA Prius 1.8-16V NGA	0,006	0,038	0,006	71
HEV	TOYOTA Prius 1.8-16V NGA Top	0,006	0,038	0,006	71
HEV	TOYOTA Corolla 1.8-16V Altis Premium H CVT	0,008	0,057	0,001	84
HEV	TOYOTA Corolla 1.8-16V Altis HV CVT	0,008	0,057	0,001	84
HEV	FORD Fusion 2.0-16V Hybrid eCVT-6	0,006	0,208	0,003	81
<b>Média HEV</b>		<b>0,0068</b>	<b>0,0796</b>	<b>0,0034</b>	<b>78,2</b>
PHEV	MINI Countryman 1.5 - 12V ALL4 SE	0,005	0,123	0,013	54
PHEV	VOLVO S90 2.0-16V Turbo T8 Inscription	0,008	0,643	0,004	56
PHEV	VOLVO S60 2.0-16V T	0,001	0,018	0,017	52
<b>Média PHEV</b>		<b>0,004667</b>	<b>0,261333</b>	<b>0,011333</b>	<b>54</b>

Fonte: Autor, com base em Inmetro (2020).

Figura 55 – Fatores de emissão de escapamento de  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $RCHO$ ,  $NMHC$ ,  $CH_4$ ,  $MP$  para automóveis e veículos comerciais leves novos, movidos a gasolina C e a etanol hidratado (ICE), em g/km.

Ano/modelo	Combustível	CO	NO <sub>x</sub>	RCHO	NMHC <sub>10pp</sub>	CH <sub>4</sub>	MP <sub>comb</sub>
Até 1983	Gasolina C	33,00	1,40	0,0500	2,55	0,45	0,0024
	Etanol hidratado	18,00	1,00	0,1600	1,36	0,24	-
1984-1985	Gasolina C	28,00	1,60	0,0500	2,04	0,36	0,0024
	Etanol hidratado	16,90	1,20	0,1800	1,36	0,24	-
1986-1987	Gasolina C	22,00	1,90	0,0400	1,70	0,30	0,0024
	Etanol hidratado	16,00	1,80	0,1100	1,36	0,24	-
1988	Gasolina C	18,50	1,80	0,0400	1,45	0,26	0,0024
	Etanol hidratado	13,30	1,40	0,1100	1,45	0,26	-
1989	Gasolina C	15,20	1,60	0,0400	1,36	0,24	0,0024
	Etanol hidratado	12,80	1,10	0,1100	1,36	0,24	-
1990	Gasolina C	13,30	1,40	0,0400	1,19	0,21	0,0024
	Etanol hidratado	10,80	1,20	0,1100	1,11	0,20	-
1991	Gasolina C	11,50	1,30	0,0400	1,11	0,20	0,0024
	Etanol hidratado	8,40	1,00	0,1100	0,94	0,17	-
1992	Gasolina C	6,20	0,60	0,0130	0,51	0,09	0,0024
	Etanol hidratado	3,60	0,50	0,0190	0,51	0,09	-
1993	Gasolina C	6,30	0,80	0,0220	0,51	0,09	0,0024
	Etanol hidratado	4,20	0,60	0,0400	0,60	0,11	-
1994	Gasolina C	6,00	0,70	0,0360	0,45	0,15	0,0024
	Etanol hidratado	4,60	0,70	0,0420	0,51	0,19	-
1995	Gasolina C	4,70	0,60	0,0250	0,45	0,15	0,0024
	Etanol hidratado	4,60	0,70	0,0420	0,51	0,19	-
1996	Gasolina C	3,80	0,50	0,0190	0,30	0,10	0,0024
	Etanol hidratado	3,90	0,70	0,0400	0,44	0,16	-
1997	Gasolina C	1,20	0,30	0,0070	0,15	0,05	0,0011
	Etanol hidratado	0,90	0,30	0,0120	0,22	0,08	-
1998	Gasolina C	0,79	0,23	0,0040	0,11	0,03	0,0011
	Etanol hidratado	0,67	0,24	0,0140	0,14	0,05	-
1999	Gasolina C	0,74	0,23	0,0040	0,11	0,03	0,0011
	Etanol hidratado	0,60	0,22	0,0130	0,12	0,05	-
2000	Gasolina C	0,73	0,21	0,0040	0,10	0,03	0,0011
	Etanol hidratado	0,63	0,21	0,0140	0,13	0,05	-
2001	Gasolina C	0,48	0,14	0,0040	0,08	0,03	0,0011
	Etanol hidratado	0,66	0,08	0,0170	0,11	0,04	-
2002	Gasolina C	0,43	0,12	0,0040	0,08	0,03	0,0011
	Etanol hidratado	0,74	0,08	0,0170	0,12	0,04	-
2003	Gasolina C	0,40	0,12	0,0040	0,08	0,03	0,0011
	Etanol hidratado	0,77	0,09	0,0190	0,12	0,04	-
	Flex - Gasolina C	0,50	0,04	0,0040	0,04	0,01	0,0011
	Flex - Etanol hidratado	0,51	0,14	0,0200	0,11	0,04	-
2004	Gasolina C	0,35	0,09	0,0040	0,08	0,03	0,0011
	Etanol hidratado	0,82	0,08	0,0160	0,12	0,05	-
	Flex - Gasolina C	0,39	0,05	0,0030	0,06	0,02	0,0011
	Flex - Etanol hidratado	0,46	0,14	0,0140	0,10	0,04	-
2005	Gasolina C	0,34	0,09	0,0040	0,08	0,02	0,0011
	Etanol hidratado	0,82	0,08	0,0160	0,12	0,05	-
	Flex - Gasolina C	0,45	0,05	0,0030	0,08	0,03	0,0011
	Flex - Etanol hidratado	0,39	0,10	0,0140	0,10	0,04	-
2006	Gasolina C	0,33	0,08	0,0020	0,06	0,02	0,0011
	Etanol hidratado	0,67	0,05	0,0140	0,09	0,03	-
	Flex - Gasolina C	0,48	0,05	0,0030	0,08	0,02	0,0011
	Flex - Etanol hidratado	0,47	0,07	0,0140	0,08	0,03	-
2007	Gasolina C	0,33	0,08	0,0020	0,06	0,02	0,0011
	Flex - Gasolina C	0,48	0,05	0,0030	0,08	0,02	0,0011
	Flex - Etanol hidratado	0,47	0,07	0,0140	0,08	0,03	-
	Gasolina C	0,37	0,04	0,0014	0,03	0,01	0,0011
2008	Flex - Gasolina C	0,51	0,04	0,0020	0,05	0,02	0,0011
	Flex - Etanol hidratado	0,71	0,05	0,0152	0,04	0,01	-
	Gasolina C	0,24	0,02	0,0018	0,023	0,007	0,0011
2009	Flex - Gasolina C	0,32	0,03	0,0019	0,034	0,006	0,0011
	Flex - Etanol hidratado	0,53	0,03	0,0113	0,044	0,026	-
	Gasolina C	0,22	0,03	0,0015	0,023	0,007	0,0011
2010	Flex - Gasolina C	0,28	0,03	0,0015	0,031	0,009	0,0011
	Flex - Etanol hidratado	0,51	0,04	0,0093	0,040	0,050	-
	Gasolina C	0,26	0,03	0,0020	0,027	0,013	0,0011
2011	Flex - Gasolina C	0,28	0,03	0,0010	0,032	0,008	0,0011
	Flex - Etanol hidratado	0,49	0,03	0,0090	0,048	0,042	-
	Gasolina C	0,25	0,03	0,0017	0,014	0,026	0,0011
2012	Flex - Gasolina C	0,27	0,03	0,0014	0,026	0,014	0,0011
	Flex - Etanol hidratado	0,47	0,03	0,0082	0,062	0,028	-

Fonte: ANTT (2013).

Figura 56 – Algumas especificações de EVs

Modelo	Tipo	Bateria		Motor Elétrico		Autonomia (km)	Plugue	Recarga máxima
		Tecnologia	kWh	Tecnologia	kW			
Renault Zoe	VEB	NMC-LMO	22	Síncrono com escovas	65	210 (NEDC)	Tipo 2	3Ø / 400V / 63A / 43kW
Toyota Prius Plug-in	VEHP (Série-paralelo)	NCA	4,4	Ímã permanente	60	18 (EPA)	Tipo 1	1Ø / 240V / 15A / 3,3kW
Ford Fusion Energi	VEHP (Série-paralelo)	NCA	7,6	Ímã permanente	35	34 (EPA)	Tipo 1	1Ø / 240V / 15A / 3,3kW
Renault Kangoo	VEB	NMC-LMO	22	Síncrono com escovas	44	170 (NEDC)	Tipo 2	1Ø / 230V / 16A / 3,7kW
Chevrolet Volt	EREV (Série)	NMC-LMO	16	Motor de Indução	111	60 (EPA)	Tipo 1	1Ø / 240V / 15A / 3,3kW
BMW i3	VEB EREV	NMC-LMO	19	Ímã permanente	125	190 (EPA)	Tipo 2 CCS	3Ø / 400V / 80A / 50kW
Tesla Model S	VEB	NCA	85	Motor de Indução	215	420 (EPA)	Tipo 1 Tipo 2 Próprio	3Ø / 400V / 170A / 120kW
Mitsubishi i-MiEV	VEB	LTO-NMC	16	Ímã permanente	49	100 (EPA)	Tipo 1 Chademo	1Ø / 240V / 15A / 3,3kW 3Ø / 400V / 80A / 55kW
Nissan Leaf	VEB	LMO-NCA	24	Ímã permanente	80	135 (EPA)	Tipo 1 Chademo	1Ø / 240V / 15A / 3,3kW 3Ø / 400V / 80A / 55kW
BYD e6	VEB	LFP	60	Ímã permanente	90	203 (EPA)	Tipo 2 GB/T 20234	3Ø / 380V / 63A / 40kW

Fonte: Arioli (2016)

## ANEXO B – INICIATIVAS PELA MOBILIDADE ELÉTRICA NO BRASIL ATÉ 2019

Figura 57 – Quantitativo por categoria de iniciativa pela mobilidade elétrica

	Sistemas de recarga	P&D e pilotos	Outros	Desenvolvimento de VEs	Compartilhamento de VEs	Impostos	Ônibus elétricos**	Venda de produto
<b>Políticas públicas</b>								
Federal	6	4	2			6		
Estadual		2	2			1		
Municipal			3		1	2		
<b>Iniciativa privada &amp; PPP</b>								
Iniciativa privada	7		4	5	3		4	5
PPP	4	6	1	2	5		2	
<b>Formação e P&amp;D</b>								
Formação		4	4	2				
P&D	4	2	2	2			2	
Financiamento	1			1				
<b>Total por ano</b>	<b>22</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>5</b>

\*A mesma iniciativa pode desenvolver ações em mais de uma área.

\*\*Nem todos os projetos relacionados aos ônibus elétricos são de desenvolvimento de veículos.

Fonte: MDIC (2018).

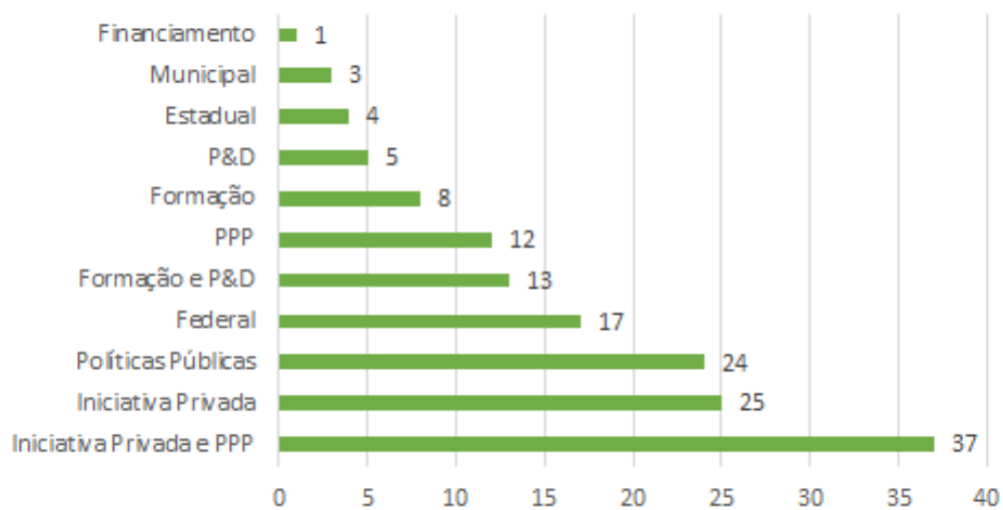
Figura 58 – Quantitativo anual por categoria de iniciativa pela mobilidade elétrica

	1997	2001	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
<b>Políticas públicas</b>															<b>24</b>
Federal				1	1	2		1	1	2		2	3	4	17
Estadual	2								1			1			4
Municipal											1	1	1		3
<b>Iniciativa privada &amp; PPP</b>															<b>37</b>
Iniciativa privada			1		1	1			6	4	5	1	5	1	25
PPP			1							4	3	3	1		12
<b>Formação e P&amp;D</b>															<b>13</b>
Formação		1					1		1	1		1	3		8
P&D						1		1	1		1	1			5
Financiamento															1
<b>Total por ano</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>75</b>

\*Duas iniciativas não constam na tabela por terem começado em anos distintos para cada localidade

Fonte: MDIC (2018).

Figura 59 – Quantitativo de iniciativas pela mobilidade elétrica no Brasil



Fonte: MDIC (2018).

Tabela 14 – Alguns projetos conforme o P&amp;D Estratégico nº 22/2018: Desenvolvimento de Soluções em Mobilidade Elétrica Eficiente

<b>Empresa</b>	<b>Projeto</b>
Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL)	Mobilidade elétrica – inserção técnica e comercial de VEs em frotas empresariais da região metropolitana de Campinas
Light	Desenvolvimento de um sistema de motorização auxiliar modular e regenerativo para veículos Metodologia de planejamento e análise para a implantação de veículos elétricos em atividades de transporte Desenvolvimento de um sistema inteligente de gestão de fontes renováveis, armazenamento distribuído e VEs recarregáveis integrados ao conceito e à plataforma Smart Grid
Elektro	Desenvolvimento de um sistema de propulsão para VEs de transporte de passageiros sem uso de rede aérea para recarga Desenvolvimento de sistema de recarga rápida para veículos de transporte de passageiros com propulsão elétrica dotados de ultracapacitores
Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig)	Desenvolvimento de metodologia para análise dos impactos da integração de VEs à rede de distribuição
Companhia Energética de Brasília (CEB)	Eletroposto solar – microgeração fotovoltaica distribuída integrada à arquitetura predial e sua aplicação para carregamento de VEs Metodologia, projeto demonstrativo e ferramenta computacional para a avaliação e gestão operacional de arranjos técnicos e comerciais de inserção de VE no sistema de distribuição da CEB
Enel Distribuição Ceará (Coelce)	Desenvolvimento de sistema de gestão de recarga para VEs em regime de car sharing Sistema inteligente de armazenamento de energia e gerenciamento de demanda para aplicações de pequeno porte com integração de geração distribuída e conexão para VEs
Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc)	Sistema de recarga rápida com armazenamento híbrido-estacionário de energia para abastecimento de VEs no conceito de redes inteligentes Inserção no Mercado de Modelo de Operação Comercial de Rede de Eletropostos Desenvolvimento e Implantação Comercial de Estações de Recarga de Veículos Elétricos com Soluções para V2H/V2G

Tabela 15 – Relação das propostas de projeto relacionados à mobilidade elétrica do edital de SELEÇÃO PÚBLICA MCT/FINEP/FNDCT - Subvenção Econômica à Inovação - 01/2010

<b>Empresa</b>	<b>Projeto</b>
WHIRLPOOL S.A	Sistemas de gerenciamento térmico para baterias de veículos elétricos
WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A	Desenvolvimento de acionamento elétrico (Gerador, Motor e Inversor de Frequência) para veículos elétricos e híbridos
ACUMULADORES MOURA	Iniciativa para o desenvolvimento nacional de baterias para veículos automotores elétricos e/ou híbridos

Fonte: Adaptado de FINEP (2010)