



NÍVEL DE ATIVIDADE EM VEÍCULOS LEVES DE PASSAGEIROS NO BRASIL À LUZ DO CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO

Pedro Filipe Campos Rampini

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Orientador: Roberto Schaeffer

Rio de Janeiro

Março de 2019

NÍVEL DE ATIVIDADE EM VEÍCULOS LEVES DE PASSAGEIROS NO BRASIL À LUZ
DO CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO

Pedro Filipe Campos Rampini

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

Prof. Roberto Schaeffer, Ph.D.

Prof. Alexandre Salem Szklo, D.Sc.

Prof. Bruno Soares Moreira Cesar Borba, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2019

Rampini, Pedro Filipe Campos

Nível de Atividade em Veículos Leves de Passageiros no Brasil à Luz do Crescimento Demográfico/ Pedro Filipe Campos Rampini – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

XVIII, 103 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Roberto Schaeffer

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 79-87.

1. Atividade de veículos leves. 2. Transporte de passageiros. 3. Mobilidade: Brasil. I. Schaeffer, Roberto. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

Aos meus pais, Eunice Rampini (*in memoriam*) e Marcos Rampini.

Ao meu padrinho, Tio João (*in memoriam*).

“Não sabendo que era impossível, foi lá e fez”
(Jean Cocteau)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ser o centro de equilíbrio da minha vida e a fonte de luz para que eu possa ser melhor a cada dia.

À minha amada mãe (*in memoriam*), de quem guardo as memórias mais importantes de minha vida. Obrigado por me ensinar a ter empenho e simplicidade. Carrego-te em meu coração.

Ao meu amado pai pelo amor, dedicação e presença incondicional em minha vida. Obrigado por ser meu grande exemplo e alicerce.

Ao meu amado irmão, João Marcos, meu melhor amigo e companheiro de todas as horas. Obrigado por me apoiar sempre, seja nos dias bons, seja nos dias ruins.

Ao meu amado padrinho, Tio João (*in memoriam*), figura de simplicidade, pureza e docilidade. Obrigado por ter sempre cuidado de mim como um filho. Carrego-te em meu coração.

À minha amada madrinha, Tia Cida, em quem sempre encontrei apoio, carinho e mansidão. Obrigado por todo o amor de mãe.

À minha avó, exemplo de amor, superação e bondade. Através da sua história, aprendi a valorizar o que é certo na vida. Obrigado por sempre me transmitir a sua incessante alegria.

Às minhas afilhadas, Ivi, Eduarda e Ani, cuja pureza e amor que possuem me renovam a cada dia.

A todos os familiares que sempre me apoiaram e ajudaram na construção de quem sou.

A todos os amigos que me acompanharam na vida e ao longo da elaboração deste trabalho e, em especial, a querida Turma Evidências.

Ao meu orientador, Roberto Schaeffer, a quem admiro por toda a sua simplicidade, humildade, sabedoria e positividade. Obrigado pelo pleno apoio e estímulo.

Aos funcionários e professores do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, pelo acompanhamento e formação ao longo da realização deste projeto.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

NÍVEL DE ATIVIDADE EM VEÍCULOS LEVES DE PASSAGEIROS NO BRASIL À LUZ DO CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO

Pedro Filipe Campos Rampini

Março/2019

Orientador: Roberto Schaeffer

Programa: Planejamento Energético

O nível de atividade de veículos leves de passageiros no setor de transportes é um importante elemento utilizado para dimensionar as demandas por energia e transporte nos estudos de planejamento. As técnicas utilizadas para a sua projeção estão tradicionalmente baseadas em relações macroeconômicas. No entanto, algumas mudanças estruturais vêm ocorrendo e existem indícios, sobretudo em países desenvolvidos, da desvinculação entre estas variáveis. Esta condição é evidenciada quando analisado o caso específico dos veículos leves. As causas para o fenômeno em questão vêm sendo atribuídas a diversos condicionantes que alteram o comportamento do passageiro e que também podem ser observadas em países com diferentes contextos socioeconômicos.

Este estudo possui como objetivo aproximar estes elementos ao cenário de evolução da mobilidade por veículos leves em países emergentes. Admitindo-se a existência de grandes perspectivas para a evolução da mobilidade nestes países, busca-se avaliar o impacto dos diferentes condicionantes na moderação deste crescimento, utilizando-se como estudo de caso o cenário brasileiro. Propõe-se um modelo para dimensionar a evolução desta categoria de veículos capaz de incorporar os efeitos discutidos, principalmente o de caráter demográfico. O nível de atividade dos cenários construídos neste estudo variou segundo as premissas adotadas, sendo o cenário inferior 15,1% menor que o cenário máximo no horizonte de 2050, e 11,6% menor que o cenário máximo em 2030.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

LEVEL OF ACTIVITY OF LIGHT-DUTY PASSENGER VEHICLES IN BRAZIL UNDER
THE PERSPECTIVE OF DEMOGRAPHIC GROWTH

Pedro Filipe Campos Rampini

March/2019

Advisor: Roberto Schaeffer

Department: Energy Planning

The level of activity of light-duty vehicles (LDVs) for passengers in the transport sector is an important element used to determine energy and transportation demands in planning studies. The techniques used for these projections are traditionally based on macroeconomic correlations. However, some structural changes have been taking place and there is evidence, especially in developed countries, of the decoupling of these variables. This condition is evidenced when the specific case of light duty vehicles is analyzed. The causes for this phenomenon have been attributed to several factors. These ones are able to alter the passenger behavior and can also be observed in countries with different socioeconomic conditions.

This study aims to apply these elements over the evolution scenario of light duty vehicles in emerging countries. Although there are great perspectives for the evolution of mobility in these nations, the study seeks to evaluate the impact of those different elements on moderating this growth. In this manner, it is shown a case study considering the Brazilian scenario. A modelling technique which is capable of incorporating these effects, especially those of demographic magnitude, is proposed to measure the evolution of this vehicle category. The scenarios proposed by this study varied according to the assumptions adopted. The level of activity in the lower scenario indicated results 15.1% below than those from the maximum scenario in 2050, and 11.6% below in 2030.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PANORAMA GLOBAL	8
2.1. Contextualização histórica	8
2.1.1. O “Peak Car”	10
2.2. Proposições evolutivas para a demanda por veículos leves de passageiros	12
2.2.1. Condicionantes da evolução da mobilidade privada	15
2.2.1.1. Economia, preços e renda	15
2.2.1.2. Distribuição espacial e uso do solo	16
2.2.1.3. Qualidade e organização estrutural do transporte	17
2.2.1.4. Tecnologia da informação e mudanças em padrões sociais	18
2.2.1.5. Demografia e uso do automóvel	20
2.2.1.6. Nível educacional e uso do automóvel	24
2.2.1.7. Meio ambiente e mudanças climáticas	24
3. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PANORAMA NACIONAL	27
3.1. Perspectivas sociodemográficas e o planejamento de transportes	27
3.1.1. Perspectivas demográficas brasileiras	28
3.1.2. Perspectivas sociais e demografia	30
3.2. Cenários de população e evolução do sistema educacional	31
3.3. Evolução da demanda por veículos leves em grupos etários	35
4. METODOLOGIA	38
4.1. Aspectos básicos sobre modelagem energética	38
4.1.1. Modelos <i>Top-down</i>	39
4.1.2. Modelos <i>Bottom-up</i>	39
4.1.2.1. Técnicas de modelagem energética e divisão setorial	40
4.1.3. Modelos híbridos	41
4.2. Decomposição dos condicionantes das emissões do transporte motorizado	41
4.2.1. Atividade	42
4.2.2. Estrutura	44
4.2.3. Intensidade	45
4.2.4. Combustível	45
4.3. Proposta metodológica	46
4.3.1. Equação geral	46
4.3.2. Tratamento dos dados	47
4.3.3. Construção do ano base	48
4.3.3.1. Distância dirigida por faixa etária	48

4.3.3.2.	Distância percorrida por veículos leves no Brasil.....	49
4.3.3.3.	Fator de ajuste.....	56
4.3.3.4.	Fator de capacidade.....	57
4.3.4.	Cenários para a e evolução da atividade dos veículos leves	57
4.3.4.1.	Conjunto de cenários 1.....	59
4.3.4.2.	Conjunto de cenários 2.....	60
4.3.4.3.	Conjunto de cenários 3.....	60
5.	RESULTADOS.....	63
5.1.	Panorama Geral	63
5.2.	Conjunto de cenários 1	67
5.3.	Conjunto de cenários 2.....	68
5.4.	Conjunto de cenários 3.....	69
5.5.	Amplitude das trajetórias de evolução	70
5.6.	Análise quantitativa.....	71
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
	ANEXO I – CENÁRIOS DE EVOLUÇÃO POPULACIONAL	88
	ANEXO II – DADOS PARA A ESTIMATIVA DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS POR MOTOCICLETAS	89
	ANEXO III – METODOLOGIAS DE PROJEÇÃO PARA O NÍVEL DE ATIVIDADE DE VEÍCULOS LEVES DE PASSAGEIROS.....	90
	ANEXO IV – PARTICIPAÇÃO DOS GRUPOS ETÁRIOS BRASILEIROS NA CONDUÇÃO DE VEÍCULOS LEVES DE PASSAGEIROS POR CENÁRIO	97
	ANEXO V – PROJEÇÃO DA DISTÂNCIA ANUAL DIRIGIDA EM LDVs DE PASSAGEIROS POR HABITANTE EM SEUS RESPECTIVOS GRUPOS ETÁRIOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 – Perfil de emissões energéticas de CO ₂ e consumo final de energia por setor – 2016.....	1
Figura 1-2 – Atividade no transporte rodoviário de passageiros em relação ao PIB (p-km/US\$ em 2011 PPP).....	2
Figura 1-3 – Perfil de evolução da frota de veículos rodoviários	4
Figura 2-1 – Atividade de automóveis em relação ao PIB <i>per capita</i>	11
Figura 2-2 – Atividade de veículos em relação aos níveis de renda familiar	14
Figura 2-3 – Projeção da pirâmide etária da população em regiões mundiais	21
Figura 2-4 – Distância dirigida em função da idade de aprendizagem do condutor (em milhas por ano).....	23
Figura 3-1 – Projeção da pirâmide etária da população brasileira.....	29
Figura 3-2 – Projeção do índice de envelhecimento da população brasileira e mundial	29
Figura 3-3 – Taxas de urbanização (%), analfabetismo funcional (%) e fecundidade total (filhos/mulher15-49 anos) em regiões do Brasil	31
Figura 3-4 – Taxa de fertilidade da mulher brasileira em função dos anos de estudo .	32
Figura 3-5 – Perspectivas de evolução da população brasileira segundo diferentes cenários de educação – 2010 a 2050	35
Figura 3-6 – Distância anual dirigida em veículos leves por habitante na Inglaterra segundo faixas etárias – 2002 a 2017 (km.ano.habitante ⁻¹)	36
Figura 3-7 – Distância anual percorrida por faixa etária nos EUA (v-mt).....	37
Figura 4-1 – Atividade do transporte rodoviário de passageiros no Brasil (milhões p-km)	43
Figura 4-2 – Atividade de automóveis em relação ao PIB per capita	44
Figura 4-3 – Intensidade de uso (km/ano).....	51
Figura 4-4 – Curvas de sucateamento	54
Figura 4-5 – Evolução anual do fator C e das distâncias per capita percorridas por veículos leves no Brasil e na Inglaterra.....	56
Figura 4-6 – Distância anual dirigida em veículos leves por habitante no Brasil segundo faixas etárias (km/ano ⁻¹ .habitante ⁻¹)	57
Figura 4-7 – Fluxograma de construção dos cenários.....	59
Figura 4-8 – Tempo necessário para a adoção de novas tecnologias.....	61
Figura 5-1 – Cenários de evolução para a atividade de passageiros em LDVs (bilhões p.km)	64

Figura 5-2 – Participação dos grupos etários brasileiros na condução de veículos leves para o cenário CEN1-FT	65
Figura 5-3 – Participação dos grupos etários brasileiros na condução de veículos leves para o cenário CEN3-CER.....	65
Figura 5-4 – Distribuição da distância dirigida por habitante no Brasil em seus respectivos grupos etários ($\text{km.ano}^{-1}.\text{habitante}^{-1}$).....	67
Figura 5-5 – Variação percentual do PIB em base anual (% a.a.).....	70
Figura 5-6 – Amplitude das trajetórias de evolução	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 – Condicionantes sugeridos como capazes de impactar na evolução da atividade de LDVs de passageiros.....	26
Tabela 3-1 – Caracterização dos principais parâmetros dos cenários SSPs.....	33
Tabela 4-1 – Segmentação dos dados utilizados de acordo com os grupos etários ...	47
Tabela 4-2 – Valores de quilometragem por litro veiculares (km/L).....	52
Tabela 4-3 – Caracterização da frota abrangida pelo estudo.....	53
Tabela 5-1 – Descrição dos cenários adotados	63
Tabela 5-2 – Comparativo percentual entre as atividades de passageiros por veículos leves dos diferentes cenários apresentados	69
Tabela 5-3 – Premissas para a frota de LDVs brasileira	72
Tabela 5-4 – Impacto dos cenários no consumo de combustíveis (L_{Geq}).....	72

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 4-1: $G = A * S_j * I_j * F_{ij}$

Equação 4-2: $A = vkm * FC$

Equação 4-3: $A_t = \sum_f (P_f * D_f * FC)_t$

Equação 4-4: $D_{18-29}^{ING} = D_{17-20}^{ING} * \frac{P_{17-20}^{ING}}{P_{17-29}^{ING}} + D_{21-29}^{ING} * \left(1 - \frac{P_{17-20}^{ING}}{P_{17-29}^{ING}}\right)$

Equação 4-5: $D_{ft}^{BR} = (D_f^{ING} * C)_t$

Equação 4-6: $C_t = \left(\frac{D^{BR}}{D^{ING}}\right)_t$

Equação 4-7: $D_t^{BR} = \sum \left(\frac{V_i}{CE_t * P}\right)_t$

Equação 4-8: $V^{LDVs} = V - V^m$

Equação 4-9: $D^{me} = \frac{v^{me}}{CE^{me}}$

Equação 4-10: $V_t^{mg} = \{(F * IU) - D^{me}\} * CE\}_t$

Equação 4-11: $\overline{CE}_{it} = \frac{1}{F_t} * \sum_j \overline{CE}_{jt} * F_{jt}$

Equação 4-12: $\overline{CE}_{jt} = \frac{1}{F_t} * \sum_{h=1957}^t (F_{jh} * CE_{jh})$

Equação 4-13: $SC_t = 1 - e^{-e^{a+b*k}}$

Equação 4-14: $D_d^{BR} = \frac{IU * F_t}{P_t}$

Equação 4-15: $SC_t = (i + e^{a(k-b)})^{-1} + (1 + e^{a(k-b)})^{-1}$

Equação 4-16: $D_t^f = D_{2017}^f * \frac{A_t}{A_{2017}}$

Equação 4-17: $D_t^f = D_{2017}^{f BR} * \frac{A_t^{BR}}{A_{2017}^{BR}} * \frac{D_t^{ING}}{D_{2017}^{ING}}$

Equação 4-18: $D_{ft}^{BR} = (D_f^{ING})_{t-15} * C_t$

Equação 4-19: $C_t = \frac{(D^{BR})_t}{(D^{ING})_{t-15}}$

LISTA DE ACRÔNIMOS E ABREVIações

ALE: Alemanha

ANFAVEA: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ANP: Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ARG: Argentina

ASIF: Activity, Structure, Intensity, Fuel

AUS: Austrália

BRT: Bus Rapid Transit

BU: Bottom-up

CAN: Canadá

CEN: Constant Enrollment Numbers

CER: Constant Enrollment Rates

CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CHN: China

CNPE: Conselho Nacional de Política Energética

CO₂: Dióxido de Carbono

DFT: Department for Transport

EEA: European Environment Agency

EHC: Etanol Hidratado Carburante

EIA: United States Energy Information Administration

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

EUA: Estados Unidos da América

FHA: Federal Highway Administration

FRA: França

FT: Fast-Track

GEE: Gases de Efeito Estufa

GEIPOT: Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes

GET: Global Education Trend

GNV: Gás Natural Veicular

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEA: International Energy Agency

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

IPEA: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

ITF: International Transport Forum

JPN: Japão

LDVs: Light-duty Vehicles

MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MEX: México

MMA: Ministério do Meio Ambiente

MME: Ministério de Minas e Energia

OCDE: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development

OLADE: Organização Latino-Americana de Energia

ONU: Organização das Nações Unidas

PIB: Produto Interno Bruto

Pkm: passageiro-quilômetro

RCPs: Representative Concentration Pathways

SSPs: Shared Socioeconomic Pathways

TD: Top-down

UK: Reino Unido

Vkm: Veículo-quilômetro

LISTA DE SÍMBOLOS

Subscrito/ sobrescrito	Definição	Unidade
BR	Brasil	-
F	Faixa etária	-
G	Gasolina em veículos leves	-
H	Ano	-
I	Tipo de combustível	-
ING	Inglaterra	-
J	Tipo de veículo	-
LDVs	Veículos Leves de passageiros	-
M	Motocicleta	-
Me	Motocicletas operando a etanol	-
T	Ano	-
A	Constante da equação de Sucateamento de frota	-
A_{2017}	Atividade de veículos leves de passageiros no ano de 2017	p.km
A_{2017}^{BR}	Atividade de veículos leves de passageiros no Brasil em 2017	p.km
A_t^{BR}	Atividade de veículos leves de passageiros no Brasil no ano t.	p.km
A_t	Atividade no ano t	p.km
B	Constante da equação de Sucateamento de frota	-
\overline{CE}_{jt}	Consumo específico veicular médio para a frota de veículos da categoria j no ano t	L/km
\overline{CE}_{it}	Consumo específico veicular médio da frota dedicada ao combustível i no ano t	L/km
CE_{jh}	Consumo Específico dos veículos da categoria j licenciada no ano h	L/km
CE^{me}	Consumo específico das motocicletas quando operadas a etanol hidratado	L/km
CE_t	Consumo específico relativo a frota existente no ano t	L/km
C_t	Fator de ajuste no ano t	-
D_{17-20}^{ING}	Distância anual média dirigida por habitante do grupo etário de 17 a 20 anos	km
D_{18-29}^{ING}	Distância anual média dirigida por habitante do grupo etário de 18 a 29 anos	km
D_{21-29}^{ING}	Distância anual média dirigida por habitante do grupo etário de 21 a 29 anos	km
D_t^{BR}	Distâncias anuais <i>per capita</i> dirigida em veículos leves no Brasil	km
D_{ft}^{BR}	Distância anual média dirigida por habitante em seus grupos etários para o Brasil	km
D_{2017}^f	Distância média dirigida por habitante em seu grupo etário f no ano	km
$D_{2017}^{f BR}$	Distância média dirigida por habitante em seus grupos etários no Brasil em 2017	km
D_t^f	Distância média dirigida por habitante em seu grupo etário f no ano t	km

D_{2017}^{ING}	Distância total percorrida por veículos leves de passageiros na Inglaterra em 2017	km
$(D^{ING})_{t-15}$	Distância total percorrida por veículos leves de passageiros na Inglaterra no ano t-15	km
$(D_{fING})_{t-15}$	Distância média dirigida por habitante em seus grupos etários na Inglaterra no ano t – 15	km
D^{me}	Distância percorrida por motocicletas quando operadas a etanol hidratado.	km
D_{ft}^{ING}	Distância anual média dirigida por habitante em seus grupos etários na Inglaterra	Km
D_t^{ING}	Distâncias anuais <i>per capita</i> dirigida em veículos leves na Inglaterra	Km
FC	Fator de capacidade	passageiros /veículo
FC_t	Fator de capacidade no ano t	passageiros /veículo
F_{jh}	Frota da categoria j licenciada no ano h	Unidades
F_{jt}	Frota de veículos da categoria j no ano t	Unidades
F_t	Frota no ano t	Unidades
IU_t	Intensidade de uso no ano t	Km/ano
K	Idade	Anos
P_{17-20}^{ING}	Quantidade populacional na faixa etária de 17 a 20 anos	Unidades
P_{17-29}^{ING}	Quantidade populacional na faixa etária de 17 a 20 anos	Unidades
P_{ft}	Quantidade populacional na faixa etária f existente no ano t	Unidades
SC_t	Taxa de sucateamento no ano t	-
V	Volume de gasolina C / etanol hidratado vendido pelas distribuidoras no Brasil	L
V_{it}	volume consumido do combustível i no ano t	L
Vkm	Atividade veicular	v.km
V_t^{mg}	Volume de gasolina C destinado para as motocicletas no ano t	L
v^{LDVs}	Consumo de combustível por veículos leves de passageiros	L
v^m	Consumo de gasolina C / etanol hidratado por motocicletas	L
v^{me}	Volume de combustível consumido por motocicletas quando operadas a etanol hidratado	L

1. INTRODUÇÃO

O setor de transportes possui grande relevância nas discussões associadas à energia e ao meio ambiente. De acordo com IPCC (2014), o total de emissões de gases de efeito estufa (GEE) deste segmento ultrapassou o dobro das estimativas relacionadas à década de 1970. Em 2016, o setor de transportes foi responsável por demandar 29% do consumo final de energia em nível global, conforme aponta a Figura 1-1 (IEA, 2018). Dentro desta faixa, a atividade¹ dos veículos leves² (LDVs) é a mais representativa. Os LDVs são responsáveis por consumirem cerca da metade da energia destinada à mobilidade motorizada. Os insumos energéticos dedicados à propulsão desta categoria são, em boa parte, oriundos da cadeia petrolífera. A grande demanda energética direcionada para a indústria do petróleo certifica o seu papel de destaque no cenário geopolítico e econômico internacional.

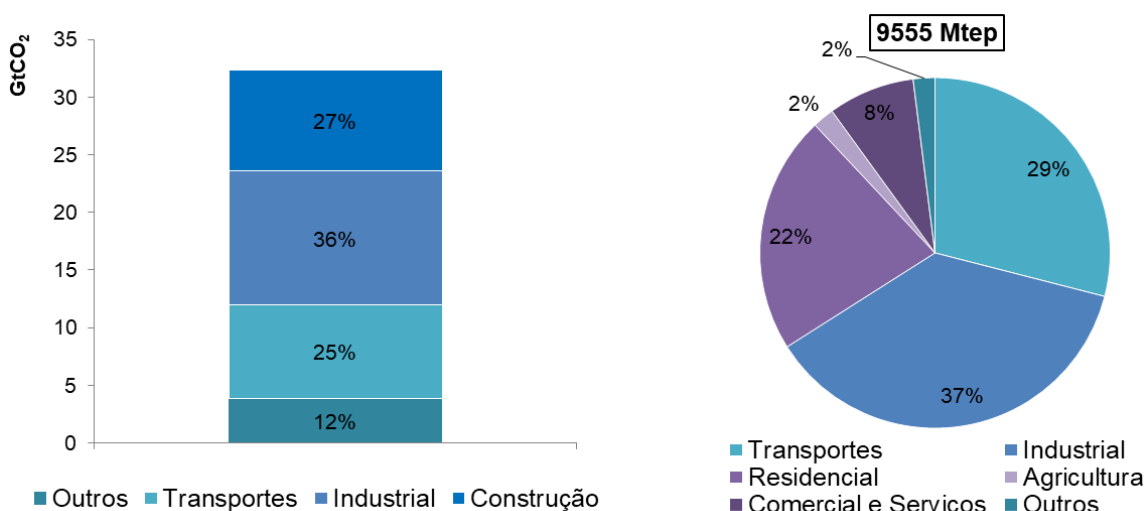


Figura 1-1 – Perfil de emissões energéticas de CO₂ e consumo final de energia por setor – 2016

Fonte: IEA (2018a, 2018b)

Historicamente, a atividade do setor de passageiros tem estado fortemente ligada ao PIB, o que constituiu uma ferramenta bastante útil para o estudo do transporte rodoviário a partir de sua correlação com variáveis econômicas. No entanto, algumas mudanças estruturais vêm ocorrendo e existem indícios, sobretudo em países da América do Norte e da Europa, da desvinculação entre o comportamento

¹ Como será detalhado ao longo deste trabalho, os termos “atividade” e “efeito atividade” são utilizados no setor de transportes para indicar os níveis de mobilidade alcançados por pessoas, por cargas e por veículos.

² LDV é a abreviação comumente utilizada para representar os veículos leves (automóveis e comerciais leves), ou *Light Duty Vehicles*.

destas variáveis. A partir disso, diversas questões têm sido levantadas acerca do planejamento deste setor, como os elementos que contribuem para o crescimento da demanda, a representatividade das técnicas de modelagem energética aplicadas e a alteração das estimativas de mobilidade e demanda energética para o futuro (GARCEAU, ATKINSON-PALOMBO & GARRICK, 2014; IPCC, 2014; MILLARD-BALL & SCHIPPER, 2011; NEWMAN & KENWORTHY, 2011).

A Figura 1-2 demonstra a evolução dos índices de mobilidade rodoviária de passageiros em função do PIB para 10 países entre os anos de 1990 e 2017. A atividade no setor de transporte de passageiros é comumente representada pela relação passageiro-quilômetro (pkm), importante vetor de entrada para a aplicação de modelos de equilíbrio geral que visam estudar as demandas de energia em uma determinada região.

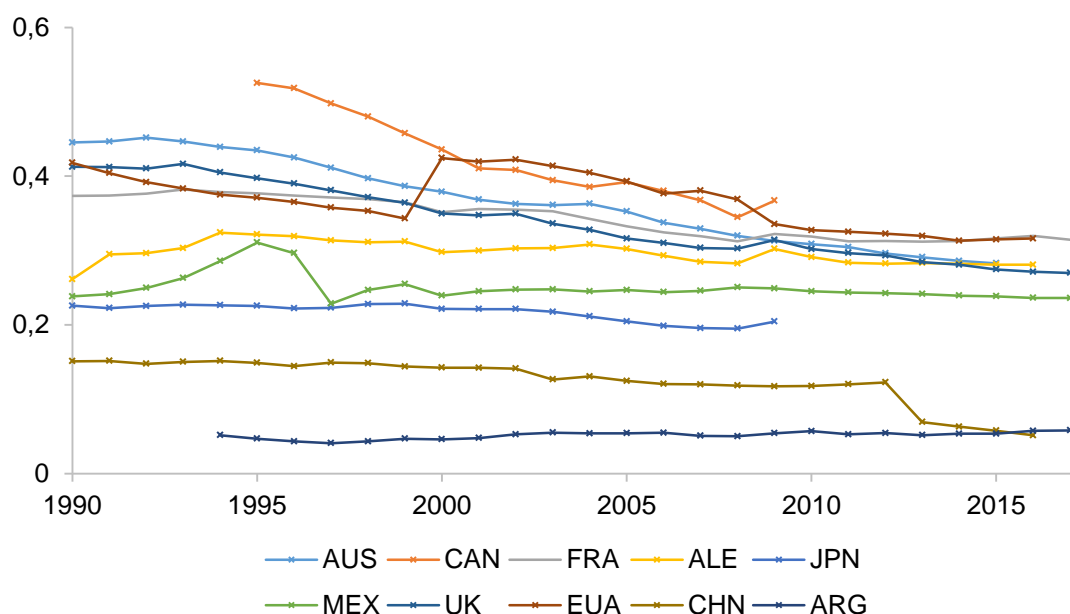


Figura 1-2 – Atividade no transporte rodoviário de passageiros em relação ao PIB (p-km/US\$ em 2011 PPP)³

Fonte: OECD (2019) e THE WORLD BANK (2019)

A causa da redução da correlação entre o crescimento da economia e da demanda por transporte é complexa e difusa. Segundo GOODWIN (2012), diversos elementos poderiam condicionar este efeito, tais como os demográficos, os comportamentais, os culturais e os tecnológicos. Tamanha mudança de panorama

³ Apesar da constatação de crescimento do PIB, observado a cada ano do horizonte projetado (com algumas exceções, como as oscilações da Argentina e as quedas em boa parte dos países entre 2007 e 2009, período em que ocorreu uma grande recessão econômica mundial), notaram-se reduções nos índices de mobilidade apresentados.

aponta para a necessidade de uma melhor compreensão sobre as distintas variáveis, de modo a implementar cenários futuros coerentes com as novas condições.

Em meio às discussões relativas às mudanças na dinâmica do setor de transportes, o caso dos LDVs é o mais emblemático. A redução nos índices de crescimento na atividade destes veículos em países desenvolvidos e especialmente em suas regiões urbanizadas desperta a hipótese de uma estabilização, ou platô, nos níveis de dependência por este tipo de transporte. Em contrapartida, no processo de escolha por alternativas de transporte, os sistemas de transporte de massa têm sido cada vez mais utilizados nestas regiões (KENWORTHY, 2013; MILLARD-BALL & SCHIPPER, 2011).

No que se refere aos países em desenvolvimento, a disponibilidade de estudos voltados para as perspectivas de evolução dos transportes é mais limitada. Historicamente, os trabalhos voltados para estes países são fortemente baseados nas trajetórias de desenvolvimento dos países de economia avançada, cujos processos de motorização se encontram em estágios avançados. Esta condição, associada às expectativas de crescimento econômico nos países emergentes, sugere um alto potencial de elevação em seus índices de motorização, relativamente inferiores. No entanto, as oportunidades, os desafios e os novos objetivos que surgem para nortear este processo evolutivo indicam que a saturação da atividade veicular pode ser atingida em níveis de PIB inferiores aos observados nos processos de estabilização dos países desenvolvidos (IPCC, 2014).

Uma das características observadas em países emergentes diz respeito ao potencial de evolução existente para os níveis de infraestrutura. Em outras palavras, as possibilidades que se abrem para essas regiões no que diz respeito ao planejamento de transportes e uso do solo permitem que soluções sejam orientadas em favor de uma menor demanda por deslocamentos e de uso de energia por passageiro. Neste sentido, o planejamento habitacional e o favorecimento de soluções para transporte alternativas ao uso de LDVs representariam, respectivamente, algumas das estratégias relevantes a estes objetivos.

Dentro da avaliação do panorama da mobilidade para o grupo de países emergentes, o caso brasileiro se evidencia com relação aos demais quando analisadas as perspectivas na demografia nacional para os próximos anos. A transição demográfica pela qual o Brasil começa a passar deve ter forte impacto na demanda por transporte individual. De acordo com MILLER & CASTANHEIRA (2013), a distribuição da pirâmide etária brasileira tem se transformado de forma acelerada. Em

1999, a taxa de natalidade no país atingiu o seu pico e um declínio tem sido observado nos anos subsequentes. Já a parcela da população idosa duplicou em um horizonte de 20 anos, com uma expectativa de crescimento contínuo. As estimativas oficiais apontam que, até 2050, a população jovem se reduzirá em aproximadamente 20%, enquanto que a quantidade de idosos dobrará novamente (IBGE, 2013)⁴. Considerando este aspecto e os demais supracitados, torna-se relevante rediscutir o planejamento nacional no que se refere ao transporte, à energia e ao meio ambiente.

No Brasil, o setor de transportes se destaca pela sua participação no consumo energético nacional (32,7%)⁵ e nos níveis de emissões energéticas de CO₂ (45,8%), sendo este o maior emissor (EPE, 2017a). Segundo EPE (2017b), a crescente demanda de energia para transporte é fortemente associada à mobilidade rodoviária, cuja frota de autoveículos⁶ é majoritariamente composta por veículos leves (95%). Portanto, compreender a dinâmica evolutiva desta categoria é uma questão fundamental nas discussões sobre energia, meio ambiente e planejamento estratégico, este último em função da relevância econômica e social desta atividade.

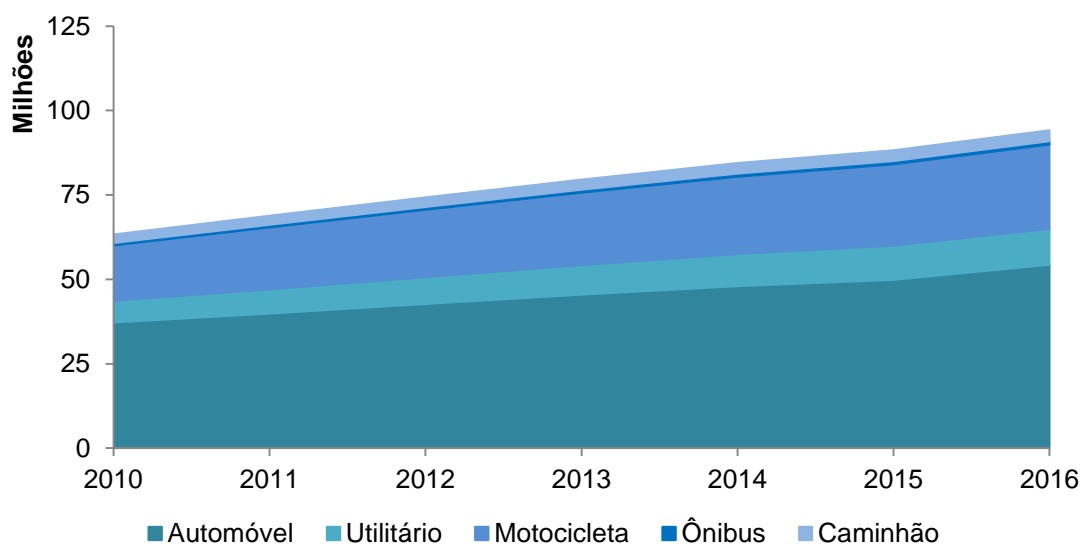


Figura 1-3 – Perfil de evolução da frota de veículos rodoviários

Fonte: Ministério do Transporte (2017)

Considerando que as projeções nacionais voltadas para a demanda de energia no setor de transportes apontam para um crescimento de 1,2% a.a. a 1,9% a.a. entre 2013 e 2050 (EPE, 2018a), a não inclusão de fatores exógenos à análise

⁴ Considerando a população jovem referente ao intervalo de 0 a 19 anos e a idosa a partir dos 60 anos.

⁵ O setor de transporte fica apenas atrás do setor industrial (32,9%) no consumo energético.

⁶ Caminhões, ônibus e veículos leves.

macroeconômica (como o envelhecimento populacional) nos estudos de planejamento pode condicionar distorções capazes de afetar as expectativas para o mercado interno de combustíveis. A indústria sucroenergética, na qual está contida a produção do combustível automotivo etanol, representou cerca de 2% do PIB nacional em 2015 (UNICA, 2016). Já a indústria petrolífera, responsável pela produção dos combustíveis fósseis automotivos e demais produtos, obteve a participação de 13% no PIB brasileiro em 2014 (PETROBRAS, 2014). Ambos os segmentos industriais apresentam também uma série de externalidades positivas à economia do país. Deste modo, a representatividade dos mesmos sugere que alterações associadas ao abastecimento da demanda sejam capazes de repercutir sobre os preços de diversos bens e atividades econômicas da sociedade. Devido a isso, um planejamento adequado do setor de transportes é essencial para a economia nacional.

A partir da discussão apresentada, surge a necessidade de se investigar os elementos capazes de conferir mudanças no panorama da demanda de transporte por veículos leves. Incorporando esta temática ao caso brasileiro, ressalta-se que as alterações esperadas na distribuição demográfica podem ganhar maior representatividade na modelagem de cenários no setor de transportes de passageiros. Como será visto, projeta-se um rápido processo de envelhecimento da população brasileira, o que poderá refletir nos níveis de mobilidade desta. Além deste, demais aspectos serão abordados, como a redução do interesse do adulto jovem na posse e uso do automóvel e os reflexos das transformações no planejamento e infraestrutura urbana.

Dentro da discussão voltada para as alterações demográficas esperadas em nível nacional, o presente trabalho enfatiza o estudo da influência dos investimentos em educação sobre a dinâmica de crescimento populacional e os consequentes reflexos de segunda ordem associados ao uso de veículos leves de passageiros. É levantada a hipótese da redução nos níveis de natalidade em função da evolução dos índices educacionais no país.

A importância do tema para a área do planejamento de energia e transportes pode ser atribuída a diversos fatores. A começar pela inovação da abordagem. No que se refere ao recorte regional escolhido para os fins deste estudo, destaca-se a relevância deste estudo por possibilitar o aprofundamento na discussão do panorama de evolução da mobilidade nos países emergentes, especialmente no cenário brasileiro. Este estudo será conduzido à luz de novos elementos que passam a transformar a dependência pelos veículos leves em distintos contextos regionais. Em

outras palavras, este recorte possibilita a avaliação do panorama futuro para um país em desenvolvimento a partir da incorporação de possíveis condicionantes capazes de alterar a correlação entre mobilidade e PIB, hipótese adotada para a moderação do crescimento esperado.

Para desenvolver a proposta apresentada, assume-se que as alterações na dinâmica da mobilidade em LDVs de passageiros, observadas em países de economia mais avançada, possam também ser verificadas em um horizonte futuro por países de diferentes contextos socioeconômicos, como o Brasil.. Propõe-se que estas mudanças apontem para um menor crescimento da demanda por esta categoria de transporte quando comparadas às estimativas apontadas a partir de estudos de abordagens convencionais. Por fim, acredita-se que uma redução no crescimento esperado contribua para menores níveis de emissões de gases de efeito estufa nesses países.

Para atingir os objetivos apresentados, esta dissertação está estruturada em 6 capítulos, descritos brevemente a seguir, aos quais se adicionam a seção de referências bibliográficas e os anexos de conteúdo relevante às discussões apresentadas.

Após as considerações introdutórias apresentadas neste primeiro capítulo, o segundo capítulo se dedica à contextualização das mudanças observadas na demanda por mobilidade motorizada, principalmente no caso do transporte por veículos leves, com base na literatura existente para os países de economia avançada. Serão apresentados os elementos capazes de desequilibrar a correlação de crescimento da mobilidade e do PIB, os quais surgem, de modo cada vez mais evidenciado, nas discussões sobre o planejamento deste setor nos países desenvolvidos.

O capítulo 3 busca aproximar a discussão anterior ao contexto dos países emergentes e, em especial, ao caso brasileiro. Para isso, serão apresentadas as perspectivas demográficas para a população nacional. Será sugerido que a rápida transição demográfica esperada será capaz de impactar, de forma efetiva, o crescimento da demanda pela mobilidade em veículos leves de passageiros no país. Em seguida, também serão discutidas diferentes propostas relativas à evolução dos índices educacionais da população brasileira e seus efeitos indiretos sobre a demanda por mobilidade no transporte de passageiros.

Por sua vez, o quarto capítulo possui como objetivo apresentar a proposta metodológica para estimar cenários de passageiro-quilômetro no Brasil a partir das discussões apresentadas, as quais abordam a evolução da demanda por LDVs de

passageiros. Neste sentido, diferentes propostas de cenário serão consideradas. Para introduzir este modelo, será feita uma breve contextualização acerca do campo de planejamento energético e das técnicas de modelagem usualmente empregadas. De modo a orientar a discussão para o setor de transportes, também será destacada a relevância do efeito atividade para os estudos de demanda energética e de emissões de CO₂.

O capítulo 5 se concentra na apresentação e discussão dos resultados encontrados, considerando a aplicação da metodologia descrita no capítulo 4. A análise dos resultados permitirá compreender o potencial de impacto das alterações demográficas sobre a mobilidade em veículos leves de passageiros ao longo do horizonte temporal estudado, partindo-se do ano base de 2017 até se chegar ao ano de 2050.

Por fim, para concluir esta dissertação, serão apresentadas as considerações finais em relação ao exposto. Visando dar continuidade às discussões apresentadas, também serão apontadas diferentes propostas de estudos para aprofundamento do tema.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PANORAMA GLOBAL

Este capítulo busca contextualizar as discussões metodológicas acerca de supostos condicionantes que passam a alterar progressivamente a dinâmica evolutiva da demanda por mobilidade motorizada, mais especificamente no que diz respeito aos veículos leves de passageiros e o transporte privado em países de economia avançada. De modo a fundamentar a origem desta mudança de padrões, este capítulo apresentará um panorama histórico dos estudos voltados para esta temática, a começar pelo processo de motorização dos países desenvolvidos. Baseando-se na literatura existente, será visto, a partir de transformações recentes, que a tradicional correlação entre o aumento da mobilidade e o crescimento econômico tende a se reduzir na medida em que novos elementos, de diferentes origens (socioeconômicas, tecnológicas, infraestruturais, etc.), passam a modificar o ambiente social e o comportamento do indivíduo. Estes elementos serão detalhados a partir da compilação de estudos indicativos apresentados nos últimos anos.

2.1. Contextualização histórica

Considerando o estudo da mobilidade privada motorizada de passageiros, é importante destacar que o interesse voltado para a investigação de uma possível saturação nesse tipo de transporte não possui uma origem recente. De fato, por volta da década de 1960, este tema já era abordado a partir de modelos específicos desenvolvidos nos trabalhos de TANNER (1961, 1962, 1963, 1974, 1978), orientados para a Grã-Bretanha. Suas teorias consideravam aspectos sociais e econômicos (principalmente a renda da população) e apontavam para uma duplicação nos níveis de tráfego rodoviário para a região a ser atingida até o fim do século XX (TANNER, 1974).

Estes estudos permitiram que TULPULÉ (1973, *apud* GOODWIN & VAN DENDER, 2013) pudesse projetar, também para a Grã-Bretanha, o uso e a posse de veículos para o período entre 1973 e 2010. Embora constatadas fragilidades em seu modelo, a extrapolação destes dados, quando mais tarde comparados à série histórica no mesmo período, mostrou-se consideravelmente precisa, apontando para o limite de 450 carros para cada 1000 habitantes, a ser atingido na década de 2000 (GOODWIN, 2012; GOODWIN & VAN DENDER, 2013).

Ainda na década de 1970, ZAHAVI (1974) observou a existência de um padrão na duração das viagens diárias para cada passageiro. Segundo ele, haveria um orçamento de tempo médio que limitaria a atividade dos passageiros ocasionada em

razão de fatores comportamentais do ser humano. A precisão de seus estudos gerou desdobramentos, que podem ser observados nos posteriores trabalhos de VITOR & SCHAEFER (2000) e METZ (2010). Neste primeiro, inferiu-se que um limite de tempo diário dedicado ao transporte condicionaria a busca por meios de transporte mais rápidos para o alcance de destinos mais distantes. Este fenômeno se desencadearia de acordo com o nível de renda da população, ou seja, quanto mais alto fosse o poder aquisitivo, maior seria a capacidade de escolha por modos de deslocamento mais velozes. Nesse sentido, o transporte aéreo ganharia cada vez mais ênfase, à medida que o uso do carro se estabilizaria e declinaria. Tais hipóteses apontaram para projeções de pico no uso do automóvel em meados de 2010 para a América do Norte, bem como uma contínua queda nos países da OCDE⁷.

O raciocínio apresentado por METZ (2010) aponta que a busca por destinos mais distantes se daria pela necessidade da ampliação da acessibilidade e da opção de escolha por bens e serviços. Considerando o orçamento de tempo, este leque de opções aumentaria segundo o quadrado da velocidade de deslocamento. Entretanto, de acordo com o decréscimo da utilidade marginal no acesso a mais opções, existiria um ponto em que não haveria maiores propensões rumo a deslocamentos mais longos. Esta condição já estaria sendo atingida em alguns países desenvolvidos, refletindo na saturação do uso *per capita* do automóvel.

É a partir da década de 2000 que uma série de trabalhos passa, de fato, a evidenciar mudanças no panorama do transporte em países desenvolvidos. Nos Estados Unidos, PUENTES & TOMER (2008) constataram quedas na distância dirigida *per capita* em veículos, um fenômeno que não ocorrera desde 1980. Já no Reino Unido, LUCAS & JONES (2009) puderam observar a estabilização no uso *per capita* do automóvel. Ambos os eventos precedem a crise financeira internacional de 2007/2008, descaracterizando-os como meros reflexos deste período.

Diferentes aspectos podem ser diagnosticados como justificativas para o desencadeamento deste fenômeno de grandes proporções. Além dos fatores de ordem econômica, também passaram a ser considerados com maior relevância fatores associados aos campos sociológico e demográfico, que interatuam de forma complexa e implícita.

Como importante indicador para a constatação do surgimento de uma tendência internacional no setor de transportes, o estudo de GARGETT (2012) reuniu dados

⁷ Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.

históricos de 25 países da OCDE (referentes ao período de 1963 a 2010) capazes de apontar para a majoritária redução da mobilidade *per capita*, em veículo-quilômetro, nos países desenvolvidos. Segundo o autor, a tendência de saturação observada seria suficiente para limitar aumentos no longo prazo, embora, no curto prazo, efeitos como alterações nas taxas de desemprego, preços do petróleo e recuperação econômica poderiam influenciar moderadamente a dinâmica do uso do transporte nestes países. Com a exceção destas condições, só haveria crescimento absoluto conforme o aumento populacional.

2.1.1. O “Peak Car”

A discussão de uma provável mudança de cenário no setor de transportes é robustecida a partir dos esforços de SCHIPPER. SCHIPPER *et al.* (1993) especulam acerca de uma estabilização na demanda por transporte em escala internacional. Esse primeiro trabalho, que se concentrou principalmente em fatores de influência econômicos e tecnológicos, despertou o interesse por um maior aprofundamento na temática. Em 2009, a partir de uma compilação de dados de 7 países com economias avançadas, SCHIPPER observou um padrão que dissociava o uso *per capita* de automóveis e veículos comerciais leves e o PIB *per capita*⁸ (Figura 2-1). Segundo o autor, a quebra da proporcionalidade entre ambos os índices apontaria para uma possível saturação na posse e no uso dos veículos. Tais evidências continuavam surgindo em seus trabalhos posteriores⁹.

⁸ Historicamente, a variável macroeconômica PIB tenderia a se apresentar como indicadora para a posse e a atividade de veículos.

⁹ MILLARD-BALL & SCHIPPER, 2011; SCHIPPER, 2011.

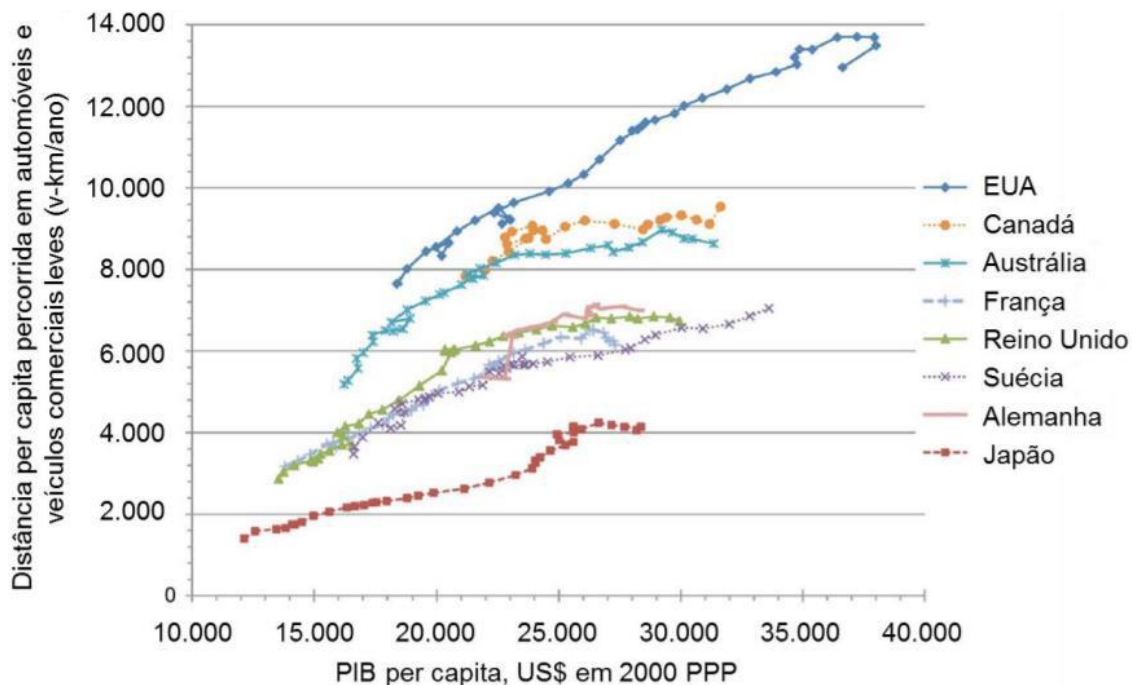


Figura 2-1 – Atividade de automóveis em relação ao PIB *per capita*

Fonte: MILLARD-BALL & SCHIPPER, 2011

Em face da preocupação voltada para o controle das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e mitigação das mudanças climáticas, MILLARD-BALL & SCHIPPER (2011) utilizaram a metodologia “ASIF” (*Activity, Structure, Intensity, Fuel type*)¹⁰ para estudar o panorama do consumo de energia e emissões no transporte motorizado de passageiros em oito países desenvolvidos entre as décadas de 1970 e 2000. A análise decomposta dos dados analisados desse setor indicou que, embora grandes avanços em eficiência veicular tenham sido alcançados, estes foram contrabalanceados a partir de ganhos em peso e potência, anulando possíveis alterações no consumo de combustível.

Ainda no mesmo estudo, também foi observado que os aumentos nos usos dos veículos leves e do transporte aéreo doméstico (mais energeticamente intensivos) não se configuraram simplesmente a partir de um efeito substitutivo na preferência por modais. Efetivamente, o crescimento se apresentava na demanda como um todo, embora com cada vez menos intensidade nos últimos anos do horizonte de tempo analisado. Em virtude disso, considerou-se a ocorrência de uma saturação, ou pico, na atividade *per capita* de passageiros. Cunhou-se, portanto, o termo “*peak travel*”, definido pelo autor a partir da seguinte análise:

¹⁰ Desenvolvida por SCHIPPER & MARIE-LILLIU (1999).

That there exists some level of saturation has long been accepted by modellers of vehicle ownership (TANNER, 1978); it is equally plausible that demand for travel may also saturate. In short, with talk of 'peak oil', why not the possibility of 'peak travel' when a clear plateau has been reached (MILLARD-BALL & SCHIPPER, 2011)?

A origem desta expressão, baseada em uma analogia ao termo *Peak Oil*¹¹, traz divergências na comunidade científica quanto à legitimidade da sua conceituação. Diferentemente do *Peak Oil*, o surgimento do fenômeno em questão não suscita de limites físicos naturais ou custos de produção. Além disso, embora a redução do crescimento do passageiro-quilômetro *per capita* tenha sido apontada como um efeito absoluto sobre os meios de transporte motorizados, é importante considerar a heterogeneidade nos comportamentos da demanda de cada um. Ao passo que em alguns meios o uso decresce, outros apresentam pouca alteração ou até perspectivas de crescimento, como na aviação e no transporte ferroviário (IATA, 2016; NEWMAN, KENWORTHY & GLAZEBROOK, 2013). Por fim, a maior e mais evidente redução tem sido observada ao se tratar especificamente do transporte privado. Esta condição, somada à complexidade da dinâmica do setor de transporte motorizado como um todo, direciona o presente trabalho a se voltar para o estudo específico da mobilidade por veículos leves de passageiros.

A partir dessa visão, o termo *Peak Car* passou a ser utilizado com maior frequência. Embora ainda existam divergências quanto a uma definição precisa (principalmente ao se discutir a sua origem), tornou-se mais apropriado utilizá-lo quando se deseja compreender a insurgência de um fenômeno que atua, sobretudo, no uso do automóvel (KUHNNIMHOF, ZUMKELLER & CHLOND, 2013).

Além de uma visão regional que aponta para a ampla redução da influência dos veículos leves na dinâmica populacional dos países economicamente avançados, observa-se em menor escala que a queda no uso desta categoria surge de forma mais aguda nas regiões urbanas (áreas com melhor infraestrutura de transporte e maior acesso a opções de serviços).

2.2. Proposições evolutivas para a demanda por veículos leves de passageiros

A mudança de tendência observada no setor da mobilidade de passageiros é, conseqüentemente, acompanhada de incertezas acerca de novas projeções de demanda. A incompatibilidade dos modelos tradicionais, evidenciada pelo

¹¹ Considerando o petróleo como um recurso natural finito de grande valor econômico, o *peak oil* é a condição na qual as suas taxas de extração atingem um nível máximo, seguida da contínua queda de produção e aumento dos custos de extração nos poços em atividade. Este comportamento passa a ser evidenciado a partir de HUBBERT (1956).

enfraquecimento da relação entre mobilidade e atividade econômica, faz com que diferentes cenários sejam considerados para o futuro. A falta de precedentes para o presente fenômeno de dinâmica complexa possibilita, portanto, a discussão entre o surgimento dos distintos horizontes de: estabilização, retomada do crescimento ou queda no uso dos veículos leves. Ainda não se faz claro se o surgimento de novos fatores que interferem na demanda por transporte causará mudanças profundas e permanentes no comportamento e na mobilidade do passageiro (evidenciando o *Peak Car*), ou se a recuperação econômica dos países será suficiente para dar continuidade ao padrão de crescimento do transporte privado motorizado (LYONS & GOODWIN, 2014).

Se nos países desenvolvidos a discussão acerca do futuro da mobilidade passa a ser revisada, no que tange os países em desenvolvimento nota-se pouca atualização, prevalecendo a visão da forte correlação entre automóveis e crescimento econômico. Diferentemente das condições presentes no processo de motorização dos países desenvolvidos, nos países emergentes esse fenômeno sucede em meio a um cenário de melhor infraestrutura para transporte e maior acessibilidade à tecnologia veicular. Fatores como estes sustentam a hipótese de elevado potencial de motorização nessas regiões. O característico fenômeno de migração populacional voltada para as zonas urbanas (locais com maiores níveis de renda), associado ao inchaço populacional ocasionado nessas regiões e à insuficiência das alternativas de transporte no suprimento da demanda, também estimula a dependência pelo transporte privado (OECD/ITF, 2012; VAN DENDER & CLEVER, 2013).

A Figura 2-2 exibe séries de dados estadunidenses referentes aos anos de 1995, 2001 e 2009, que relacionam a distância anual média percorrida por cada motorista de acordo com a renda familiar. Observa-se que, à medida que há crescimento no poder aquisitivo, aumenta por consequência o nível de deslocamento nos grupos familiares. Entretanto, nota-se também um decréscimo marginal nas curvas apresentadas, indicando uma saturação dessa necessidade ao se aproximar das camadas de maior renda. Analogamente, sugere-se que nos países emergentes, onde a maior parcela da população está concentrada nos grupos de baixa e média rendas, incrementos de receita impliquem em grandes acréscimos nas viagens, tendo em vista a distância destes grupos em relação ao ponto de saturação. Ademais, é possível observar uma tendência de redução no nível de deslocamentos ao longo dos anos de acordo com a disposição das três curvas apresentadas (OECD/ITF, 2011).

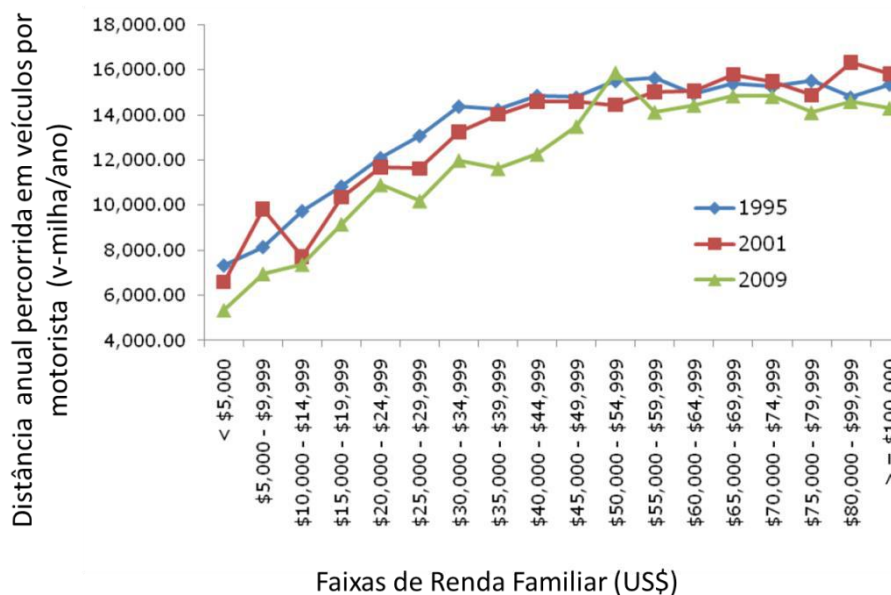


Figura 2-2 – Atividade de veículos em relação aos níveis de renda familiar

Fonte: OECD/ITF (2011)

É importante destacar também que a visão apresentada para a evolução do setor de transportes desses países é fortemente pautada nas experiências dos processos de motorização ocorridos em países avançados. Portanto, o panorama de correlação macroeconômica esperado representa uma percepção limitada a características e condições relevantes em contextos defasados. Fatores que passam a ser destacados na discussão do futuro do automóvel nos países desenvolvidos, tais como a preservação do meio ambiente, as mudanças no perfil etário populacional e nas preferências do passageiro, as novas modalidades de serviços e as novas tecnologias para transporte, também podem ser capazes de alterar a dinâmica evolutiva do uso do transporte em nações em desenvolvimento.

Evidentemente, a eficácia de tais fatores na redução do crescimento do uso do automóvel está condicionada à hipótese do devido comprometimento público a partir de políticas que apontem para esse caminho. Segundo ECOLA *et al.* (2014), os principais elementos que condicionam o desenvolvimento da mobilidade consistem da distribuição espacial da população e da infraestrutura automotiva. Aspectos tangíveis como esses demonstram a capacidade de controle governamental no planejamento da mobilidade futura, principalmente nos países emergentes, onde tais quesitos ainda tomam forma.

O presente trabalho sustenta a hipótese da capacidade de influência desses novos aspectos na dinâmica da mobilidade privada em países em desenvolvimento.

Ainda que um grande aumento de demanda seja esperado, defende-se o potencial de tais elementos na retenção deste crescimento. Para analisar essa possibilidade, utiliza-se como estudo de caso o Brasil. A escassa literatura voltada para o grupo em questão garante a pertinência do estudo.

Cabe destacar ainda que o tema estudado também se torna relevante, pois pretende sinalizar ações e práticas de gestão que possam ser adotadas no planejamento dos países emergentes. Diferentemente do cenário dos países de economia avançada, as amplas possibilidades para as trajetórias de desenvolvimento destes primeiros permitem que medidas estruturais sejam tomadas a fim de possibilitar um crescimento econômico menos dependente da demanda por mobilidade motorizada e por veículos leves.

2.2.1. Condicionantes da evolução da mobilidade privada

Diversos são os fatores de influência que surgem apontados pela literatura buscando explicar a desvinculação entre o crescimento econômico e a mobilidade privada nos países desenvolvidos. As diferentes visões existentes e a intangibilidade de alguns destes elementos dificultam a compreensão dos seus reais efeitos sobre a demanda por transporte. Espelhando-se no que existe para o estudo deste tema nos países avançados, o presente trabalho busca trazer essa discussão para a realidade dos países emergentes e, em especial, ao Brasil.

A nova corrente de pensamento é bastante vasta por considerar, de maneira geral, aspectos culturais, sociais, tecnológicos, políticos, entre outros. A seguir, encontra-se uma breve descrição de alguns desses aspectos.

2.2.1.1. Economia, preços e renda

Tradicionalmente empregadas no estudo da evolução do uso dos veículos leves, as variáveis econômicas, consideradas indicadoras da demanda por transporte automotivo, possuem forte influência nas projeções realizadas dentro deste escopo. Durante o último período de recessão econômica mundial (2007-2009), foi possível observar o impacto negativo no uso e demanda por transporte a partir da perda de crescimento dos países (EEA, 2017; SPULBER *et al.*, 2016). Semelhantemente, aumentos no preço do petróleo, nas taxas de desemprego e na iniquidade social também contribuem para o mesmo efeito.

Os fatores econômicos representam importantes aspectos na dinâmica do transporte privado. No entanto, transições que alteram o comportamento e a relação

entre o homem e o carro tendem a reduzir esta conhecida associação. De fato, observa-se a falta de crescimento *per capita* nos veículos leves em países de economia avançada não obstante a recuperação econômica observada (VAN DENDER & CLEVER, 2013).

Microscopicamente, os efeitos de flutuações econômicas podem ser analisados considerando o teto orçamentário do consumidor e o seu percentual médio habitualmente dedicado à atividade do transporte. É também neste âmbito que os reflexos de mudanças de comportamento podem ser melhores observados¹². Ademais, o nível de renda é capaz de delimitar escolhas e hábitos, tais como as condições e regiões de moradia, a escolha nas opções de transporte e os padrões de viagens realizadas.

Considerando um cenário de mudanças no uso do transporte privado, os encargos financeiros se destacam como elementos de restrição na preferência por este meio de locomoção. Os altos custos para a obtenção de uma licença, bem como para a aquisição de um veículo e demais despesas (seguro, licenciamento, manutenção, combustível, pedágios, estacionamentos, etc.), podem impedir ou retardar a escolha por este meio.

2.2.1.2. Distribuição espacial e uso do solo

A densidade populacional e a sua distribuição geográfica são fatores capazes de condicionar a escolha pelo uso do automóvel. O acesso a opções alternativas ao transporte privado, em função da disposição espacial da população, indica o nível de dependência a este último.

No processo de desenvolvimento dos grandes centros urbanos nas últimas décadas, observou-se, internacionalmente, a tendência de descentralização populacional. Este fenômeno de migração, realizado no sentido oposto as concentrações urbanas, beneficiou o desenvolvimento das zonas suburbanas. A disposição da população em zonas distantes e de menor densidade favoreceu o crescimento do transporte privado e da frota de veículos leves.

Contrariamente a este fenômeno de espraiamento urbano, nota-se uma reversão de comportamento nos últimos anos. Os benefícios oferecidos pelo modo de vida nos centros urbanos passam a ser visados pela população, principalmente a parcela jovem e a idosa (DAVIS, DUTZIK & BAXANDAL, 2012). Tal aptidão tem sido

¹² Conforme será discutido na seção 2.2.1.4.

alavancada por uma série de mudanças. No que diz respeito às preferências individuais, os espaços urbanizados se destacam pela facilidade de acesso a bens, serviços, oportunidades e alternativas de transporte. A centralização populacional nas cidades pode ser evidenciada a partir do crescimento do número de construções e habitações neste meio, da revitalização de espaços marginalizados e a consequente queda do crescimento das regiões suburbanas (DAVIS, DUTZIK, & BAXANDAL, 2012; FREY, 2012).

Em relação ao crescimento populacional observado nas zonas urbanizadas, aumenta-se a necessidade de uma gestão de mobilidade que priorize o movimento de pessoas e bens em relação ao de veículos. Deste modo, políticas públicas que buscam alcançar o controle da congestão, a melhoria da qualidade de vida e a sustentabilidade transformam o espaço físico destas regiões e reduzem o uso dos veículos leves.

O Desenvolvimento Orientado para o Transporte facilita o acesso aos espaços de interesse ao estimular uma ocupação compacta e com uso misto do solo, com distâncias curtas para trajetos a pé ou próximas a estações de transporte de alta capacidade. Desta maneira, a progressiva transformação dos espaços urbanos também insere novas estruturas de transporte à medida que restringe a convencional configuração automotiva. Do mesmo modo, a remoção de vias, por exemplo, permite a implantação de áreas urbanas de usos distintos: residenciais, comerciais, parques ou outros fins.

2.2.1.3. Qualidade e organização estrutural do transporte

À medida que o maior interesse pelo modo de vida orientado para a facilidade de acesso e proximidade aos espaços de interesse comum se estabelece, a relação de dependência pelo transporte privado diminui. Para o indivíduo, torna-se continuamente mais interessante morar em zonas de acesso a múltiplas alternativas de transporte. Para o planejador, o controle de congestão de tráfego e a gestão de demanda por transporte fazem com que investimentos em infraestrutura de transporte público se tornem cada vez mais importantes (GLAZEBROOK & NEWMAN, 2018; NEWMAN & KENWORTHY, 2011).

O transporte público, preterido em função das vantagens do privado, se desenvolveu, em grande parte, em segundo plano. Com as melhorias na qualidade (conforto, praticidade, rapidez) e gestão (integração, alcance, corredores exclusivos) desse serviço, obtidas com o passar dos anos, sua participação passa a ser mais

relevante no processo de escolha do passageiro. A eficácia da aplicação de projetos de infraestrutura de transporte coletivo é observada a partir dos diversos casos de sucesso em distintas localidades. Desde os anos 2000, projetos como os de sistemas ferroviários metropolitanos e os de sistemas rodoviários¹³ têm se apresentado com crescimento acelerado em escala global (GLAZEBROOK & NEWMAN, 2018; HIDALGO & GUTIÉRREZ, 2013; NEWMAN, KENWORTHY & GLAZEBROOK, 2013); o acesso a espaços de lazer e eventos é cada vez mais beneficiado por opções de transporte público, sendo este um maior estímulo para o seu uso; a longas distâncias, os sistemas ferroviários e aéreos se tornam cada vez mais acessíveis.

No processo de reestruturação do espaço urbano, as transformações também buscam favorecer a locomoção à propulsão humana. O conceito de *smart growth*¹⁴ em uso na planificação urbana estimula e facilita o acesso aos locais de interesse comum a partir de alternativas como o pedestrianismo e o ciclismo. Os investimentos em infraestrutura voltada para tais modos de locomoção contribuem para reduzir o interesse pelo automóvel.

De modo a reorganizar estruturalmente o sistema de transporte de passageiros, a iniciativa pública cumpre um importante papel ao estabelecer medidas políticas que impulsionem este objetivo. A gestão de estacionamento¹⁵, por exemplo, libera espaços públicos, favorece a restrição de tráfego e permite a implantação de novas estruturas para transporte público, ciclismo, passeio e convívio social; a substituição de vias por áreas de pedestrianismo, o *traffic calming*¹⁶ e a implementação de estruturas de transportes alternativos também se destacam atualmente como estratégias em uso.

2.2.1.4. Tecnologia da informação e mudanças em padrões sociais

Dentro do processo de desenvolvimento da tecnologia de informação e comunicação, observou-se o potencial de alteração no padrão comportamental e no modo de vida do indivíduo a partir de diversos avanços alcançados. Paralelamente a isso, também eram notados indícios do declínio no uso *per capita* do automóvel, sobretudo pela geração jovem da população cuja aptidão ao uso das inovações

¹³ Bus Rapid Transit (BRT) e Buses of High Level of Service.

¹⁴ Conforme indicado, o *smart growth* é um termo empregado na área de planejamento urbano e de transportes que orienta a organização dos espaços de forma compacta e equilibrada, facilitando o acesso a bens e serviços e minimizando o uso do transporte motorizado, principalmente em relação à mobilidade privada.

¹⁵ Redução ou transformação das zonas públicas de estacionamento automotivo.

¹⁶ Conjunto de medidas voltadas ao tráfego para reduzir a velocidade de deslocamento dos veículos, visando aumentar a segurança local.

cibernéticas é maior em relação às gerações antecessoras (KUHNNIMHOF et al., 2012). A referida concomitância de eventos despertou o interesse na investigação de uma possível inter-relação entre os mesmos (LE VINE, LATINOPOULOS & POLAK, 2014).

Considerando a ocorrência dos eventos apresentados como uma realidade ainda em progresso e admitindo a complexidade existente no cerne de tal discussão, observa-se grande divergência de opiniões quanto ao impacto da acessibilidade tecnológica no uso do transporte privado. Dentre os aspectos capazes de endossar uma relação substitutiva entre a tecnologia e o automóvel, são apontadas mudanças comportamentais que demonstram a perda de importância do automóvel:

- i. A penetração de novos serviços e facilidades para transporte (*carpooling*, maior informação e integração dos transportes públicos, aplicativos móveis para o melhor planejamento de rotas, *e-commerce*, *bicycle-sharing systems*¹⁷) e o uso racional do tempo, aplicado para atividades de maior produtividade e interesse (uso de *smartphones* e redes sociais, trabalho, comunicação), substituem o interesse por dirigir (DELBOSC & CURRIE, 2013);
- ii. Atividades básicas dependentes de deslocamentos físicos passam a ser gradativamente beneficiadas pelo aprimoramento das ferramentas virtuais, podendo ser substituídas progressivamente pelo contato à distância (*home office*, educação a distância, *e-leisure*, *e-commerce*, contato social virtual¹⁸);
- iii. A mudança de percepções em face da imagem do carro, anteriormente um símbolo de *status*, de respeito e de transição para a independência e maioridade para, cada vez mais, um elemento que se reflete como sinônimo de dispêndios e responsabilidades (DELBOSC & CURRIE, 2013).

A dificuldade existente no dimensionamento dos efeitos do contínuo aumento do uso e influência da tecnologia nas atividades da população contribui para o caráter controverso de opiniões. Desse modo, também é defendida por estudos a tese da existência de efeitos complementários entre mobilidade privada e tecnologia da informação, como no caso do advento do *e-commerce* e a substituição do tempo da

¹⁷ Os conceitos de *e-commerce*, *carpooling*, e *bicycle sharing systems* se referem respectivamente a atividade de comercialização virtual, ao uso compartilhado de veículos ao longo de jornadas em comum para os passageiros e o emprego de sistemas comunitários para bicicletas, ou “bicicletas de autosserviço”.

¹⁸ Os conceitos de *home-office* e *e-leisure* se referem respectivamente ao trabalho à distância e as atividades virtuais para lazer.

compra local tradicional por outras atividades que demandam deslocamento e no aumento de demanda por transporte para a modalidade de comercialização *online* do tipo consumidor-consumidor (CROCCO, EBOLI & MAZZULLA, 2013; WELTEVREDEN & ROTEM-MINDALI, 2009).

A capacidade da tecnologia em exercer maior influência nas gerações mais novas (que nasceram ou se desenvolveram em conjunto da mesma) com relação às mais velhas evidencia o caráter inconclusivo das análises existentes e indicam a necessidade de acompanhamento da evolução e comportamento das gerações subsequentes.

2.2.1.5. Demografia e uso do automóvel

O envelhecimento da população mundial é um tema cada vez mais relevante nas discussões governamentais. Não obstante, o reflexo deste evento sobre a temática do transporte é expressivo e sugere a necessidade de mudanças de planejamento.

De acordo com a UN/DESA (2017), espera-se que, em 2050, a parcela de indivíduos com idade igual ou superior a 60 anos seja o dobro da existente em 2017. À medida que a tecnologia e as condições socioeconômicas avançam, cresce a expectativa de vida. À vista disso, sugere-se que o crescimento dos grupos etários de idades ainda mais avançadas também seja acentuado. Tamanha transição demográfica é corroborada pela expectativa de reduções nas taxas de natalidade em diversas regiões. As mudanças apontadas poderiam alterar as expectativas pela demanda por mobilidade para o horizonte futuro.

A Figura 2-3 demonstra a tendência sistêmica das mudanças no perfil etário da população global. A análise de algumas regiões específicas permite que proposições sejam feitas. Como é possível observar, as regiões que concentram uma maior quantidade de países de economia avançada, como a Europa e a América do Norte, apresentam uma evolução populacional estabilizada e com ganhos relativos nos grupos de idade avançada. Enquanto isso, nas regiões da Ásia, da América Central e da América do Sul, cujas composições se dão em maior parte por países emergentes, nota-se um processo acelerado de mudanças na composição etária da população, rumo a um rápido envelhecimento. No que diz respeito ao continente africano, a maior concentração de países subdesenvolvidos indicaria a perspectiva de grandes incrementos populacionais, principalmente na base da pirâmide etária. Considerando o raciocínio apresentado, sugere-se que a influência de um processo de envelhecimento

demográfico sobre os níveis de mobilidade se daria principalmente nas regiões dos países em desenvolvimento¹⁹.

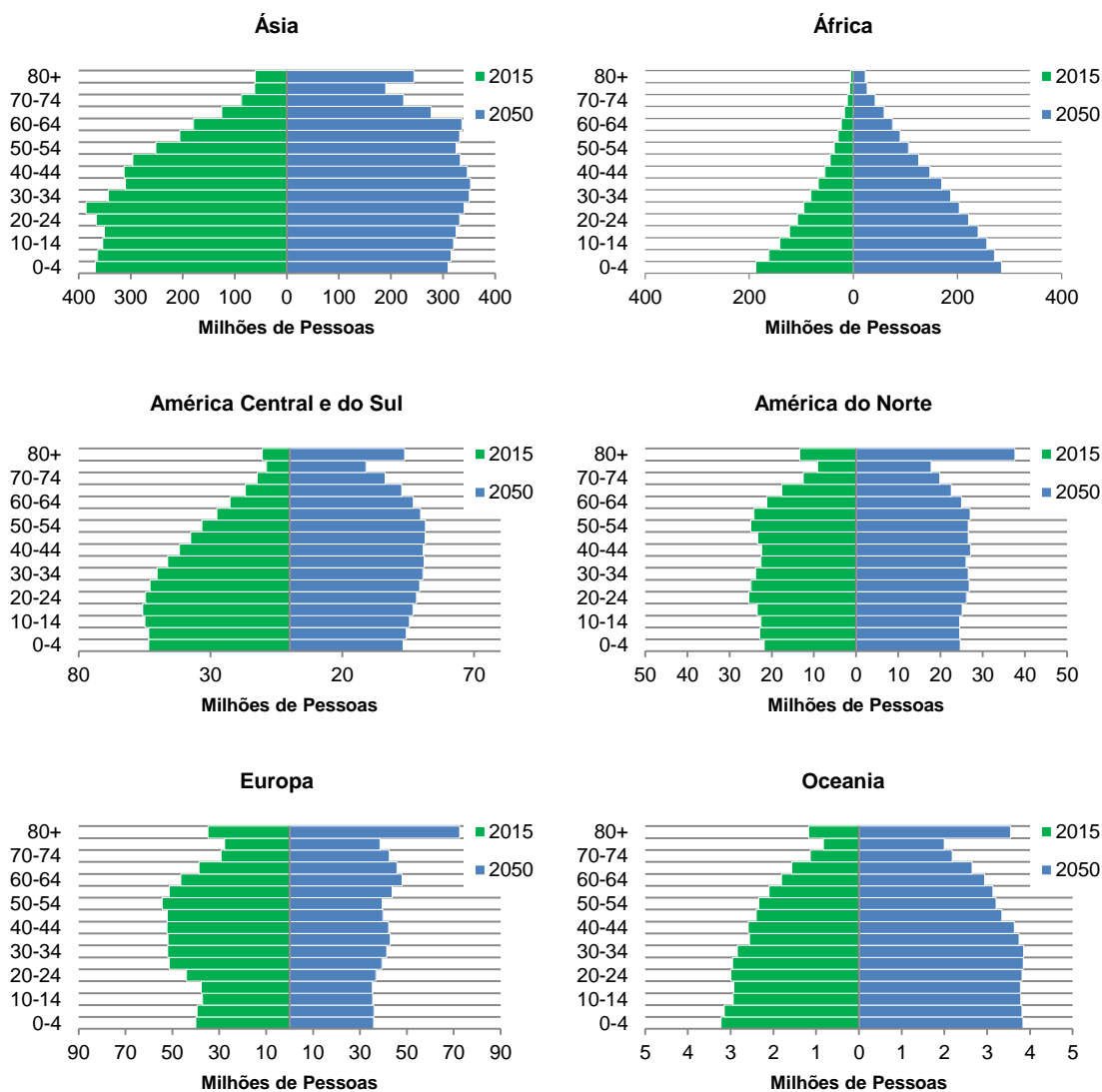


Figura 2-3 – Projeção da pirâmide etária da população em regiões mundiais

Fonte: UN/DESA (2017)

O uso do automóvel é pautado de acordo com os estágios da vida. Desse modo, eventos como a atividade laboral e a constituição familiar tendem a aumentar esta demanda. Por outro lado, o envelhecimento e a aposentadoria, alcançados no estágio final, tendem a regular e reduzir significativamente essa necessidade. Desse modo, as mudanças esperadas na pirâmide etária populacional sugerem a redução no crescimento do uso do carro nas próximas décadas. Uma população mais envelhecida

¹⁹ Na Seção 3.1 será retomada a discussão sobre a teoria do processo de transição demográfica e o caso dos países em desenvolvimento, destacando o Brasil para estudo de caso.

e de mesmo tamanho impactaria em um menor uso do carro. Este resultado poderia também ser robustecido a partir da esperada redução no tamanho da população de alguns países²⁰ (OECD/ITF, 2011).

No entanto, as rápidas transformações tecnológicas e sociais que vêm sendo alcançadas aumentam o nível de incertezas sobre o comportamento da população no futuro. Tais mudanças diferenciam progressivamente as experiências de vida de cada geração, o que torna a especulação sobre o uso do carro um exercício desafiador. Por outro lado, o nível de redução no uso do transporte privado por uma população mais envelhecida poderia ser compensado por outros fatores, como na demanda pela prestação de serviços (cuidadores, etc.) e de forma substitutiva, realizada por familiares.

Segundo HUBERS & LYONS (2013), a tecnologia configura as práticas sociais. Esta última configura os deslocamentos e vice-versa. Portanto, o envelhecimento, decorrido em meio a um cenário de rápidas transições tecnológicas, sugere a extensão etária no uso do carro em razão da comunhão entre *tecnologias assistivas* e mudanças de hábitos da população idosa (vidas menos dependentes, melhores condições de saúde, aumento na participação de atividades laborais, maior integração em atividades sociais e de lazer).

Na base da pirâmide, também é possível notar a transformação dos hábitos dos grupos etários no que tange o transporte. Nos últimos anos, indícios de alterações profundas na relação do adulto jovem com o veículo privado têm sido evidenciadas. Embora nas últimas décadas o acesso ao carro pelas mulheres tenha aumentado, nos últimos anos seu uso tem se reduzido de modo geral para o adulto jovem nos países avançados. Esta tendência vem sendo significativamente impulsionada pelo gênero masculino. A mudança, principalmente evidenciada no comportamento do homem, pode sugerir que determinados fatores possam ter agido com maior efeito sobre o mesmo. As causas para este fenômeno não são claras (KUHNNIMHOF *et al.*, 2012). A influência deste efeito sobre a futura demanda por transporte privado é corroborada a partir de dados concretos referentes à essa geração, tais como os de alterações nos índices de licenças para dirigir, de estado civil, de taxa de emprego e de profissão (POLZIN, CHU & GODFREY, 2014).

Além de dirigir menos, o jovem também retarda a aquisição de sua habilitação para poder conduzir um veículo automotivo. Uma importante consequência das

²⁰ Sobretudo nos países desenvolvidos.

transformações na relação entre o adulto jovem e a mobilidade privada é apresentada na Figura 2-4. O estudo de STOKES (2013), para a Grã-Bretanha, sugere que a perda de interesse e a postergação na aprendizagem da direção de veículos podem reduzir a distância anual a ser percorrida pelo condutor. As causas para este comportamento não são claramente definidas, mas aspectos como o maior entusiasmo no aprendizado em idades mais jovens e a perda de confiança na condução em função da idade são considerados na interpretação. Também é possível observar a redução nos padrões de uso do automóvel quanto mais nova é a geração²¹.

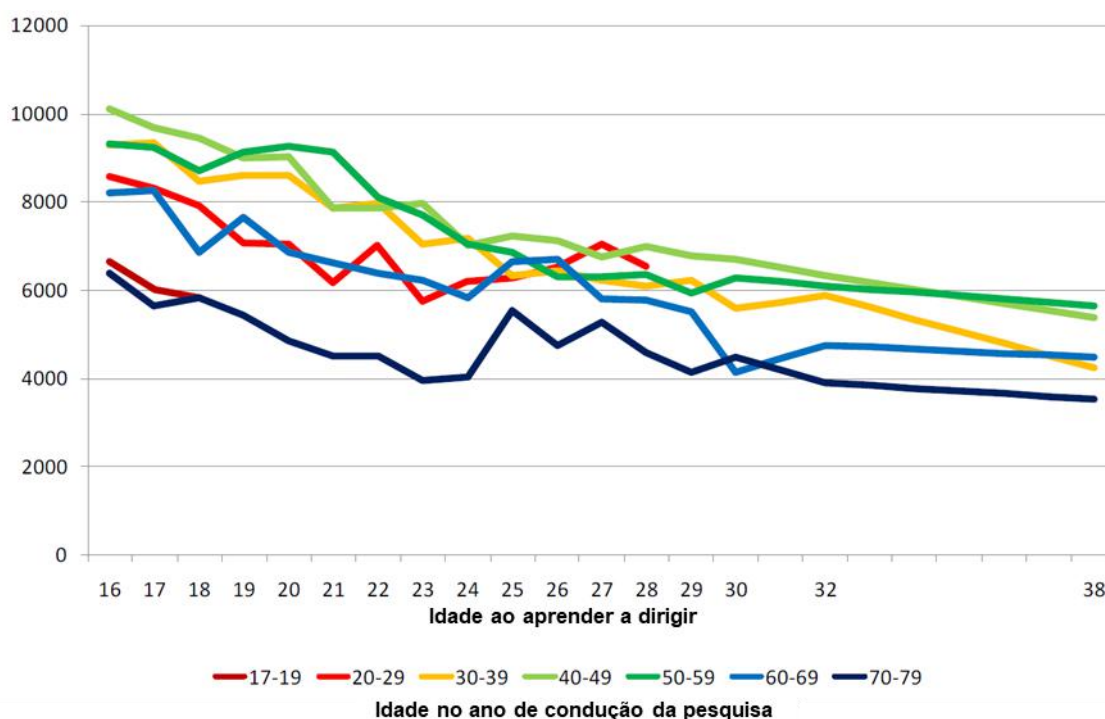


Figura 2-4 – Distância dirigida em função da idade de aprendizagem do condutor (em milhas por ano)

Fonte: STOKES (2013)

No que diz respeito às características de uma população, as correntes migratórias também se caracterizam como agentes capazes de desequilibrar a demanda por transporte e combustíveis em um país. Intuitivamente, uma maior população indicaria um maior nível de deslocamentos. De acordo com TSANG & ROHR (2011), conforme observado em casos emblemáticos na temática de migração, como nos Estados Unidos e na Inglaterra, a população imigrante estaria inicialmente

²¹ A partir da Figura 2-4, um indivíduo com idade entre 40 e 49 anos durante a pesquisa, caso aprendesse a dirigir aos 16 anos, dirigiria aproximadamente 10.000 milhas/ano; caso aprendesse aos 24, dirigiria aproximadamente 7.000 milhas/ano. Um indivíduo pertencente a uma geração mais jovem, com idade entre 20 e 29 anos durante a pesquisa, caso aprendesse a dirigir aos 16 anos, dirigiria aproximadamente 8.500 milhas/ano; caso aprendesse aos 24, dirigiria aproximadamente 6.500 milhas/ano.

mais propensa ao uso do transporte público. Entretanto, é esperada a adequação natural deste grupo às preferências e níveis de uso locais. O maior uso do transporte público, ainda que possa condicionar incrementos de receita, tende a aumentar a pressão sobre a sua oferta. Como consequência, impactos como a saturação da capacidade destes meios, a deterioração da qualidade do transporte e a preterição a este tipo, favorecendo o uso do transporte privado, poderiam ser observados.

Em meio a esta discussão, também se faz necessário destacar a relação entre a disponibilidade de opções de transporte e o assentamento e distribuição da população. A dificuldade de acesso à meios alternativos ao transporte privado impulsionaria a dependência automotiva e o respectivo incremento desta demanda.

2.2.1.6. Nível educacional e uso do automóvel

Dentre as mudanças nos padrões sociais, a atividade educacional também se torna um ponto de interesse nas discussões sobre mobilidade privada. Ao passo que a população envelhece, a parcela jovem passa a dedicar mais do seu tempo às atividades educacionais, alterando o seu grau de participação laboral e aprimorando o nível de instrução. De acordo com DELBOSC & CURRIE (2013), a necessidade pelo uso do automóvel nas atividades de ensino é menor. Portanto, uma transição em grande escala no padrão das atividades da população poderia alterar a dinâmica no uso desse transporte. O consequente atraso no início da constituição familiar e reprodução, em função das mudanças nas escolhas e cronologia dos eventos da vida do indivíduo, também são apontados como elementos que desequilibram a tradicional dependência pelo automóvel. Paralelamente a isso, CARSE *et al.* (2013) sugerem, a partir de um estudo de caso, que o ganho de instrução educacional pode reduzir o uso individual do automóvel.

2.2.1.7. Meio ambiente e mudanças climáticas

Em função de esforços rumo a cenários de futuro com menores emissões de gases de efeito estufa (GEE), admitem-se possíveis transições na tecnologia e no comportamento social. À primeira, acredita-se que o aumento de eficiência dos motores automotivos e a introdução de veículos dedicados a fontes não-fósseis de energia possam contribuir para uma redução nas expectativas de demanda futura de combustíveis fósseis. À segunda, deposita-se a perspectiva de um aumento progressivo da conscientização ambiental das novas gerações, um comportamento observável em parte dos jovens dos dias atuais capaz de alterar a relação com o

automóvel. Em contrapartida, a imprecisão na evolução destes aspectos atribui um caráter controverso nas discussões e expectativas.

No que se refere à penetração de veículos com motores de propulsão elétrica, encontra-se uma extensa literatura capaz de apontar cenários futuros²². O potencial de inserção da referida tecnologia surge como um fator importante na discussão da redução da demanda de combustíveis líquidos para consumo por veículos.

Além dos desafios naturais esperados na implantação de uma nova tecnologia no mercado, no Brasil, por exemplo, os veículos elétricos enfrentam questões específicas relacionadas ao cenário nacional. No que diz respeito à transição rumo à redução de emissões de GEE, o setor brasileiro conta com a tecnologia *flex fuel*, alavancada em virtude das vantagens naturais e estratégicas na produção de combustíveis de origem renovável. A capacidade desta indústria energética em trazer uma série de externalidades positivas à economia do país faz com que o seu crescimento seja naturalmente priorizado e projetado nas políticas de planejamento. Características como os altos custos de investimento, as preferências do consumidor e a necessidade de incentivos governamentais também postergam o estabelecimento da tecnologia de propulsão elétrica (EPE, 2017).

Conforme disposto neste capítulo, os indícios de uma transformação no cenário de evolução do transporte por veículos leves foram evidenciados ao longo dos últimos anos. A causa deste comportamento é complexa e difusa. Diversos são os elementos apontados pela literatura como capazes de exercer influência no crescimento da demanda nesta categoria. Visando sintetizar a discussão deste capítulo, a Tabela 2-1 os reúne e indica alguns dos modos através dos quais estes elementos podem ser capazes de atuar sobre a demanda por LDVs.

²² EIA (2014); IEA (2009); EPE (2014).

Tabela 2-1 – Condicionantes sugeridos como capazes de impactar na evolução da atividade de LDVs de passageiros

Economia, preços e renda	Aspectos macroeconômicos: preços do petróleo, crescimento econômico, taxas de desemprego, políticas econômicas, etc. Aspectos microeconômicos: renda, custos de aquisição, manutenção e operação veicular, custos de aprendizagem e obtenção de licença, etc.
Distribuição espacial e uso do solo	Reestruturação e revitalização dos centros urbanos: ocupação compacta e uso misto do solo, facilidade de acesso a bens e serviços. Centralização populacional nos espaços urbanizados: redução no nível dos deslocamentos e maior acesso a meios de transporte alternativos.
Qualidade e organização estrutural do transporte	Avanços na qualidade e gestão do transporte público. Ampliação estrutural de alternativas de transporte. Incentivos ao uso de meios de transporte alternativos (motorizados e não-motorizados) aos LDVs.
Tecnologia da informação e mudanças em padrões sociais	Mudanças de percepções em relação à imagem e representatividade do automóvel. Surgimento de ferramentas virtuais capazes de reduzir a necessidade por deslocamentos físicos. Surgimento de tecnologias e serviços facilitadores para transporte.
Demografia e uso do automóvel	Mudanças no perfil etário das populações: envelhecimento populacional e menor demanda por deslocamentos. Perda de interesse ou retardamento na aquisição de habilitação para dirigir pelo adulto jovem. Desequilíbrios na demanda por transportes a partir de correntes migratórias.
Nível educacional e uso do automóvel	Mudanças no tempo dedicado aos estágios da vida: maior tempo dedicado à atividade de ensino, de menor demanda por transporte.
Meio ambiente e mudanças climáticas	Aumento progressivo na conscientização ambiental da população. Movimentos orientados para a escolha de alternativas de transporte menos intensivas em emissões de carbono.

Fonte: Elaboração própria

Tratando-se dos elementos considerados, o caráter qualitativo apresentado na discussão existente para muitos destes aspectos limita a aplicação dos mesmos em análises quantitativas, como em modelos para a projeção de demanda. Deste modo, o presente trabalho tem um enfoque maior na discussão do impacto de aspectos demográficos sobre a demanda por mobilidade em LDVs de passageiros.

Considerando a hipótese de um acelerado envelhecimento populacional principalmente em países emergentes, o próximo capítulo incorporará esta discussão ao estudo de caso brasileiro; isto é, considerará as especificidades nacionais, as quais serão discutidas de forma detalhada.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PANORAMA NACIONAL

Nesse capítulo serão estudadas as perspectivas sociodemográficas para o Brasil, que constituem importantes condicionantes para o modelo ser desenvolvido neste trabalho, conforme já foi mostrado no capítulo anterior. Para isso, será exposta uma análise aprofundada da evolução do perfil etário brasileiro e dos reflexos de investimentos em educação sobre o crescimento populacional e seus possíveis efeitos indiretos na demanda por transporte no futuro, segundo as diferentes propostas de cenários a serem introduzidas.

Em primeiro lugar, é preciso compreender as premissas tradicionalmente consideradas nos estudos de evolução do setor de transportes. Ao longo do processo de desenvolvimento dos países de primeiro mundo, observou-se a forte correlação entre o crescimento econômico e a demanda pelo automóvel (MILLARD-BALL & SCHIPPER, 2011; VAN DENDER & CLEVER, 2013). Macroscopicamente, indicadores econômicos, como o PIB, demonstraram a capacidade de servir como premissas analiticamente consistentes para o apontamento de valores para o passageiro-quilômetro. Analogamente, o mesmo critério de associação é utilizado na trajetória de crescimento dos países emergentes. O desacoplamento entre os níveis de mobilidade e de atividade econômica, observado nos últimos anos em economias avançadas, sugere a incompatibilidade deste arcabouço na busca de cenários representativos de futuro e permite que diferentes aportes metodológicos sejam considerados.

Assim como em GARGETT (2012) e MORAIS (2017), ao serem consideradas as evidências do desacoplamento entre economia e demanda por mobilidade, o modelo proposto neste estudo adota a hipótese de que a evolução do passageiro-quilômetro se apresentará como condição fortemente associada às alterações das características demográficas, como será discutido neste capítulo. Adicionalmente, será incorporada a discussão da relação entre os investimentos em educação e os respectivos desdobramentos sobre a demografia e os níveis de mobilidade da população.

3.1. Perspectivas sociodemográficas e o planejamento de transportes

A compreensão da transformação esperada no cenário demográfico nacional é de grande importância para a conservação do Estado e o atendimento das distintas demandas da sociedade no futuro. De modo a garantir tais objetivos, profundas transformações na estrutura de funcionamento da sociedade²³ devem ser

²³ Tais como: alocação de recursos, políticas sociais, investimentos em infraestrutura e serviços.

configuradas. No que se refere ao setor de transportes, o envelhecimento populacional e as conseqüentes alterações esperadas na demanda por mobilidade, em contraste com o caráter de grandes escalas dos projetos de infraestrutura relacionados (tamanho, investimento, tempo de implementação, durabilidade), tornam o planejamento prévio uma questão fundamental para o dimensionamento destes projetos e o atendimento das futuras necessidades.

Considerando a relevância dos aspectos citados, o presente estudo propõe a compreensão do efeito do envelhecimento populacional brasileiro sobre o passageiro-quilometro nacional. Segundo o que foi apresentado na Seção 2.2.1.5, grupos etários mais velhos tenderiam a dirigir menos. Sugere-se que esta condição poderia alterar os cenários futuros para o passageiro-quilômetro no Brasil.

3.1.1. Perspectivas demográficas brasileiras

Historicamente, a pirâmide etária brasileira se apresentou como predominantemente jovem em sua composição. No entanto, um rápido padrão de transição demográfica tem sido observado nas últimas décadas. O efeito acelerado relativo ao envelhecimento populacional se torna evidente quando analisadas as alterações na idade mediana nacional. Em 1980, o referido valor correspondia a 20,2 anos, ou seja, boa parte da população era constituída por crianças e jovens. Atualmente²⁴, a estimativa cresce para 33,0, enquanto que, em 2050, a projeção aponta que a idade mediana nacional será de 43,9 anos (IBGE, 2013).

Até 2050, projeta-se no Brasil um crescimento populacional de cerca de 12% em relação a 2018 (IBGE, 2013). Neste processo, a inversão esperada no formato da pirâmide etária nacional tende a ocorrer de forma significativamente mais acelerada quando comparada a previsão mundial, conforme indicado nas Figuras Figura 3-1 e Figura 3-2. Espera-se que a porção da população brasileira com idade superior a 60 anos ultrapasse a parcela com idade igual ou inferior a 14 anos até 2030, enquanto que, mundialmente, a mesma perspectiva é apontada para 2050.

²⁴ 2019.

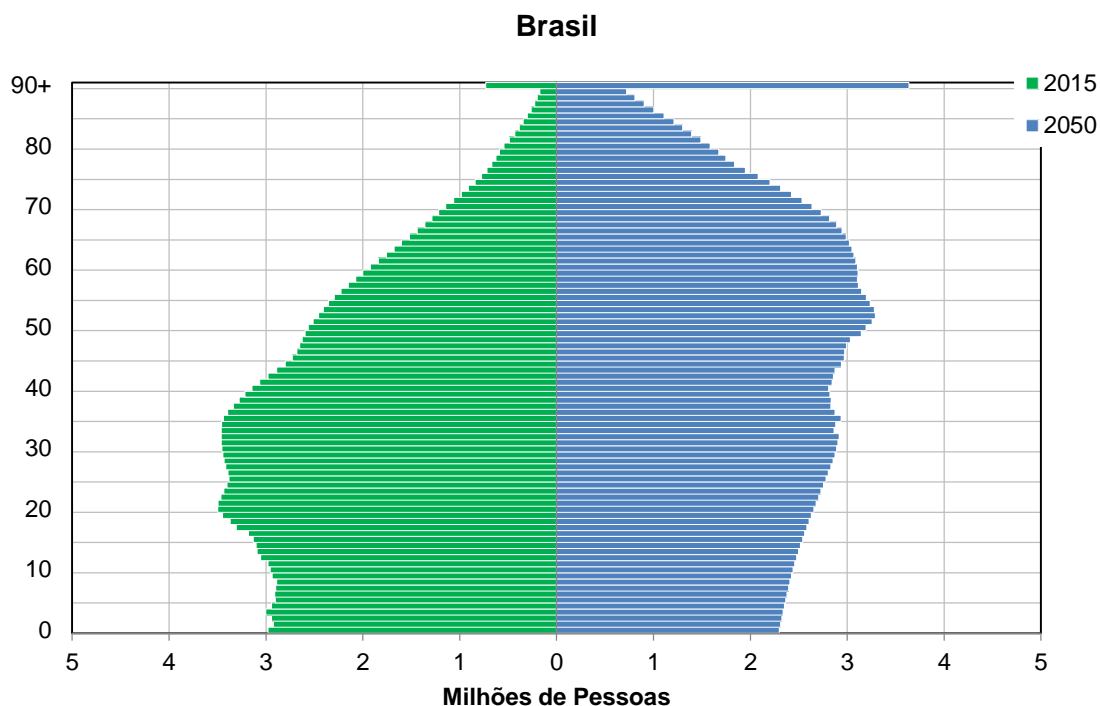


Figura 3-1 – Projeção da pirâmide etária da população brasileira
 Fonte: IBGE (2013)

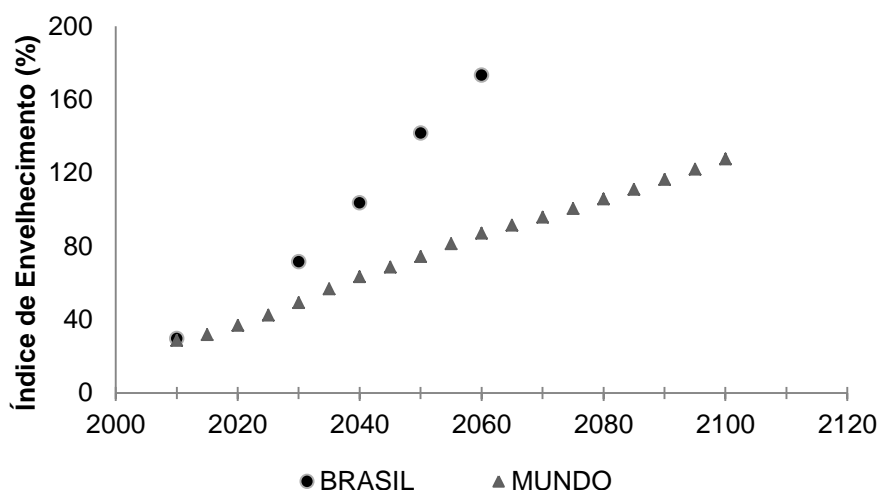


Figura 3-2 – Projeção do índice de envelhecimento da população brasileira e mundial²⁵

Fonte: IBGE (2013) e UN/DESA (2017)

O processo conhecido como transição demográfica é um fenômeno observado no histórico de “amadurecimento” das sociedades, ou seja, diz respeito à dinâmica do

²⁵ O índice de envelhecimento foi calculado com base na seguinte fórmula: $i. e. = \frac{Pop_{65+}}{Pop_{0-14}} \times 100$, em Pop_{65+} e Pop_{0-14} equivalem a população com idade igual e superior a 65 anos e a população com idade de 0 a 14 anos, respectivamente.

crescimento populacional ao longo da transformação de uma sociedade em condição pré-industrial a uma pós-industrial. THOMPSON (1929, *apud* SZRETER, 1993) e NOTESTEIN (1945, *apud* SZRETER, 1993) observaram o padrão de variação nas características demográficas existente no processo de desenvolvimento dos países industrializados, condição que atualmente se mostra bastante similar ao contexto de diversos países em desenvolvimento, como o Brasil. Nesta dinâmica, as variações nos índices de natalidade e mortalidade, decorrentes de diversas melhorias nas condições de vida, são segmentadas em estágios característicos que conduzem a um declínio gradativo da taxa de crescimento populacional.

As mudanças contidas no cenário que conduz ao envelhecimento da população brasileira são frutos de uma diversidade de fatores. Em termos gerais, ganhos relativos à maior expectativa de vida no país reduziram a taxa bruta de mortalidade, enquanto que a taxa de natalidade decaía significativamente²⁶. Até então, a grande diferença entre ambos garantia o alto crescimento vegetativo da população. Entretanto, até meados de 2050, a queda acelerada do índice de natalidade poderá resultar em valores inferiores em relação à mortalidade, condição capaz de impulsionar um decréscimo populacional.

Territorialmente, espera-se que a população idosa aumente em todas as regiões do Brasil nas próximas décadas. De modo desagregado, em função das desigualdades sociais existentes, considera-se um processo mais avançado nas regiões Sul e Sudeste, onde a maior disponibilidade de recursos garante uma maior expectativa de vida (REIS, BARBOSA & PIMENTEL, 2016).

3.1.2. Perspectivas sociais e demografia

Na elaboração deste estudo também foi considerado o efeito da instrução educacional na redução dos níveis de fertilidade. Analogamente à proposta de alteração do passageiro-quilômetro em função do envelhecimento populacional, uma menor população também perturbaria os valores esperados.

De acordo com COALE (1963), o processo de transição demográfica, marcado pela industrialização e por diversos progressos nas condições de vida, tais como nos níveis de renda, na educação e na infraestrutura (urbanização), também favoreceria a redução das taxas de natalidade. Para LANGONI (1975), a evolução destes índices seria capaz de tornar mais racional a tomada de decisão familiar pela quantidade de

²⁶ Segundo REIS, BARBOSA & PIMENTEL (2016), o envelhecimento populacional pode ser explicado a partir de dois fatores-chave: a queda na taxa de fecundidade e o aumento da expectativa de vida.

filhos a serem gerados. Para o caso brasileiro, é possível observar esta relação em suas regiões geográficas. A disparidade na evolução das características socioeconômicas das mesmas é capaz de apontar uma correlação com o nível de fecundidade. Conforme observado na Figura 3-3, as regiões com maiores índices de urbanização e escolaridade tendem a apresentar menores índices de taxas de fecundidade²⁷.

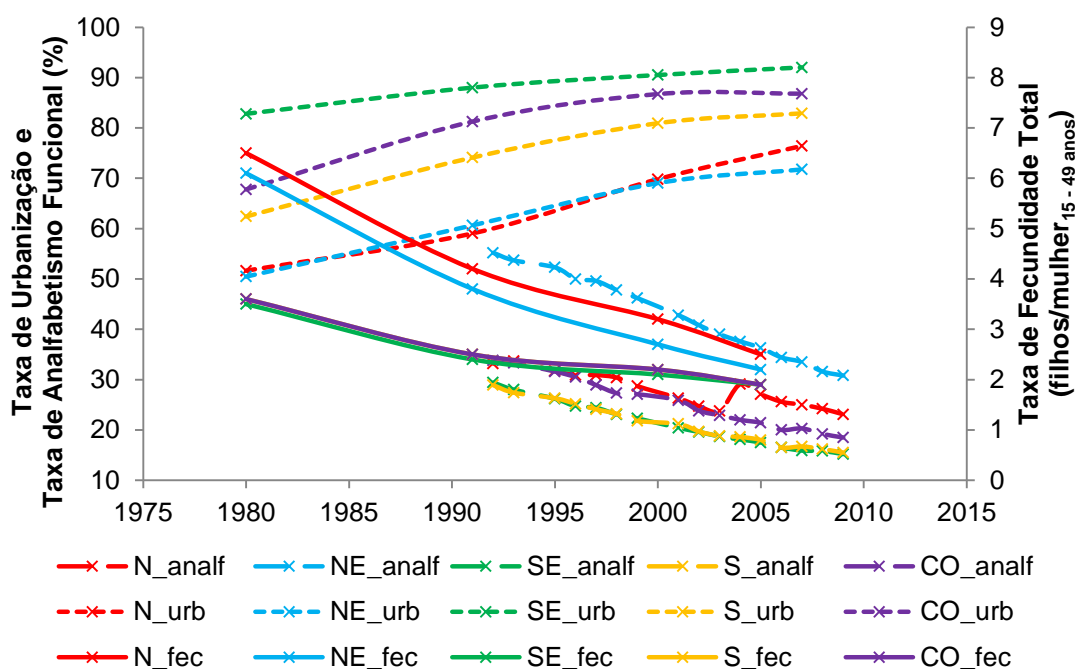


Figura 3-3 – Taxas de urbanização (%), analfabetismo funcional (%) e fecundidade total (filhos/mulher 15-49 anos) em regiões do Brasil

Fonte: IBGE (2013)

3.2. Cenários de população e evolução do sistema educacional

Buscando considerar o fator educacional supracitado, LUTZ *et al.* (2014) desenvolveram cenários de população segundo diferentes possibilidades de níveis de instrução educacional a serem atingidos por cada país²⁸. Dentro destes cenários, as premissas voltadas para a evolução das trajetórias socioeconômicas foram orientadas a partir dos caminhos de desenvolvimento socioeconômico propostos por O'NEILL *et al.* (2012), conhecidos como SSPs (Shared Socioeconomic Pathways), que definem cinco possíveis trajetórias de desenvolvimento a partir de fatores econômicos e com

²⁷ Para representar os níveis educacionais de cada região, foi escolhida a taxa de analfabetismo funcional devido a maior disponibilidade de dados obtidas através do IBGE.

²⁸ A cenarização elaborada incorpora também a condição de envelhecimento da população.

base nos caminhos representativos de concentração, os RCPs (Representative Concentration Pathways)²⁹.

O nível educacional de uma população é fator de grande relevância nos aspectos de desenvolvimento deste grupo. De modo geral, nas sociedades, mulheres com maiores níveis de instrução reduzem a quantidade de filhos gerados. Este efeito é observado principalmente em processos de transição demográfica. Observa-se também uma menor taxa de mortalidade nas populações com maior acesso à educação (LUTZ *et al.*, 2014). A Figura 3-4 demonstra a queda da taxa de fertilidade em função dos anos de estudo da mulher brasileira.

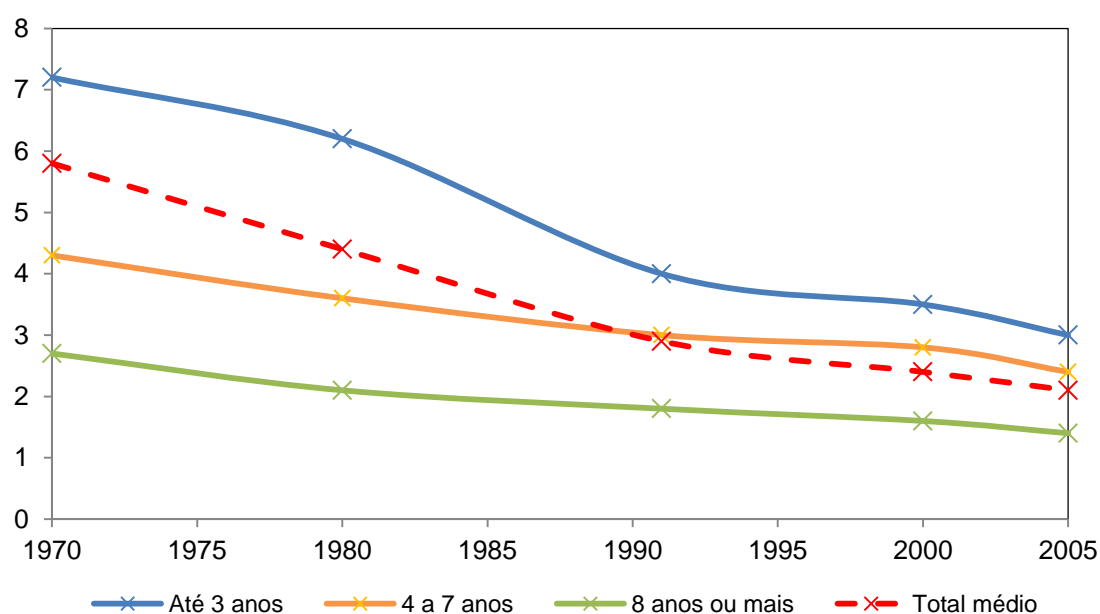


Figura 3-4 – Taxa de fertilidade da mulher brasileira em função dos anos de estudo

Fonte: IBGE (2013)

A seguir será apresentada uma breve descrição dos cenários SSPs. Neste trabalho será dada maior ênfase ao cenário adotado, o SSP2, observado como a visão de futuro mais provável ao considerar as características do presente como elementos de referência³⁰. Optou-se por congelar a escolha em um único cenário SSP, variando somente os horizontes educacionais, de modo a analisar a sensibilidade do crescimento populacional e do passageiro-quilômetro a partir das diferentes possíveis políticas de educação.

²⁹ Os cenários das forçantes radiativas (RCPs) definem trajetórias para a concentração de GEE (em Watts/m²) ao horizonte de 2100 segundo diferentes possíveis padrões de emissões antropogênicas (MOSS *et al.*, 2008).

³⁰ O detalhamento dos demais cenários estão disponíveis em O'NEILL *et al.* (2012).

Tabela 3-1 – Caracterização dos principais parâmetros dos cenários SSPs

Elemento		Grupos de países por faixa de renda (PIB <i>per capita</i>)															
		SSP1			SSP2			SSP3			SSP4			SSP5			
		Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	
Demografia	Urbanização	Crescimento	Relativamente Baixo			Médio	Médio	Médio	Relativamente Alto			Misto			Relativamente Baixo		
		Fertilidade	Baixa	Baixa	Média	Média	Média	Média	Alta	Alta	Média	Alta	Baixa/Média	Baixa	Baixa	Alta	
		Mortalidade	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média	Média	Alta	Alta	Alta	Alta	Média	Média	Baixa	Baixa	Baixa
		Migração	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
		Nível	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Alto	Alto/Médio	Médio	Alto	Alto
		Modo	Bem Planejado			Padrão histórico			Mal Planejado			Misto			Melhorado ao longo do tempo		
	Educação	Alta	Alta	Alta	Média	Média	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média	Alta	Alta	Alta	
Características Socioeconômicas	Crescimento	Médio	Médio	Rápido	Médio	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Médio/Rápido	Rápido	Rápido	Rápido		
	Estrutura	Rápido crescimento da economia de serviços			-			-			-			Serviços Limitados / Alto consumo			
	Inequidade	Regional	Convergente			-			-			Alta	Alta	Alta	Convergiada para altos níveis		
		Nacional	Mais equânime, menor estratificação			-			-			Alta	Alta	Alta	Mais equânime, menor estratificação		
	Comércio Internac.	-			-			Fortemente restringido			-			Alto (com especialização regional)			
	Globalização	Mercados conectados			Média			Desglobalização			Elites conectadas			Altamente globalizado			
	Consumo	Baixo crescimento			Intensivo			Intensivo			diferentes entre os níveis			Materialismo			
Dieta	Baixo consumo de carne			Médio consumo de carne			-			-			Alto consumo de carne				
Políticas e Instituições	Cooperação Internacional	Efetiva			Moderada			Baixa			Efetiva para a elite e corporações			Efetiva			
	Políticas Ambientais	Melhorias em âmbitos locais e globais			Eficácia moderada			Baixa priorização			Enfoque local			Enfoque local			
	Orientação das Políticas	Desenvolvimento sustentável			Sustentabilidade			Segurança			Beneficiamento das elites			Desenvolvimento; livre mercado			
	Governança e Gestão Institucional	Nacional e internacional			Desigual			Frágil em nível global			Segregação			Competição			
Tecnologia	Desenvolvimento	Rápido			Médio			Baixo			Rápido em países com alta tecnologia			Rápido			
	Transferência	Rápida			Média			Baixa			Baixa transferência em países de menor economia			Rápida			
	Perfil Energético	Desprendimento aos fósseis orientado à eficiência energética e soluções renováveis			Balanceamento energético			Baixa transição; dependência em fontes domésticas			Cenário de baixo carbono (CCS)			Direcionada às fontes fósseis			
	Intensidade de Carbono	Baixa			Média			Alta			Ambígua			Alta			
	Intensidade Energética	Baixa			Desigual			Alta			Ambígua			Alta			
Meio Ambiente e Recursos Naturais	Cerceamento em Fontes Fósseis	Desprendimento aos fósseis			Uso de recursos não-convencionais			Uso de recursos não-convencionais			Antecipação à insuficiência			-			
	Meio Ambiente	Melhorias ao longo do tempo			Degradação			Alta degradação			Rápido em países de economias avançadas			Controle tecnologicamente sofisticado			
	Uso do Solo	Altamente regulado			Regulamentação média			Regulamentação insuficiente			Desflorestamento Tropical			Redução no desflorestamento			
	Agricultura	Melhores práticas			Melhorias moderadas			Comércio restrito			Alta produtividade em larga escala			Uso intensivo de recursos			

Fonte: ROCHEDO (2015)

O cenário adotado (SSP2), conhecido como *Middle of the Road*, consiste de uma trajetória intermediária na qual o progresso econômico se dá em contraste com esforços de sustentabilidade, ou seja, conforme observado nos últimos anos. Nesta ótica, o alcance de um desenvolvimento sustentável, caracterizado pelo combate a desafios globais, tais como o controle de emissões e poluição atmosférica, a redução da vulnerabilidade às mudanças climáticas e o acesso universal à bens e serviços básicos, seriam retardados temporalmente. A economia cresce, bem como a renda *per capita*. Entretanto, o progresso e a condição social são desiguais. Ganhos na redução das emissões de GEE, no uso dos combustíveis fósseis e na intensidade dos recursos são moderadamente prosperados quando comparados às taxas históricas. Índices de degradação ambiental persistem em face da busca pelo crescimento.

O estudo de LUTZ *et al.* (2014) propõe, dentro do cenário SSP adotado, diferentes possíveis trajetórias para a demografia dos países em função das políticas de investimento em educação. A seguir, apresentam-se as descrições das mesmas:

- i. Trajetória rápida, ou *Fast Track* (FT): cenário otimista ao qual se assume uma rápida taxa de expansão dos sistemas educacionais conforme o histórico de países com grande crescimento no referido setor, como Singapura e Coréia do Sul.
- ii. Tendência Global, ou *Global Education Trend* (GET): condição na qual se espera um caminho de crescimento médio do sistema educacional segundo a trajetória de países que já avançaram no processo de evolução dos níveis educacionais.
- iii. Taxas Constantes de Escolarização, ou *Constant Enrollment Rates* (CER): admite a proporção atual dos índices de escolarização e dos níveis de instrução *per capita* como constantes para o futuro.
- iv. Valores constantes de Escolarização, ou *Constant Enrollment Numbers* (CEN): a expansão do sistema educacional é congelada nos níveis atuais e admite-se que não ocorrerão acréscimos neste sentido. Na hipótese de crescimento populacional, esta condição resultaria em um decréscimo nos índices de escolarização *per capita*.

A fim de aplicar os conceitos apresentados no referido estudo, foram obtidos os dados relativos às seguintes trajetórias SSP2: FT, GET e CER³¹. A Figura 3-5 ilustra as trajetórias de população segundo estes diferentes horizontes. Como objeto de

³¹ Fonte: LUTZ *et al.* (2014).

comparação, projetou-se também a trajetória populacional obtida na base de dados do IBGE. Conforme observado, nota-se pouca diferença entre as trajetórias populacionais GET (intermediária) e a proposta pelo IBGE, com variações anuais menores que 0,7%. No que se refere às propostas por cenário educacional, o descolamento das trajetórias das curvas passa a ser efetivamente observado a partir de meados de 2030. Conforme esperado, uma maior escolaridade proteria uma menor população e vice-versa. As diferenças entre o tamanho da população nos horizontes GET e CER, bem como entre GET e FT alcançariam em torno de 2,5% em 2050 e aproximando-se de 3,0% em 2060. Nestes períodos, as alterações nos níveis de população se dariam principalmente em função das frações etárias mais jovens. Menores índices de natalidade e mortalidade condicionariam a trajetória FT ao perfil de população comparativamente mais envelhecido³².

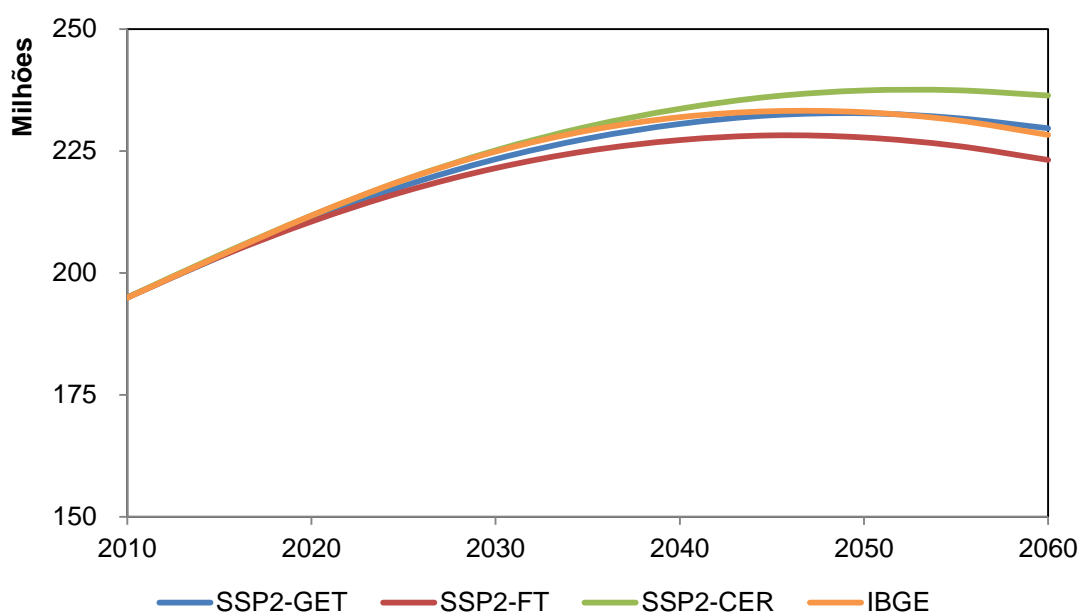


Figura 3-5 – Perspectivas de evolução da população brasileira segundo diferentes cenários de educação – 2010 a 2050

Fonte: IBGE (2013) e LUTZ *et al.*, (2014)

3.3. Evolução da demanda por veículos leves em grupos etários

No capítulo 2, foram levantadas diversas hipóteses de condicionantes, apontadas pela literatura como capazes de remodelar o curso do pkm dos veículos leves. A intangibilidade das mesmas limita a condução de estudos na área. No entanto, o registro de dados históricos da dinâmica de uso dos transportes permite que as transformações discutidas sejam observadas. No Brasil, a carência de dados é

³² Os dados utilizados para esta análise se encontram disponíveis no Anexo I.

mais um fator restritivo. Como será visto na Seção 4.2.1, as estimativas históricas oficiais sobre os níveis de mobilidade rodoviária no Brasil se limitam ao período de 1960 a 2010 e se apresentam de forma agregada. Em países desenvolvidos, é possível obter uma análise mais recente e detalhada.

A Figura 3-6 apresenta para os anos de 2002 a 2017, na Inglaterra, a distância dirigida em relação ao número de habitantes em cada faixa etária.

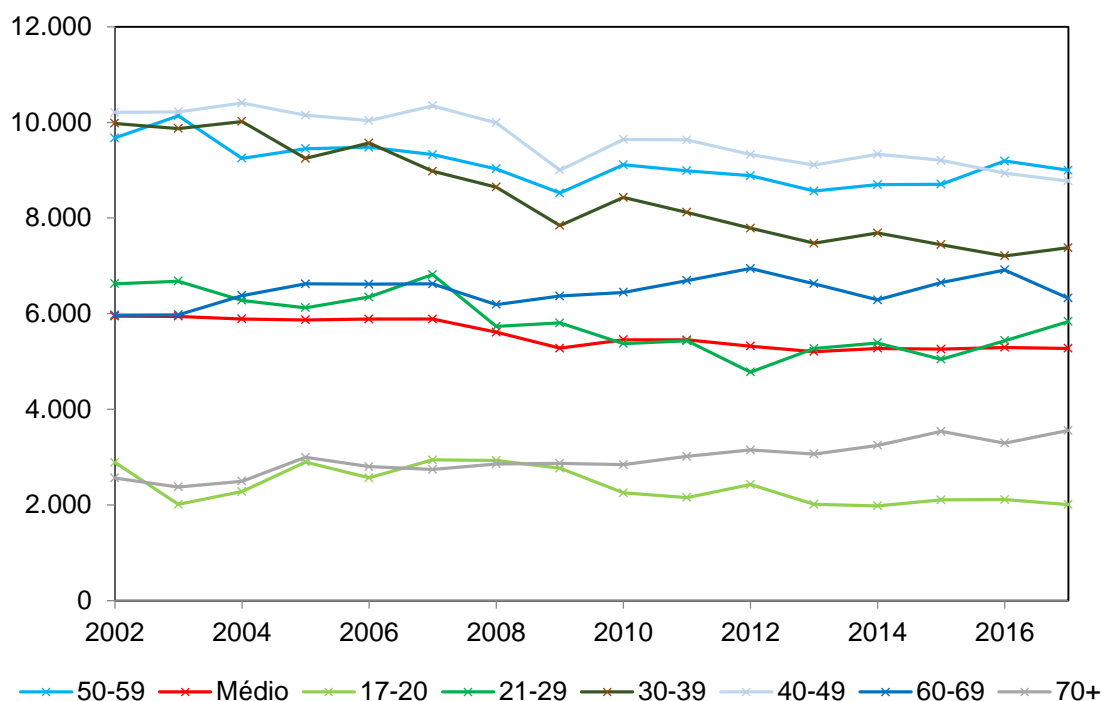


Figura 3-6 – Distância anual dirigida em veículos leves por habitante na Inglaterra segundo faixas etárias – 2002 a 2017 (km.ano.habitante⁻¹)

Fonte: DFT (2018)

Por um lado, nota-se através da figura uma queda no comportamento dos grupos etários mais jovens no que diz respeito à distância dirigida por habitante. Por outro lado, nos grupos de idade avançada, há um crescimento ou estabilidade nesta atividade. A maior queda pode ser observada na faixa de 17 a 20 anos e a de 30 a 39 anos, respectivamente com reduções de 30,4% e 26,0% entre 2002 e 2017. Para a faixa etária de idade igual ou superior a 70 anos, o crescimento atingiu o valor de 38,8% na distância dirigida. Considerando todos os grupos, observou-se um declínio médio de 11,3% neste período.

De forma análoga, apresenta-se também o caso estadunidense. Assim como para a população inglesa, nota-se uma dinâmica que contrasta o comportamento entre o adulto jovem e a população de idade avançada ao longo das últimas décadas. A

partir dos dados obtidos, entre 1995 e 2017, observa-se uma redução de 13,8% na distância anual percorrida no país.

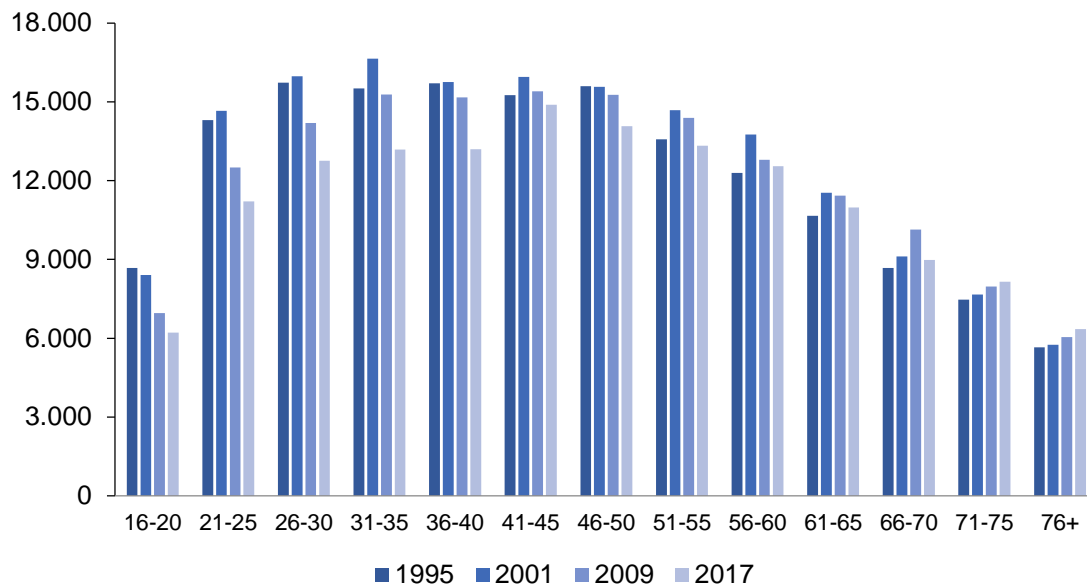


Figura 3-7 – Distância anual percorrida por faixa etária nos EUA (v-mt)

Fonte: FHA (2018)

Ambos os casos evidenciam a importância de se considerar as transformações no perfil demográfico da população como condição relevante no estudo do passageiro-quilômetro. A carência de dados nacionais faz com que seja necessário adaptar dados externos para um estudo de caso brasileiro. Assim, por facilidade de acesso a dados ingleses mais do que a dados americanos, optou-se aqui pela escolha da Inglaterra como referência para representar a realidade brasileira. A adoção desses dados ingleses será importante para o desenvolvimento de cenários de passageiro-quilômetro para os veículos leves no Brasil, a ser visto nos próximos capítulos. No capítulo 4, especificamente, será apresentada a metodologia do modelo proposto, capaz de agregar os condicionantes que sugerem alterações na dinâmica do passageiro-quilômetro.

Na metodologia a ser proposta, os dados de mobilidade segmentados por faixa etária serão fundamentais para que se estude a influência do fator etário no desenvolvimento da categoria de veículos leves no Brasil. Estes dados, cruzados com as perspectivas dos níveis populacionais, também divididos em grupos etários, permitirão quantificar os impactos da transição demográfica em progresso. As incertezas associadas à trajetória a ser percorrida nos próximos anos condicionarão a adoção de diferentes premissas evolutivas, isto é, serão apresentadas distintas hipóteses para a evolução da atividade de LDVs no Brasil.

4. METODOLOGIA

Este capítulo visa apresentar a abordagem utilizada no modelo proposto para a projeção do nível de atividade de veículos leves de passageiros no Brasil. Para isso, será inicialmente apresentada a prática do emprego de modelos matemáticos na estimação de demandas energéticas para os setores de uma região. Como será discutido no decorrer deste capítulo, os modelos para planejamento energético podem ser classificados de diferentes formas. As dificuldades existentes no estabelecimento de cenários representativos de longo prazo, em função do aumento dos níveis de incerteza quão mais tardio o horizonte, bem como os diferentes objetivos e interesses de cada estudo, permitem que discussões metodológicas sejam elaboradas.

Após a contextualização das técnicas de planejamento energético, a modelagem no setor de transportes será analisada de forma aprofundada, de acordo com o enfoque deste trabalho. De forma desagregada, serão apresentados os vetores que influenciam o nível de emissões e a demanda de energia na mobilidade motorizada. Dentro deste arcabouço, também será estudada a importância do efeito atividade (índice relacionado aos níveis de mobilidade) para a aplicação de modelos energéticos.

4.1. Aspectos básicos sobre modelagem energética

O processo de planejamento de expansão de demandas energéticas não se restringe a uma tarefa pontual, sendo esta uma atividade contínua e dinâmica que requer atualizações em função dos níveis de incerteza associados às considerações adotadas e aos objetivos desejados. A metodologia aplicada em estudos deste tipo consiste no estabelecimento de cenários, isto é, na construção hipotética de contextos estruturais coerentes para um determinado horizonte de futuro, considerando premissas analiticamente consistentes.

Dentro do exercício de estabelecimento de cenários, é importante indicar que estes buscam apresentar possíveis visões acerca do que o futuro poderá se constituir, de modo que tendências possam ser antecipadas e decisões estratégicas possam ser tomadas com um maior nível de embasamento. Deste modo, estes podem ser construídos a partir de diferentes abordagens, como em função dos objetivos futuros desejados, sendo modelados para serem humanamente benéficos, bem como para apontarem feixes de possíveis trajetórias de evolução, ou sobre o que se espera a partir do panorama em progresso (PORTER, 1985 *apud* LÁRIOS, 2003; SCWHARTZ, 1991 *apud* MARCIAL, 2001) .

Basicamente, as abordagens utilizadas nos modelos de planejamento energético se diferem em função do nível de agregação dos dados adotados. Estes podem ser subdivididos em duas linhas tradicionais: os modelos descendentes *Top-down (TD)* e os modelos ascendentes *Bottom-up (BU)*. Visando obter uma análise detalhada sobre a dinâmica evolutiva da atividade de veículos leves de passageiros no Brasil, este trabalho proporá uma abordagem metodológica BU, na qual dados desagregados são obtidos e utilizados para obter a estimativa de valores representativos ao horizonte de 2050.

4.1.1. Modelos *Top-down*

Modelos do tipo *top-down* se caracterizam como uma abordagem mais abstrata ao considerar indicadores macroeconômicos agregados, como renda e PIB. Em outras palavras, a projeção de futuro é estimada com base em relações empíricas com variáveis relacionadas. Neste caso, o nível de agregação da análise limita a abordagem de mudanças qualitativas na economia, rupturas tecnológicas e avaliação de políticas setoriais, podendo gerar valores superestimados (BORBA, 2008; PEREIRA *et al.*, 2005; VUUREN *et al.* 2009; WILLS, 2013).

As análises puramente TD são baseadas em modelos de equilíbrio geral. Em outras palavras, estas análises possuem um enfoque integrado ao trabalhar, de forma conjunta, os diferentes setores econômicos associados à indústria energética de uma determinada região. As relações destes setores e a complexidade no detalhamento de suas características particulares aumentam o nível de dificuldade na compilação dos dados e na análise detalhada dos resultados obtidos (OLADE, 2017).

4.1.2. Modelos *Bottom-up*

Modelos do tipo *bottom-up* possuem abordagem inversa, partindo de um nível mais desagregado, ou seja, com um grau elevado de refinamento dos dados. A grande vantagem desta opção está na possibilidade do emprego de aspectos dinâmicos, disruptivos ao passado, como o impacto de novas tecnologias. As projeções pautadas neste arcabouço partem de considerações associadas a um ano-base, referências para a estimativa desejada. A dificuldade nesta técnica se encontra justamente na quantidade de dados a serem coletados ou estimados. Além disso, o grande nível de desagregação dos dados utilizados dificulta a análise de resultados macros e resultados setoriais (BORBA, 2008; PEREIRA *et al.*, 2005; VUUREN *et al.* 2009; WILLS, 2013).

4.1.2.1. Técnicas de modelagem energética e divisão setorial

De forma geral, no que se refere aos objetivos de um estudo de planejamento energético, a classificação dos modelos BU pode ser feita através da distinção entre as técnicas de otimização e simulação. Na primeira, os objetivos que conduzem o planejador se encontram na busca das soluções mais eficientes de acordo com os critérios definidos. Portanto, de modo simplificado, o raciocínio utilizado está baseado na metodologia dos problemas de otimização em que, definida a função objetivo e as restrições deste problema, apontam-se soluções ótimas a partir de processos de maximização ou minimização. Com relação à técnica de simulação, a flexibilidade é maior. O enfoque associado não está voltado para a alocação ótima de recursos, mas no estabelecimento de cenários energéticos e tecnológicos a partir de avaliações paramétricas, econométricas etc, que permitem avaliar o comportamento entre agentes consumidores e produtores. Atualmente, boa parte dos modelos utilizados não se restringe a uma das técnicas. Estes permitem a combinação de elementos de simulação e otimização (OLADE, 2017).

Ao tratar do processo de planejamento energético, torna-se importante destacar também a classificação setorial utilizada. Os modelos de equilíbrio parcial, de abordagem setorial, são característicos do arcabouço BU e se concentram individualmente no detalhamento do setor de interesse ou em segmentos do mesmo³³. Neste procedimento, os resultados de saída se apresentam sob a forma de demanda de energia útil dos respectivos usos finais; e as variáveis que identificam os rendimentos energéticos e os níveis de intensidade das atividades desempenhadas no setor são importantes dados de entrada. Dentro dos estudos de planejamento energético é comum que modelos integrados adotem resultados gerados por modelos setoriais como dados de entrada em seus arcabouços metodológicos (BORBA, SZKLO & SCHAEFFER, 2018; OLADE, 2017; PAES, 2018).

De modo setorial, no setor de transportes, a análise do uso da energia é segmentada entre o transporte de cargas e o transporte de passageiros. Considerando esta divisão, os aspectos que caracterizam o uso da energia diferem em cada caso. No primeiro, o uso final da energia é dimensionado relacionando a distância percorrida, a quantidade de carga transportada e a quantidade de veículos. No segundo, a distância percorrida é associada à relação quantidade de passageiros transportados e quantidade de veículos.

³³ Modelos setoriais ou subsetoriais.

No transporte de passageiros, objeto de interesse deste trabalho, a dimensão utilizada para aferir a atividade deste subsetor é o passageiro-quilômetro (p.km). A atividade do setor de transportes é um importante vetor de entrada para os modelos de equilíbrio geral, o que torna o seu estudo um processo essencial para o planejamento energético e, conseqüentemente, para os estudos de emissões atmosféricas e de mitigação das mudanças climáticas.

4.1.3. Modelos híbridos

De modo a adaptar ambas as abordagens em função dos objetivos desejados, bem como considerar as vantagens de cada metodologia, uma variedade de modelos híbridos, que consideram características da tipologia BU e TD, vem sendo empregada em distintos estudos. Em sua contribuição para a construção do Segundo Relatório de Avaliação do IPCC, BRUCE *et al.* (1996, p. 289) discutem as diferenças entre os dois tipos de modelos, a utilização dos modelos híbridos e a necessidade de avanços nas metodologias de planejamento energético:

The differences in results between top-down and bottom-up modelling analyses are thus rooted in a complex interplay among differences in purpose, model structure, and input assumptions. The growing tendency for the development of hybrid modelling approaches means that differences of model structure are becoming a less important factor in many climate modelling studies, but the overall difference in perspective and thinking about energy markets represented by these two modelling approaches remains. Hybrid modelling approaches allow the exploration of the relative importance and implications of different input assumptions and are likely to narrow the difference in results between bottom-up and top-down studies. They will not by themselves, however, resolve the underlying question of whether energy markets are efficient with respect to the delivery of energy efficiency gains or not [...]. In particular, it seems clear that we need to improve our ability to explore long-term development paths or configurations of technology that are very different from those typical of experience in past decades (i.e., the alternative future scenarios that are often the subject of backcasting analyses). Much work remains to be done to address these larger issues in a satisfactory way.

Desse modo, à medida que as abordagens híbridas passam a combinar as tipologias BU e TD, as diferenças nos resultados obtidos entre os estudos passam a ser cada vez menos sensíveis à estrutura do modelo utilizado; ou seja, restringindo esta variação a ser orientada a partir das hipóteses e dados de entrada adotados.

4.2. Decomposição dos condicionantes das emissões do transporte motorizado

As emissões associadas ao setor de transporte se dão em função da combinação de uma diversidade de fatores. Entretanto, de modo geral, estes podem ser organizados e representados a partir de quatro componentes básicas, conforme descrito na metodologia proposta por SCHIPPER & MARIE-LILLIU (1999). O modelo

do tipo ascendente, Técnico-Econômico, ASIF (*Activity, Structure, Intensity e Fuel*) que será decomposto a seguir é amplamente utilizado em estudos de grande relevância, tais como em IPCC (2014) e IEA (2017):

$$G = A * S_j * I_j * F_{ij} \text{ (Eq. 4-1)}$$

Onde A, S, I e F representam respectivamente os efeitos atividade, estrutura, intensidade e combustível, segundo o veículo do tipo j e o combustível do tipo i.

4.2.1. Atividade

Conforme introduzido na seção anterior, o efeito atividade dimensiona o nível de mobilidade através de veículos. A atividade no transporte de cargas representa a quantidade de carga, em peso, deslocada por um total de distância, expressado através da tonelada-quilômetro (t.km). Em relação ao transporte de passageiros, esta é a medida do total de passageiros transportados por um total de distância, apontado pela dimensão p.km, passageiro-quilômetro (DE MATTOS, 2001; OCDE, 2001; SCHIPPER, LEATHER & FABIAN, 2009).

De modo desagregado, a atividade de passageiros (a), enfoque deste trabalho, é regularmente dimensionada a partir da relação entre a atividade veicular (vkm), em veículo-quilômetro e a ocupação dos veículos (ou fator de capacidade, FC), representada pela quantidade de passageiros por veículo (p/v):

$$a = vkm * FC \text{ (Eq. 4-2)}$$

Historicamente, as dimensões de atividade em veículos de uma população estiveram fortemente associadas à riqueza do país. Deste modo, o crescimento nos índices de mobilidade estaria acompanhado de alterações em indicadores de situação econômica, como a renda *per capita* e os níveis de demanda por bens e serviços. Além disso, aspectos particulares como o uso do solo, dinâmica e estrutura de crescimento das cidades, estilos de vida, entre outros, são capazes de influenciar os padrões de deslocamento da população (DE MORAES, 2005).

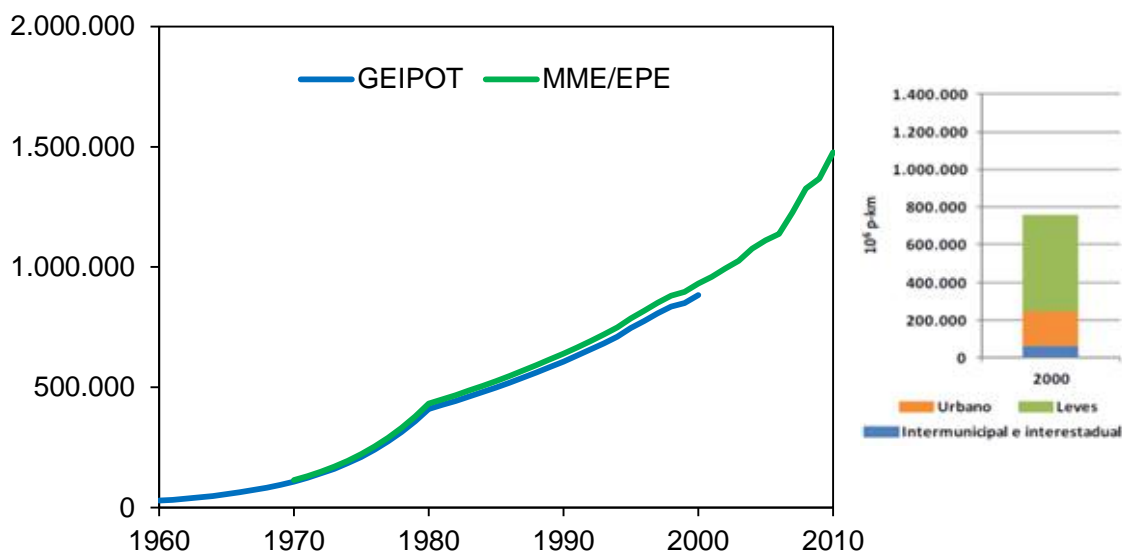


Figura 4-1 – Atividade do transporte rodoviário de passageiros no Brasil (milhões p-km)

Fonte: EPE (2012)

No Brasil, as informações oficiais sobre a mobilidade de passageiros são escassas. A Figura 4-1 exibe a evolução do nível de atividade no transporte rodoviário de passageiros, segundo as estimativas da Empresa de Pesquisa e Energética (EPE) e da Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT). Conforme é possível observar para o ano de 2000, no transporte motorizado, a maior parcela dos deslocamentos foi executada através de veículos leves. Segundo a EPE (2016), a venda de veículos leves tem crescido a taxas superiores ao PIB, indicando o potencial de crescimento na taxa de motorização nos próximos anos.

No que diz respeito a outros países e regiões, especialmente as mais desenvolvidas, é possível notar reduções na evolução dos níveis de atividade per capita no transporte privado de passageiros, conforme demonstrado na **Erro! Fonte e referência não encontrada.**³⁴. Segundo KENWORTHY (2013), observa-se também a queda geral na relação mobilidade motorizada e PIB nestes lugares.

³⁴ O estudo de KENWORTHY (2013) se baseou na análise amostral dos dados de 42 cidades de distintas regiões.

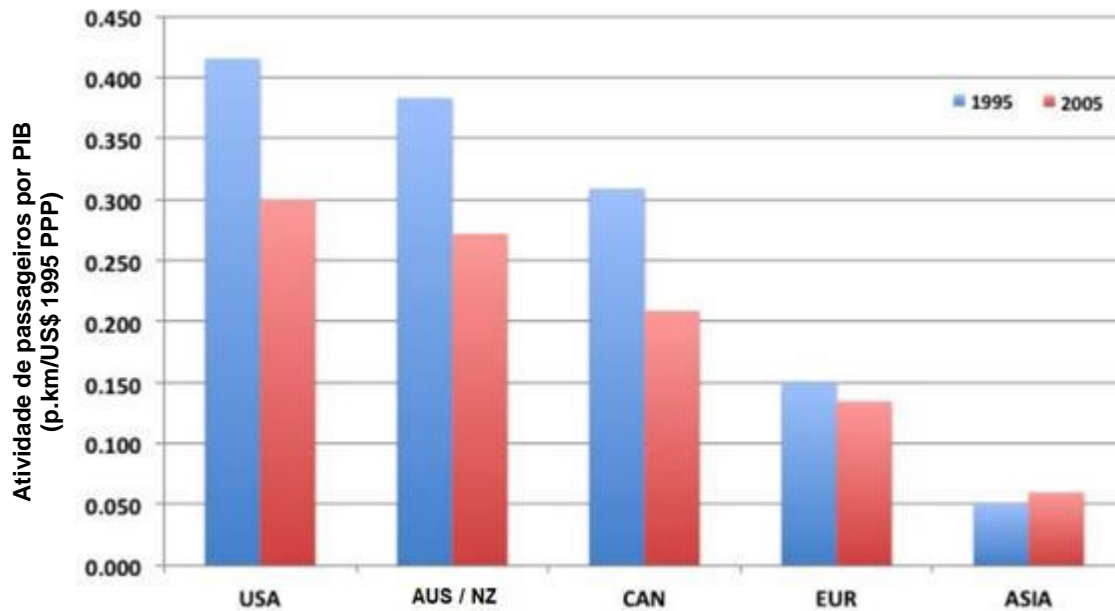


Figura 4-2 – Atividade de automóveis em relação ao PIB per capita

Fonte: KENWORTHY (2013)

O presente trabalho enfoca-se na análise da grandeza atividade. Conforme discutido até aqui, aspectos “extra-econômicos” que alteram a forte correlação entre mobilidade e PIB, passando a exercer cada vez mais importância na demanda por transporte, vêm sendo apontados pela literatura contemporânea como relevantes no processo de estimação de valores para o passageiro-quilômetro. A constatação de um fenômeno recente sugere a necessidade da elaboração de estudos que visem uma melhor compreensão do horizonte futuro.

4.2.2. Estrutura

O efeito estrutura é uma medida de proporção relacionada à divisão da quantidade de viagens por modalidade e tipo de veículo. A importância desta grandeza se dá ao considerar que diferentes fontes de mobilidade possuem distintos valores de desempenho energético e de emissão de carbono. O processo de escolha do passageiro em relação ao tipo de veículo utilizado é influenciado por uma diversidade de fatores, como a disponibilidade dos modais, a velocidade, o preço, as legislações e políticas financeiras associadas, comportamento psicológico e social, segurança pessoal e outros (SCHIPPER *et al.*, 2009).

Ao longo do tempo, as preferências por modal foram estatisticamente consideradas como voltadas para os meios de maior intensidade energética. Portanto, o transporte rodoviário é caracterizado como o principal modal atuante na locomoção motorizada, ao passo que o transporte aéreo apresenta os maiores índices de crescimento, embora relativamente ainda com pequena contribuição absoluta.

Contudo, no que diz respeito ao deslocamento de passageiros por automóvel, já se notam movimentos que condicionam uma transição de demanda para meios alternativos, principalmente em regiões de urbanização avançada. Políticas que estimulam o uso de diferentes tipos de transporte, tais como o BRT, o ciclismo, o pedestrianismo, o transporte ferroviário e outras modalidades de menor intensidade energética por passageiro, têm sido aplicadas em nível global (IPCC, 2014; OECD, 2001).

4.2.3. Intensidade

Segundo BORBA (2008), o efeito intensidade busca dimensionar a eficiência na qual a energia é utilizada no deslocamento de cargas e passageiros. Neste contexto, a intensidade é medida como energia por passageiro-quilômetro ou tonelada-quilômetro.

Nos últimos anos, diversos progressos tecnológicos vêm sendo alcançados pela indústria veicular. No entanto, esta evolução, capaz de aferir melhores condições de eficiência energética, vem sendo contrabalanceada por novas características estruturais dos veículos, como o aumento do peso e da potência (OECD, 2001; OECD/ITF, 2017).

4.2.4. Combustível

O petróleo é a principal fonte energética utilizada no setor de transportes. No entanto, o produto final consumido varia em função do tipo de veículo e tecnologia de propulsão adotada. Sendo assim, os diversos combustíveis utilizados para a mobilidade dos veículos apresentam diferentes teores de carbono em suas composições. Para uma estimativa adequada das emissões veiculares de GEE, torna-se fundamental considerar as diferentes intensidades de carbono. A intensidade de carbono em cada tipo de combustível é definida pela quantidade de carbono por unidade de energia.

De modo geral, os valores para a intensidade de carbono nos combustíveis apresentaram poucas variações ao longo dos últimos anos. Um caso particular de importante evidência diz respeito às mudanças na utilização dos biocombustíveis em meio aos derivados de petróleo para a composição dos combustíveis veiculares. No Brasil, os teores de biodiesel e de etanol anidro respectivamente junto ao diesel e à gasolina vêm crescendo nos últimos anos e representam atualmente 10% e 27%, em

bases volumétricas, das composições destes³⁵. Os biocombustíveis possuem menores intensidades de carbono. Além disso, estes são de origem renovável, apresentando consequentemente um balanço de emissões nulo ou próximo a este valor (SCHIPPER *et al.*, 2009)³⁶.

4.3. Proposta metodológica

No capítulo 2 foram apresentados diversos condicionantes através dos quais a literatura contemporânea sugere mudanças no comportamento do passageiro e no padrão de uso de veículos leves. No entanto, a discussão que permeia muitos destes aspectos está limitada ao caráter qualitativo dos mesmos. Esta condição faz com que o estudo quantitativo e a incorporação destes efeitos em modelos matemáticos de evolução de demanda sejam tarefas desafiadoras. Em face da dificuldade apresentada, a metodologia proposta neste trabalho se limita a explorar dados que relacionem aspectos demográficos aos padrões de uso dos LDV.

Ao serem observados os diversos aspectos sugeridos na contextualização deste trabalho, bem como as incertezas associadas aos seus potenciais de impacto sobre a demanda dos passageiros, é possível considerar distintas trajetórias de evolução para o nível de atividade em veículos leves. Dentro desta discussão, a hipótese de grandes transformações no padrão de mobilidade do passageiro poderia ser considerada. No entanto, ao comparar esta hipótese com a simulação a ser proposta a seguir, é importante destacar o caráter conservador adotado na proposição deste trabalho. Em outras palavras, as premissas adotadas estarão baseadas em dados estatísticos observados; a evolução dos cenários propostos na modelagem estará baseada em trajetórias controladas, moderando as amplas possibilidades de movimentos disruptivos.

4.3.1. Equação geral

Conforme visto nos capítulos anteriores, o cenário de demanda por veículos leves vem passando por transformações. Assim, diferentes condicionantes passariam a possuir maior peso nas estimativas de uso para este tipo de transporte, enquanto a

³⁵ A portaria MAPA nº 75 de 05 de março de 2015 estabelece como obrigatória a mistura de 27% de etanol anidro à gasolina do tipo comum e 25% à gasolina do tipo *premium*, em bases volumétricas. O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) antecipou em um ano o prazo para o aumento do teor de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final estipulado pela lei nº 13.033 de 23 de março de 2016. A partir de 01 de março de 2018, o teor de biodiesel passou a representar 10% no referido combustível.

³⁶ O carbono emitido na queima do biocombustível é oriundo do carbono atmosférico capturado pela biomassa energética no processo fotossintético.

correlação macroeconômica usada tradicionalmente nos modelos de projeção passa a reduzir sua representatividade. Buscando considerar este efeito, propõe-se um modo alternativo para a projeção da atividade dos veículos leves no ano t, representada pela Equação 4-3.

$$A_t = \sum_f (P_f * D_f * FC)_t \text{ (Eq. 4-3)}$$

Em que P_f e D_f representam, respectivamente, a quantidade de habitantes e a distância anual dirigida por habitante na faixa etária f e no ano t; a variável FC representa o fator de capacidade, isto é, a relação passageiro por veículo.

O modelo proposto considera que a atividade dos veículos será dada pelo somatório da distância dirigida esperada para cada grupo etário. Portanto, os dados de população e distância deverão estar segmentados equivalentemente de acordo com as faixas etárias.

4.3.2. Tratamento dos dados

A Tabela 4-1 apresenta o nível de desagregação dos dados obtidos segundo grupos etários. Visando simplificar a compilação das informações no modelo a ser proposto, bem como distribuir estes dados em grupos etários equivalentes, foram definidos 7 grupos sobre os quais o presente trabalho se sustentará.

Tabela 4-1 – Segmentação dos dados utilizados de acordo com os grupos etários

	Estimativas de população segundo diferentes níveis educacionais	Distância anual percorrida por indivíduo segundo grupos etários	Grupos etários adotados
Fonte:	LUTZ, BUTZ & KC (2014)	DfT	Elaboração própria
Grupos etários	0--4		
	5--9		
	10--14		
	15--19		
	20--24		
	25--29		
	30--34		
	35--39	0-16	
	40--44	17-20	0-17
	45--49	21 -29	18-29
	50--54	30-39	30-39
	55--59	40-49	40-49
	60--64	50-59	50-59
	65--69	60-69	60-69
	70--74	70+	70+
	75--79		
	80--84		
85--89			
90--94			
95--99			
100+			

Fonte: Elaboração própria

Os dados de população obtidos foram somados de modo a se adequarem aos grupos finais definidos. Os grupos etários 15-19 e 20-24 de entrada foram repartidos proporcionalmente para atenderem as faixas finais de 0-17 e 18-29. Considerou-se dentro destes grupos iniciais que a quantidade de indivíduos está dividida uniformemente por unidade de idade.

Os valores de distância utilizados neste trabalho nortearam a segmentação dos grupos etários finais adotados. Deste modo, foi mantida a divisão inicial, com exceção aos grupos mais jovens. Os dados dos grupos ingleses de 0-16 e 17-20 estão divididos desta maneira em função da idade mínima para a obtenção da permissão para dirigir no país, 17 anos³⁷. Partindo do pressuposto de que no Brasil a idade adotada é a de 18 anos, foi considerado que estes grupos de 17-20 e 21-29 representariam o grupo etário final 18-29 adotado. A seguinte ponderação foi utilizada para o estabelecimento do valor final:

$$D_{18-29}^{ING} = D_{17-20}^{ING} * \frac{P_{17-20}^{ING}}{P_{17-29}^{ING}} + D_{21-29}^{ING} * \left(1 - \frac{P_{17-20}^{ING}}{P_{17-29}^{ING}}\right) \text{ (Eq. 4-4)}$$

Em que D^{ING} representa a distância anual por habitante segundo o grupo etário e P^{ING} a quantidade populacional por grupo etário no ano em questão. Os subíndices presentes na equação representam os intervalos dos grupos etários. Os dados de população foram obtidos a partir de DFT (2018a).

4.3.3. Construção do ano base

Em função da disponibilidade dos dados obtidos, considerou-se o ano de 2017 como referência de partida para a projeção de cenários para o pkm. A carência de dados oficiais nacionais condicionou o presente estudo a considerar também dados representativos ao cenário da Inglaterra. Dessa maneira, fez-se necessário ponderar alguns valores para que pudessem ser significativos diante de um contexto nacional.

4.3.3.1. Distância dirigida por faixa etária

Considerando a limitação dos dados nacionais, foram obtidos do UK Department for Transport³⁸ os dados desagregados de distância anual dirigida em veículos leves por habitante na Inglaterra, segundo a sua faixa etária (D_f^{ING}), apresentados na Figura 3-6. Conforme discutido na Seção 3.3, as mudanças na dinâmica de uso dos veículos

³⁷ Existe ainda a possibilidade legal de se obter a permissão para dirigir aos 16 anos considerando casos específicos, como os de deficiência física.

³⁸ DFT (2018a).

leves na Inglaterra indicam que os novos efeitos que alteram as preferências de escolha do passageiro quanto ao tipo de transporte estejam incorporados nos dados obtidos. Portanto, adotam-se os dados ingleses buscando-se reproduzir as mudanças de comportamento do passageiro aos veículos leves no cenário futuro brasileiro. Desta forma, busca-se analisar supostas mudanças nas perspectivas de demanda nacionais em função da influência destes efeitos.

Um grande esforço existente neste trabalho se encontra na conversão destes dados para, de forma adaptada, serem empregados nacionalmente no modelo apresentado (D_{ft}^{BR}). Optou-se por efetuar este cálculo da seguinte forma:

$$D_{ft}^{BR} = (D_f^{ING} * C)_t \text{ (Eq. 4-5)}$$

Neste processo, aplicou-se o seguinte fator de ajuste (C_t) para cada faixa etária na curva inglesa:

$$C_t = \left(\frac{D^{BR}}{D^{ING}} \right)_t \text{ (Eq. 4-6)}$$

Onde D^{BR} e D^{ING} representam as distâncias anuais *per capita* dirigidas em veículos leves para o Brasil e para a Inglaterra, respectivamente. Os dados ingleses também se encontram ilustrados na Figura 4-5. A disponibilidade de dados para os anos de 2002 a 2017 permitiu a análise histórica do comportamento do fator definido acima.

4.3.3.2. Distância percorrida por veículos leves no Brasil

Para o cálculo da distância total percorrida por veículos leves no Brasil nos anos de 2002 a 2017, utilizaram-se os dados de ANP (2018) referentes às vendas anuais de combustíveis (etanol hidratado e gasolina C) pelas distribuidoras como principais instrumentos. Como premissas básicas, foram feitas as seguintes considerações:

- i. Foram abordadas somente as tecnologias de propulsão a gasolina, a etanol, ao diesel e a gás natural veicular (GNV).
- ii. As vendas de gasolina C pelas distribuidoras no Brasil são para consumo exclusivo de veículos leves e motocicletas.
- iii. As vendas de etanol hidratado pelas distribuidoras no Brasil são para consumo exclusivo de veículos leves e motocicletas.

- iv. Desconsiderou-se a queda do desempenho energético em função do envelhecimento veicular.

Veículos Leves com propulsão a gasolina e etanol

Essencialmente, o cálculo da distância *per capita* poderá ser estimado da seguinte forma:

$$D_t^{BR} = \sum \left(\frac{V_i}{\overline{CE}_{i*P}} \right)_t \text{ (Eq. 4-7)}$$

Em que V representa o volume anual consumido do combustível i e \overline{CE} indica o consumo específico médio da frota dedicada a fonte energética i no ano t , isto é, a relação consumo-distância. Os dados de estimativas anuais da população brasileira (P) foram obtidos a partir do IBGE (2018).

– *Volume de combustível consumido por LDVs*

Os dados de volumes (V) de gasolina C e de etanol hidratado, disponibilizados por ANP (2018), representam valores agregados que atendem a diversas demandas de consumo final. Conforme considerado neste trabalho, por simplificação, o consumo destes combustíveis no país será destinado somente para veículos leves e motocicletas. Outros usos serão admitidos como desprezíveis. Embora os consumos de gasolina e de etanol nas motocicletas (V^m) seja bastante inferior do que nos veículos leves (V^{LDVs}), em razão da menor frota e do maior desempenho energético destas, tornou-se necessário descontar o volume utilizado pelas mesmas, conforme proposto pela Equação 4-8.

$$V^{LDVs} = V - V^m \text{ (Eq. 4-8)}$$

– *Volume de etanol hidratado consumido pelas motocicletas*

O volume de etanol hidratado consumido pelas motocicletas bicombustíveis (V^{me}) foi definido com base em MMA (2014). Os valores obtidos para a participação destas no consumo total de EHC³⁹ foram aplicados sobre os dados de volumes anuais distribuídos nacionalmente⁴⁰. Além da obtenção dos volumes utilizados, calculou-se a distância anual percorrida a etanol através das motocicletas:

$$D^{me} = \frac{V^{me}}{CE^{me}} \text{ (Eq. 4-9)}$$

³⁹ Etanol hidratado carburante.

⁴⁰ ANP (2018).

Em que D^{me} , V^{me} e CE^{me} representam, respectivamente, a distância, o volume e o consumo específico das motocicletas quando operadas a EHC.

– *Volume de gasolina consumido pelas motocicletas*

Com base nos dados de frota (F), idade média anual da frota e os respectivos consumo específico (CE) e Intensidade de uso (IU), foram calculados os volumes de gasolina consumidos nacionalmente pelas motocicletas (V^{mg}) em cada ano (t)⁴¹. A Equação 4-10 apresenta este procedimento. A fim de evitar efeitos de dupla contagem, a operação apresentada entre colchetes desconsidera os períodos em que as motocicletas operaram utilizando EHC (D^{me}).

$$V_t^{mg} = \{[(F * IU) - D^{me}] * CE\}_t \text{ (Eq. 4-10)}$$

Para a intensidade de uso, que representa a quilometragem média percorrida anualmente por cada motocicleta, foram adotados os valores sugeridos por MMA (2014), considerando a idade média da frota em cada ano. A Figura 4-3 ilustra estes valores. De modo análogo, utilizou-se o mesmo procedimento para a definição dos valores de consumo específico adotados nesta etapa⁴².

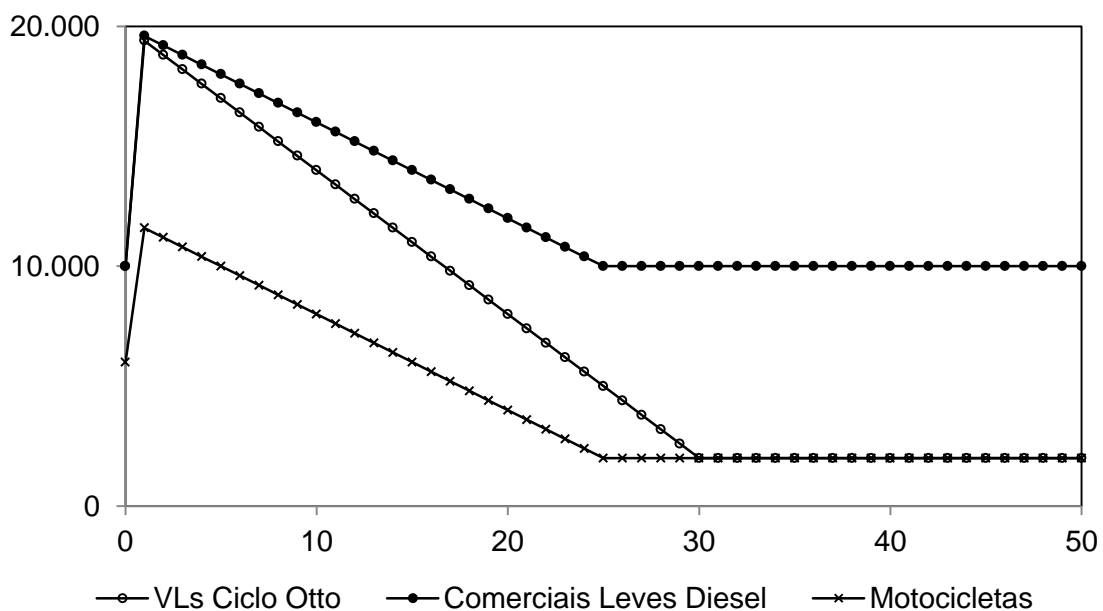


Figura 4-3 – Intensidade de uso (km/ano)

Fonte: MMA (2014)

⁴¹ A tabela do Anexo II apresenta os dados utilizados neste procedimento.

– Consumo específico

Os valores para consumo específico foram obtidos a partir de dados oficiais do 2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2014) e estão apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** sob a forma de quilometragem por litro⁴³.

Tabela 4-2 – Valores de quilometragem por litro veiculares (km/L)

Ano	Automóveis				Comerciais Leves				Motocicletas		
	Gasolina	Etanol	Flex		Gasolina	Etanol	Flex		Gasolina	Flex	
			Gasolina	Etanol			Gasolina	Etanol		Gasolina	Etanol
1957 a 1982	8,90	7,10	-	-	8,90	7,10	-	-	37,38	-	-
1983	9,65	7,90	-	-	9,65	7,90	-	-	37,38	-	-
1984	10,19	8,25	-	-	10,19	8,25	-	-	37,38	-	-
1985	10,39	8,54	-	-	10,39	8,54	-	-	37,38	-	-
1986	10,42	8,46	-	-	10,42	8,46	-	-	37,38	-	-
1987	10,64	8,52	-	-	10,64	8,52	-	-	37,38	-	-
1988	10,86	8,58	-	-	10,86	8,58	-	-	37,38	-	-
1989	11,07	8,65	-	-	11,07	8,65	-	-	37,38	-	-
1990	11,82	8,65	-	-	11,82	8,65	-	-	37,38	-	-
1991	11,82	8,65	-	-	11,82	8,65	-	-	37,38	-	-
1992	10,98	8,01	-	-	10,98	8,01	-	-	37,38	-	-
1993	10,98	8,54	-	-	10,98	8,54	-	-	37,38	-	-
1994	10,04	7,54	-	-	10,04	7,54	-	-	37,38	-	-
1995	10,04	7,54	-	-	10,04	7,54	-	-	37,38	-	-
1996	11,04	7,17	-	-	11,04	7,17	-	-	37,38	-	-
1997	11,04	7,17	-	-	11,04	7,17	-	-	37,38	-	-
1998	11,82	7,41	-	-	11,82	7,41	-	-	37,38	-	-
1999	11,82	8,01	-	-	11,82	8,01	-	-	37,38	-	-
2000	11,89	6,96	-	-	11,89	6,96	-	-	37,38	-	-
2001	11,97	6,96	-	-	11,97	6,96	-	-	37,38	-	-
2002	10,90	7,20	-	-	10,90	7,20	-	-	37,38	-	-
2003	11,20	7,50	10,30	6,90	11,20	7,50	10,30	6,90	37,38	-	-
2004	11,40	8,60	10,80	7,30	11,40	8,60	10,80	7,30	37,45	-	-
2005	11,30	8,60	11,50	7,70	11,30	8,60	11,50	7,70	37,45	-	-
2006	11,30	6,90	11,70	7,80	11,30	6,90	11,70	7,80	37,20	-	-
2007	11,30	6,90	11,70	7,80	11,30	6,90	11,70	7,80	37,09	-	-
2008	9,74	6,90	11,70	7,38	9,74	6,90	11,70	7,38	37,20	-	-
2009	9,90	-	11,50	7,80	8,30	-	8,30	6,90	37,27	42,84	28,01
2010	10,40	-	12,20	8,30	8,80	-	8,20	6,80	37,04	42,84	28,01
2011	11,20	-	12,20	8,60	9,90	-	9,00	6,30	36,14	42,84	28,01
2012	11,30	-	12,20	8,50	9,90	-	9,10	6,20	37,19	43,20	29,30

Fonte: MMA (2014)

Conforme é possível observar, os dados variam em função do ano de fabricação, tipo de uso, tipo de tecnologia de propulsão e combustível utilizado. Considerando a dificuldade em empregar estes valores às respectivas parcelas de

⁴² Obtidos em MMA (2014) e CETESB (2016). Por simplificação, os valores de consumo específico para as motocicletas com propulsão a gasolina e para as motocicletas bicompostíveis (quando operadas com gasolina) foram definidos como equivalentes.

⁴³ Os valores associados ao ano de 2012 foram mantidos constantes até 2017.

combustível consumidas por cada tipo de veículo, optou-se por ponderar um valor global de consumo específico para cada ano segundo a composição da frota e a idade relativa, conforme equacionado a seguir:

$$\overline{CE}_{it} = \frac{1}{F_t} * \sum_j \overline{CE}_{jt} * F_{jt} \text{ (Eq. 4-11)}$$

Em que \overline{CE}_{it} é o consumo específico médio para os veículos dedicados ao combustível i no ano t, \overline{CE}_{jt} é o consumo específico médio para a frota de veículos da categoria j no ano t, F_t é a frota de veículos leves no ano t e F_{jt} diz respeito à frota de veículos da categoria j no ano t.

$$\overline{CE}_{jt} = \frac{1}{F_t} * \sum_{h=1957}^t (F_{jh} * CE_{jh}) \text{ (Eq. 4-12)}$$

Onde F_{jh} representa a frota da categoria j licenciada no ano h, com CE_{jh} sendo o consumo específico associado.

A Tabela 4-3 apresenta os tipos de veículos em atividade no Brasil que serão considerados neste trabalho. A divisão da frota é de fundamental relevância, considerando-se a condição de que veículos de diferentes categorias consomem diferentes quantidades de combustíveis, em razão dos distintos rendimentos energéticos.

Tabela 4-3 – Caracterização da frota abrangida pelo estudo

Tipo de veículo (Tecnologia de propulsão)	Tipo de aplicação	Fonte energética
Exclusivamente a gasolina	Automóveis	Gasolina
Exclusivamente a gasolina	Comerciais leves	Gasolina
Exclusivamente a etanol	Automóveis	Etanol
Exclusivamente a etanol	Comerciais Leves	Etanol
<i>Flex Fuel</i>	Automóveis	Gasolina e etanol
<i>Flex Fuel</i>	Comerciais Leves	Gasolina e etanol
Diesel	Comerciais Leves	Diesel

Fonte: Elaboração própria

No que diz respeito aos veículos bicompostíveis (*flex fuel*), em que o consumidor pode optar por dois tipos de combustíveis, torna-se ainda mais desafiador dimensionar os volumes consumidos por este grupo. No entanto, obedeceram-se também as Equações 4-11 e 4-12.

Para o cálculo das frações das frotas de cada tipo de veículo em atividade a cada ano, foram obtidos os dados de licenciamento dos veículos leves disponibilizados pela ANFAVEA (2018) a partir do ano de 1957. Estes se encontram disponíveis no Anexo III. O balanço da frota anual é feito considerando os veículos remanescentes dos anos anteriores e a entrada de novos a cada ano. Os veículos de ciclo Otto sucateados são contabilizados a partir da função de Gompertz apresentada em MMA (2014). A função de sucateamento SC representa a fração remanescente de veículos de idade k no ano t:

$$SC_t = 1 - e^{-e^{a+b*k}} \quad (\text{Eq. 4-13})$$

Os valores para os parâmetros “a” e “b” também foram definidos com base em MMA (2014). Para os automóveis, “a” e “b” representariam, respectivamente, 1,798 e -0,137. Já para os comerciais leves, “a” equivaleria a 1,618 e “b” a -0,141. A Figura 4-4 exibe as curvas de sucateamento para cada tipo de veículo.

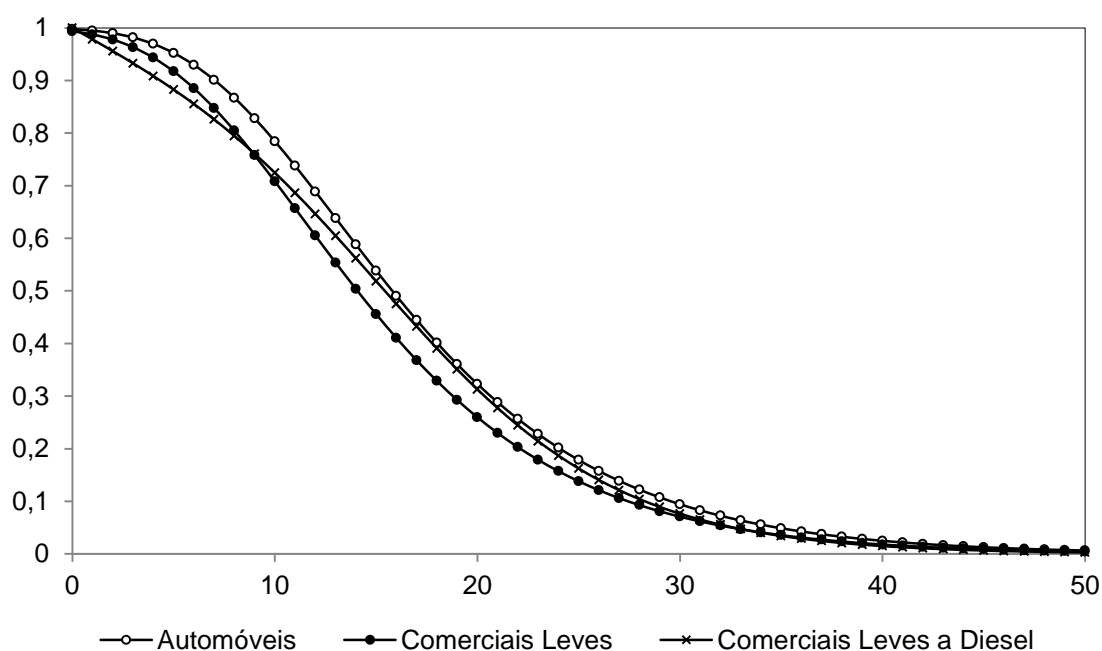


Figura 4-4 – Curvas de sucateamento

Fonte: MMA (2014)

Distância percorrida por LDVs movidos a diesel

A distância anual *per capita* percorrida por LDVs movidos a diesel (D_d^{BR}) foi definida a partir da intensidade de uso⁴⁴ e da frota estimada para a categoria (F_t), relacionadas ao quantitativo populacional brasileiro P_t , conforme aponta a seguinte equação:

$$D_d^{BR} = \frac{IU * F_t}{P_t} \quad (\text{Eq. 4-14})$$

O cálculo da frota foi efetuado de acordo com o raciocínio apresentado acima, nesta seção, a partir dos dados de licenciamento anual de veículos indicados por ANFAVEA (2018)⁴⁵. A curva de sucateamento para a categoria de propulsão a diesel apresentada na Figura 4-4 é obtida a partir da seguinte equação:

$$SC_t = (i + e^{a(k-b)})^{-1} + (1 + e^{a(k-b)})^{-1} \quad (\text{Eq. 4-14})$$

Em que “a” e “b” representam parâmetros específicos apontados por MMA (2014) para representar o sucateamento dos LDVs de propulsão a diesel no Brasil e que respectivamente equivalem a 0,17 e 15,3; k representa a idade do veículo.

Distância percorrida por LDVs a partir do GNV

De modo a estimar a quilometragem percorrida por veículos leves quando movidos a GNV, foram obtidos os dados de consumo automotivo médio diário deste combustível para os anos de 2012 a 2017 apresentados por ABEGÁS (2018), que foram convertidos para valores anuais. Para dimensionar o consumo em cada ano do período de 2002 a 2011, foram obtidos os dados relativos a 2000 e 2007 em MORAIS (2013). Considerou-se que, a partir de 2000, o consumo automotivo de GNV evoluiria de modo constante, em base anual, até se chegar ao valor apontado para 2007. O mesmo raciocínio foi utilizado para o período seguinte, a partir de 2007 até se chegar a 2012. Em seguida, aplicou-se a estes dados o desempenho médio de 13,8 km/m³, valor observado em SCHAEFFER *et al.* (2004, *apud* CAVALCANTI, 2006).

⁴⁴ MMA (2014).

⁴⁵ Para a contabilização da participação dos veículos movidos a diesel na mobilidade por veículos leves no Brasil, foram considerados somente os dados da frota de veículos do tipo comerciais leves definidos pela ANFAVEA (2018), desconsiderando, portanto, a categoria de automóveis movida a diesel apresentada na mesma (a partir de estimativas próprias, estes últimos possuiriam representatividade inferior a 1% na frota de LDVs).

4.3.3.3. Fator de ajuste

A Figura 4-5 apresenta os valores obtidos para o fator C entre os anos de 2002 e 2017. Analisando-se os dados obtidos, observou-se, entre os anos em questão, uma inflexão na curva em razão da transição de um período de taxas crescentes prosseguido por taxas decrescentes. Nos primeiros anos deste recorte, o crescimento acelerado dos valores do fator C era garantido pela respectiva redução e aumento nas distâncias médias *per capita* dirigidas na Inglaterra e no Brasil. Posteriormente, a tendência de estabilização de ambos os comportamentos induziu a um pico na curva, apontando valores relativamente similares para C nos últimos anos observados.

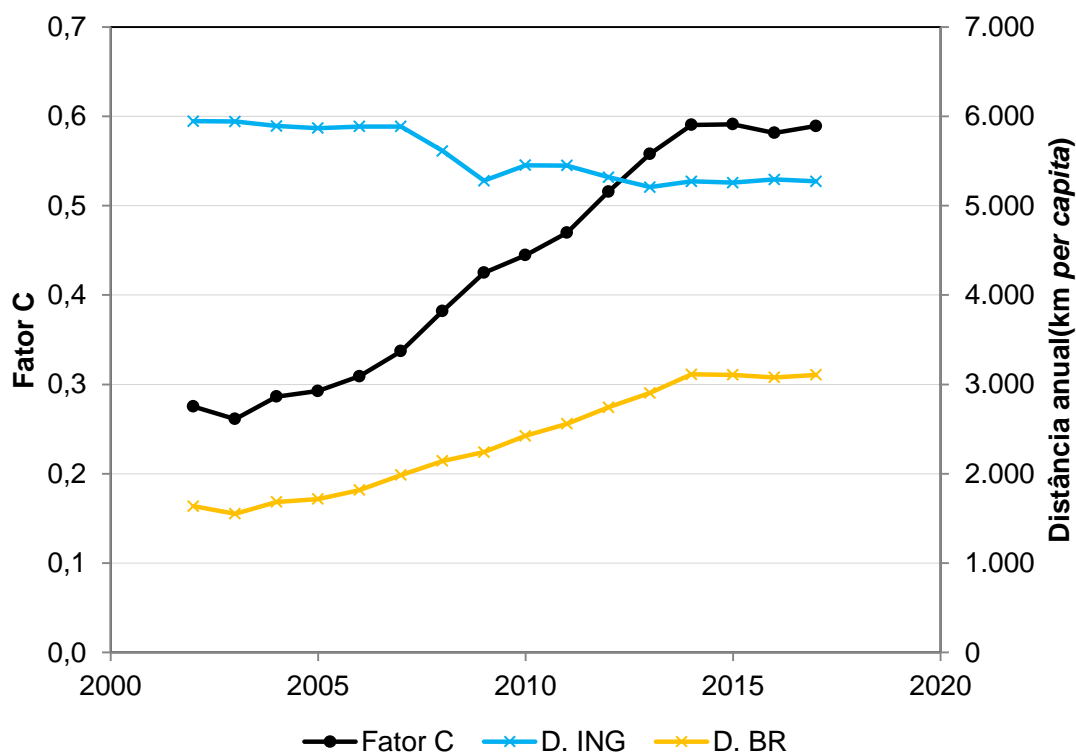


Figura 4-5 – Evolução anual do fator C e das distâncias per capita percorridas por veículos leves no Brasil e na Inglaterra

Fonte: Elaboração própria

Obtidos os valores necessários para aplicar a Equação 4-5, apresentam-se os dados estimados de distância anual dirigida em veículos leves por habitante no Brasil segundo a sua respectiva faixa etária. Comparativamente, os valores nacionais diferem significativamente em relação aos dados ingleses em razão da maior população brasileira e do maior nível de acessibilidade da população inglesa aos automóveis. A Figura 4-6 ilustra os resultados.

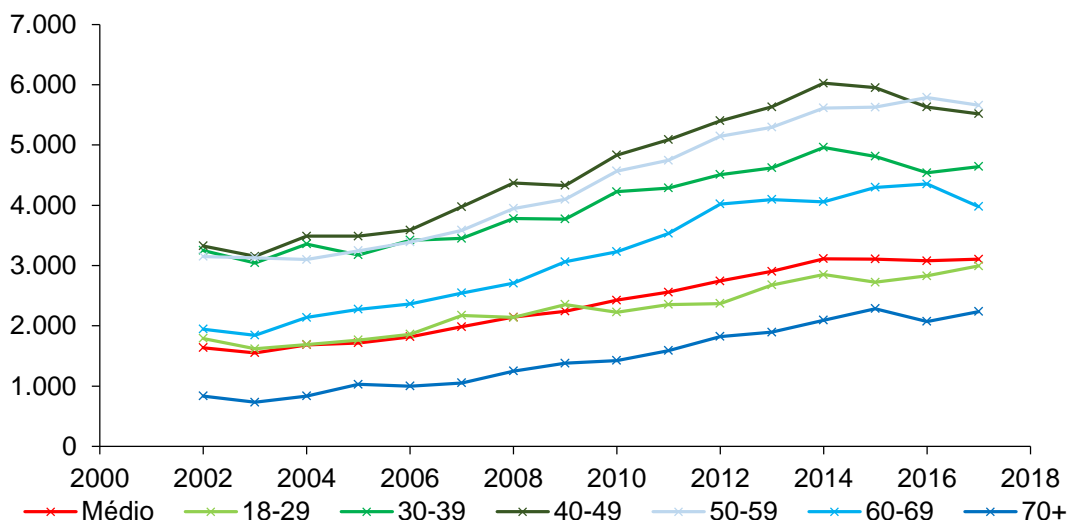


Figura 4-6 – Distância anual dirigida em veículos leves por habitante no Brasil segundo faixas etárias (km/ano⁻¹.habitante⁻¹)

Fonte: Elaboração própria

4.3.3.4. Fator de capacidade

O fator de capacidade em veículos de passageiros diz respeito à quantidade de passageiros por veículo. Este valor foi adotado com base em IPCC (2014) e mantido como equivalente a 1,5 passageiros por veículo. O fator de capacidade é utilizado para estimar o efeito atividade nos estudos relacionados ao transporte.

Em face da penetração de novos serviços e tecnologias disruptivas no cenário da mobilidade de passageiros em veículos leves, tais como o *carpooling* e a evolução da automação veicular, é possível sugerir que estes sejam capazes de favorecer o aumento da ocupação de passageiros por veículo. Neste sentido, o valor para o fator de capacidade, definido como constante neste trabalho, poderia ser explorado considerando possíveis variações em função do potencial de impacto na atuação destes diferentes elementos (BROWN *et al.*, 2014; CORREIA & VIEGAS, 2009; KRUEGER *et al.*, 2016).

4.3.4. Cenários para a e evolução da atividade dos veículos leves

Visando dimensionar a trajetória convencional esperada para a evolução da atividade em LDVs de passageiros, ao horizonte de 2050, utilizou-se o método proposto pela Equação 4-2. Para isso, foram utilizadas as estimativas de crescimento para a atividade desta categoria disponíveis na ferramenta da IEA para a modelagem energética em transportes, MoMo Lite (Mobility Model), elaborada por FULTON & KANEKO (2010). Estes dados foram aplicados para extrapolar os valores de

passageiro-quilômetro obtidos a partir das estimativas efetuadas para o Brasil, entre 2002 e 2017, cuja metodologia está apresentada nas sessões anteriores. Considerou-se, nesta proposta, que a frota de veículos leves cresceria linearmente até atingir o valor de 129,5 milhões de unidades em atividade no ano de 2050, condição apresentada por EPE (2016).

Segundo as estimativas da ANFAVEA (2018), a frota nacional de veículos leves correspondeu a cerca de 41 milhões de unidades em 2017. Considerando o cenário de inchaço de veículos já observado nos centros urbanos e as possíveis transformações na relação homem-veículo, apontadas no capítulo 2, torna-se questionável considerar um crescimento de 216% no horizonte referido. Deste modo, este trabalho se concentra em apontar as parcelas de contribuição de distintos elementos na moderação do passageiro-quilômetro, haja vista as incertezas associadas aos valores absolutos.

Depois de projetar a trajetória para a atividade dos LDVs, tornou-se possível apontar diferentes cenários para o Brasil, considerando os elementos de interesse apresentados neste trabalho, como os fatores demográficos. De modo geral, os cenários construídos obedecem ao mesmo arcabouço metodológico, representado pela Equação 4-3. No entanto, a trajetória convencional estimada para a atividade de veículos leves é corrigida de acordo com diferentes premissas, visando compreender os efeitos dos fatores de interesse. A seguir, serão apresentadas 3 diferentes propostas para a evolução do pkm brasileiro, as quais estão combinadas com as trajetórias de população CER, GET e FT⁴⁶. A Figura 4-7 esquematiza a construção dos cenários.

⁴⁶ Ver capítulo 3.

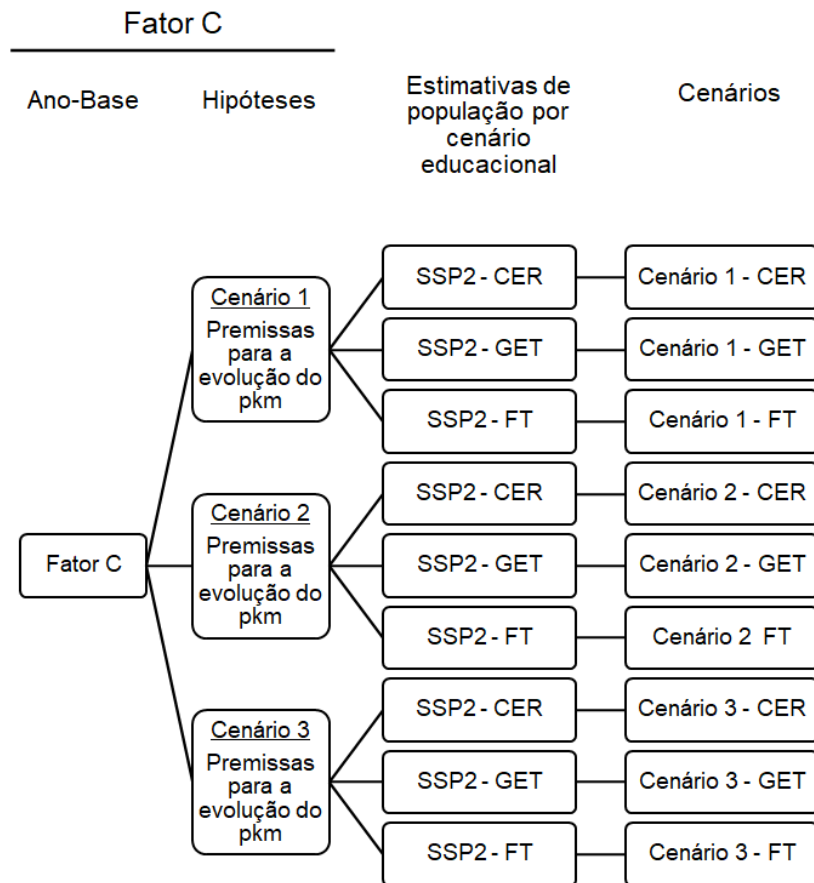


Figura 4-7 – Fluxograma de construção dos cenários

Fonte: Elaboração própria

4.3.4.1. Conjunto de cenários 1

O primeiro conjunto de cenários possui o objetivo de analisar especificamente os efeitos provocados pelo fator educacional. Deste modo, a evolução das distâncias médias dirigidas por faixa etária (D_f) para o ano t é corrigida, a partir do ano base, utilizando-se o fator de ajuste Z , isto é, somente em função da trajetória convencional para o crescimento do passageiro-quilômetro nacional para os LDVs (a_t)⁴⁷:

$$D_t^f = D_{2017}^f * Z_t \text{ (Eq. 4-15)}$$

$$Z_t = \frac{a_t}{A_{2017}} \text{ (Eq. 4-17)}$$

Em que A_{2017} equivale à atividade em LDVs de passageiros estimada para o Brasil no ano base de 2017.

Após projetar os valores de D_t^f para cada faixa etária, estes dados foram aplicados à equação 4-3 para a incorporação do efeito educacional, de acordo com as

⁴⁷ Conforme apresentado anteriormente, o fator de capacidade associado às atividades de cada ano foi definido como constante.

diferentes trajetórias de população consideradas e para a obtenção do nível de atividade esperado.

4.3.4.2. Conjunto de cenários 2

Assim como no primeiro conjunto de cenários, a proposta deste segundo consiste na alteração dos valores das distâncias médias dirigidas por faixa etária. Além de serem corrigidos a partir da trajetória convencional de evolução do pkm nacional para veículos leves, considera-se um fator de redução apontado por estatísticas inglesas que visam incorporar os efeitos comportamentais discutidos no capítulo 2. A Equação 4-17 apresenta este procedimento.

Dentro dos estudos de evolução para a mobilidade inglesa, propostos por DFT (2018b), o cenário que extrapola as tendências atuais para este país considera que as taxas relacionadas à mobilidade populacional por veículos leves se reduziram progressivamente em função de efeitos como a penetração das tecnologias e facilidades cibernéticas, a redução de interesse do jovem na condução de veículos automotivos, entre outros. Considera-se que efeitos de alterações nos níveis educacionais não sejam representativos, tendo em vista o alto índice educacional já alcançado no país.

$$D_t^f = D_{2017}^{fBR} * Z_t * \frac{D_t^{fING}}{D_{2017}^{fING}} \text{ (Eq. 4-16)}$$

Onde D_t^f representa a distância anual dirigida por habitante, segmentado por faixa etária, D a distância total percorrida; o subscrito t representa o ano da projeção, enquanto o índice 2017 se refere ao ano base; os sobrescritos BR e ING respectivamente representam Brasil e Inglaterra.

Assim como no conjunto de cenários 1, os resultados obtidos na equação 4-17 foram incorporados à equação 4-3 a fim de projetar valores para o nível de atividade a ser atingido neste cenário.

4.3.4.3. Conjunto de cenários 3

A estruturação do terceiro conjunto de cenários se diferencia substancialmente em relação aos demais. As premissas aqui se baseiam na correlação entre a penetração de novas tecnologias e o PIB. De acordo com o THE WORLD BANK (2008), o nível de progresso tecnológico em um país possui um efeito duplo em sua economia. Além de ser um determinante para a condição econômica, é também uma de suas consequências. Nesse sentido, a defasagem temporal entre países de

economia avançada e os países em desenvolvimento é nítida. A Figura 4-8 apresenta as quantidades de anos necessários para a adoção de novas tecnologias no Brasil e nos Estados Unidos versus os anos estimados das respectivas invenções. É possível ver reduções no tempo necessário para a adoção tecnológica e nas diferenças temporais entre os Estados Unidos e o Brasil, isto é, um país desenvolvido e outro em desenvolvimento.

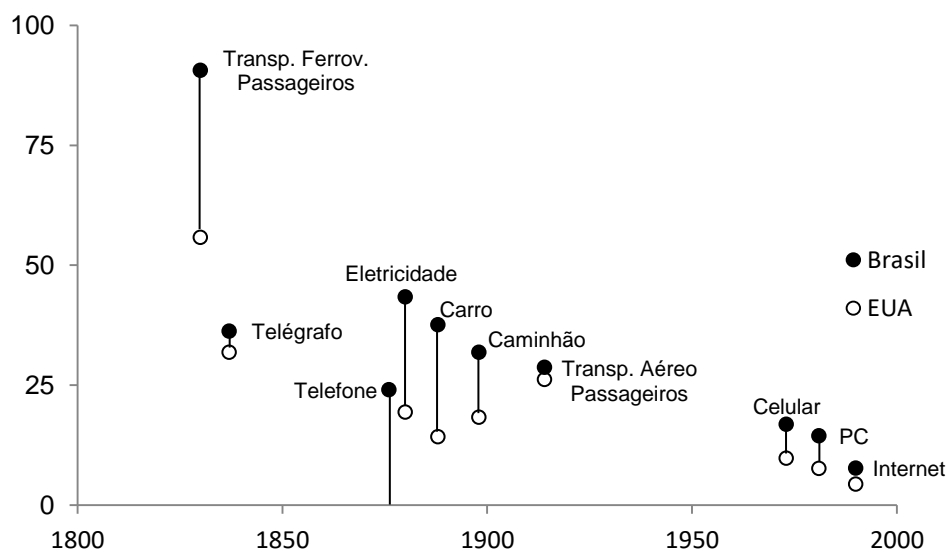


Figura 4-8 – Tempo necessário para a adoção de novas tecnologias

Fonte: THOMPSON ARAUJO (2016)

Ainda nesta proposta, há de se considerar o tempo necessário para a adaptação populacional e a mudança de hábitos. A transição geracional é uma importante condicionante neste processo. Novos grupos populacionais que crescem expostos às novas tecnologias se adaptam com mais facilidade do que as gerações anteriores e estimulam o processo de adoção tecnológica.

Por fim, outro aspecto a ser considerado como fundamento para a proposta do conjunto de cenários 3 diz respeito à transição do perfil demográfico esperado para as próximas décadas. É necessário considerar a discrepância atual existente entre o processo de envelhecimento populacional brasileiro e inglês. Em outras palavras, a população inglesa é predominantemente mais velha do que a brasileira. Segundo dados do IBGE (2018), o acelerado processo de envelhecimento esperado para o Brasil poderá aproximar os índices de envelhecimento de ambos os países nos próximos anos.

Todos os fatores citados acima apontam para uma defasagem temporal entre as condições de Brasil e Inglaterra em variados aspectos. Considerando que a proposta

deste trabalho se encontra justamente em incluir os condicionantes supracitados no comportamento do indivíduo sobre os veículos leves, é importante considerar tamanha discrepância. Portanto, os aspectos que já poderiam estar influenciando o uso destes veículos na Inglaterra ainda tomariam forma no Brasil.

A proposta deste conjunto de cenário sugere que os dados obtidos relativos à distância dirigida em veículos leves na Inglaterra entre 2002 e 2017 indicariam a trajetória brasileira de 2017 a 2032. Portanto, a distância percorrida por habitante em sua faixa etária e o fator C, neste período, seriam estimados da seguinte forma:

$$D_{ft}^{BR} = (D_f^{ING})_{t-15} * C_t \text{ (Eq. 4-17)}$$

$$C_t = \frac{(D^{BR})_t}{(D^{ING})_{t-15}} \text{ (Eq. 4-18)}$$

Para o cálculo da distância *per capita* percorrida no Brasil por veículos leves neste período, D^{BR} , adotou-se a mesma proposta dos conjuntos de cenário 2. Neste processo, foram consideradas as distintas estimativas de população, de acordo com o nível educacional proposto.

O capítulo seguinte apresentará os resultados obtidos para cada cenário adotado. Serão discutidas as diferentes perspectivas de crescimento em cada trajetória e a eficácia da adoção de medidas que possam favorecer uma menor dependência pelos veículos leves e uma menor emissão de CO₂ daí decorrente.

5. RESULTADOS

No capítulo anterior, foi apresentada a metodologia sugerida para dimensionar os impactos de diferentes condicionantes que afetam o padrão de mobilidade de LDVs de passageiros direcionada para a cenarização brasileira ao horizonte de 2050. No presente capítulo, serão apresentados os principais resultados observados na comparação entre as distintas propostas de evolução para o nível de atividade de passageiros desta categoria. A Tabela 5-1 descreve de forma resumida as premissas adotadas em cada cenário.

Tabela 5-1 – Descrição dos cenários adotados

Cenários	Descrição	
CER	Perspectivas convencionais para a evolução do pkm; Níveis educacionais constantes em base <i>per capita</i> .	
CEN1	GET	Perspectivas convencionais para a evolução do pkm; Evolução média dos níveis educacionais.
	FT	Perspectivas convencionais para a evolução do pkm; Evolução rápida dos níveis educacionais.
CER	Moderação do crescimento do pkm em analogia às perspectivas inglesas; Níveis educacionais constantes em base <i>per capita</i> .	
CEN2	GET	Moderação do crescimento do pkm em analogia às perspectivas inglesas; Evolução média dos níveis educacionais.
	FT	Moderação do crescimento do pkm em analogia às perspectivas inglesas; Evolução rápida dos níveis educacionais.
CER	Translação dos dados de CEN2; Níveis educacionais constantes em base <i>per capita</i> .	
CEN3	GET	Translação dos dados de CEN2; Evolução média dos níveis educacionais.
	FT	Translação dos dados de CEN2; Evolução rápida dos níveis educacionais.

Fonte: Elaboração própria

Este capítulo se divide entre a análise conjunta dos resultados e a análise individual a partir dos conjuntos de cenários do tipo 1, 2 e 3. Inicialmente será exibido o panorama geral destes resultados para, então, observar-se cada hipótese em particular.

5.1. Panorama Geral

A Figura 5-1 exibe as trajetórias obtidas para a evolução da mobilidade de veículos leves de passageiros a partir das premissas adotadas. É possível notar um padrão de evolução para os cenários, seja na magnitude atingida, seja no nível de crescimento. As trajetórias que mais se destoam em magnitude são as relacionadas

ao conjunto de cenários do tipo 3, com valores inferiores aos demais⁴⁸. Acima destas, encontram-se as 3 trajetórias associadas a família de cenários 2, seguidas pelo grupo CEN1, o qual apresenta os maiores valores obtidos para a mobilidade de LDVs de passageiros. Dentro de cada família, as características educacionais se distribuem de modo padronizado, respeitando-se a seguinte ordem crescente: FT, GET e CER.

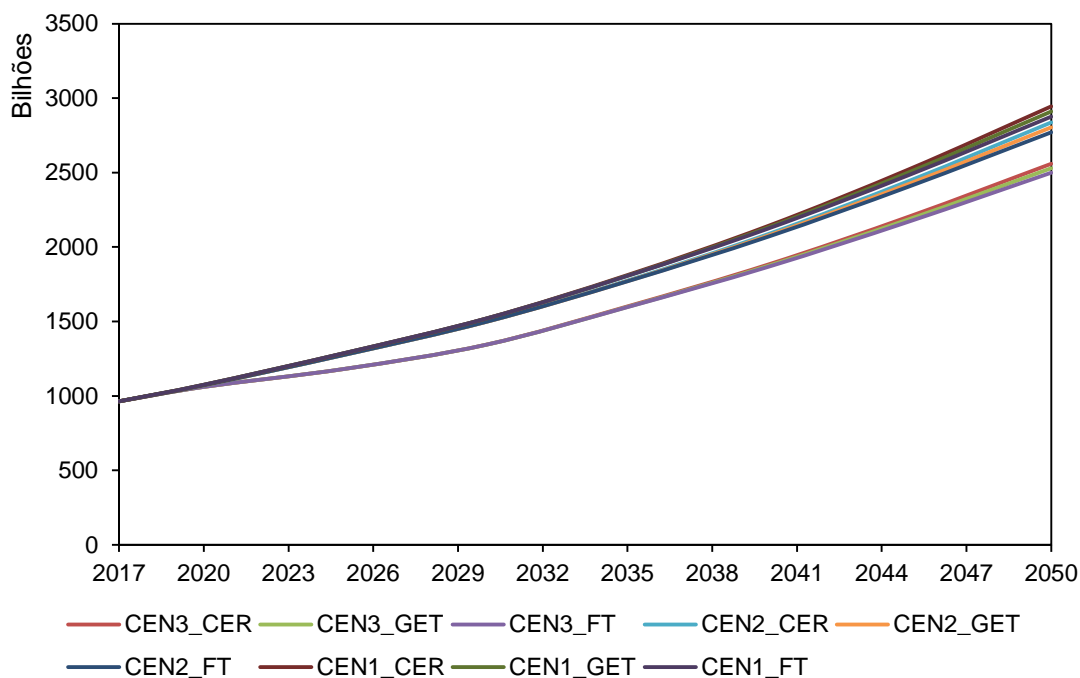


Figura 5-1 – Cenários de evolução para a atividade de passageiros em LDVs (bilhões p.km)

Fonte: Elaboração própria

Em função dos dados adotados para a estimativa da trajetória convencional de evolução da mobilidade em LDVs, não se fez possível observar um ponto de saturação do crescimento para o Brasil. Esta constatação poderia indicar um horizonte de grandes expectativas para a elevação desta atividade. De fato, é importante esclarecer que dimensionar a evolução da mobilidade é um grande desafio⁴⁹. Portanto, aponta-se mais uma vez que o presente exercício tem por objetivo principal dimensionar o potencial de diferentes condicionantes na moderação do passageiro-quilômetro, sendo secundária a indicação de valores absolutos.

No que diz respeito a participação dos grupos etários na condução dos LDVs, as parcelas de contribuição não obtiveram alterações discrepantes entre os cenários.

⁴⁸ Os cenários CEN3 serão abordados na Seção 5.4.

⁴⁹ O Anexo III amplia a discussão sobre o desafio do dimensionamento da mobilidade de passageiros por veículos leves.

Desse modo, foram escolhidos, de forma arbitrária, os cenários CEN1-FT e CEN3-CER para serem apresentados a seguir⁵⁰:

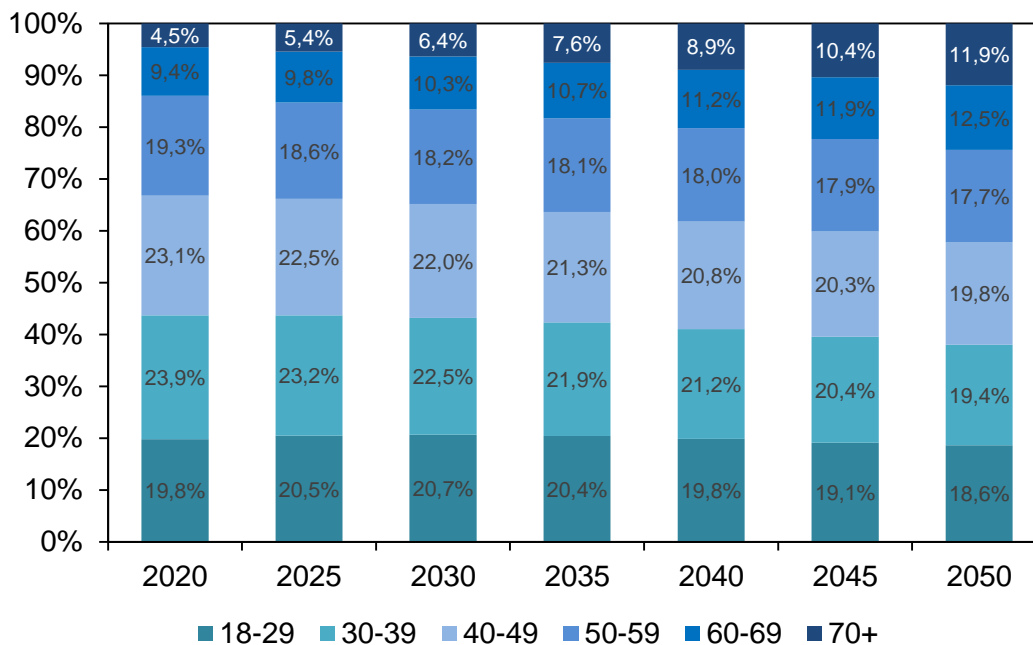


Figura 5-2 – Participação dos grupos etários brasileiros na condução de veículos leves para o cenário CEN1-FT

Fonte: Elaboração própria

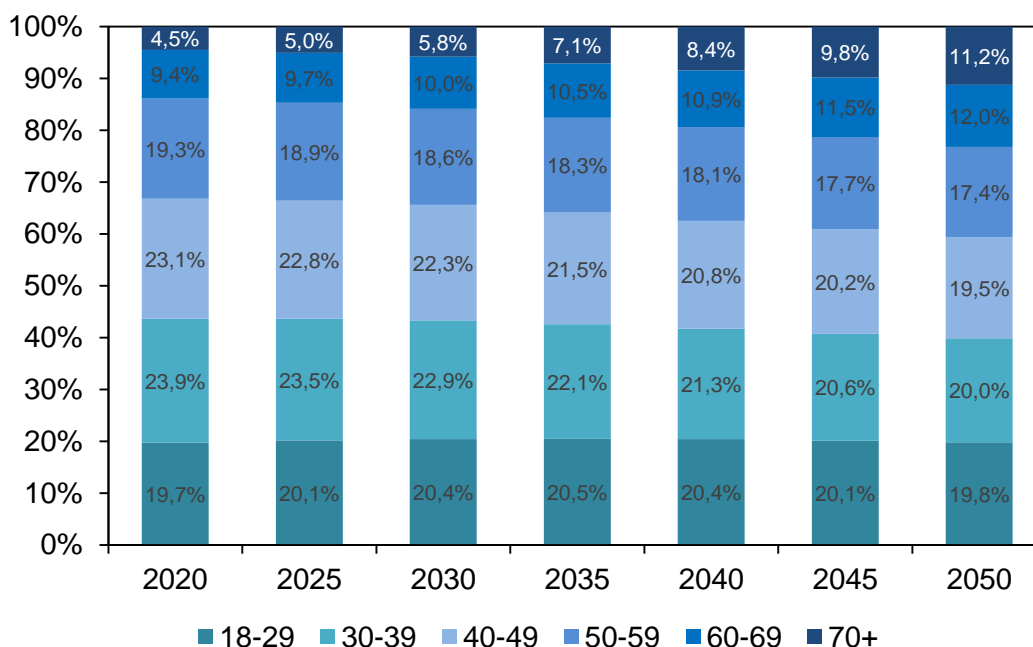
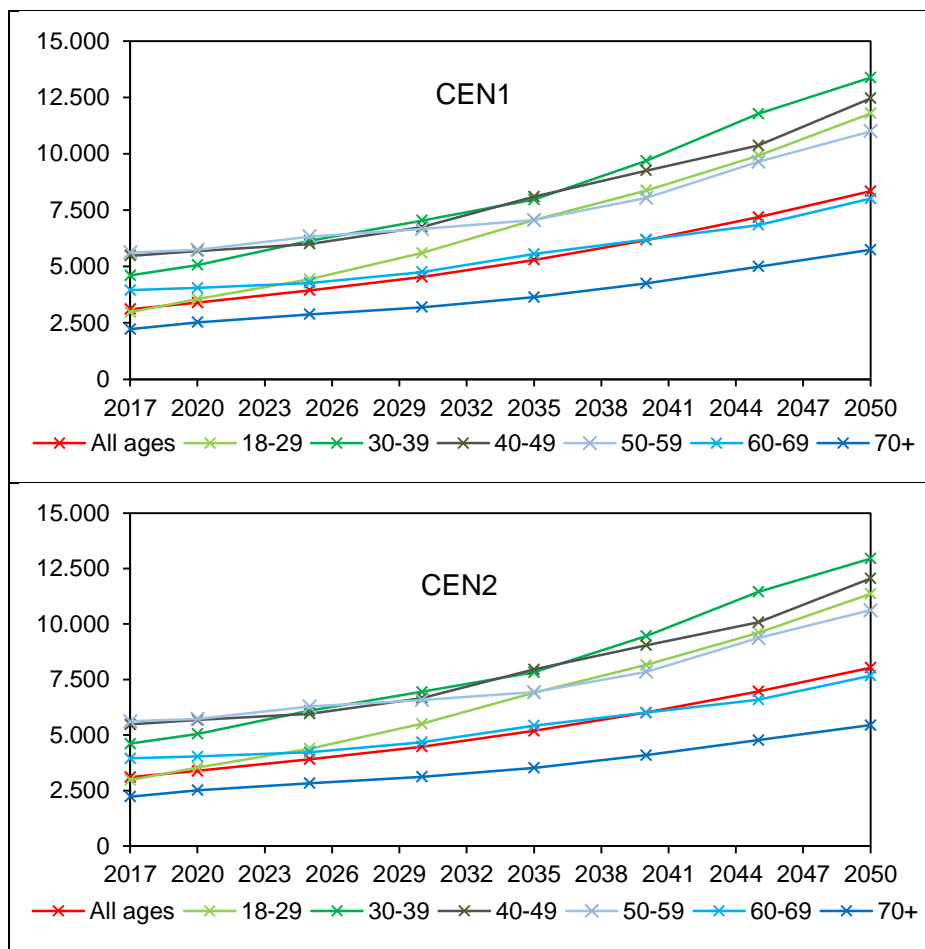


Figura 5-3 – Participação dos grupos etários brasileiros na condução de veículos leves para o cenário CEN3-CER

Fonte: Elaboração própria

⁵⁰ As distribuições referentes aos demais cenários se encontram no Anexo IV.

Um dos aspectos que limita a análise da participação dos grupos etários na condução de LDVs se encontra na hipótese da distribuição uniforme do crescimento da mobilidade em cada grupo etário, conforme pode ser observado na Figura 5-4⁵¹. A partir da discussão apresentada no capítulo 2, uma das perspectivas apontadas para esta dinâmica sugere que os grupos etários mais jovens passem a dirigir menos, enquanto os mais velhos passariam a dirigir mais em função de melhorias nas condições de vida. Este tipo de consideração poderia modificar moderadamente os resultados dispostos neste trabalho.



⁵¹ A Figura 5-4 apresenta os valores de distância anual dirigida em LDVs por habitante segundo faixas etárias para os cenários de tipo 1, 2 e 3. As pequenas diferenças nos valores para cada tipo de cenário dificultam a diferenciação visual dos resultados. O Anexo V disponibiliza os valores em discussão.

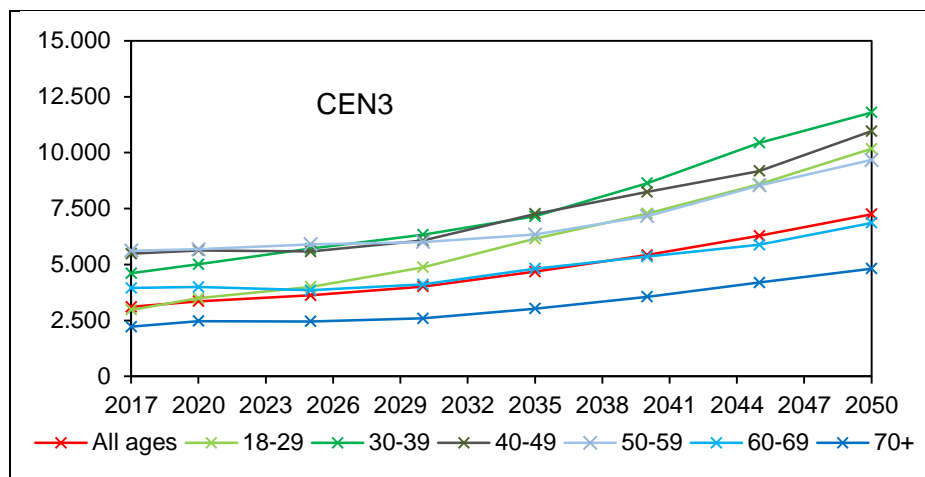


Figura 5-4 – Distribuição da distância dirigida por habitante no Brasil em seus respectivos grupos etários (km.ano⁻¹.habitante⁻¹)

Fonte: Elaboração própria

5.2. Conjunto de cenários 1

Este conjunto de cenários possui como objetivo principal analisar os efeitos associados às diferentes trajetórias de evolução dos índices educacionais brasileiros propostas por LUTZ *et al.* (2014). Conforme discutido no capítulo 3, os investimentos em educação poderiam ser capazes de alterar a dinâmica do crescimento populacional. Desse modo, melhorias no nível educacional de uma população poderiam moderar os seus índices demográficos, como a taxa de natalidade.

Analisando-se os dados obtidos para os tamanhos de população nos horizontes educacionais CER, GET e FT (Figura 3-5), observou-se que as diferenças entre estes passavam a se evidenciar a partir de meados de 2030 e, em 2050, a população da trajetória CER se apresentaria como 2,0% superior ao horizonte moderado GET, enquanto o valor esperado para o curso FT se mostraria inferior ao curso GET em 2,1%.

Ao serem aplicados os valores associados às distâncias médias dirigidas por habitante em seus grupos etários, de modo a estimar a atividade de passageiros para os LDVs, obteve-se como resultado que o passageiro-quilômetro para a trajetória CER se demonstraria 1,2% superior ao horizonte GET em 2050. Já o curso do pkm associado a hipótese FT apresentaria o mesmo valor percentual em inferioridade ao GET.

A partir dos valores obtidos, nota-se a pequena parcela de contribuição do efeito educacional sobre a mobilidade de passageiros por veículos leves. No que diz respeito

a participação dos grupos etários na condução dos LDVs, nota-se também pouca variação entre os cenários.

5.3. Conjunto de cenários 2

Nesta proposta, considera-se que os distintos condicionantes que alteram a relação homem-veículo, discutidos ao longo deste trabalho, permaneçam surtindo efeito em longo prazo. Para isso, foram incorporadas ao Brasil as tendências inglesas de evolução da mobilidade em veículos leves apontadas para esta condição.

Para dimensionar de forma isolada os efeitos oriundos desta hipótese discutida, cruzaram-se os dados entre os conjuntos de cenários 1 e 2, sendo obedecida a divisão entre as trajetórias educacionais. Logo, observou-se que a trajetória apresentada por este conjunto de cenários se demonstraria inferior em cerca de 1,5% em 2030, quando comparado a primeira proposta. Em 2050, este valor atingiria uma diferença de -3,7%⁵².

Ao confrontar os cenários do tipo 1 e do tipo 2, cruzando-se as diferentes trajetórias populacionais, torna-se possível analisar a amplitude das possibilidades de trajetórias para o pkm brasileiro quando incorporados diferentes elementos. O cenário CEN1-CER se apresentaria como o detentor dos valores mais altos, em face da maior população e da ausência dos efeitos embutidos na segunda proposta. O cenário CEN2-FT se encaixaria como o limite inferior, justamente por possuir características opostas ao CEN1-CER.

A análise individual de cada condicionante embutido nesta proposta é dificultada a partir do nível de agregação dos dados utilizados. Entretanto, conforme apontado por DFT (2017, 2018)⁵³, a análise dos dados de mobilidade referentes aos anos de 2011 a 2016 permitiram observar alterações nos níveis de mobilidade de acordo com o propósito da viagem. Neste caso, os níveis dos deslocamentos voltados para atividades tais como as de trabalho e de interação social ou lazer teriam se reduzido. Além disso, observou-se que o aumento no hábito das compras online poderia reduzir a propensão de viagens por veículos, principalmente aquelas dedicadas aos propósitos supracitados. A partir desta análise, seria possível indicar um impacto na

⁵² Dentro desta análise, o cenário CEN2-FT (escolhido aqui de forma arbitrária) seria 1,5% menor do que o CEN1-FT em 2030. Para 2050, este valor representaria -3,7%. Estes resultados se repetiram para os demais conjuntos, quando comparados dentro do mesmo contexto de evolução populacional.

⁵³ A análise dos dados presentes em DFT (2017) foi fundamental para a construção do cenário de perspectivas para a mobilidade de passageiros inglesa propostas por DFT (2018) e adotadas no conjunto de cenários de tipo 2.

mobilidade de passageiros por LDVs orientada pela progressiva penetração de tecnologias e facilidades cibernéticas.

5.4. Conjunto de cenários 3

Uma das limitações deste trabalho se encontra na premissa de associação entre os padrões de mobilidade brasileiros e ingleses. Dentro desta ótica, torna-se relevante sustentar um cenário que considere uma defasagem temporal nos contextos de ambos os países, nos mais diversos âmbitos, conforme discutido na apresentação deste conjunto de cenários⁵⁴. Deste modo, assumiu-se que os dados de mobilidade por veículos leves entre 2002 e 2017 na Inglaterra seriam proporcionalmente representativos para a trajetória brasileira entre os anos de 2017 e 2032. A partir de 2033, os dados seriam estimados segundo a mesma proposta apresentada para os cenários do tipo 2.

Obedecendo ao mesmo formato de análise apresentado para os cenários do tipo 2, as comparações foram inicialmente efetuadas obedecendo a divisão entre as trajetórias educacionais. Conforme observado na Tabela 5-2, no comparativo entre o caso 3 e os demais, a defasagem dos valores apontados para a mobilidade de LDVs é capaz de gerar maiores diferenças para o pkm projetado, diferenciando-se em maior nível dos demais cenários.

Tabela 5-2 – Comparativo percentual entre as atividades de passageiros por veículos leves dos diferentes cenários apresentados

Ano	Cenários do tipo 3 em relação aos do tipo 2	Cenários do tipo 3 em relação aos do tipo 1
2030	-10,3%	-11,6%
2050	-9,8%	-13,1%

Fonte: Elaboração própria

Neste conjunto de cenários, torna-se importante destacar a hipótese da incorporação dos possíveis desdobramentos da crise financeira mundial de 2007 a 2009 sobre as estimativas para a mobilidade de passageiros no Brasil, em função da translação dos dados ingleses no tempo. Com efeito, a ocorrência de períodos de crise econômica no âmbito nacional tem sido recorrente, conforme é possível observar na Figura 5-5. De acordo com IPEA (2010) e BARBOSA FILHO (2017), os últimos

⁵⁴ Seção 4.3.4.3.

episódios de crise na economia brasileira ocorreram durante a década de 1980, nos primeiros anos da década de 1990 e da década de 2000, bem como a partir de 2014. Desse modo, torna-se relevante também analisar uma visão que considere oscilações econômicas no Brasil.

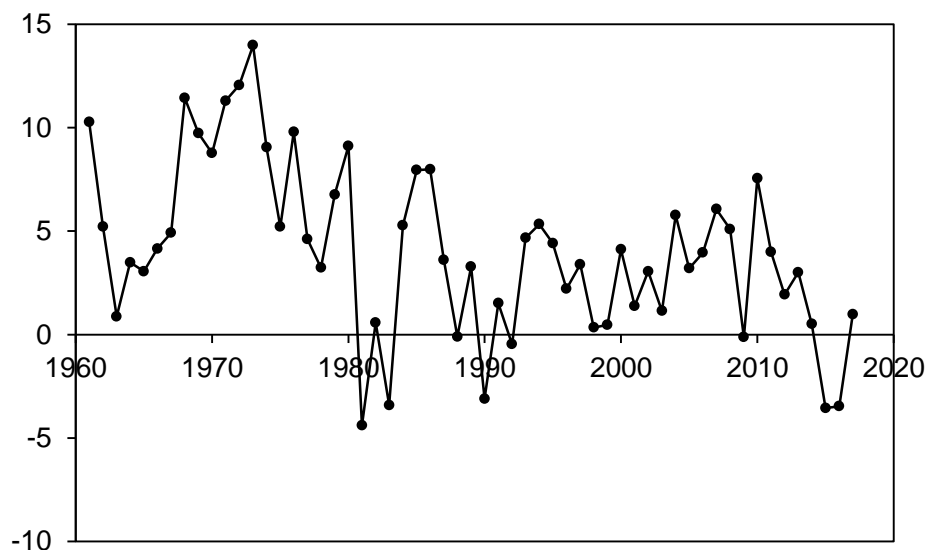


Figura 5-5 – Variação percentual do PIB em base anual (% a.a.)

Fonte: THE WORLD BANK (2018)

5.5. Amplitude das trajetórias de evolução

Após o detalhamento individual dos casos estudados, a Figura 5-6 exhibe o feixe de trajetórias propostas no escopo deste trabalho para o crescimento da mobilidade de passageiros em veículos leves, apresentadas em números-índices⁵⁵. Nesta ótica, o cenário CEN1-CER se apresentaria como o delimitador máximo para este crescimento. Conforme discutido, este cenário defende um congelamento na evolução das taxas educacionais. Portanto, a taxas constantes, os investimentos em educação estariam condicionados a crescer somente sobre a hipótese de incrementos populacionais. Desse modo, um cenário que incluía uma visão relativamente pessimista para os índices educacionais poderia indicar uma trajetória por vez superior aos cenários de projeção tradicionais (com base macroeconômica).

O cenário CEN3-FT indicaria a trajetória de menor crescimento. Esta hipótese sugere que a incorporação de efeitos diversos que reduzem a demanda por LDVs, como os de ordem social, comportamental, espacial e organizacional, associada a um horizonte de rápida evolução nos índices educacionais, poderia orientar a um futuro

⁵⁵ Atribuindo-se o valor 1 ao ano de 2002.

menos dependente por LDVs. A comparação entre a trajetória máxima e a mínima sugere que esta última se apresente inferior em 15,1% no ano de 2050 e 11,6% inferior em 2030.

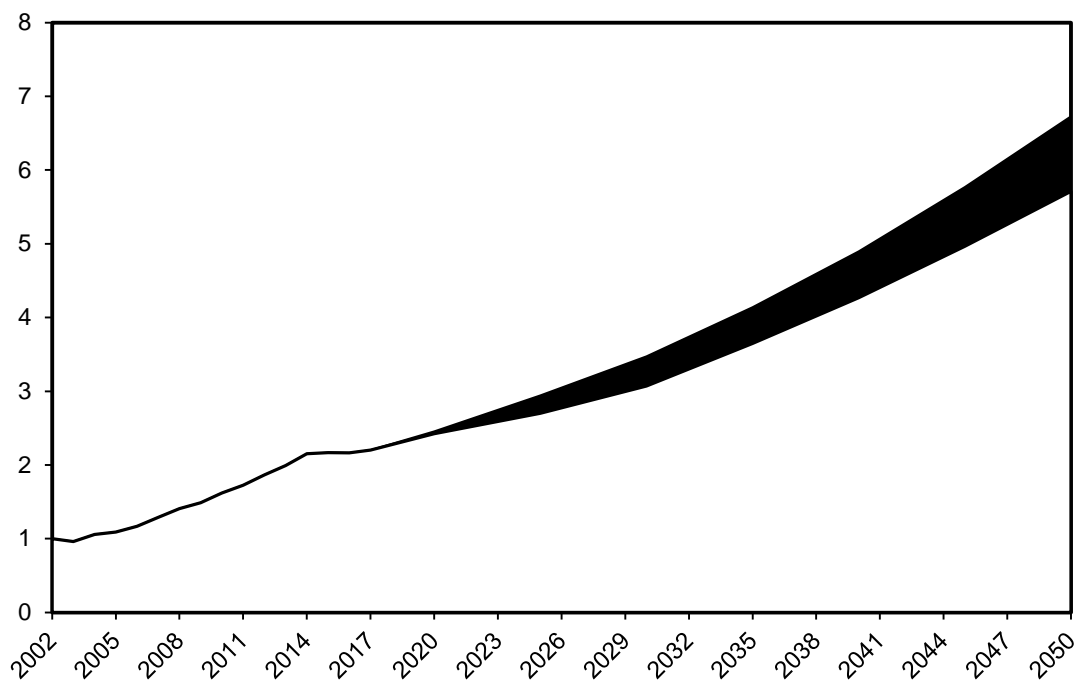


Figura 5-6 – Amplitude das trajetórias de evolução

Fonte: Elaboração própria

Considerando a mobilidade de passageiros por LDVs como uma categoria de transporte detentora de altos índices de intensidade energética por pkm, sugerir um futuro menos dependente a estes veículos sinalizaria um cenário menos emissivo no horizonte temporal estudado. A proposta defendida neste trabalho apontaria para mudanças no processo de escolha dos passageiros, os quais estariam propensos a substituir o uso dos LDVs por alternativas de transporte em massa, pedestrianismo, ciclismo e outros meios de menor intensidade.

5.6. Análise quantitativa

De modo a dimensionar quantitativamente o impacto dos condicionantes propostos nos diferentes horizontes apresentados para os LDVs no Brasil, apresenta-se a seguir uma simulação simplificada para comparar as diferenças de consumo de combustíveis entre estes. Na análise proposta, considerou-se a evolução do uso dos LDVs estritamente condicionada ao consumo de gasolina C, etanol hidratado e diesel. A Tabela 5-3 apresenta as hipóteses adotadas para o consumo destes combustíveis. A suposição dos valores para o desempenho veicular foi feita observando-se as

perspectivas apontadas em EPE (2016), MMA (2014) e FULTON & KANEKO (2010). Os valores para a participação dos veículos movidos a diesel foram mantidos como constates nas hipóteses apresentadas, de acordo com as análises dos valores estimados entre 2002 e 2017 para o Brasil⁵⁶.

Tabela 5-3 – Premissas para a frota de LDVs brasileira

Hipóteses	Percentual da distância percorrida a gasolina	Percentual da distância percorrida a etanol	Percentual da distância percorrida a diesel	Desempenho Energético da frota de LDVs (km/L _{Geq})			Ano
				Gasolina	Etanol	Diesel	
A	0,0	95,0	5,0				
B	25,0	70,0	5,0	12,0	10,0	11,0	2030
C	47,5	47,5	5,0				
D	70,0	25,0	5,0				
E	95,0	0,0	5,0	14,0	12,0	13,0	2050

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 5-4 apresenta os resultados para 2 comparativos de trajetórias para o pkm. O comparativo entre os cenários CEN1-CER e CEN1-FT visa dimensionar o impacto do efeito educacional no consumo de combustíveis para LDVs, ou seja, compara o cenário educacional superior ao inferior e aponta a diferença de consumo entre os mesmos. Já o comparativo entre os cenários CEN1-CER e CEN3-FT aponta estes resultados considerando as trajetórias de maior amplitude apresentadas neste estudo.

Tabela 5-4 – Impacto dos cenários no consumo de combustíveis (L_{Geq})

Caso	CEN1-CER e CEN1-FT		CEN1-CER e CEN3FT	
	2030	2050	2030	2050
A	1,90E+07	3,82E+09	5,07E+07	9,04E+07
B	1,82E+07	3,68E+09	2,49E+09	5,37E+09
C	1,75E+07	3,56E+09	4,68E+09	1,01E+10
D	1,67E+07	3,43E+09	6,87E+09	1,49E+10
E	1,59E+07	3,30E+09	9,30E+09	2,02E+10

Fonte: Elaboração própria

A partir desta análise, aponta-se o potencial de impacto dos cenários apresentados sobre as perspectivas para a demanda interna de combustíveis líquidos. Tratando-se dos derivados de petróleo, parte da demanda brasileira é suprida a partir da importação destes produtos. Em 2017, a demanda brasileira representou cerca de

⁵⁶ A partir da metodologia apresentada no capítulo 4.

2,23 milhões de barris por dia, enquanto que a produção nacional atingiu, em média, o valor de 1,82 milhão de barris por dia (BNDES, 2019). Considerando que a capacidade ociosa dos parques refinadores brasileiros esteve, em média, superior a 15% de suas capacidades de operação e também a falta de perspectivas apontadas para novos projetos petroquímicos no país, sugere-se que o impacto provocado por possíveis reduções no crescimento da demanda no setor de transportes, apontadas pelos cenários estudados, possa justamente se dar sobre a importação nacional, condição capaz de favorecer a balança comercial brasileira (EPE, 2018b).

No que diz respeito à demanda interna de etanol para a atividade veicular, sugere-se que uma redução nas perspectivas para o crescimento do consumo deste produto possa impactar as perspectivas futuras para a indústria sucroenergética. Para os próximos anos, observam-se movimentos estratégicos voltados para o reaquecimento desta atividade produtiva, como a política nacional RenovaBio⁵⁷. A partir disso, é esperado que a produção anual de etanol de primeira geração ultrapasse a média atual de 30 bilhões de litros anuais para 50 bilhões de litros (EPE, 2017c).

⁵⁷A iniciativa RenovaBio, instituída pela Lei nº 13.576/2017, contempla indústria sucroenergética ao visar expandir a produção de biocombustíveis no Brasil e aumentar a participação dos mesmos na matriz de transportes.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor de transportes possui um importante papel na demanda energética e nos níveis de emissões de GEE mundiais. Dentro deste segmento, a participação do modal rodoviário e, principalmente, da mobilidade por veículos leves se destacam. As estimativas para os níveis de atividade nestes subsetores são dimensionadas a partir do uso de ferramentas matemáticas específicas, como os modelos para planejamento energético do tipo *bottom-up* e *top-down*, ou modelos híbridos que agregam características de ambas as tipologias. A modelagem voltada para a evolução do setor de transportes e a demanda por combustíveis é fortemente baseada no crescimento dos índices econômicos de uma região.

A partir da década de 2000, estatísticas que apontam para uma dissociação entre o crescimento econômico e a dinâmica da mobilidade motorizada, principalmente no que tange o transporte em veículos leves de passageiros, passaram a ser notadas em países da América do Norte e Europa. Estes dados eram ainda mais evidentes quando observadas as concentrações urbanas em países desenvolvidos. Deste modo, a constatação de um fenômeno sem precedentes é capaz de contestar a eficácia das estimativas apontadas por modelos tradicionais de planejamento energético.

Conforme visto na revisão bibliográfica apresentada sobre este tema, considera-se que as alterações apontadas na relação entre índices de atividade econômica e de mobilidade possam estar associadas a distintos fatores. Estes seriam capazes de alterar progressivamente a relação do passageiro com a mobilidade privada e as suas escolhas quanto aos meios de transporte. Tais aspectos são vastos e de dinâmica complexa. Toma-se a liberdade aqui de se indicar alguns:

- i. As melhorias observadas na qualidade e gestão do transporte público passam a torná-lo mais atrativo no processo de escolha do passageiro;
- ii. Mudanças na composição etária das populações de cada país, em face de um processo de envelhecimento das mesmas, sugerem uma redução nos níveis de deslocamento;
- iii. A penetração acelerada de novas tecnologias, associadas ou não ao transporte, altera o comportamento social em relação ao veículo privado;
- iv. A reconfiguração dos espaços urbanos e da infraestrutura de transportes reduz a dependência pela mobilidade privada na medida em que atrai e concentra a população;

Embora a observação deste fenômeno esteja limitada a estes países avançados, a ocorrência dos aspectos que o condiciona se faz presente em outros contextos, como em países emergentes. No Brasil, por exemplo, estima-se um envelhecimento demográfico acelerado, condição capaz de alterar o planejamento nacional em diversos âmbitos (seguridade social, programas assistenciais, sistema de saúde e infraestrutura de transportes); os encargos financeiros, burocráticos e as responsabilidades associadas ao processo de posse e uso de automóveis restringem, progressivamente, o interesse pelo mesmo; a saturação das vias nos centros urbanos estimulam o emprego de soluções alternativas.

O processo de planejamento de transportes em países emergentes esteve tradicionalmente pautado no processo histórico de motorização dos países desenvolvidos. De fato, a literatura e a disponibilidade de dados para o estudo específico destes primeiros é limitada. Esta condição sugere a necessidade de um maior aprofundamento neste tema.

Considerando os aspectos supracitados, este trabalho teve por objetivo aproximar os condicionantes que supostamente alteram a demanda por transporte em veículos leves de passageiros em países avançados ao contexto dos países em desenvolvimento, em especial o Brasil. Nesta análise, foi possível observar a maior velocidade com que os países emergentes caminham no processo de envelhecimento demográfico quando comparados aos países avançados. Ao passo que os primeiros se encontram, em grande parte, inseridos nos estágios intermediários de uma transição demográfica, boa parte dos países desenvolvidos já se encontra avançada neste processo. Esta condição é capaz de moderar o crescimento das suas taxas de envelhecimento populacional. No que diz respeito aos países emergentes, um processo acelerado de envelhecimento sugere que os níveis de mobilidade sejam relativamente mais impactados por este fator.

Durante a exposição dos distintos condicionantes capazes de impactar o uso de veículos leves, foi possível observar o caráter qualitativo associado à discussão de muitos destes, dificultando estudos quantitativos capazes de incorporar seus respectivos efeitos. Desse modo, o presente trabalho se limitou a concentrar suas análises sobre dados demográficos, os quais foram associados aos de mobilidade. Considerando que boa parte dos aspectos apresentados neste trabalho envolvem discussões relativas a comportamento humano, hábitos e escolhas por tipo de transporte, é possível propor que a utilização de dados de origens distintas, tais como os de ordem sociológica, poderiam contribuir para captar em maior detalhamento os

demais efeitos destes condicionantes apresentados. Uma análise mais completa sobre os diversos fatores apresentados também poderia induzir as análises quantitativas de projeção a trajetórias mais "disruptivas" no padrão de crescimento da demanda por mobilidade em LDVs. Entretanto, o estado prematuro das discussões científicas voltadas para este fenômeno faz desta proposta um exercício desafiador.

Assim, visando aplicar as discussões elaboradas de forma concreta, foi proposto um estudo de caso nacional, no qual diferentes cenários para a evolução da atividade em veículos leves de passageiros foram construídos a partir da adaptação de dados ingleses referentes à distância anual dirigida por habitante em cada faixa etária. Estes foram combinados à diferentes trajetórias de projeção para o crescimento da população brasileira ao horizonte de 2050.. As trajetórias se distinguiam em função dos níveis de instrução educacional esperados. Em outras palavras, o nível educacional da população foi considerado como elemento regulador do crescimento populacional.

Para a elaboração deste trabalho, foi importante considerar a condição de baixo índice de motorização nacional e o potencial de crescimento do mesmo em razão das expectativas de crescimento econômico possíveis para o Brasil. Neste sentido, os aspectos estudados atuariam como fatores moderadores deste crescimento.

Dentro da contextualização nacional no que diz respeito ao tema educação, população e mobilidade, foi possível observar que a taxa de natalidade da mulher brasileira tende a diminuir na medida em que se aumentam os anos em que a mesma se dedica aos estudos. Portanto, investimentos em educação poderiam reduzir o tamanho da população e, conseqüentemente, o crescimento nos níveis de mobilidade em certa medida.

Ao abordar este tema com um ponto de vista mais desagregado, foi observado neste trabalho a tendência das regiões brasileiras com maiores índices de urbanização e escolaridade em apresentarem menores taxas de fecundidade em relação às demais. A maior expectativa de vida nestas regiões sugere um processo de envelhecimento mais acelerado para os respectivos grupos populacionais.

A adaptação de dados ingleses ao cenário nacional, em razão da escassez de dados oficiais nacionais se apresentou como uma grande limitação deste trabalho. Entretanto, optou-se por este caminho dada a escassez de dados semelhantes no Brasil. A definição de demais premissas evolutivas de médio e longo prazo neste estudo também se apresentou como um exercício desafiador ao se analisarem as

incertezas associadas. Considerando os diferentes panoramas em que ambos os países se encontram, torna-se incerto apontar uma semelhança de comportamento.

Em função das incertezas apontadas, decidiu-se apresentar os resultados a partir de intervalos que delimitam a trajetória de crescimento do nível de atividade em veículos leves de passageiros no Brasil. Foi visto que, no que diz respeito ao efeito educacional, uma trajetória evolutiva pautada em altos investimentos em educação, CEN1-FT, poderia condicionar uma redução de cerca de 2,3% na atividade de passageiros em LDVs no ano de 2050 em comparação a um cenário de visão pessimista para os índices educacionais, apresentando baixa evolução dos mesmos (CEN1-CER).

Quando aplicados os efeitos dos condicionantes sugeridos neste trabalho como moderadores do crescimento da mobilidade em LDVs de passageiros (família de cenários do tipo 2) e extrapolando-se estas tendências no horizonte de estudo, notou-se que os mesmos poderiam reduzir o nível de atividade em 1,5% no ano de 2030 e em até 3,7% no horizonte de 2050. A análise conjunta destes efeitos com as diferentes propostas de trajetórias educacionais indicou uma capacidade de redução de 1,9% para 2030 e 5,9% em 2050 quando confrontadas a trajetória máxima (CEN1-CER) e a mínima (CEN2-FT) obtidas para esta evolução.

A terceira proposta de cenarização apresentada por este trabalho considerou a existência de uma defasagem temporal entre os contextos⁵⁸ de Brasil e Inglaterra, que respectivamente representaram o país de estudo e o país utilizado como base comparativa. Desse modo, trasladou-se temporalmente os padrões recentes da mobilidade inglesa para que estes pudessem sugerir uma possível trajetória para a evolução brasileira. Esta hipótese apresentou os índices mais baixos encontrados neste estudo, apresentando um maior descolamento em relação as trajetórias para a atividade de passageiros dos demais tipos de cenário. De modo comparativo, a trajetória inferior, CEN3-FT, se reduziria em até 15,1% em relação a superior, CEN1-CER. Este valor estaria associado a amplitude do feixe de trajetórias possíveis para a evolução da atividade em LDVs de passageiros no Brasil apresentadas por este projeto.

Dentro das 3 famílias de cenário apresentadas, foi observado que, quando aplicadas as diferentes hipóteses para a evolução dos índices educacionais, o ordenamento entre estas era mantido, isto é, a trajetória com rápida evolução

⁵⁸ Socioeconômicos, demográficos, tecnológicos, etc.

educacional, FT, detinha a menor quantidade populacional e estaria sempre posicionada abaixo do curso intermediário GET. Este último era seguido da hipótese de baixo crescimento nos investimentos em educação, CER, com maiores perspectivas nas estimativas de população.

As amplas possibilidades para a demanda por mobilidade em LDVs a partir dos elementos apresentados por este trabalho reforçam a relevância deste assunto para o planejamento nacional em energia e transporte. Visando o aprofundamento e a continuidade das discussões voltadas para a referida área, sugerem-se os seguintes estudos:

- i. Aplicação dos resultados obtidos no presente estudo aos modelos de equilíbrio geral de planejamento energético para a avaliação do impacto destes sobre a demanda de energia, as emissões de CO₂, a indústria petrolífera e a economia como um todo.
- ii. Dimensionar a distribuição da distância média dirigida por faixa etária considerando uma abordagem nacional.
- iii. Refinar o estudo apresentado, distinguindo a demanda por veículos leves segundo as regiões do país ou ainda, de forma mais depurada, diferenciando as zonas urbanizadas das demais.
- iv. Incorporar perspectivas de caracterização da frota ao estudo apresentado de modo que se possam indicar cenários de emissões de CO₂.
- v. Analisar de modo desagregado os condicionantes moderadores da mobilidade de passageiros sugeridas por este trabalho e quantificar seus potenciais de impacto individuais na redução da mobilidade de passageiros em LDVs para o cenário brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEGÁS - Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado. 2018. Levantamento Estatístico: consumos de gás por segmento.

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira. 2018.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Dados Estatísticos: vendas, pelas distribuidoras, dos derivados combustíveis de petróleo (metros cúbicos). 2018. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

BARBOSA FILHO, Fernando de Holanda. A crise econômica de 2014/2017. Estudos Avançados, v. 31, n. 89, p. 51-60, 2017.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Perspectivas para o setor de refino de petróleo no Brasil. 2019. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/>>. Acesso em: 25 fev. 2019.

BORBA, B. S. M. C. Metodologia de regionalização do mercado de combustíveis automotivos no Brasil. 2008. Dissertação de M. Sc. PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

BORBA, Bruno Soares MC; SZKLO, Alexandre; SCHAEFFER, Roberto. Plug-in hybrid electric vehicles as a way to maximize the integration of variable renewable energy in power systems: The case of wind generation in northeastern Brazil. Energy, v. 37, n. 1, p. 469-481, 2012.

BROWN, Austin; GONDER, Jeffrey; REPAC, Brittany. An analysis of possible energy impacts of automated vehicles. In: Road vehicle automation. Springer, Cham, 2014. p. 137-153.

BRUCE, James P.; LEE, Hoesung; HAITES, Erik F. Climate change 1995. Economic and social dimensions of climate change. 1996.

CARSE, Andrew et al. The factors influencing car use in a cycle-friendly city: the case of Cambridge. Journal of transport geography, v. 28, p. 67-74, 2013.

CAVALCANTI, Marcelo Castello Branco. Análise dos tributos incidentes sobre os combustíveis automotivos no Brasil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2006.

COALE, Ansley J. Population and economic development. 1963.

CORREIA, G.; VIEGAS, J. M. A conceptual model for carpooling systems simulation. *Journal of Simulation*, v. 3, n. 1, p. 61-68, 2009.

CROCCO, Federica; EBOLI, Laura; MAZZULLA, Gabriella. Individual attitudes and shopping mode characteristics affecting the use of e-shopping and related travel. *Transport and telecommunication*, v. 14, n. 1, p. 45-56, 2013.

DAVIS, Benjamin; DUTZIK, Tony; BAXANDALL, Phineas. Transportation and the new generation: Why young people are driving less and what it means for transportation policy. 2012.

DE MATTOS, Laura Bedeschi Rego. A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa: O caso do Município do Rio de Janeiro. 2001. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DE MORAES, Natália Gonçalves. Avaliação das tendências da demanda de energia no setor de transportes no Brasil. 2005. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

DELBOSC, Alexa; CURRIE, Graham. Causes of youth licensing decline: a synthesis of evidence. *Transport Reviews*, v. 33, n. 3, p. 271-290, 2013.

DFT – Department for Transport. 2017. Provision of travel trends analysis and forecasting model research. Analysis and Developer Report, prepared by AECOM and Imperial College London for the Department for Transport, November.

DFT - Department for Transport. National Travel Survey, 2002-2017 [data collection]. 2018a. 10th ed. SN: 5340. UK Data Service

DFT – Department for Transport. Road Traffic Forecasts 2018: Moving Britain Ahead. Department for Transport. 2018b.

ECOLA, Liisa et al. The future of driving in developing countries. RAND Corporation, 2014.

EIA. Annual Energy Outlook 2014. 2014. Washington, DC: U.S. Energy Information Administration.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional. Brasília, DF, 2017a.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Cenários de Demanda para o PNE 2050: Relatório Parcial 2. Série Estudos da Demanda de Energia. Rio de Janeiro: EPE, 2018a.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Panorama do Refino e da Petroquímica no Brasil. 2018b. Nota Técnica DPG-SPT nº 04/2018.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Consolidação de bases de dados do setor transporte: 1970-2010. Brasília: EPE, 2012.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Demanda de Energia 2050. 2016. Série Estudos da Demanda de Energia. Nota Técnica DEA, v. 13, p. 15.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (PDE 2026). Brasília: EPE/MME, 2017b.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. RenovaBio: Biocombustíveis 2030. Nota Técnica, 2017c.

FHA, 2009. National Household Travel Survey. Federal Highway Administration. EUA

FREY, William H. Demographic reversal: Cities thrive, suburbs sputter. Brookings Institution, 2012.

FULTON, Lew; KANEKO, Hiroyuki. IEA Mobility Model Lite (MoMo Lite). IEA/ETP, versão beta, 17 dez. 2010.

GARGETT, David. Traffic growth: modelling a global phenomenon. World transport policy and practice, v. 18, n. 4, p. 27-45, 2012.

GLAZEBROOK, Garry; NEWMAN, Peter. The city of the future. Urban Planning, v. 3, n. 2, p. 1-20, 2018.

GOODWIN, Phil. Peak travel, peak car and the future of mobility. 2012.

GOODWIN, Phil; VAN DENDER, Kurt. 'Peak car'—themes and issues. Transport Reviews, v. 33, n. 3, p. 243-254, 2013.

HIDALGO, Darío; GUTIÉRREZ, Luis. BRT and BHLS around the world: Explosive growth, large positive impacts and many issues outstanding. Research in Transportation Economics, v. 39, n. 1, p. 8-13, 2013.

HOBBS, A. AND HARRIS, L. Peak car use in Britain. 2013. Commons Transport Select Committee. Parliamentary Office of Science and Technology (POST).

HUBBERT, M. King. Nuclear energy and the fossil fuel. In: Drilling and production practice. American Petroleum Institute, 1956.

HUBERS, Christa; LYONS, Glenn. New technologies for the old: Potential implications of living in later life for travel demand. *Transport Policy*, v. 30, p. 220-228, 2013.

IATA. Iata forecasts passenger demand to double over 20 years. 2016. Disponível em: <<http://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2016-10-18-02.aspx>>. Acesso em: 18 aug. 2017.

IBGE– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Projeção preliminar da população do Brasil por sexo e idades simples. 2018. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 22 jul. 2018.

IBGE– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Séries Estatísticas. 2013. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasil.

IEA. CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2018. 2018a. OECD, Paris.

IEA. Energy Technologies Perspectives 2017. International Energy Agency, Paris, 2017.

IEA. Transport, Energy and CO₂: moving toward sustainability. 2009. Paris: OECD/IEA.

IEA. World Energy Balances, 2018. 2018b. OECD, Paris.

IPCC. Chapter 8 - Transport: Climate Change 2014 - Mitigation for Climate Change. [s.l.] International Panel on Climate Change, Working Group III, 2014. Disponível em: <<http://mitigation2014.org/report/final-draft>>. Acesso em: 11 set. 2018.

IPEA, Ipea. O Brasil em 4 Décadas. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-IPEA, 2010.

KENWORTHY, Jeff. Decoupling urban car use and metropolitan GDP growth. *World Transport Policy and Practice*, v. 19, p. 8-21, 2013.

KRUEGER, Rico; RASHIDI, Taha H.; ROSE, John M. Preferences for shared autonomous vehicles. *Transportation research part C: emerging technologies*, v. 69, p. 343-355, 2016.

KUHNIMHOF, Tobias et al. Men shape a downward trend in car use among young adults—evidence from six industrialized countries. *Transport Reviews*, v. 32, n. 6, p. 761-779, 2012.

KUHNIMHOF, Tobias; ZUMKELLER, Dirk; CHLOND, Bastian. Who Are the Drivers of Peak Car Use? A Decomposition of Recent Car Travel Trends for Six Industrialized Countries. *Transportation research record*, v. 2383, n. 1, p. 53-61, 2013.

LANGONI, Carlo Geraldo. "A Economia da Transformação", Rio de Janeiro, José Olympio, 1975.

LÁRIOS, A. Estudo e construção de cenários para a telefonia móvel celular no contexto brasileiro. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

LE VINE, Scott; LATINOPOULOS, Charilaos; POLAK, John. What is the relationship between online activity and driving-licence-holding amongst young adults?. *Transportation*, v. 41, n. 5, p. 1071-1098, 2014.

LUCAS, Karen; JONES, Peter. *The car in British society*. 2009.

LUTZ, W.; BUTZ, W.; KC, S. *World Population and Global Human Capital in the 21st Century*. 2014.

LYONS, Glenn; GOODWIN, Phil. *Grow, peak or plateau-the outlook for car travel*. 2014.

MARCIAL, E. C. *Análise estratégica: estudos de futuro no contexto da inteligência competitiva*. Coleção Inteligência Competitiva - Volume 2. Thesaurus, 2011.

METZ, David. Saturation of demand for daily travel. *Transport Reviews*, v. 30, n. 5, p. 659-674, 2010.

MILLARD-BALL, Adam; SCHIPPER, Lee. Are we reaching peak travel? Trends in passenger transport in eight industrialized countries. *Transport Reviews*, v. 31, n. 3, p. 357-378, 2011.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. 2017. *Anuário estatístico dos transportes*. Brasília.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. *Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários*. Brasília: [sn]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Inventario_de_Emissoes_por_Veiculos_Rodoviaros_2013.pdf>, 2014. Acesso em: 15 ago. 2018.

MORAIS, Rafaela Cancelli. *A experiência do Gás natural veicular no Brasil: análise dos efeitos de políticas de incentivos*. 2013.

MORAIS, Raoni. O papel dos veículos elétricos e do envelhecimento da população sobre o mercado de combustíveis líquidos para veículos leves no Brasil / Raoni Morais – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

MOSS, Richard et al. Towards new scenarios for the analysis of emissions: Climate change, impacts and response strategies. 2008.

NEWMAN, Peter; KENWORTHY, Jeffrey; GLAZEBROOK, Garry. Peak car use and the rise of global rail: why this is happening and what it means for large and small cities. *Journal of Transportation Technologies*, v. 3, 2013.

OECD. Good practice greenhouse abatement policies: energy supply and transport. 2001. Paris: The Organization for Economic Co-operation and Development and the International Energy Agency.

OECD. Passenger transport (indicator). 2019.

OECD/ITF. Meeting the Needs of 9 Billion People. In: International Transport Forum/OECD, ITF. 2011. p. 2-11.

OECD/ITF. Transport Outlook 2012: Seamless Transport for Greener Growth. Paris: Joint Transport Research Centre of the OECD and ITF. 2012.

OECD/ITF. Transport Outlook 2017. 2017. International Transport Forum (ITF). OECD Publishing.

OLADE. Manual de Planificación Energética. Quito, 2017.

O'NEILL, Brian C. et al. Meeting report of the workshop on the nature and use of new socioeconomic pathways for climate change research. HAL, 2012.

PAES, Carlos Eduardo. A aplicação de modelos computacionais no planejamento energético. *Caderno Opinião – FGV Energia*. Ed novembro 2018.

PEREIRA, A. et al. Aspectos fundamentais de planejamento energético. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em http://www.sudene.gov.br/conteudo/.../PE_Aspectos_Fundamentais.pdf>. Acesso em: 12 de março de 2018.

PETROBRAS S. A. Participação do setor de petróleo e gás chega a 13% do PIB brasileiro. 2014. Disponível em: https://www.agenciapetrobras.com.br/Materia/ExibirMateria?p_materia=976480>. Acesso em: 24 abr. 2018.

PUENTES, Robert; TOMER, Adie. The Road... Less traveled: An analysis of vehicle miles traveled trends in the US. 2008.

REIS, Carla; BARBOSA, Larissa Maria de Lima Horta; PIMENTEL, Vitor Paiva. O desafio do envelhecimento populacional na perspectiva sistêmica da saúde. 2016.

SCHAFER, Andreas; VICTOR, David G. The future mobility of the world population. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 34, n. 3, p. 171-205, 2000.

SCHIPPER, Lee et al. Factors affecting land travel. *Transport Policy*, v. 1, n. 1, p. 6-20, 1993.

SCHIPPER, Lee. Automobile use, fuel economy and CO₂ emissions in industrialized countries: encouraging trends through 2008?. *Transport Policy*, v. 18, n. 2, p. 358-372, 2011.

SCHIPPER, Lee. Fuel economy, vehicle use and other factors affecting CO₂ emissions from transport. *Energy Policy*, v. 37, n. 10, p. 3711-3713, 2009.

SCHIPPER, Lee; LEATHER, James; FABIAN, Herbert. Transport and carbon dioxide emissions: forecasts, options analysis, and evaluation. 2009.

SCHIPPER, Lee; MARIE-LILLIU, Céline. Transportation and CO₂ Emissions: Flexing the Link - A Path for the World Bank. World Bank, Environment Department, 1999.

SCHOLL, Lynn; SCHIPPER, Lee; KIANG, Nancy. CO₂ emissions from passenger transport: a comparison of international trends from 1973 to 1992. *Energy Policy*, v. 24, n. 1, p. 17-30, 1996.

STOKES, Gordon. The prospects for future levels of car access and use. *Transport Reviews*, v. 33, n. 3, p. 360-375, 2013.

SZRETER, Simon. The idea of demographic transition and the study of fertility change: a critical intellectual history. *Population and development review*, p. 659-701, 1993.

TANNER, J. C. Car and motorcycle ownership in the counties of Great Britain in 1960. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, p. 276-284, 1963.

TANNER, J. C. Forecasts of vehicle ownership in Great Britain. *Roads and Road Construction*, v. 43, n. 515, p. 341-347, 1965. No. 51 (Her Majesty's Stationary Office).

TANNER, J. C., 1961, Factors affecting the amount of travel. Road Research Technical Paper.

TANNER, J.C. (1974) Forecasts of vehicles and traffic in Great Britain: 1974 revision. TRRL Report LR 650, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

TANNER, J.C. (1978) Long term forecasting of vehicle ownership and road traffic. *Journal of the Royal Statistical Society* 141A, 14–63 (in: schipper, 2011)

TANNER, J.C.. Forecast of Future Numbers of Vehicles in Great Britain. London: Roads and Road Construction, 1962. First Edition. A4 - Report. A4 Paper . Very Good / No Jacket. offprint from R&RC september 1962.

THE WORLD BANK (2008). *Global Economic Prospects 2008: Technology Diffusion in the Developing World*. Washington, DC: The World Bank.

THE WORLD BANK, International Comparison Program database. *World Development Indicators*. 2019.

THOMPSON ARAUJO, Jorge et al. (Ed.). *Understanding the income and efficiency gap in Latin America and the Caribbean*. The World Bank, 2016.

TSANG, Flavia; ROHR, Charlene. *The impact of migration on transport and congestion*. Rand Corporation, 2011.

TULPULE, AH. Forecasts of vehicles and traffic in Great Britain 1972 revision, Report LR543, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne. 1973.

UN/DESA - United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017). *World Population Ageing 2017*. New York: United Nations.

VAN DENDER, K.; CLEVER, M. Recent trends in car usage in advanced economies—slower growth ahead? Summary and conclusions (Discussion Paper No. 9). In: *International Transport Forum (ITF)*. 2013.

VAN VUUREN, Detlef P. et al. Comparison of top-down and bottom-up estimates of sectoral and regional greenhouse gas emission reduction potentials. *Energy policy*, v. 37, n. 12, p. 5125-5139, 2009.

WELTEVREDEN, Jesse WJ; ROTEM-MINDALI, Orit. Mobility effects of b2c and c2c e-commerce in the Netherlands: a quantitative assessment. *Journal of Transport Geography*, v. 17, n. 2, p. 83-92, 2009.

WILLS, William. *Modelagem dos efeitos de longo prazo de políticas de mitigação de emissão de gases de efeito estufa na economia do Brasil*. DSc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

ZAHAVI, Y. Traveltime Budgets and Mobility in Urban Areas US Department of Transportation, Washington, May 1974.

ANEXO I – CENÁRIOS DE EVOLUÇÃO POPULACIONAL

Tabela A I-1: Cenários de Evolução Populacional

	SSP2-FT	SSP2-GET	SSP2-CER	IBGE
2010	194.946.470	194.946.470	194.946.470	194.890.682
2015	203.287.500	203.267.450	203.638.390	203.475.683
2020	210.515.670	210.987.980	211.751.120	211.755.692
2025	216.639.590	217.799.330	219.033.350	219.029.093
2030	221.478.050	223.310.070	225.127.530	224.868.462
2035	225.008.390	227.545.400	229.989.140	229.173.685
2040	227.225.980	230.536.320	233.639.540	231.919.922
2045	228.186.930	232.319.200	236.155.140	233.149.625
2050	227.757.010	232.721.240	237.396.980	232.933.276
2055	226.048.470	231.737.510	237.442.990	231.300.323
2060	223.152.100	229.647.270	236.358.860	228.286.347

Fonte: LUTZ *et al.* (2014) e IBGE (2013)

ANEXO II – DADOS PARA A ESTIMATIVA DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS POR MOTOCICLETAS

Tabela A II – 1: Dados para a estimativa do consumo de combustíveis por motocicletas

Ano	Fonte	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Frota (10 ³)	SINDIPEÇAS	3522,8	4137,1	4864,1	5511,1	6284,3	7329,3	8555,8	9451,5	10442,5	11659,0	12403,6	13055,8	13468,1	13638,6	13469,8	13198,1
Idade média	SINDIPEÇAS								4,8	4,9	5,1	5,4	5,6	6,2	6,5	7	7,4
Ano médio de fabricação da frota circulante									2004	2005	2006	2007	2007	2008	2009	2009	2010
Consumo específico equivalente (gasolina)	MMA, 2014	37,38	37,38	37,38	37,38	37,38	37,38	37,38	37,45	37,45	37,2	37,09	37,09	37,2	37,27	37,27	37,04
Consumo específico equivalente (etanol)	MMA, 2014								28,01	28,01	28,01	28,01	28,01	29,4	29,4	29,4	29,4

ANEXO III – METODOLOGIAS DE PROJEÇÃO PARA O NÍVEL DE ATIVIDADE DE VEÍCULOS LEVES DE PASSAGEIROS

Estimar a evolução do nível de atividade dos veículos leves é um exercício desafiador e variável, pois este crescimento é dado em função das premissas e metodologias adotadas, as quais se diferenciam em abordagem. Para exemplificar esta condição, serão apresentados 3 distintos métodos capazes de apontar distintas trajetórias.

Método 1 – Projeção Macroeconômica

Este tipo de projeção se baseia em pautar a evolução do pkm de acordo com a correlação histórica entre este e o indicador macroeconômico PIB. As séries nacionais da atividade de passageiros no setor rodoviário e do PIB, apresentadas na Tabela A III-2, possuem uma alta correlação⁵⁹ entre si e permitem uma projeção a partir de técnicas de regressão linear. Nesta proposta, os coeficientes angular e linear representariam, respectivamente, 1,06 e $-3,41 \times 10^{11}$.

Considerando que o objetivo deste trabalho está voltado para os LDVs, obtiveram-se de OECD/ITF (2011) as estimativas da participação dos LDVs na distribuição modal do transporte rodoviário de passageiros para a América Latina nos anos de 2005, 2030 e 2050 e estão indicados na Tabela A III-1. Estes valores foram aplicados ao Brasil de modo a reverter a curva para o pkm rodoviário obtida em valores de pkm exclusivos aos LDVs. Posteriormente, a Figura A III-1 indica os valores de pkm estimados.

Tabela A III-1 – Participação dos LDVs de passageiros na mobilidade do modal rodoviário na América Latina

Ano	Participação
2005	47%
2030	66%
2050	80%

Fonte: OECD/ITF (2011)

⁵⁹ $R^2=0,995$.

Tabela A III-2 – Dados para a correlação e projeção do nível de atividade de LDVs de passageiros

ANO	Atividade de passageiros no setor rodoviário (p.km)	PIB (2015 \$)	Atividade de passageiros no setor rodoviário (Regressão) (p.km)	Atividade de passageiros em LDVs em LDVs (p.km)
Fonte	EPE (2012)	THE WORLD BANK (2019)	Elaboração Própria	Elaboração própria
1970	1,14E+11	3,46E+11	2,57E+10	
1971	1,31E+11	3,85E+11	6,71E+10	
1972	1,50E+11	4,31E+11	1,16E+11	
1973	1,71E+11	4,92E+11	1,80E+11	
1974	1,95E+11	5,36E+11	2,27E+11	
1975	2,23E+11	5,64E+11	2,57E+11	
1976	2,54E+11	6,19E+11	3,15E+11	
1977	2,90E+11	6,48E+11	3,46E+11	
1978	3,32E+11	6,69E+11	3,68E+11	
1979	3,79E+11	7,14E+11	4,16E+11	
1980	4,33E+11	7,79E+11	4,85E+11	
1981	4,50E+11	7,45E+11	4,48E+11	
1982	4,68E+11	7,49E+11	4,53E+11	
1983	4,87E+11	7,23E+11	4,26E+11	
1984	5,06E+11	7,62E+11	4,66E+11	
1985	5,26E+11	8,22E+11	5,31E+11	
1986	5,47E+11	8,88E+11	6,00E+11	
1987	5,69E+11	9,20E+11	6,34E+11	
1988	5,92E+11	9,19E+11	6,33E+11	
1989	6,16E+11	9,49E+11	6,65E+11	
1990	6,40E+11	9,20E+11	6,34E+11	
1991	6,66E+11	9,33E+11	6,48E+11	
1992	6,93E+11	9,29E+11	6,44E+11	
1993	7,20E+11	9,72E+11	6,90E+11	
1994	7,49E+11	1,02E+12	7,45E+11	
1995	7,87E+11	1,07E+12	7,93E+11	
1996	8,18E+11	1,09E+12	8,18E+11	
1997	8,51E+11	1,13E+12	8,57E+11	
1998	8,81E+11	1,13E+12	8,61E+11	
1999	8,96E+11	1,14E+12	8,67E+11	
2000	9,31E+11	1,19E+12	9,16E+11	
2001	9,60E+11	1,20E+12	9,34E+11	
2002	9,93E+11	1,24E+12	9,73E+11	
2003	1,03E+12	1,25E+12	9,88E+11	

2004	1,08E+12	1,33E+12	1,06E+12	
2005	1,11E+12	1,37E+12	1,11E+12	5,17E+11
2006	1,14E+12	1,42E+12	1,17E+12	5,51E+11
2007	1,23E+12	1,51E+12	1,26E+12	6,03E+11
2008	1,33E+12	1,59E+12	1,34E+12	6,51E+11
2009	1,37E+12	1,58E+12	1,34E+12	6,59E+11
2010	1,48E+12	1,70E+12	1,46E+12	7,32E+11
2011		1,77E+12	1,54E+12	7,79E+11
2012		1,80E+12	1,57E+12	8,08E+11
2013		1,86E+12	1,63E+12	8,50E+11
2014		1,87E+12	1,64E+12	8,67E+11
2015		1,80E+12	1,57E+12	8,42E+11
2016		1,74E+12	1,50E+12	8,18E+11
2017		1,76E+12	1,52E+12	8,39E+11
2018		1,78E+12	1,55E+12	8,66E+11
2019		1,81E+12	1,57E+12	8,93E+11
2020		1,83E+12	1,60E+12	9,21E+11
2021		1,86E+12	1,63E+12	9,50E+11
2022		1,88E+12	1,66E+12	9,80E+11
2023		1,91E+12	1,68E+12	1,01E+12
2024		1,94E+12	1,71E+12	1,04E+12
2025		1,96E+12	1,74E+12	1,07E+12
2026		1,99E+12	1,77E+12	1,11E+12
2027		2,02E+12	1,80E+12	1,14E+12
2028		2,05E+12	1,83E+12	1,18E+12
2029		2,08E+12	1,86E+12	1,21E+12
2030		2,10E+12	1,89E+12	1,25E+12
2031		2,15E+12	1,94E+12	1,30E+12
2032		2,19E+12	1,98E+12	1,34E+12
2033		2,24E+12	2,03E+12	1,39E+12
2034		2,29E+12	2,08E+12	1,44E+12
2035		2,34E+12	2,13E+12	1,49E+12
2036		2,38E+12	2,19E+12	1,54E+12
2037		2,44E+12	2,24E+12	1,59E+12
2038		2,49E+12	2,29E+12	1,64E+12
2039		2,54E+12	2,35E+12	1,70E+12
2040		2,59E+12	2,41E+12	1,76E+12
2041		2,64E+12	2,45E+12	1,81E+12
2042		2,68E+12	2,50E+12	1,86E+12
2043		2,72E+12	2,54E+12	1,91E+12
2044		2,77E+12	2,59E+12	1,97E+12
2045		2,81E+12	2,64E+12	2,02E+12
2046		2,86E+12	2,69E+12	2,08E+12

2047		2,91E+12	2,74E+12	2,14E+12
2048		2,95E+12	2,79E+12	2,20E+12
2049		3,00E+12	2,84E+12	2,26E+12
2050		3,05E+12	2,89E+12	2,33E+12

Fonte: EPE (2012) e THE WORLD BANK (2019)

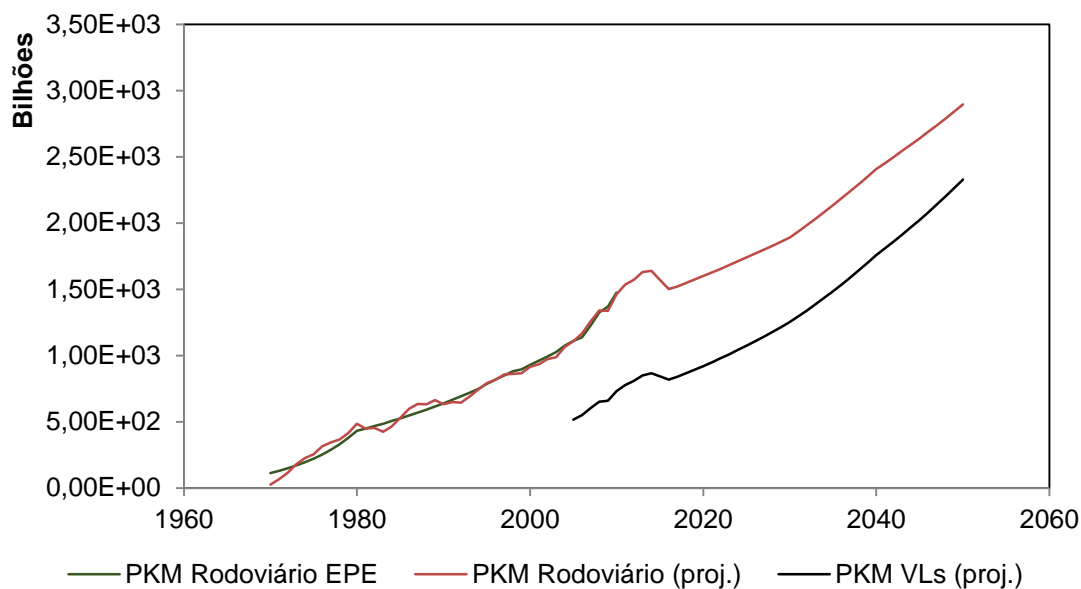


Figura A III-1 – Nível de atividade de veículos no setor rodoviário

Fonte: Elaboração Própria

Método 2 – Projeção a partir dos dados da Ferramenta MoMo Lite

Os dados indicados por FULTON & KANEKO (2010) estão apresentados na Tabela A III-3 proposta para a estimativa do pkm para LDVs nesta metodologia está baseada na Equação 4-2, ao associar a frota de veículos leves à atividade em veículo-quilômetro. A Figura A III-2 apresenta os resultados obtidos.

Tabela A III-3 – Dados de entrada para a projeção do nível de atividade dos LDVs de passageiros a partir da ferramenta MOMO Lite

Ano	Automóveis			Veículos Comerciais Leves			Atividade de Passageiros em VLs (bilhões de p.km)
	Atividade veicular (v.km)	Frota (Milhões)	Fator de Ocupação (passageiro/veículo)	Atividade veicular (v.km)	Frota (Milhões)	Fator de Ocupação (passageiro/veículo)	
2000	Segmentada de acrodo com o tipo de combustível utilizado	16,14	1,81	0,21	1,81	409,79	
2005		17,64	1,77	1,02	1,77	440,54	
2010		18,18	1,80	2,55	1,80	488,34	
2015		19,39	1,80	2,83	1,80	529,14	
2020		24,06	1,80	3,09	1,80	650,59	
2025		27,53	1,77	3,32	1,80	753,31	
2030		30,71	1,74	4,02	1,80	858,40	
2035		34,27	1,71	4,92	1,80	994,49	
2040		39,51	1,68	6,29	1,80	1188,04	
2045		46,82	1,66	8,25	1,80	1457,05	
2050	56,21	1,65	10,89	1,76	1762,51		

Fonte: FULTON & KANEKO (2010)

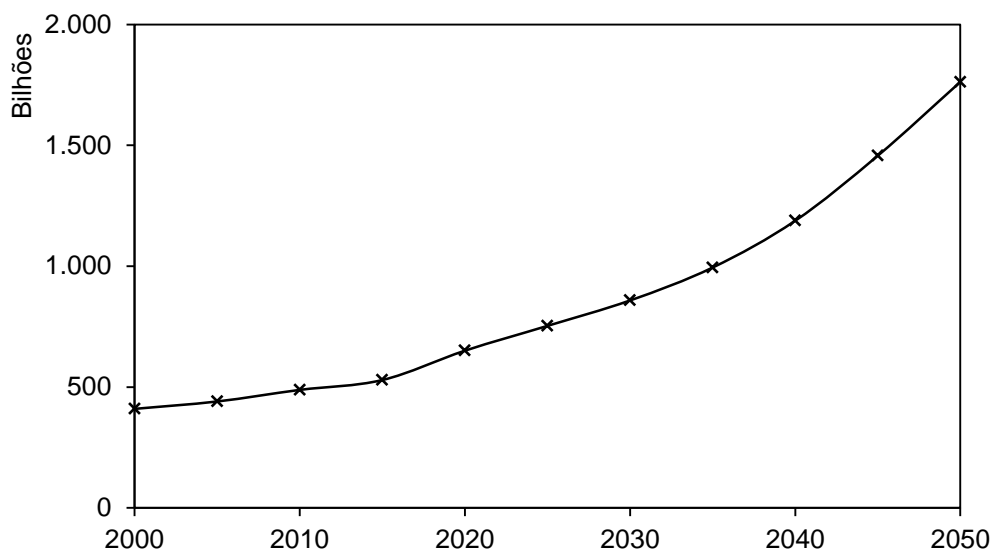


Figura A III-2 – Projeção do nível de atividade dos LDVs de passageiros

Fonte: Elaboração própria

Método 3 – Projeção Própria

A projeção a ser apresentada neste capítulo está associada à metodologia descrita no capítulo 4. A Tabela A III-4 apresenta os dados obtidos. A Figura A III-3 ilustra os resultados.

Tabela A III-4 – Projeção do nível de atividade dos LDVs de passageiros

Ano	Atividade de passageiros em LDVs	Ano	Atividade de passageiros em LDVs	Ano	Atividade de passageiros em LDVs
2002	4,38E+11	2019	1,04E+12	2035	1,81E+12
2003	4,21E+11	2020	1,07E+12	2036	1,87E+12
2004	4,63E+11	2021	1,11E+12	2037	1,93E+12
2005	4,77E+11	2022	1,16E+12	2038	2E+12
2006	5,11E+11	2023	1,2E+12	2039	2,06E+12
2007	5,64E+11	2024	1,24E+12	2040	2,13E+12
2008	6,16E+11	2025	1,29E+12	2041	2,2E+12
2009	6,51E+11	2026	1,33E+12	2042	2,27E+12
2010	7,09E+11	2027	1,38E+12	2043	2,35E+12
2011	7,55E+11	2028	1,42E+12	2044	2,43E+12
2012	8,16E+11	2029	1,47E+12	2045	2,51E+12
2013	8,72E+11	2030	1,52E+12	2046	2,58E+12
2014	9,42E+11	2031	1,57E+12	2047	2,66E+12

2015	9,48E+11	2032	1,63E+12	2048	2,74E+12
2016	9,47E+11	2033	1,69E+12	2049	2,82E+12
2017	9,64E+11	2034	1,75E+12	2050	2,91E+12
2018	9,99E+11				

Fonte: Elaboração Própria

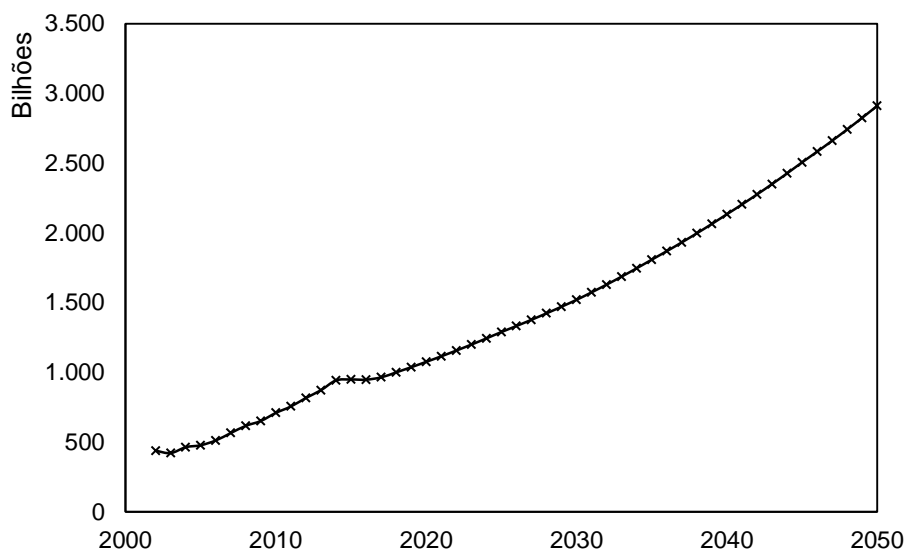


Figura A III-3 - Projeção do nível de atividade dos LDVs de passageiros

Fonte: Elaboração Própria

**ANEXO IV – PARTICIPAÇÃO DOS GRUPOS ETÁRIOS BRASILEIROS NA
CONDUÇÃO DE VEÍCULOS LEVES DE PASSAGEIROS POR CENÁRIO**

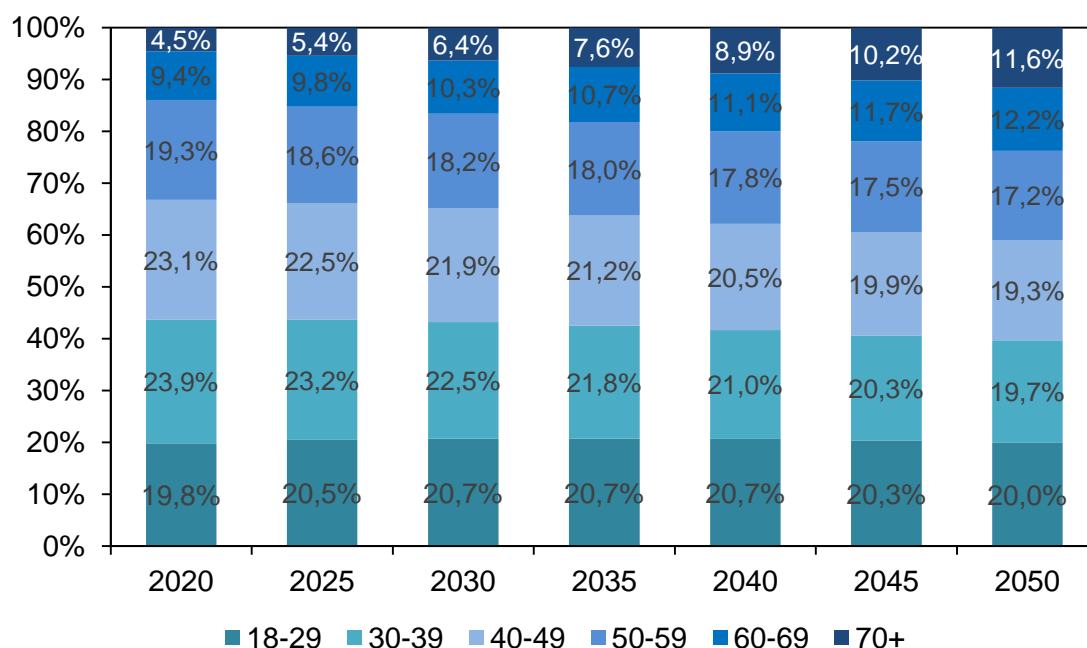


Figura A IV-1 - Participação dos grupos etários brasileiros na condução de veículos leves para o cenário CEN1-CER

Fonte: Elaboração própria

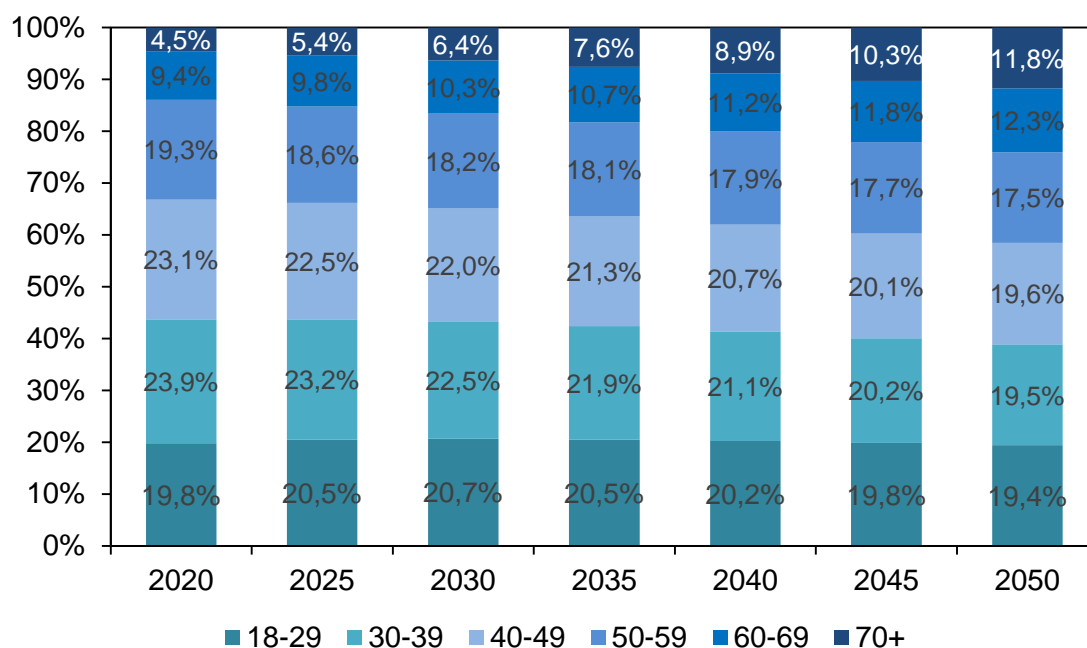


Figura A IV-2 - Participação dos grupos etários brasileiros na condução de veículos leves para o cenário CEN1-GET

Fonte: Elaboração própria

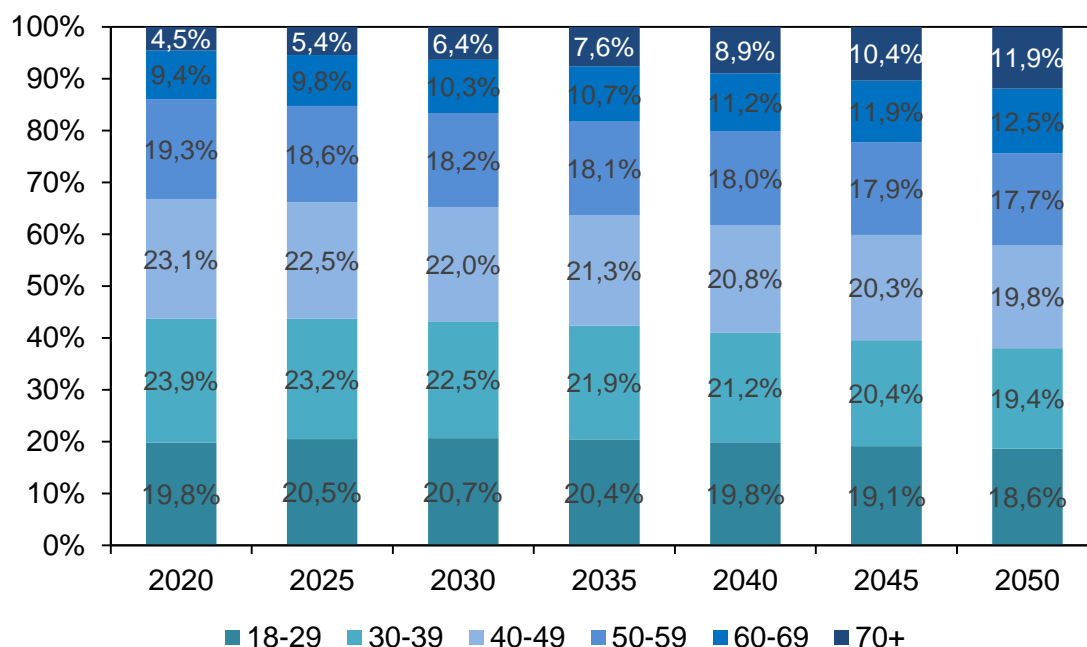


Figura A IV-3 - Participação dos grupos etários brasileiros na condução de veículos leves para o cenário CEN1-FT

Fonte: Elaboração própria

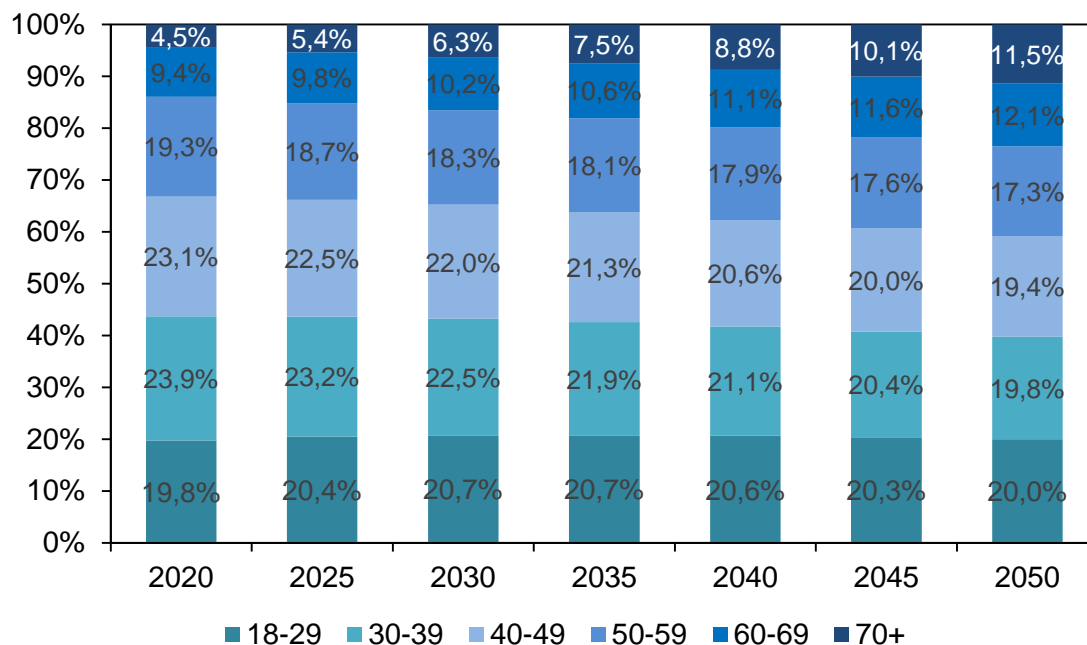


Figura A IV-4 - Participação dos grupos etários brasileiros na condução de veículos leves para o cenário CEN2-CER

Fonte: Elaboração própria

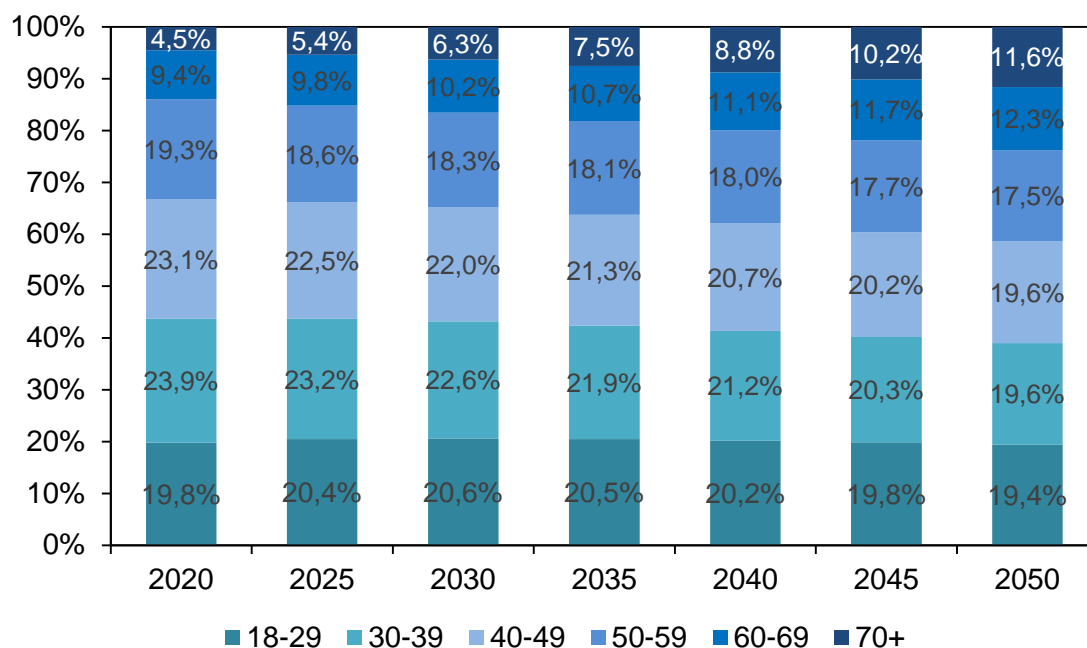


Figura A IV-5 - Participação dos grupos etários brasileiros na condução de veículos leves para o cenário CEN2-GET

Fonte: Elaboração própria

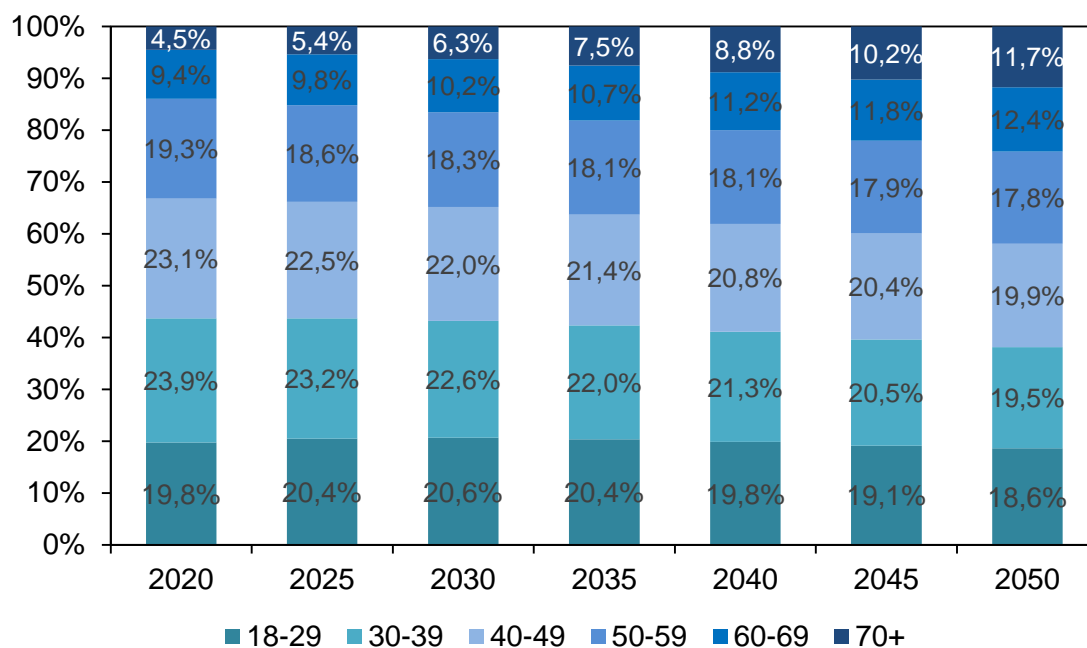


Figura A IV-6 - Participação dos grupos etários brasileiros na condução de veículos leves para o cenário CEN2-FT

Fonte: Elaboração própria

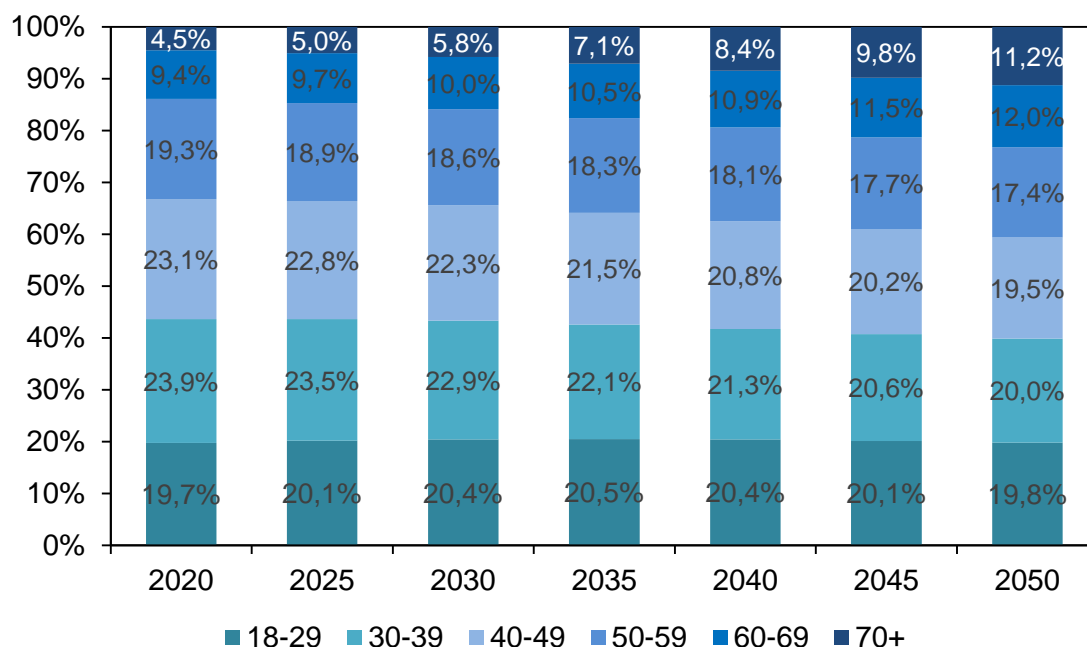


Figura A IV-7 - Participação dos grupos etários brasileiros na condução de veículos leves para o cenário CEN3-CER

Fonte: Elaboração própria

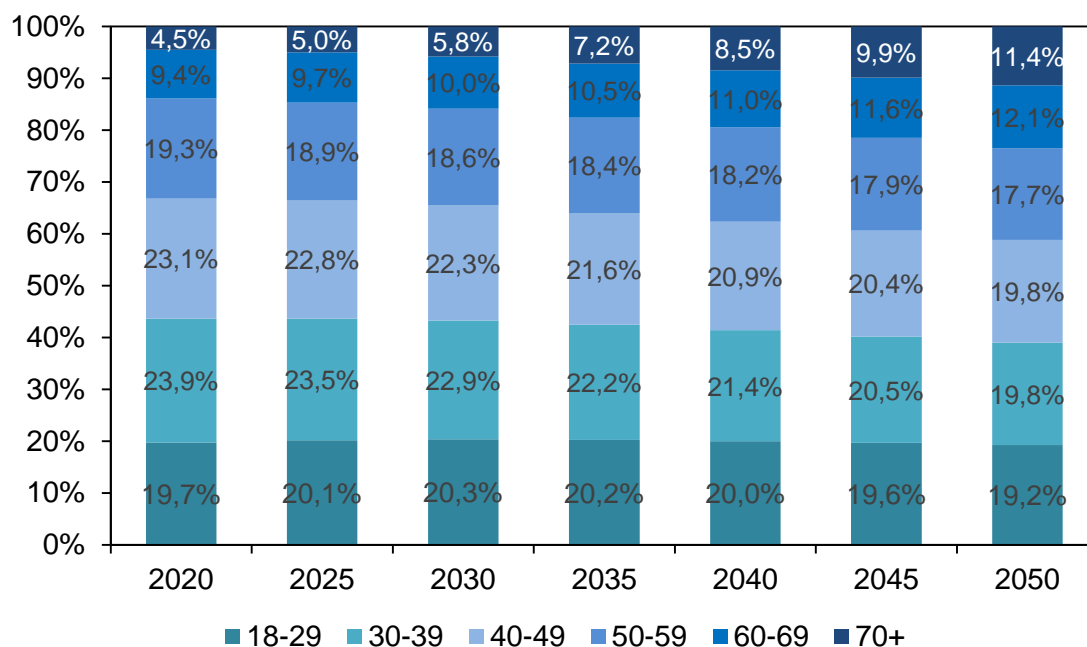


Figura A IV-8 - Participação dos grupos etários brasileiros na condução de veículos leves para o cenário CEN3-GET

Fonte: Elaboração própria

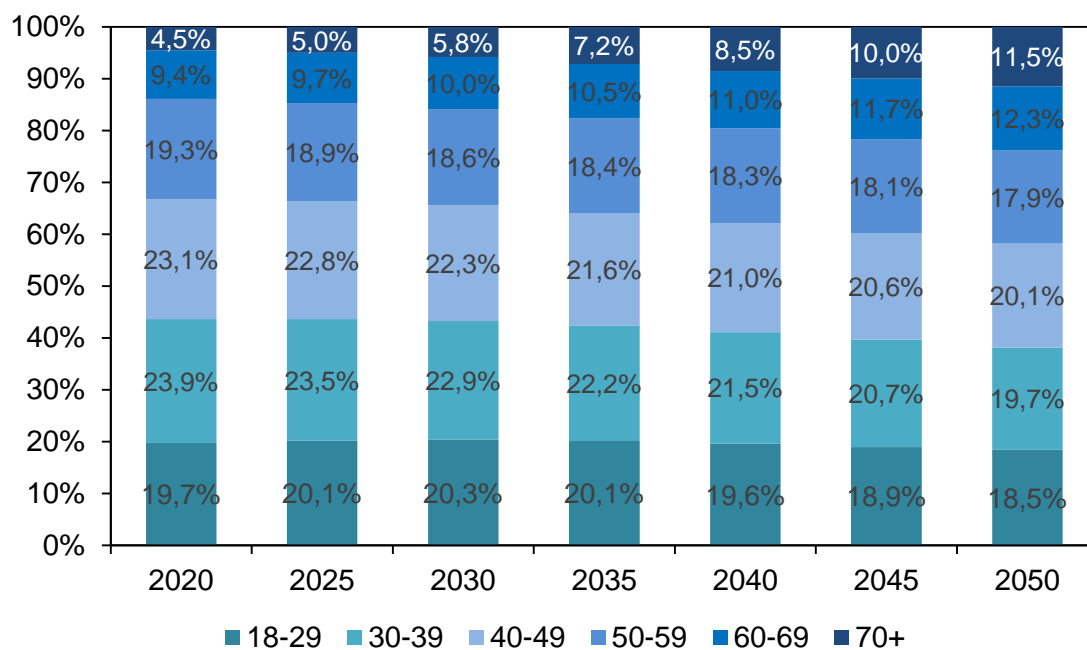


Figura A IV-9 - Participação dos grupos etários brasileiros na condução de veículos leves para o cenário CEN3-FT

Fonte: Elaboração própria

ANEXO V – PROJEÇÃO DA DISTÂNCIA ANUAL DIRIGIDA EM LDVs DE PASSAGEIROS POR HABITANTE EM SEUS RESPECTIVOS GRUPOS ETÁRIOS

Tabela A V-1: Projeção da distância anual dirigida em LDVs de passageiros por habitante em seus grupos etários (km/ano)

CENÁRIO 1							
Ano	Total médio	18-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70+
2017	3106,34	2972,169	4606,683	5477,631	5617,067	3947,578	2221,097
2020	3396,053	3550,702	5063,665	5691,49	5742,341	4048,05	2525,502
2025	3944,255	4431,326	6145,043	6004,969	6329,551	4271,597	2876,8
2030	4536,293	5595,726	7035,889	6748,605	6659,116	4755,103	3190,317
2035	5295,367	7058,441	7969,327	8096,789	7060,257	5557,048	3636,245
2040	6168,864	8375,34	9682,008	9254,704	8035,502	6193,435	4250,329
2045	7188,76	9916,643	11770,23	10368,77	9645,415	6836,298	4993,631
2050	8337,605	11789,94	13374,73	12459,51	11000	8008,952	5740,692
CENÁRIO 2							
	Total médio	18-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70+
2017	3106,34	2972,169	4606,683	5477,631	5617,067	3947,578	2221,097
2020	3384,562	3535,201	5048,164	5675,989	5726,84	4032,549	2510,001
2025	3908,766	4383,68	6096,808	5958,9	6282,729	4226,478	2832,368
2030	4470,154	5504,363	6946,875	6662,885	6575,667	4673,51	3114,032
2035	5188,767	6907,685	7829,05	7954,546	6932,199	5427,076	3521,923
2040	6010,63	8155,31	9466,009	9046,503	7844,812	6009,825	4087,435
2045	6964,909	9608,298	11454,61	10082,72	9365,354	6590,246	4770,286
2050	8032,477	11367,87	12954,55	12055,34	10622,22	7672,14	5447,732
CENÁRIO 3							
	Total médio	18-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70+
2017	3106,34	2972,169	4606,683	5477,631	5617,067	3947,578	2221,097
2020	3351,703	3490,876	5003,84	5631,664	5682,516	3988,224	2465,676
2025	3617,978	3998,253	5709,695	5577,98	5899,658	3848,275	2456,134

2030	4011,111	4868,266	6332,861	6064,403	5999,662	4104,498	2586,471
2035	4680,625	6153,953	7153,886	7258,329	6340,979	4817,164	3024,713
2040	5422,002	7277,883	8636,671	8243,138	7161,694	5350,497	3558,49
2045	6282,827	8586,457	10438,32	9176,077	8536,445	5881,765	4191,793
2050	7245,847	10169,97	11793,08	10960,79	9669,676	6859,938	4817,772

Fonte: Elaboração própria