



EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA MOBILIDADE URBANA: O
CASO DE NATAL

André Luiz Lopes Toledo

Tese de Doutorado 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 Doutor em Planejamento Energético.

Orientador: Emílio Lèbre La Rovere

Rio de Janeiro

Maio de 2019

EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA MOBILIDADE URBANA: O
CASO DE NATAL

André Luiz Lopes Toledo

TESE 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 DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

Prof. Emílio Lèbre La Rovere, D.Sc.

Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas, D.Sc.

Prof. Neilton Fidelis da Silva, D.Sc.

Prof. Marcio Giannini Pereira, D.Sc.

Prof. Ricardo Ferreira Pinheiro, D.Sc.

Prof. Renato Samuel Barbosa de Araújo, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MAIO DE 2019

Toledo, André Luiz Lopes

Emissões de Gases de Efeito Estufa da Mobilidade Urbana: o caso de Natal / André Luiz Lopes Toledo. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

XIV, 134 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Emílio Lèbre La Rovere

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 120-130.

1. Mobilidade Urbana. 2. Emissões. 3. Emissões de carbono. I. La Rovere, Emílio Lèbre. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

Aos meus pais que me ensinaram a aprender; à Aline, minha companheira de tarefas nessa existência; aos meus filhos, que me motivam a tornar o planeta melhor para eles.

“Hors la charité point de salut”
“Fora da caridade não há salvação.”
Allan Kardec

AGRADECIMENTOS

Agradeço àqueles que contribuíram com suas opiniões, críticas e sugestões que certamente foram consideradas na elaboração deste trabalho.

Agradeço aos meus colegas de doutorado, em especial ao amigo Gabriel Constantino, Eduardo Janser, João Maria e José Adriano.

Lembro e agradeço aos meus colegas de profissão, colegas de sala e companheiros de jornada, Alexandre Spotti, Geraldo Bezerra e Enio Amorim.

Aos coordenadores do DINTER, Neilton Fidelis e Renato Samuel, pela ajuda sempre presente.

Ao professor Rubens Ramos e à professora Sarah Costa, pelas conversas construtivas em busca de soluções para a cidade de Natal.

Aos integrantes dos órgãos de mobilidade com os quais mantive contato, também desejosos de entregar serviços melhores à população.

Ao professor Emílio La Rovere por ter inspirado um ex-inflexível-engenheiro de infraestrutura pesada a aprofundar seu conhecimento e entender as implicações atuais das intervenções humanas no planeta, bem como seu impacto quando não estivermos mais aqui.

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

EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA MOBILIDADE URBANA: O CASO DE NATAL

André Luiz Lopes Toledo

Maio/2019

Orientador: Emílio Lébore La Rovere

Programa: Planejamento Energético

Resumo: Este estudo tem como objetivo identificar o status das emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes do transporte urbano de uma cidade de porte médio no Brasil – Natal/RN - identificando subsetores de maior emissão e apresentando proposições de mitigação de emissões de GEE e de poluentes atmosféricos, através de cenários de mitigação e de propostas de políticas públicas. A partir de dados de mobilidade urbana rodoviária e ferroviária e do Plano de Mobilidade Urbana (PlanMob) da Cidade de Natal, com base na metodologia Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Escala Comunitária (GPC) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e a criação de cenários para até 10 anos subsequentes, é possível verificar que o transporte individual motorizado responde por 60% das emissões totais do setor de transporte urbano, com a maior quantidade de emissões equivalentes de dióxido de carbono (CO_{2eq}) por passageiro entre todas as formas de mobilidade. Verificou-se que o planejamento de mobilidade urbana do governo municipal (PlanMob) se afasta da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), aumentando substancialmente as emissões de GEE nos cenários considerados para 2020 e 2025. Cenários de mitigação integrando transporte público eletrificado e soluções de transporte não-motorizadas apresentam redução das emissões de GEE de cerca de 5% e redução de 7,5% de Material Particulado (PM) em 2025, em relação ao cenário de referência. São sugeridos levantamentos de dados e estudos para adoção de várias outras ações de mitigação identificadas com potencial bem mais expressivo de redução de emissões de GEE e de poluentes atmosféricos urbanos.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM URBAN MOBILITY: THE CASE OF
NATAL

André Luiz Lopes Toledo

May/2019

Advisor: Emílio Lèbre La Rovere

Department: Energy Planning

This study aims to identify the status of greenhouse gas (GHG) emissions from urban transport of a medium size city in Brazil - Natal / RN - identifying subsectors with the highest emissions and presenting proposals for mitigation of GHG emissions and of air pollutants, through mitigation scenarios and public policy proposals. Based on data from urban road and rail mobility and the Urban Mobility Plan (PlanMob) of the City of Natal, based on the methodology of the Global Protocol for Greenhouse Gas Emissions Inventory of Community Scale (GPC) of the Intergovernmental Panel on Changes (IPCC) and the creation of scenarios for up to 10 subsequent years, it is possible to verify that individual motorized transport accounts for 60% of the total emissions of the urban transport sector, with the highest amount of equivalent emissions of carbon dioxide (CO₂eq) per passenger between all forms of mobility. It was verified that the urban mobility planning of the municipal government (PlanMob) departs from the National Urban Mobility Policy (PNMU), substantially increasing GHG emissions in the scenarios considered for 2020 and 2025. Mitigation scenarios integrating electrified public transport and non-motorized transport solutions present a reduction of GHG emissions of around 5% and a reduction of 7.5% of Particulate Matter (PM) in 2025, in relation to the reference scenario. Data surveys and studies are suggested for the adoption of several other mitigation actions identified with a much more significant potential to reduce GHG emissions and urban air pollutants.

Sumário

INTRODUÇÃO	1
2 MOTIVAÇÃO E DESAFIO DO TRANSPORTE URBANO	6
2.1 Poluição Atmosférica	8
2.1.1 Principais poluentes atmosféricos	8
2.1.2 Setores e locais de origem de emissões	9
2.1.3 Concentrações de poluentes	11
2.1.4 Poluentes atmosféricos e saúde	12
2.2 Mudanças Climáticas	16
2.2.1 Alterações Climáticas Observadas	16
2.2.2 Causas das mudanças climáticas	19
2.2.3 Impactos das Mudanças Climáticas	20
2.2.4 Emissões e aquecimento global	22
2.2.5 Emissões e os cenários futuros do clima	24
3 TRANSPORTES E CIDADES	27
3.1 Transportes	27
3.1.1 Emissões dos Transportes	27
3.1.2 Cenários de Emissões dos Transportes	30
3.1.3 Mitigações de Emissões dos Transportes – Estado da Arte	32
3.1.3.1 Planejamento da Mobilidade Sustentável e Gestão da Demanda	35
3.1.3.2 Transporte Público Urbano	38
3.1.3.3 Transporte Ferroviário de Passageiros e Carga	43
3.1.3.4 Modais Não-Motorizados	44
3.1.3.5 Novos Serviços de Mobilidade	47
3.1.3.6 Economia de Combustível	51
3.1.3.7 Mobilidade Elétrica	53
3.1.3.8 Uso de Energias Renováveis	56
3.2 Cidades	58
3.2.3 Cidades, emissões e mudanças climáticas	60
3.2.4 Distribuição espacial das cidades e uso da terra	63
3.3 Contexto Nacional	66
3.3.3 PNMU – Política Nacional de Mobilidade Urbana	66
3.3.4 RenovaBio	68
3.3.5 Rota 2030	70
4 CASO DA CIDADE DE NATAL	71
4.1 Contexto	71
4.1.1 Análise comparativa do caso de Natal com a PNMU	72
4.1.2 Limitações Regionais	77

4.2	Dados e Metodologia Geral	80
4.2.1	Bases de dados utilizada	80
4.2.2	Metodologia do Inventário de Emissões	82
4.2.3	Metodologia de Elaboração dos Cenários	85
4.3	Inventário de Emissões de GEE da cidade de Natal	86
4.3.1	Cálculos	86
4.3.2	Resultados	90
4.3.3	Discussão	93
4.3.3.1	Ônibus urbanos	93
4.3.3.2	Transporte Individual Motorizado	93
4.3.3.3	Transporte Público Intermunicipal Rodoviário	94
4.3.3.4	Transporte Ferroviário	94
4.3.3.5	Carga e Serviços Urbanos	94
4.4	Cenários para Emissões de GEE da cidade de Natal	95
4.4.1	Cálculos	95
4.4.2	Resultados	104
4.4.3	Discussão	105
4.5	Políticas Públicas	108
4.5.1	Desestímulo ao transporte individual motorizado	108
4.5.2	Promoção do Transporte Público	109
4.5.3	Outros Serviços Regulados pelo Município	109
4.5.4	Transporte Ativo	110
4.5.5	Transparência e Planejamento Integrado	110
4.6	Limitações	111
5	CONCLUSÃO	114
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
	ANEXO I – EXTRATO DA LEI 12.587, DE 3 DE JANEIRO DE 2012	131
	ANEXO II – DADOS DO TRANSPORTE INTERMUNICIPAL RODOVIÁRIO.	134

Índice de Figuras:

Figura 1: Evolução do Consumo Final de Petróleo por Setor (10^3 TOE)	6
Figura 2 - Poluentes primários do ar e suas fontes – dados de 2015.....	10
Figura 3 – Média anual PM _{2.5} modelada para o ano de 2016 (ug / m ³).....	12
Figura 4 : Taxa de mortalidade atribuída à poluição atmosférica por país, 2012.....	14
Figura 5 - Anomalia combinada da temperatura média global das superfícies terrestres e da superfície do oceano.....	16
Figura 6 – Alterações da temperatura superficial terrestre.	17
Figura 7 - Estimativas médias globais baseadas em dados de terra e oceano.	18
Figura 8 – Anomalias térmicas em março de 2017 em comparação com o período de 1951-1980.	18
Figura 9 – Redução da extensão de gelo.	19
Figura 10 – Variação no nível médio dos mares – 1900-2010.....	19
Figura 11 – Mudança global na temperatura média de superfície terrestre.....	25
Figura 12 - Emissões de CO ₂ por Setor.....	27
Figura 13 - Número total de óbitos atribuíveis ao transporte por PM _{2.5} e ozônio em 2015, por região mundial.	30
Figura 14 - TAFs específicos de subsetores nos principais mercados de veículos em 2015.	30
Figura 15 - Projeções de emissões de CO ₂ do tipo business-as-usual (2000 a 2050). ...	31
Figura 16 – Distribuição de transportes urbanos em cidades selecionadas.....	39
Figura 17 – Capacidade e pegada de carbono de diversos modos de transporte.....	46
Figura 18 – Participação da energia renovável nos transportes em 2015.....	56
Figura 19 – Populações urbanas nos continentes: 1995-2015.....	58
Figura 20 – Padrões globais de urbanização: 1995-2015.....	60
Figura 21 – Comparação entre a pegada de carbono de cidades e países onde estão inseridas.	62
Figura 22 – Expansão territorial das cidades em países mais desenvolvidos e em países menos desenvolvidos.	65
Figura 23 – Ações do PlanMob para pedestres.	75
Figura 24 – Ações do PlanMob para transporte cicloviário.	76
Figura 25 – Média ambiental anual das medições de PM _{2.5} (ug / m ³), atualização 2018.	78
Figura 26 – Média mensal das medições de PM _{2.5} e PM ₁₀ versus limites WHO, ano 2012.	78
Figura 27 – Média mensal das medições de PM _{2.5} versus limites WHO e EPA, ano 2015.	79
Figura 28 – Média diária das medições de PM _{2.5} versus limites WHO e EPA, ano 2015.	79
Figura 29 – Cidade de Natal, região do estudo de caso.....	81
Figura 30 – Dados para o cálculo das emissões dos subsectores dos transportes urbanos.	85
Figura 31 – Escopos para cálculo das emissões de GEE.....	86
Figura 32 – Emissões calculadas de gases de efeito estufa (GEE) do transporte urbano do município de Natal 2012–2015 (mil tCO _{2eq}).	91
Figura 33 – Emissões calculadas por subsetor de transporte urbano (mil tCO _{2eq}) para 2015.	92
Figura 34 – Emissões por passageiro dos subsectores de transporte urbano (kgCO _{2eq}) para 2015.....	92

Figura 35 – Projeção de crescimento do MDU	97
Figura 36 – Parâmetros adotados para construção dos cenários CPmob1 e CPmob2.	98
Figura 37 – Parâmetros adotados para construção dos cenários CM1 e CM2.....	103
Figura 38 – Cenários de emissão e mitigação (mil tCO _{2eq}).....	104
Figura 39 – Hierarquização das ações de mitigação nos cenários CM1 e CM2 em relação ao cenário CPMob2 (mil tCO _{2eq}) – dados da tabela 22.....	106

Índice de Tabelas:

Tabela 1 – Poluentes do ar, fontes de emissão e efeitos.....	8
Tabela 2 - Principais poluentes e efeitos na saúde.	15
Tabela 3 – Mudanças climáticas e seus efeitos no setor energético.	22
Tabela 4 – Exemplos de valores de GWP e GTP.	24
Tabela 5 – Padrões de emissão veicular e percentual de enxofre admissível no combustível.....	34
Tabela 6 – Exemplos de estratégias TDM.....	35
Tabela 7 – Quadro comparativo PlanMob versus PNMU.....	72
Tabela 8 – Fatores de Emissão.	83
Tabela 9 – Adição biocombustível no ano de 2015.....	83
Tabela 10 – Parâmetros para cálculo dos fatores de emissão no ano de 2015.	87
Tabela 11 – Vendas totais de combustíveis no município de Natal (RN): 2012 a 2015	88
Tabela 12 – Dados do transporte público rodoviário concedido pelo município de Natal / RN: 2015.....	88
Tabela 13 – Transporte público ferroviário em Natal (2012 a 2015).....	89
Tabela 14 – Estimativa da participação do setor de carga no consumo total de diesel para 2007.....	90
Tabela 15 – Emissões calculadas de gases de efeito estufa (GEE) do transporte urbano do município de Natal 2012–2015 (mil tCO _{2eq}).	90
Tabela 16 – Emissões calculadas do transporte urbano do município de Natal e seus subsetores em 2015.	91
Tabela 17 – Ônibus urbanos e interurbanos: emissões de CO ₂ em 2015.	92
Tabela 18 – Estimativas consumo de combustível de acordo com PlanMob (2012 a 2015).....	95
Tabela 19 – Projeção de viagens diárias motorizadas individuais apresentadas pelo Planejamento Municipal de Transportes.....	96
Tabela 20 – Projeção de consumo de diesel para o transporte ferroviário.	97
Tabela 21 – Emissões de CO _{2eq} do transporte urbano em Natal: cenários para 2020 e 2025.	104
Tabela 22 – Redução das emissõesde CO _{2eq} dos cenários de mitigação em relação ao CPMob2 no ano de 2025 (mil tCO _{2eq}).	105
Tabela 23 – Redução das emissões de particulados PM em relação aos cenários PMob1 e PMob2.....	105

Siglas e abreviaturas:

BAU – *Business as Usual*

CO - Monóxido de carbono

CO_{2e} – Dióxido de carbono equivalente

COV - Compostos orgânicos voláteis

GEE - Gases de Efeito Estufa

GTP - Potencial de Mudança de Temperatura Global

GWP - Global Warming Potential

GPC - Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Escala Comunitária

HDV's - Heavy-duty vehicles

IEA - Agência Internacional de energia

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática

MPGCA - Parceria de Marrakech para a Ação Climática Global

NH₃ - Amônia

NOX - Óxidos de nitrogênio

O₃ - Ozônio

PlanMob - Planos de Mobilidade Urbana

PM – Material Particulado

PM_{2,5} – Material particulado menor que 2,5 micrômetros (µm) de diâmetro

PM₁₀ - Material particulado entre 2,5 e 10 micrômetros (µm) de diâmetro

PNMU - Política Nacional de Mobilidade Urbana

PPMC - Processo de Paris sobre Mobilidade e Clima

RenovaBio – Política Nacional de Biocombustíveis.

RCP - Representative Concentration Pathway

Rota2030 – Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística

SLCP - Poluentes climáticos de curta duração

SOX - Óxidos sulfurosos

TDM – Transport Demand Management

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION

Introdução

O Agência Internacional de energia (IEA) e o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) (IEA, 2017; IPCC, 2014) concluem que o setor dos transportes representa uma parte significativa do consumo mundial de energia e emissão de gases de efeito estufa (GEE) . Cenários futuros indicam o setor com relevância crescente nas emissões globais de GEE. As projeções de emissões elaboradas por Pereira Jr et al e Ribas (PEREIRA JR. et al, 2016; RIBAS, 2013) pelos grupos de estudo da IEA e do IPCC (IPCC, 2014; OECD/IEA, 2016a) confirmam o peso do setor de transportes nas emissões de GEE no Brasil para o ano de 2030 e 2050.

Seguindo o forte crescimento urbano da região, o setor de transporte na América Latina contribui com 35% das emissões de GEE, percentual maior que em outras regiões do planeta, com a maior taxa de crescimento de emissões entre todos os setores da economia e com as maiores dificuldades na implementação de reduções de emissões de GEE (BID, 2017; C40, 2016; ELIASSON; PROOST, 2015; GÖSSLING; COHEN, 2014). As emissões de GEE provenientes deste setor são principalmente do segmento rodoviário, que atinge até 92% de participação (BID, 2017). No Brasil, em decorrência de uma matriz energética de forte participação de fontes renováveis – cerca de 45% - em comparação ao contexto mundial, as emissões geradas pelos transportes, fortemente dependente de combustíveis fósseis, possuem um peso maior nas emissões nacionais, com quase metade das emissões de GEE do setor de energia (EPE, 2017). Comparando-se, por exemplo, com o sul asiático, outra região em desenvolvimento, climaticamente vulnerável e vivenciando um forte processo de urbanização (FULTON et al., 2017; MANI et al., 2018), o setor dos transportes, que representou 27% das emissões totais em 2005, deverá reduzir a sua participação em 2030 para 19%, devido ao intenso aumento das emissões provenientes da produção de electricidade, de 30% para 46,6% das emissões totais (SHRESTHA et al., 2012).

Entretanto, apesar dos impactos ambientais do setor de transportes, a principal solução executada e planejada em curto e médio prazo para sua melhoria - a ampliação de sua infraestrutura – acentua suas externalidades negativas (DUPUY, 1980; ILLICH, 1975). Como consequência, de acordo com os dados da World Health Organization, mais de 90% da população mundial está exposta a níveis excessivos de poluentes atmosféricos (WHO, 2019), essencialmente oriundo do setor de energia, inclusive transportes. Protanto, antes de promover investimentos na infraestrutura para transportes individuais

motorizados, as cidades devem quantificar as externalidades geradas por este setor, por exemplo, realizando inventários de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), que revelam o estado atual dos níveis de emissão e suas fontes: primeiro passo na análise das emissões urbanas com um método pré-determinado e sistematizado (IPCC et al., 2006). As ações para mitigação destes impactos ambientais negativos, por sua vez, são direcionadas para o investimento no transporte público, não-dependente de combustíveis fósseis, eletrificação da frota, além de planejamento urbano integrando mobilidade e uso do solo e valorização de modais não-motorizados, como o ciclovitário e o transporte a pé (IPCC, 2014, 2018; SLOCAT, 2018).

Esta contextualização e formulação de problema, considerando a necessidade de implementação de políticas públicas orientadas para adoção de ações de mitigação de emissões de GEE do transporte urbano, fornecem a base para a definição do objeto desta pesquisa. Pela proximidade da área de pesquisa e conhecimento da problemática regional de infraestrutura de transportes, foi selecionada cidade de Natal como estudo de caso. A delimitação do objeto desta pesquisa está relacionada com o programa de doutorado interinstitucional – DINTER/CAPES estabelecido a partir de 2014 entre o PPE/COPPE/UFRJ e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN. Este programa tem a intenção de qualificar o quadro de servidores do IFRN, fomentando a produção científica e acadêmica destes profissionais, contribuindo para o incremento de qualidade do ensino proporcionado pelo IFRN e para o desenvolvimento socioeconômico do estado do Rio Grande do Norte. As diversas linhas de pesquisa realizadas pelo PPE receberão também o enriquecimento de dados regionais brasileiros onde são escassas as pesquisas, o Nordeste brasileiro. Os alunos do DINTER se distribuem, conforme seu objeto de pesquisa, dentro das linhas de pesquisa do PPE:

- Economia da Energia (modelos institucionais e de investimentos para o setor energético, políticas públicas, indústrias de rede, geopolítica da energia, política tarifária)
- Modelos Energéticos (modelos de planejamento sob incerteza, modelos econométricos, modelos de previsão de oferta e demanda, bancos de dados, conjuntos fuzzies)
- Tecnologia da Energia (uso eficiente de energia, fontes novas e alternativas de energia, avaliação tecnológica) e,

- Energia e Meio ambiente (mudanças climáticas, análise de risco ambiental, avaliação de impactos ambientais, gestão, auditoria e qualidade ambiental)

Portanto, alinhado com os objetivos do programa DINTER e com a familiaridade de analisar a região geográfica onde está instalado o campus central do IFRN, o objeto deste estudo circunscreve-se ao transporte urbano existente na cidade de Natal, Rio Grande do Norte, legalmente regulado pelo município de Natal, que se desenvolve integralmente dentro de seu ambiente urbano ou realiza ligações com os municípios conurbados circunvizinhos com origem ou destino àquela cidade.

A cidade brasileira de médio porte de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte, tem uma população estimada de 885.180 habitantes distribuídos em uma área de 167.264 km². Natal é a maior cidade de sua região metropolitana, compreendendo 14 municípios e 1.577.072 habitantes (IBGE, 2017). O setor de serviços responde por 63,6% do PIB municipal, seguido pelo setor industrial, com 16,5%, e atividades agrícolas que contribuem com menos de 0,1% de participação (IBGE, 2017). As características de ocupação e desenvolvimento de Natal são semelhantes às de outras cidades de médio porte no Brasil e na América Latina, sob forte crescimento populacional e econômico, de forma desordenada, nas últimas décadas dos Século XX (GOVERNO DO RIO GRANDE DO NORTE, 2007).

A pesquisa parte dos pressupostos presentes na literatura e nos acordos internacionais de que o transporte urbano possui forte vínculo com externalidades ambientais – especialmente emissões de GEE e poluentes atmosféricos - que afetam diretamente a saúde e a qualidade de vida das populações urbanas.

Desta forma, a pesquisa adotou as seguintes hipóteses:

- A adoção de políticas públicas voltadas à promoção dos transportes públicos urbanos, aos transportes eletrificados e modais não-motorizados possui potencial de redução das emissões de GEE na mobilidade urbana. Esta hipótese se coaduna com os princípios norteadores para intervenções em atividades humanas com potencial de redução de emissões de GEE definidos pelo IPCC, pelos princípios para políticas públicas para as cidades do relatório UN-HABITAT e com os cenários e linhas de orientação para políticas públicas que integram o projeto IES-BRASIL.
- Os transportes apresentam participação importante nas emissões totais de GEE, notoriamente o modal rodoviário e utilizador de combustíveis fósseis.

- A mitigação das emissões de GEE nos transportes urbanos permite a melhoria da qualidade de vida da população, graças ao co-benefício associado de redução das emissões de poluentes atmosféricos urbanos.

A pesquisa tem por objetivo geral identificar o status das emissões de GEE provenientes do transporte urbano de Natal, identificando subsetores de maior emissão e apresentando proposições de mitigação de emissões de GEE e de poluentes atmosféricos, através de exemplos de cenários de mitigação e de proposições de políticas públicas. Tem-se, para alcance do objetivo geral, os seguintes objetivos específicos:

- caracterizar o sistema de transporte urbano na Região Metropolitana de Natal, sob aspecto das emissões de GEE;
- caracterizar, sob aspecto das emissões de GEE, o planejamento urbano municipal de mobilidade, denominado PlanMob Natal.
- elaborar cenários para redução de emissões de GEE através da implantação de sistemas de transporte público, não motorizado e/ou otimização dos sistemas existentes;
- proposição de políticas públicas para mobilidade para a cidade de Natal/RN através dos cenários desenvolvidos na pesquisa com ganhos de eficiência energética e ambiental, reduzindo emissões de GEE e melhorando a qualidade do ar urbano.
- relacionar o Plano de Mobilidade de Natal com a PNMU - Política Nacional de Mobilidade Urbana.

Para alcance destes objetivos a pesquisa utiliza a metodologia do Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Escala Comunitária (GPC), baseada na metodologia desenvolvida pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Esta metodologia permitiu o cálculo do inventário municipal de emissões de GEE dos transportes urbanos de Natal entre 2012–2015. Face à escassez dos dados para elaboração de estimativas bottom-up para toda a frota municipal, foi adotada a metodologia top-down para cálculo das emissões totais do transporte urbano e foram utilizados os dados disponibilizados pelos órgãos de mobilidade urbana para calcular os quantitativos via bottom-up. A falta de dados detalhados do transporte urbano é recorrente em outras cidades latino-americanas de tamanho médio, onde há menos recursos pessoais e institucionais para acompanhar suas emissões (BID, 2017). Para identificar os setores de maior contribuição nas emissões de GEE foi realizada a distribuição por sub-setores,

de acordo com os dados disponíveis, a saber: transporte público urbano municipal e intermunicipal, frete e serviços urbanos, trens urbanos e transporte motorizado individual. Em seguida, utilizando a mesma metodologia GPC / IPCC, analisou-se o impacto das medidas previstas no planejamento governamental de mobilidade urbana – PlanMob - na evolução das emissões futuras de GEE, calculando, para tanto, os cenários para 2020 e 2025, conforme sua previsão do aumento do consumo de combustível (NATAL, 2017b). Os cenários de mitigação são então apresentados, incluindo propostas de políticas públicas para redução, em relação ao cenário de referência, das emissões de GEE e de poluentes atmosféricos urbanos.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: o capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre poluição atmosférica e mudanças climáticas, seguido pelo capítulo 3, que insere o papel dos transportes e das cidades, por se tratar de uma pesquisa sobre transporte urbano. Dentro do capítulo 3 são abordados ainda o estado-da-arte da mitigação de emissões do transporte (item 3.1.3), e políticas públicas atuais relacionadas ao objeto de pesquisa – PNMU, RenovaBio e Rota2030, além dos estudos regionais existentes.

O capítulo 4 incorpora o artigo publicado na Revista Sustainability (LOPES TOLEDO et al, 2018) com o inventário das emissões de GEE do transporte urbano por sub-setor, seus cenários de emissões de acordo com o PlanMob e cenários de mitigação propostos, bem como as políticas públicas de mitigação avaliadas para aprimoramento do PlanMob. A conclusão sintetiza os resultados do estudo, sua validade, limitações da pesquisa e sugestões de trabalhos futuros.

2 Motivação e Desafio do Transporte Urbano

O transporte urbano no século XXI está inserido em um contexto que transcende o movimento de pessoas e cargas. Conforme DUPUY (1980), e de forma cada vez mais intensa, o transporte imobiliza, mata, destrói espaços urbanos, esgota recursos não renováveis e reduz a mobilidade da população. Paradoxalmente, a principal solução executada e planejada em curto e médio prazo para melhoria do sistema de transportes - a ampliação de sua infraestrutura - acentua suas externalidades negativas.

Dados de órgãos de trânsito, centros de pesquisa e dos mais recentes aplicativos de coleta de dados sobre transporte urbano corroboram estas informações: as regiões urbanas vêm apresentando sistêmica piora em seu tráfego, aumentando os tempos de deslocamento e degradando a qualidade de vida dos habitantes. Cidades congestionadas, imobilizadas, cobertas com a neblina cinzenta de seu tráfego, acentuando o desconforto ambiental percebido diretamente e contribuindo para as alterações climáticas globais.

A atividade de transportes de pessoas e mercadoria é historicamente energo-intensiva: transportamos cargas e pessoas em escalas crescentes e em distâncias e velocidades antes inimagináveis. De acordo com a Agência Internacional de Energia - IEA (2011), a demanda por energia no setor de transporte vai aumentar em 40% entre 2009 e 2035. A demanda por petróleo, por sua vez, terá um aumento global de 18% para o mesmo período, liderado pelo setor de transportes. O modal rodoviário responderá por 75% do consumo de energia do setor de transportes. A Figura 1 mostra a Evolução do Consumo Final de Petróleo por Setor da economia, demonstrando sendo este setor o principal responsável pelo consumo de petróleo.

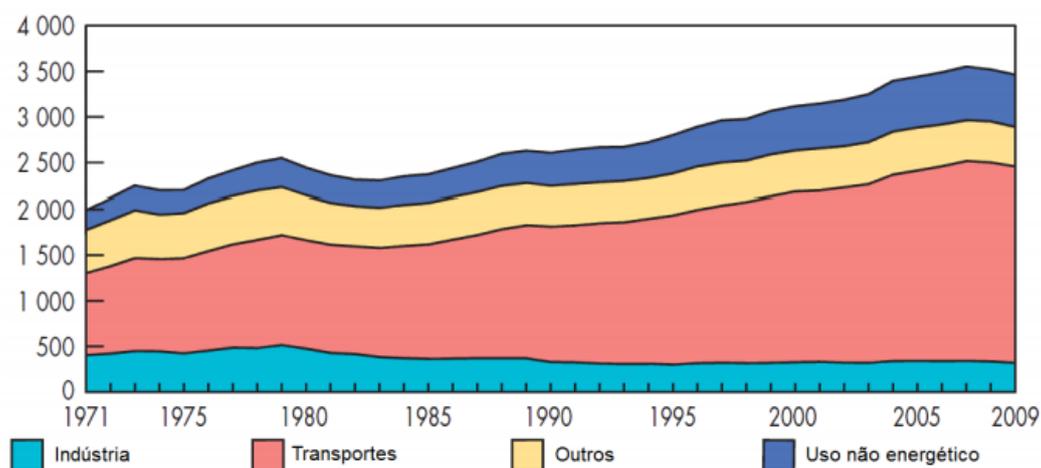


Figura 1: Evolução do Consumo Final de Petróleo por Setor (10^3 TOE)

Fonte: (IEA, 2011)

Segundo ainda o mesmo relatório, as economias emergentes são o principal agente contribuinte para este aumento na demanda por petróleo, especialmente pela expansão nos mercados de automóveis, mesmo com os ganhos de tecnologia para redução de consumo de combustível.

A rápida urbanização e o crescimento da renda explicam a ampliação na frota de transporte nesses países (emergentes), o que também contribui para o agravamento dos problemas na qualidade do ar em zonas urbanas e o crescimento das emissões mundiais de carbono (BHATTACHARYYA, 2011).

Este crescimento refletiu-se no aumento das taxas de motorização, causando congestionamentos, poluição, e acidentes de trânsito. Esta taxa de motorização foi ainda agravada pela má qualidade do transporte público local, o padrão de ocupação disperso de regiões suburbanas (DHAKAP; SCHIPPER[^], 2005; LEIBOWICZ, 2017), incentivos públicos para a indústria automotiva, e subsídios para combustíveis fósseis (POLICARPO et al., 2018; SOUZA et al., 2013; VANHULSEL et al., 2014; VIVANCO; ANDRADE, 2006).

Despertou-se, tanto nas economias emergentes citadas quando nas economias consolidadas, uma forte discussão sobre estas externalidades negativas, sendo empreendidos esforços técnico-científicos orientados para a substituição do petróleo, como fonte primária de energia, por fontes alternativas (DEFFEYES, 2005). Além do uso excessivo de fontes de energia não renovável causado por nosso principal modo de transporte, a sociedade moderna produz resíduos, principalmente atmosféricos, em volume mais elevado que a capacidade de processamento natural do planeta. A geração antrópica em volumes sem precedentes dos gases geradores do efeito estufa – GEE - é o exemplo mais notório destes efeitos negativos.

Dados do IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change - de 2014 revelam que 23% das emissões de GEE do mundo relacionadas à energia, tiveram origem no setor de transporte. E o quadro pode ser agravado se não forem tomadas medidas agressivas e sustentáveis visando reduzir-se este tipo de consumo.

Este trabalho pretende contextualizar o transporte urbano existente em uma capital de médio porte no Brasil, atualmente dependente integralmente de combustíveis fósseis, apresentando propostas para melhoria da mobilidade urbana e consequente redução de emissões de poluentes ambientais e de gases de efeito estufa.

2.1 Poluição Atmosférica

2.1.1 Principais poluentes atmosféricos

De acordo com o relatório Energy and Air Pollution da IEA (OECD/IEA, 2016b), a poluição do ar é o efeito causado pelas concentrações de sólidos, líquidos ou gases no ar que têm um impacto negativo sobre o ambiente circundante e as pessoas. Estes poluentes podem ocorrer naturalmente (vulcanismo, poeira, incêndios naturais) ou resultantes de atividades antrópicas. Podem ainda ser visíveis ou invisíveis, apresentando odor ou não. Poluentes atmosféricos podem permanecer em suspensão por alguns minutos ou por anos. São oriundos de uma ação local, porém podem ter impacto local, nacional, regional ou global.

Os poluentes primários são aqueles emitidos diretamente em resultado da atividade geradora, enquanto que os poluentes secundários são criados a partir de poluentes primários e sua interação com os raios solares e componentes naturalmente presentes na atmosfera. A Tabela 1 cita exemplos de poluentes emitidos pelas atividades humanas:

Tabela 1 – Poluentes do ar, fontes de emissão e efeitos.

Óxidos sulfurosos (SO _x)	Em particular o dióxido de enxofre (SO ₂): combustíveis fósseis, carvão e petróleo contêm enxofre em graus diferentes e, se não removidos previamente, SO _x são liberados na combustão, como por exemplo na geração de energia ou em processos industriais. Se não forem tratadas ou capturadas, as emissões de SO _x são liberadas para a atmosfera. Essas emissões estão ligadas a efeitos adversos para a saúde e o meio ambiente, além de serem precursoras da formação de partículas secundárias.
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	Óxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO ₂): são provenientes da combustão a alta temperatura, principalmente no transporte e na produção de energia, ou da oxidação de NO para NO ₂ na atmosfera. NO ₂ é um gás tóxico e pode levar à formação de Material Particulado e ozônio.
Material Particulado (PM)	Mistura de substâncias sólidas e líquidas orgânicas e inorgânicas que pode ser um poluente primário ou secundário. O PM (particulate matter) está ligado a impactos prejudiciais à saúde. O tamanho é um fator importante na determinação desses impactos: - "partículas grossas" estão entre 2,5 e 10 micrômetros (µm) de diâmetro (PM ₁₀) - "partículas finas" são menores do que 2,5 µm. (PM _{2,5}) Os impactos adversos à saúde das PM ₁₀ são menos severos que os das partículas finas, no entanto, há um histórico mais longo de dados sobre PM ₁₀ e, ainda hoje, muitas cidades não têm o equipamento para monitorar as concentrações de PM _{2,5} . O carbono negro, um tipo particular de PM fina, é formado pela combustão incompleta de combustíveis fósseis e bioenergia e é um poluente climático de curta duração (SLCP - short-lived climate pollutant).

Monóxido de carbono (CO)	Gás incolor, inodoro, tóxico que provém da combustão incompleta de combustíveis para transportes rodoviários, gás natural, carvão ou madeira.
Compostos orgânicos voláteis (COV)	São liberados de produtos químicos, solventes ou combustíveis (assim como fontes naturais) à medida que se evaporam ou sublimam no ar circundante. Eles estão associados a uma série de efeitos negativos para a saúde. O metano (CH ₄), principal componente do gás natural (também um SLCP), é muitas vezes considerado separadamente dos outros COV, pois suas características diferem.
Amônia (NH ₃)	Liberada nas atividades agrícolas e de gestão de resíduos. Uma vez na atmosfera a amônia reage com óxidos de nitrogênio e enxofre para formar partículas secundárias.
Ozônio (O ₃)	O ozônio ao nível da superfície (O ₃) é formado a partir de NO _x e COV na presença de luz solar. Em altas concentrações, o ozônio é um poluente e um SLCP.
Outros poluentes	Incluem metais pesados, como o chumbo, emitidos pela indústria, geração de energia, incineração de resíduos e (em alguns países) a partir de combustíveis para transporte e mercúrio, principalmente da combustão de carvão.

Fonte: OECD/IEA, 2016b

2.1.2 Setores e locais de origem de emissões

Conforme já citado, o setor de energia é a maior fonte de emissões de poluentes atmosféricos e GEE. Não apenas diretamente da combustão de combustíveis fósseis, mas também na extração de minérios (para obtenção de Urânio), de carvão e de areias betuminosas. As etapas de processamento e refino também geram emissões, bem como os transportes, inclusive nos desgastes de pneus, freios e pavimento asfáltico rodoviário. Três categorias de poluentes em especial, os SO_x, NO_x e PM são quase totalmente oriundos do setor energético. A Figura 2 mostra a participação dos setores na emissão dos principais poluentes atmosféricos, onde se destaca a participação do setor de energia em 99% das emissões de dióxido de enxofre e óxido de nitrogênio e na maioria das emissões dos demais poluentes.

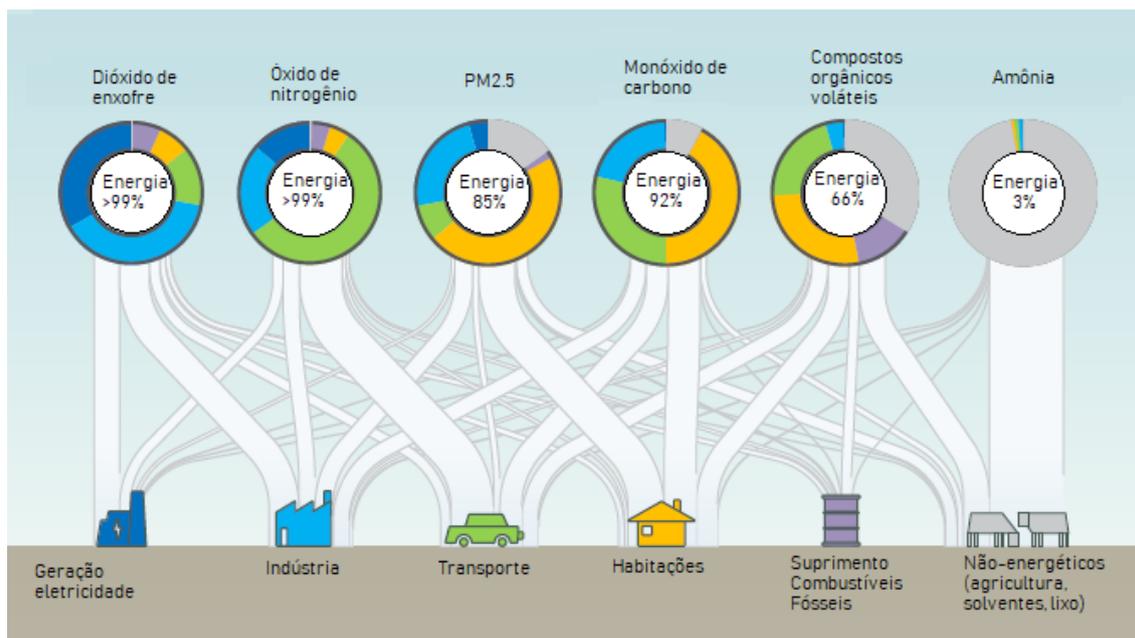


Figura 2 - Poluentes primários do ar e suas fontes – dados de 2015.

Fonte OECD/IEA, 2016b.

Analisando-se cada um dos principais poluentes, registra-se que em 2015, o setor de energia contribuiu com cerca 80 milhões de toneladas de emissões de SO_2 , oriundos do setor industrial e de energia. Destacam-se a China (22 Mt) e a Índia (9 Mt) como principais emissores mundiais. As emissões de óxidos de nitrogênio então em crescimento. Em 2015, os transportes representam a maior parte (mais de 50%), seguidos da indústria (26%) e da energia (14%). Os aumentos nas emissões de NO_x em muitos países em desenvolvimento têm sido rápidos e esses aumentos têm superado volumetricamente as quedas observadas em vários países desenvolvidos. Os maiores emissores globais são a China (23Mt) e EUA (13 Mt) (OECD/IEA, 2016b).

Os materiais particulados, PM, apresentam forte concentração de emissões na África e Ásia (China e Índia, em particular), com 80% do total mundial. As emissões de PM são devidas, principalmente, à combustão incompleta de combustíveis nas residências, particularmente para cozinhar (bioenergia), aquecimento (bioenergia e carvão) e iluminação (querosene). Os PM estão fortemente concentrados nos países em desenvolvimento e no setor de energia.

2.1.3 Concentrações de poluentes

Os poluentes geram maiores impactos ambientais de acordo com sua concentração. Esta, por sua vez, é afetada pela escala de emissão, tipo de fonte emissora, população afetada, atividades econômicas afetadas, regulação ambiental e condições geográficas e climatológicas. Em períodos frios, por exemplo, pode ocorrer o fenômeno da inversão térmica, acentuando a concentração de poluentes. Emissões do setor de energia como as termelétricas, de modo geral, estão longe de grandes concentrações populacionais. Já as emissões de poluentes de veículos movidos à combustão estão próximas das áreas mais densamente povoadas. Conforme OECD/IEA (2016b) , 1 kg de PM_{2.5} gerado em uma metrópole como Paris tem impacto duas vezes maior que 1kg de PM_{2.5} emitido em zona rural.

A tarefa de medição e avaliação de impactos dos poluentes é complexa: poluentes primários podem reagir na atmosfera superior formando PM secundário e ozônio. Através de reações químicas, condensação ou aglutinação, podem ocorrer combinações entre amônia, carbono negro, carbono orgânico ou outras substâncias formando outros tipos de PM secundário de vários tamanhos (OECD/IEA, 2016b).

Poluentes primários são, de modo geral, responsáveis por impactos locais (embora possam eventualmente ser transportados para distâncias consideráveis). Poluentes secundários e ozônio, no entanto, podem gerar impactos internacionais.

A principal referência internacional para os níveis seguros de concentração de poluentes é encontrada no WHO Air Quality Guidelines (WHO, 2016). No entanto, de acordo com o Exposure to Ambient Air Pollution From Particulate Matter for 2016 (WHO, 2018), 91% da população mundial está exposta a níveis de concentração de PM_{2.5} maiores que os recomendados pela WHO. A Figura 3 mostra a distribuição espacial mundial da concentração de PM_{2.5}: apenas as regiões com cor verde estão dentro dos limites máximos da WHO, demonstrando que quase a totalidade das Américas do Sul e Central, África, Ásia e Europa possuem níveis acima do recomendado destes poluentes.

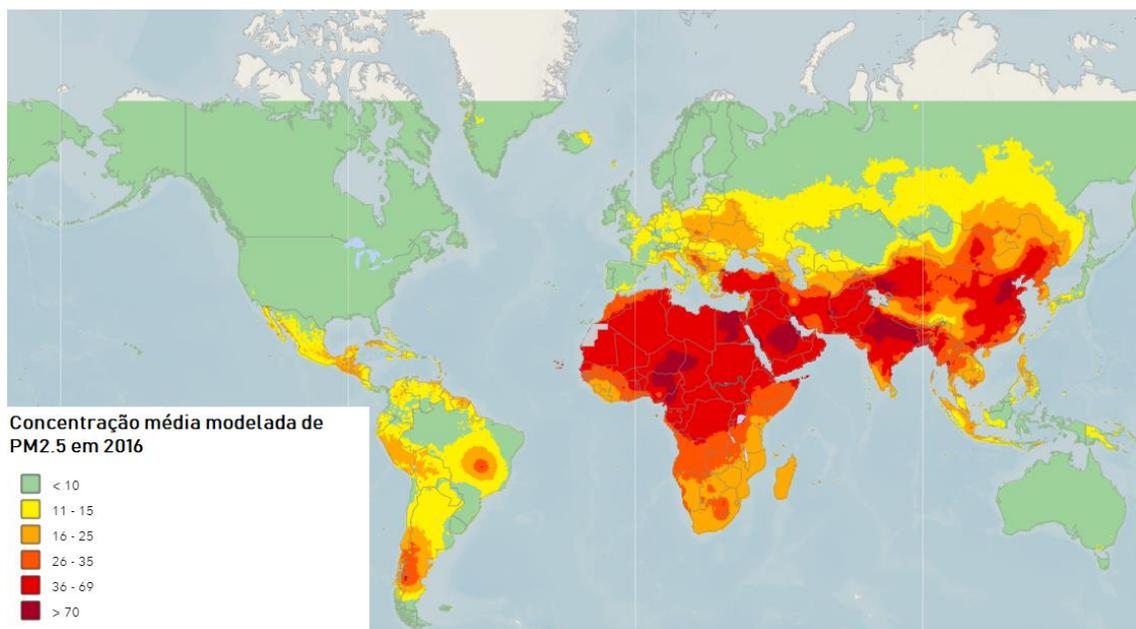


Figura 3 –Média anual PM_{2.5} modelada para o ano de 2016 (ug / m³).

Fonte (WHO, 2018)

2.1.4 Poluentes atmosféricos e saúde

Os poluentes atmosféricos causam impactos negativos sobre a saúde de quase a totalidade da população do planeta, seja em economias consolidadas ou ainda em desenvolvimento. De acordo com a WHO a poluição urbana e das áreas rurais causa até 4,2 milhões de mortes prematuras anuais (WHO, 2018). Essas doenças são causadas especialmente pelas partículas PM_{2.5}, devido à sua capacidade de gerar danos no organismo, como doenças cardiovasculares, respiratórias e cânceres.

Estudos realizados em regiões altamente poluídas contribuem para reforçar o vínculo entre poluentes ambientais e doenças cardiovasculares. A OMS estima que em 2016, cerca de 58% das mortes prematuras relacionadas à poluição do ar foram devidas a doenças cardíacas isquêmicas e derrames, enquanto 18% das mortes foram devidas a doença pulmonar obstrutiva crônica e infecções respiratórias agudas inferiores, respectivamente, e 6% das mortes foram devido ao câncer de pulmão (WHO, 2018).

A poluição atmosférica no ambiente mundial é responsável por 29% de todas as mortes e doenças de câncer de pulmão, 17% de todas as mortes e doenças de infecções respiratórias agudas, 24% de todas as mortes por acidente vascular cerebral, 25% de todas as mortes e doenças causadas por doença cardíaca isquêmica e 43% de todas as mortes e doenças da doença pulmonar obstrutiva crônica.

Os poluentes com maior evidência de preocupação de saúde pública incluem material particulado (PM), ozônio (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂) e dióxido de enxofre (SO₂). Uma publicação de 2013 da Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer da OMS concluiu que a poluição do ar externo é carcinogênica para humanos, sendo o Material Particulado entre 2.5 e 10 µm mais fortemente associado ao aumento da incidência de câncer, especialmente câncer de pulmão e câncer no trato urinário, pela sua capacidade de penetração nos tecidos orgânicos (MATTOCK et al., 2013).

De acordo com o relatório *Inheriting a Sustainable World: Atlas on Children's Health and the Environment* da OMS (2017), cerca de 1,7 milhões de crianças morrem por ano em decorrência de poluição ambiental. Deste total, cerca de 570 mil crianças com menos de 5 anos morrem anualmente por infecções respiratórias atribuídas à poluição do ar interna e externa.

A Figura 4 apresenta a taxa de mortalidade atribuída à poluição do ar, por país, de acordo com dados do World Energy Outlook Special Report – Energy and Air Pollution (2016), destacando-se fortemente os países em desenvolvimentos com taxas mais altas.

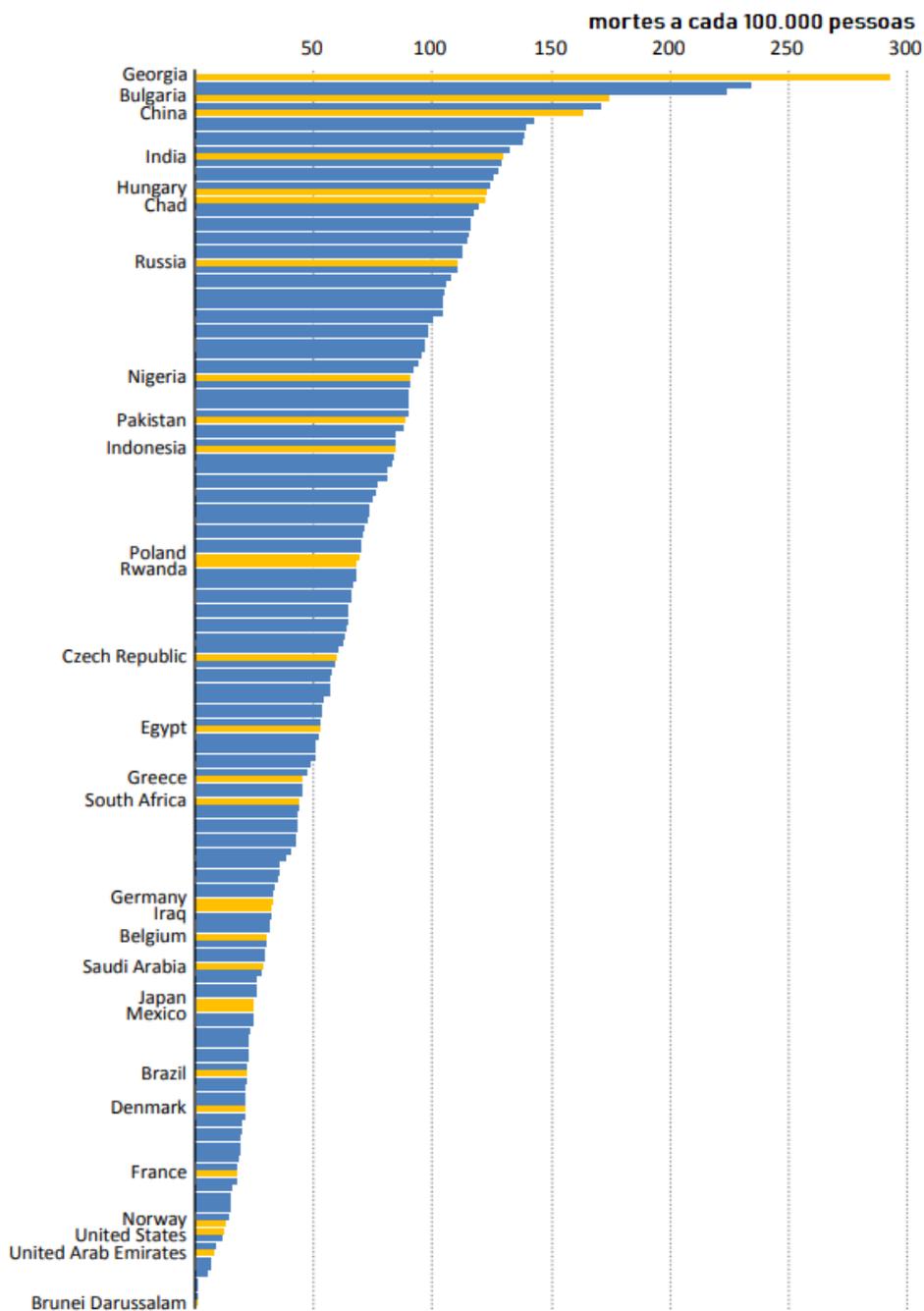


Figura 4 : Taxa de mortalidade atribuída à poluição atmosférica por país, 2012.

Fonte: (OECD/IEA, 2016b)

A Tabela 2 apresenta uma síntese dos efeitos causados à saúde pelos principais poluentes atmosféricos:

Tabela 2 - Principais poluentes e efeitos na saúde.

Poluente	Danos à saúde
Material Particulado	Enquanto partículas com diâmetro de 10 microns ou menos, (\leq PM10) podem penetrar e se alojar profundamente dentro dos pulmões, as partículas ainda mais prejudiciais à saúde são aquelas com diâmetro de 2,5 microns ou menos (\leq PM2,5). PM2.5 pode penetrar na barreira do pulmão e entrar no sistema sanguíneo. A exposição crônica a partículas contribui para o risco de desenvolver doenças cardiovasculares e respiratórias, bem como de câncer de pulmão.
Ozônio (O₃)	O excesso de ozônio no ar pode ter um efeito marcante na saúde humana. Pode causar problemas respiratórios, desencadear asma, reduzir a função pulmonar e causar doenças pulmonares.
Dióxido de Nitrogênio (NO₂)	Estudos epidemiológicos demonstraram que os sintomas de bronquite em crianças asmáticas aumentam em associação com a exposição a longo prazo ao NO ₂ . A redução da função pulmonar também está ligada ao NO ₂ em concentrações atualmente medidas (ou observadas) em cidades da Europa e da América do Norte.
Dióxido de Enxofre (SO₂)	O SO ₂ pode afetar o sistema respiratório e as funções dos pulmões e causa irritação nos olhos. Inflamação do trato respiratório provoca tosse, secreção de muco, agravamento da asma e bronquite crônica e torna as pessoas mais propensas a infecções do trato respiratório. Internações hospitalares por doença cardíaca e mortalidade aumentam em dias com níveis mais altos de SO ₂ . Quando o SO ₂ se combina com a água, forma ácido sulfúrico: este é o principal componente da chuva ácida, que é uma das causas do desmatamento.

Fonte (WHO, 2018)

De acordo ainda com a OMS, os poluentes não só afetam severamente a saúde, mas também o clima da Terra e os ecossistemas em todo o mundo. Os poluentes atmosféricos, como o metano e o carbono negro, são poderosos poluentes climáticos de curta duração (SLCPs) que contribuem para as mudanças climáticas e afetam a produtividade agrícola. O carbono negro, um componente do material particulado, é um dos maiores contribuintes para o aquecimento global após o CO₂. O carbono negro aquece a atmosfera da Terra ao absorver a luz solar, acelerando assim o derretimento da neve e do gelo. O metano, outro SLCP, é um potente gás de efeito estufa que é 84 vezes mais poderoso que o CO₂, e é um precursor do ozônio poluente do ar. O ozônio e o carbono negro afetam os processos climáticos e diminuem os rendimentos agrícolas, ameaçando a segurança alimentar (WHO, 2018). A OMS cita ainda no mesmo relatório que fontes de poluentes atmosféricos são também frequentes fontes de emissões de carbono, reforçando que os combustíveis fósseis queimados pelo setor de energia, inclusive pelos transportes, são

uma fonte importante tanto de materiais particulados quanto de dióxido de carbono. Como consequência, políticas para reduzir emissões de poluentes atmosféricos oferecem uma estratégia que permite ganhos também nos aspectos climáticos. Níveis mais baixos de poluição do ar resultam em melhor saúde cardiovascular e respiratória em longo e curto prazos, bem como amenizam os impactos causado pelas emissões de GEE na sociedade.

2.2 Mudanças Climáticas

2.2.1 Alterações Climáticas Observadas

As últimas décadas têm sido acompanhadas por um aumento notável nas temperaturas médias do planeta. De acordo com o relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC de 2014 (2014) os anos imediatamente anteriores à publicação do relatório foram provavelmente os mais quentes dos últimos 1400 anos no Hemisfério Norte. A temperatura média combinada da superfície terrestre e dos oceanos apresentou um incremento de $0,85^{\circ}\text{C}$ durante o período de 1880 a 2012, com uma aceleração recente de sua curva de tendência, como pode ser observado na Figura 5 .

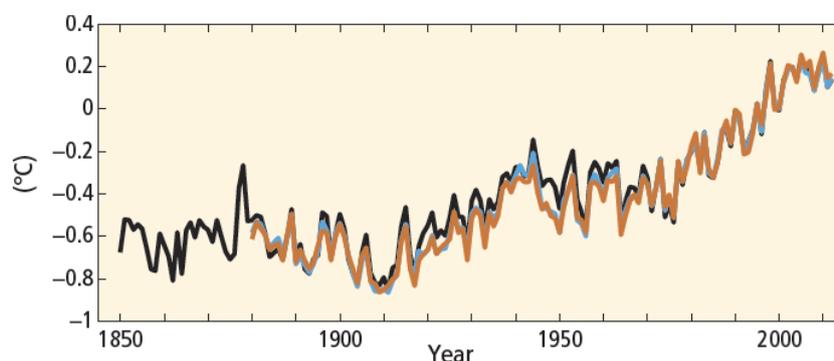


Figura 5 - Anomalia combinada da temperatura média global das superfícies terrestres e da superfície do oceano.

Fonte: (IPCC, 2014)

O aumento de temperatura média ocorreu de forma não uniforme no globo terrestre, havendo regiões onde o registro de dados indica alterações de até $2,5^{\circ}\text{C}$ entre 1901 e 2012, como verificado na Figura 6.

Foram notadas alterações nos regimes pluviométricos com provável aumento no hemisfério Norte, alterações variadas nas demais regiões e, ainda, alterações nas salinidades dos sistemas oceânicos.

Os oceanos concentraram mais de 90% do acréscimo de energia térmica armazenada, especialmente nas camadas de água mais superficiais. Desde o início da Era Industrial o pH dos mares e oceanos diminuiu 0,1 como resultado da acidificação pela absorção de CO₂, correspondendo a um aumento de 26% na acidez, medido através da concentração de íons de hidrogênio.

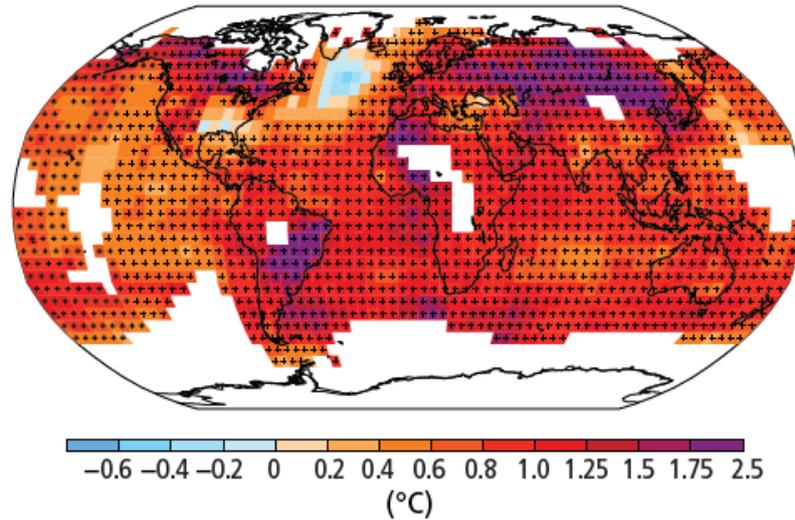


Figura 6 – Alterações da temperatura superficial terrestre.

Fonte IPCC, 2014.

Dados de 2018 consolidados pela NASA (GISTEMP, 2018; HANSEN et al., 2010) definem o ano de 2016 como o de mais altas temperaturas superficiais no planeta desde 1880, acompanhando as tendências das últimas décadas. As temperaturas médias globais em 2016 foram 0,99°C mais quentes do que a média de meados do século XX, conforme a Figura 7. Este resultado demonstra, ainda, uma sequência de recordes sucessivos e crescentes de temperatura. Esta sequência de recordes demonstra também uma tendência de aumento de temperatura em longo prazo. Os gráficos gerados corroboram, da mesma forma que os consolidados pelo IPCC, que este aumento de temperatura ocorre de forma não uniforme na superfície, como pode ser observado na Figura 8.

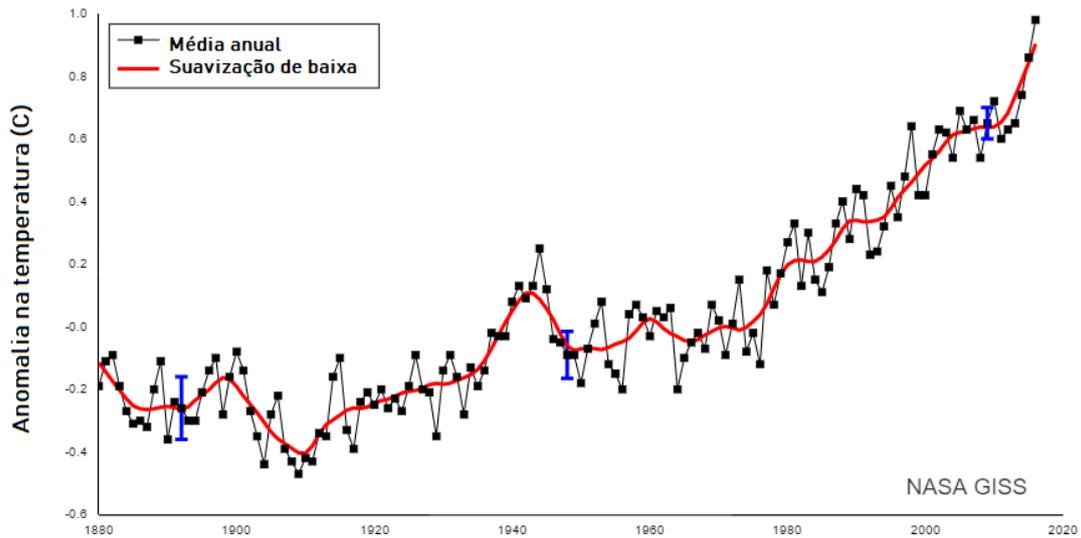


Figura 7 - Estimativas médias globais baseadas em dados de terra e oceano.

Fonte:(GISTEMP, 2018b).

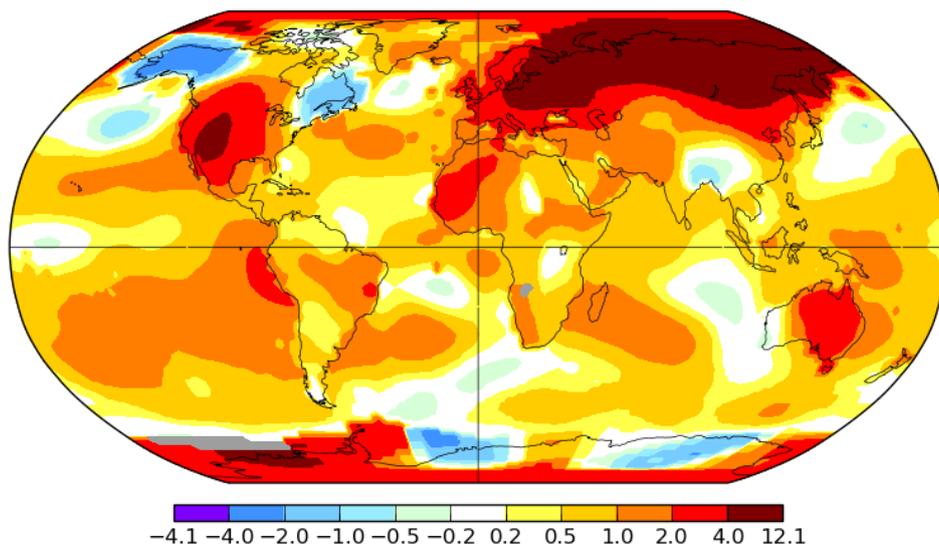


Figura 8 – Anomalias térmicas em março de 2017 em comparação com o período de 1951-1980.

Fonte: (GISTEMP, 2018b)

O aumento de temperatura foi acompanhado pela redução de extensão da camada de gelo permanente, em especial na Groelândia e no Ártico. Esta redução foi acelerada a partir do fim da década de 1970, atingindo uma taxa de 4,1% a cada década. A redução da extensão de áreas congeladas pode ser observada na Figura 9.

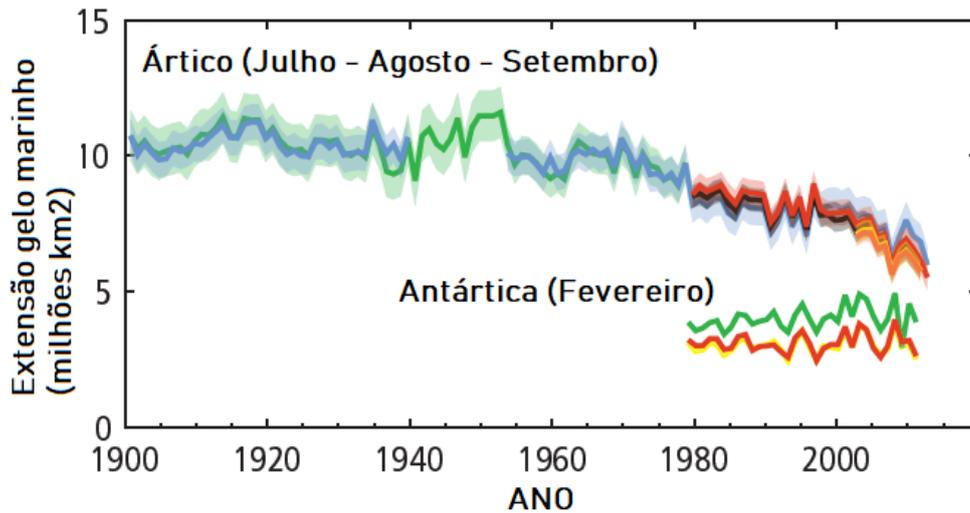


Figura 9 – Redução da extensão de gelo.

Fonte (IPCC, 2014)

Como consequência direta do aquecimento global e da perda das camadas de gelo permanente, o nível médio dos mares aumentou 0,19m entre 1901 e 2010 (IPCC, 2014). A razão de aumento em meados do século XX foi superior à dos dois milênios anteriores. Além do derretimento das camadas permanentes, a própria expansão térmica das águas contribuiu para este fato (Figura 10).

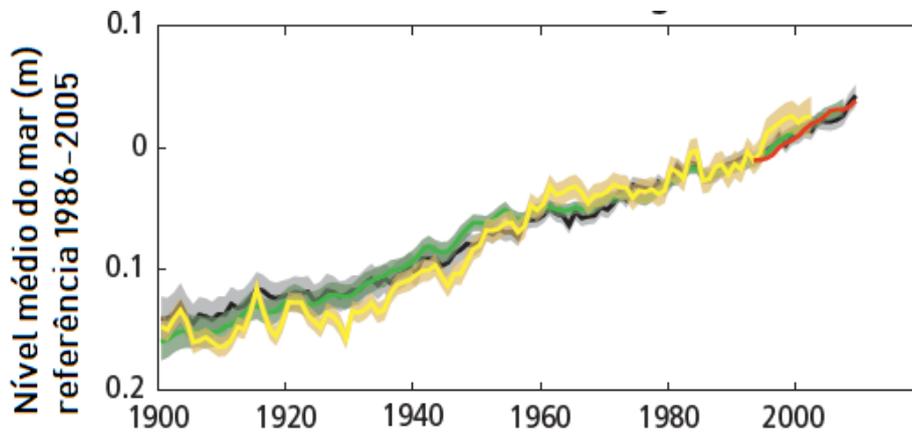


Figura 10 – Variação no nível médio dos mares – 1900-2010.

Fonte: (IPCC, 2014).

2.2.2 Causas das mudanças climáticas

Mudanças na intensidade de radiação solar e, ainda, atividade vulcânica podem gerar alterações nas concentrações de gases na atmosfera, causando alterações nas temperaturas

médias globais. No entanto, a atividade humana tem sido considerada a grande responsável pelas mudanças climáticas já verificadas, especialmente a decorrente do crescimento econômico energo-intensivo e fortemente dependente de combustíveis fósseis.

A concentração antropogênica de gases de efeito estufa na atmosfera foi intensificada a partir da Era Industrial. Entretanto, os últimos 40 anos responderam por cerca de metade das emissões antrópicas totais de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) no período entre 1750 e 2011 (IPCC, 2014). Essas concentrações atingiram níveis sem precedentes pelo menos nos últimos 800.000 anos.

Além das concentrações extraordinárias dos Gases de Efeito Estufa (GEE), a sua razão de crescimento também vem sendo acentuada rapidamente.

As emissões antropogênicas de GEE em 2010 atingiram $49 \pm 4,5$ GtCO₂ eq / ano. As emissões de CO₂ provenientes da combustão de combustíveis fósseis e dos processos industriais contribuíram com cerca de 78% das emissões totais de GEE de 1970 a 2010. Há uma alta probabilidade de que mais de metade do aumento observado na temperatura média global da superfície de 1951 a 2010 tenha sido causado pelo aumento antropogênico das concentrações de GEE e outros fatores antropogênicos em conjunto.

2.2.3 Impactos das Mudanças Climáticas

As mudanças climáticas citadas têm impacto direto nas próprias atividades humanas. São observadas alterações nos regimes de pluviosidade, tanto na quantidade quanto na intensidade. Os sistemas fluviais imediatamente interligados também são afetados, seja com alterações em vazões seja em regimes alterados de cheias e vazantes. Atividades como pesca, navegação e captação de água para consumo também recebem os efeitos destas alterações.

A fauna e a flora são diretamente impactadas, dificultando a sobrevivência de algumas espécies e causando excesso populacional de outras, além de alterar seus regimes de migração e reprodução. Corais oceânicos têm sido especialmente impactados com a elevação da temperatura do mar e sua acidificação.

A agricultura, em especial as culturas de trigo e milho, também recebe influência da variação do sistema hidrológico e pluviométrico, criando pressões nos custos dos alimentos.

A saúde pública também recebe impactos, seja com a proliferação de vetores de doenças, seja com a ocorrência de danos causados por eventos extremos de temperatura e meteorológicos. A alteração dos regimes de circulação eólica, especialmente nos centros urbanos, acentua os danos causados pelos poluentes emitidos localmente, dificultando sua dispersão.

Eventos extremos, por sua vez, têm se intensificado a partir da década de 1950: a diminuição dos picos de temperaturas frias, o aumento de temperatura extrema, aumento dos níveis extremos do mar (em eventos como tempestades), um aumento do número de precipitações intensas em várias regiões, ocorrência de fenômenos ciclônicos em regiões antes não afetadas e mudanças no seu regime de ocorrência e o prolongamento e intensificação de grandes estações secas.

Os impactos gerados pelas mudanças climáticas se estendem nas diversas regiões do planeta. São afetados os sistemas físicos destas regiões, os sistemas bióticos e a atividade humana.

Paradoxalmente, o setor de energia, responsável pela maior parte das emissões de GEE globais, também é afetado pelas mudanças climáticas. De acordo com o relatório Energy, Climate Change and Environment (2016), as mudanças climáticas afetam todos os componentes da cadeia de valor da energia: energia primária, transformação, transporte, transmissão, armazenamento e distribuição.

O estresse hídrico pode afetar diretamente a produção de energia hidrelétrica. Os eventos climáticos extremos podem danificar a infraestrutura de transporte e distribuição. As alterações de temperatura provocam uma intensificação de demanda nos sistemas de climatização e refrigeração e uma ampliação na duração e frequência dos períodos de pico. A Tabela 3 cita os diversos impactos na cadeia energética provocados pelas mudanças climáticas, demonstrando seus danos desde a transformação da energia primária até a influência no modo de consumo.

Tabela 3 – Mudanças climáticas e seus efeitos no setor energético.

Produção Primária de Energia	O derretimento do permafrost e do gelo marinho melhora o acesso às reservas de petróleo e gás, mas compromete a estabilidade do solo e danifica as infraestruturas.
	O aumento do risco de incêndios afeta a produção de petróleo (por exemplo incêndios florestais de Fort McMurray em Alberta, Canadá).
	A escassez de água impõe limitações ao gás de xisto, ao gás de processos e à produção de biocombustíveis.
	As fortes chuvas aumentam o teor de umidade (e diminuem a qualidade) das minas de superfície de carvão.
	A seca, a precipitação intensa e a neve reduzida afetam a produção de energia hidrelétrica.
	Mudanças e aumento da variabilidade da velocidade e direção do vento afetam a produção de energia eólica.
	As alterações na cobertura das nuvens e no vapor de água afetam a energia solar.
Setor de Transformação	A elevação do nível do mar e a intensificação das tempestades aumentam o risco de inundação para a infraestrutura costeira.
	Vento, granizo e precipitação extrema aumentam o dano ao sistema de energia solar fotovoltaica, sistemas termosolares, turbinas eólicas e hidrelétricas.
	O calor extremo reduz a eficiência das células solares fotovoltaicas e dos processos de refrigeração em centrais térmicas.
	Baixos níveis de reservatórios reduzem a conversão de água para energia na produção de energia hidrelétrica.
	O aumento da temperatura da água restringe a geração de energia térmica ao reduzir o resfriamento da usina e sua eficiência, gerando aumento da demanda por água de resfriamento.
	A escassez de água restringe as tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CSP e CCS)
Transporte, transmissão, Armazenamento e distribuição	Temperaturas mais altas aumentam as perdas de transmissão e reduzem a eficiência geral da transmissão.
	Temperaturas mais altas reduzem a viscosidade dos combustíveis transportados.
	Eventos extremos (por exemplo, inundações, deslizamentos de terra, erosão e derretimento do permafrost) causam danos aos dutos de transporte.
	O derretimento do gelo marinho abre novas rotas marítimas (por exemplo, Estreito de Bering e Passagem do Noroeste).
	Ciclos de congelamento / descongelamento e condições meteorológicas extremas causam danos às estradas pavimentadas; Precipitação extrema.
	Aumentam os intemperismos para estradas não pavimentadas e rotas costeiras de baixa altitude.
Demanda energética	As altas temperaturas do ar aumentam a demanda de refrigeração (principalmente a eletricidade) nos meses de verão e reduzem a demanda de aquecimento (combustíveis, eletricidade) nos meses de inverno.
	As alterações líquidas ocorrem na procura de energia, dependendo da localização geográfica e do acesso aos aparelhos de ar condicionado.
	Tendências de aquecimento alteram a atratividade dos destinos turísticos e da energia relacionada com o mesmo.

Fonte: OECD/IEA, 2016.

2.2.4 Emissões e aquecimento global

Os diferentes gases emitidos também apresentam diferentes impactos no aquecimento global. O potencial de aquecimento global (GWP – Global Warming Potential) é uma

medida que relaciona a quantidade de calor que um gás aprisiona na atmosfera em comparação uma massa semelhante de CO₂ – adotando-se para este o valor unitário - 1. O GWP é calculado para um intervalo de tempo específico, usualmente 20, 100 ou 500 anos. O GWP depende dos seguintes fatores:

- A absorção de radiação infravermelha por uma determinada espécie;
- A localização espectral dos seus comprimentos de onda absorventes;
- O tempo de vida atmosférica da espécie.

Assim, um GWP elevado correlaciona-se com uma grande absorção de infravermelhos e uma longa vida atmosférica. Os valores para cada espécie de gás são atualizados a cada relatório do IPCC. A Tabela 4 apresenta os valores de GWP e GTP apresentados no relatório AR5 do IPCC (2014). As substâncias que possuem um aumento rápido em suas concentrações na atmosfera ou que apresentam um alto GWP são as sujeitas a restrições do Protocolo de Quioto.

O Potencial de Mudança de Temperatura Global - GTP - é outra maneira de quantificar a mudança de concentração de uma substância em relação à de CO₂, na temperatura média global da superfície, usada para um período de tempo específico. É um índice que mede a variação da temperatura média global da superfície num ponto escolhido após uma emissão de uma massa unitária de uma determinada substância, em relação à substância de referência, CO₂. O Potencial de Mudança de Temperatura Global (GTP) representa, assim, o efeito combinado do tempo de vida na atmosfera, a sua eficácia em causar forçamento radiativo e a resposta do sistema climático (IPCC, 2014). O GTP foi definido de duas maneiras diferentes:

- Fixo: baseado em um horizonte temporal fixo no futuro (como o GTP₁₀₀ para um horizonte de tempo de 100 anos);
- Dinâmico: com base em um ano alvo (como o ano em que a temperatura média global deve atingir o nível desejado). No GTP dinâmico, o horizonte temporal diminui ao longo do tempo à medida que o ano alvo é abordado e, portanto, o valor de GTP se altera para as emissões que ocorrem mais no futuro.

Apesar da atualização a cada relatório do IPCC dos valores de GWP e GTP, salvo menção ao contrário, os valores bases adotados para padronização das emissões se referem ao SAR - Second Assessment Report (1996)

Tabela 4 – Exemplos de valores de GWP e GTP.

	Tempo de vida (anos)	GWP		GTP	
		Forçamento para 20 anos	Forçamento para 100 anos	Mudança de temperatura após 20 anos	Mudança de temperatura após 100 anos
CO ₂	-	1	1	1	1
CH ₄	12,4	84	28	67	4
N ₂ O	121	264	265	277	234
CF ₄	50000	4880	6630	5270	8040
HFC-152a	1,5	506	138	174	19

Fonte (IPCC, 2014).

Os valores de emissões tiveram um incremento forte nos últimos 40 anos. Entre os anos de 1750 e 1970, um período de 220 anos o total acumulado emitido não atingiu 1000 Gt CO₂ equivalentes. No entanto, apenas entre 1970 e 2010, um período de 40 anos, foram acumuladas mais de 1000Gt CO₂ equivalentes.

2.2.5 Emissões e os cenários futuros do clima

Conforme verificado, as emissões têm-se acelerado fortemente e causando impactos na sociedade de forma intensa. Com a finalidade de auxiliar os tomadores de decisões a evitar danos futuros maiores, a equipe de trabalho do IPCC elaborou diversos cenários de emissões para as próximas décadas.

Esses cenários, os caminhos a serem seguidos, são denominados RCP's - Representative Concentration Pathways. Os RCPs incluem um cenário de mitigação rigoroso (RCP2.6), dois cenários intermediários (RCP4.5 e RCP6.0) e um cenário com emissões de GEE muito altas (RCP8.5). Cenários sem esforços adicionais para restringir as emissões - denominados cenários de linha de base - levam a caminhos que variam entre RCP6.0 e RCP8.5. O RCP2.6 é representativo de um cenário que visa manter o aquecimento global abaixo de 2 ° C acima das temperaturas pré-industriais – valor consistente com o menor impacto no clima futuro, de acordo com a literatura revisada pelo grupo de trabalho WGIII - Mitigation of Climate Change do IPCC (IPCC, 2014). Os efeitos no aquecimento estão diretamente ligados às emissões acumuladas de CO₂.

Em todos os cenários projetados pela equipe do IPCC há a alta probabilidade do aumento de temperatura da superfície terrestre. É muito provável que as ondas de calor ocorram mais frequentemente e durem mais tempo, e que os eventos extremos de precipitação e

eólicos sejam mais frequentes em muitas regiões. O oceano continuará a aquecer-se e acidificar-se, e o nível médio global do mar a subir.

O principal fator que afetará estas alterações será a intensidade das emissões antropogênicas passadas e futuras, de forma semelhante ao ocorrido nos últimos 40 anos, como já citado anteriormente. As alterações nos quatro cenários decorrentes de fatores naturais são semelhantes e partem do princípio de que não haverá mudança climática de origem natural drástica (por exemplo uma alteração significativa na irradiação solar ou um vulcanismo excepcional).

Conforme o relatório do IPCC (2014), o aumento da temperatura média global da superfície até o final do século XXI (entre 2081-2100) em relação a 1986-2005 é provavelmente de 0,3°C a 1,7°C sob RCP2.6, 1,1°C a 2,6°C sob RCP4.5, 1,4°C a 3,1°C sob RCP6.0 e 2,6°C a 4,8°C sob RCP8.5. A região ártica continuará a aquecer mais rapidamente do que a média global. A Figura 11 demonstra o impacto destes cenários.

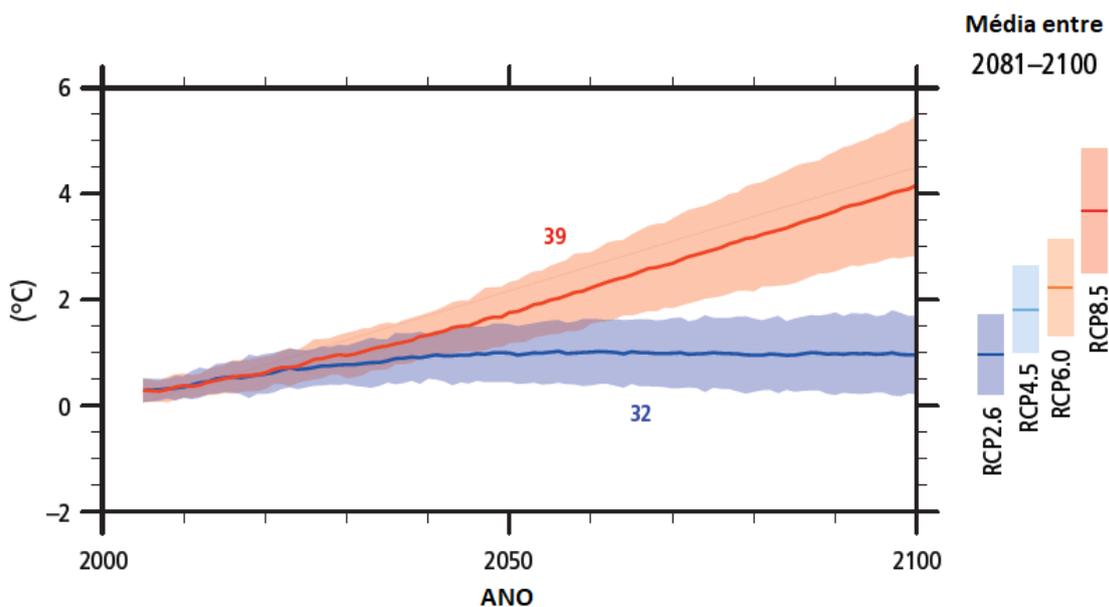


Figura 11 – Mudança global na temperatura média de superfície terrestre.

Fonte (IPCC, 2014)

As mudanças climáticas geradas pelos aumentos de emissões estão relacionadas ainda a uma série de riscos aos ecossistemas e à própria atividade humana. Espécies vegetais não tem capacidade de mudarem naturalmente para regiões mais adequadas ou menos afetadas pelas alterações pluviométricas e de temperatura. De forma semelhante os animais de pequeno porte têm limitações no alcance migratório. Animais marinhos

estarão sujeitos a um menor teor de oxigênio, maior acidificação e alterações de correntes marítimas. Recifes de corais e sistemas polares são altamente vulneráveis.

Essas alterações induzem riscos à segurança alimentar, especialmente alterando as condições de pesca e os cultivos de arroz, trigo e milho. Há ainda previsão da redução de disponibilidade de águas superficiais. Cenários com aumento de temperatura superior a 2°C tem alta probabilidade de ocorrência de alterações na segurança alimentar mais intensas. Há ainda alta probabilidade de impactos de problemas de saúde, especialmente nas regiões menos desenvolvidas e nos cenários de maiores emissões. A atividade econômica também é afetada, com restrições de oferta de produtos e de áreas físicas para realização de cultivos de alimentos.

Migrações populacionais tem alta probabilidade de tornarem-se mais intensas, especialmente oriundas das regiões menos desenvolvidas, pressionando os índices de violência e desenvolvimento social de outras regiões.

3 Transportes e Cidades

Este trabalho realiza a análise de impactos ambientais do transporte inserido em um contexto urbano. Este capítulo aprofunda tópicos percorridos durante a revisão de literatura que estabelecem o relacionamento intrínseco entre transportes e urbanização: o crescimento das áreas urbanas demanda ampliação dos serviços de transportes da mesma forma que os transportes atuam como elemento de urbanização.

3.1 Transportes

3.1.1 Emissões dos Transportes

A redução do consumo de energia, das emissões de gases poluentes e de GEE no setor de transportes são metas estratégicas das políticas energéticas e ambientais estabelecidas em vários países, dado que as emissões nesse setor apresentam a maior taxa de crescimento entre os setores de uso final de energia.

Conforme a Figura 12, da IEA (2014), o consumo de petróleo associado diretamente ao setor de transportes é a segunda maior fonte mundial de geração de CO₂, apenas inferior ao quantitativo utilizado diretamente para produção de energia e calor.

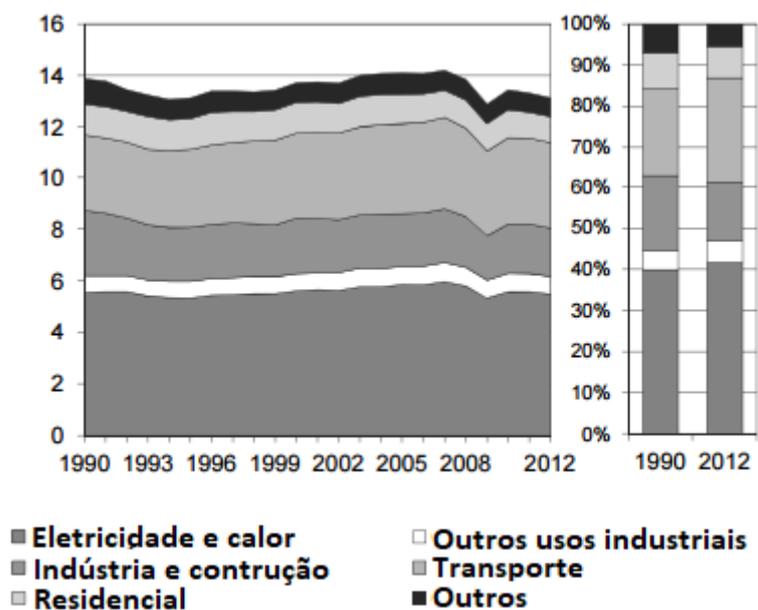


Figura 12 - Emissões de CO₂ por Setor.

Fonte: (IEA, 2014)

O relatório Energy and Air Pollution da IEA (2016) corrobora ainda que os transportes continuam a ser uma das principais fontes de poluentes atmosféricos, apesar da evolução tecnológica e da legislação regulatória. Os transportes respondem por cerca de metade das emissões totais de NO_x (56Mt em 2015) e são uma importante fonte de PM_{2.5} (cerca de 10% das emissões primárias totais do setor de energia). Analisando-se o setor por modal, o transporte rodoviário responde por 58% das emissões de NO_x e 73% das emissões de PM_{2.5}. A navegação responde pela maior parte das emissões de SO_x. As emissões de poluentes atmosféricos podem ser categorizadas da seguinte forma:

- Emissões de escape: resultantes da combustão dos combustíveis fósseis. São altamente dependentes do combustível utilizado e do tratamento pós-combustão (catalisadores dos gases de escape).
- Emissões por abrasão: produzidas pelo desgaste dos freios, embreagens, pneus e materiais da rodovia (pavimento e dispositivos de sinalização e segurança).
- Emissões de evaporação: são oriundas da volatilização dos combustíveis fósseis utilizados.

O petróleo corresponde a mais de 90% da energia final demandada no setor de transportes (OECD/IEA, 2016b), especialmente consumido sob forma de óleo diesel e gasolina. O diesel é dominante nos veículos pesados em caráter mundial. A frota de veículos leves tem particularidades regionais: nas Américas dominam os motores que utilizam gasolina e na Europa os motores diesel respondem por cerca de metade da frota. O setor de aviação utiliza essencialmente querosene de aviação. O setor de navegação utiliza principalmente óleo combustível pesado (72%) e diesel (25%). Os trens interurbanos também têm utilização maior de diesel, embora estejam em processo mundial de eletrificação.

Os veículos rodoviários pesados (heavy-duty vehicles – HDV's), caminhões e ônibus, apesar de representarem somente 7% da frota mundial (excluindo-se veículos de 2 e 3 rodas), respondem por mais de 40% das emissões de NO_x e mais de 50% das emissões de PM_{2.5} do setor de transportes (OECD/IEA, 2016b).

Este impacto dos HDV's, mesmo em áreas urbanas - onde dominam em quantidade os veículos de menor porte – é predominante, por causarem mais emissões por quilômetro rodado. Além dos impactos gerados pelos HDV's, destacam-se as emissões causadas pelos veículos de duas rodas, especialmente com motores a dois tempos, que possuem emissões mais elevadas que os motores de quatro tempos (OECD/IEA, 2016b).

O relatório Transport and Climate Change Global Status Report 2018 (2018) informa que a participação do setor de transportes nas emissões globais de GEE passou de 11% para 14% (dados de 2014). Cita ainda que crescimento absoluto de emissões de CO₂ entre 2000 e 2016 foi maior na Ásia (92%), na África (84%) e América Latina (49%), impulsionado pelo crescimento de transporte e transporte de mercadorias nessas regiões. No setor de transportes, 75% das emissões de GEE se realizam através do transporte individual em automóveis, veículos de 2 e 3 rodas e vans. O transporte público urbano (rodoviário e ferroviário) responde por 7% das emissões, mesmo cobrindo um quinto do transporte global. Ferrovias interurbanas respondem por 3% das emissões de CO₂ e são responsáveis por quase 1/3 do transporte de cargas total. O modal aéreo e aquaviário possuem percentual próximo de 11% de contribuição cada.

A mais recente publicação do ICCT – International Council for Clean Transportation (ANENBERG et al., 2019) estima que as emissões do setor de transportes foram responsáveis por 11,7% da mortalidade global por PM_{2.5} e ozônio em 2010 e 11,4% em 2015, com um custo de cerca de 1 trilhão de dólares em saúde.

No entanto, há substancial heterogeneidade neste aumento de óbitos por poluição no transporte: de 2010 a 2015, os óbitos diminuíram em 14% e 16% na UE e nos Estados Unidos, mas aumentaram 26% na China e na Índia. As reduções na UE e nos Estados Unidos são atribuíveis à implementação de padrões mais restritos para a qualidade do combustível e emissões de veículos novos.

Dos subsetores de transporte analisados pelo relatório do ICCT, veículos a diesel rodoviários contribuíram com maior risco de poluição e doenças associadas. Um fato destacado neste relatório é que, apesar da maior quantidade de mortes por poluição dos transportes do ar ocorrer principalmente nas grandes metrópoles da China e Índia, ao se normalizar os dados em mortes por 100.000 habitantes destacam-se as cidades europeias Milão, Turim, Stuttgart, Kiev, Colônia, Haarlem, Berlim, Roterdã, Londres e Leeds, onde os poluentes gerados por outros setores de energia, como para a produção de eletricidade por exemplo, tiveram uma redução mais acentuada e o setor de transportes é altamente dieselizado.

A Figura 13 apresenta o número total de óbitos atribuíveis ao transporte por PM_{2.5} e ozônio em 2015, por região mundial, onde se destacam, como mencionado, os países asiáticos, além da Europa Oriental. A Figura 14, por sua vez, mostra a contribuição dos

transportes para concentração de poluentes (Transportation-Attributable Fractions - TAF), destacando-se os países da Europa Ocidental, conforme citado.

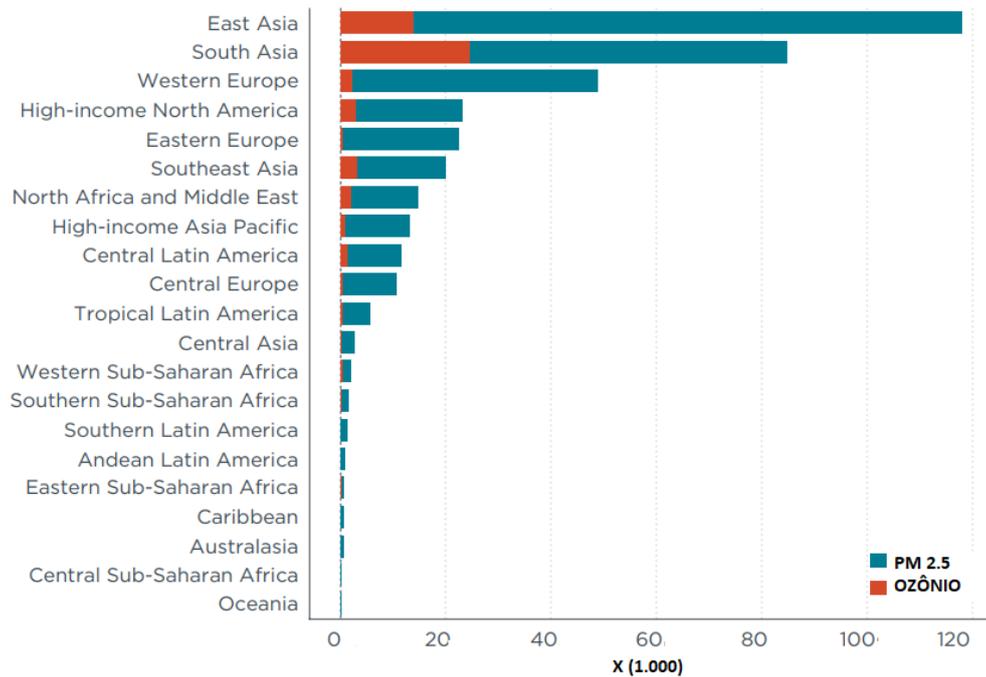


Figura 13 - Número total de óbitos atribuíveis ao transporte por PM_{2.5} e ozônio em 2015, por região mundial.

Fonte (ANENBERG et al., 2019)

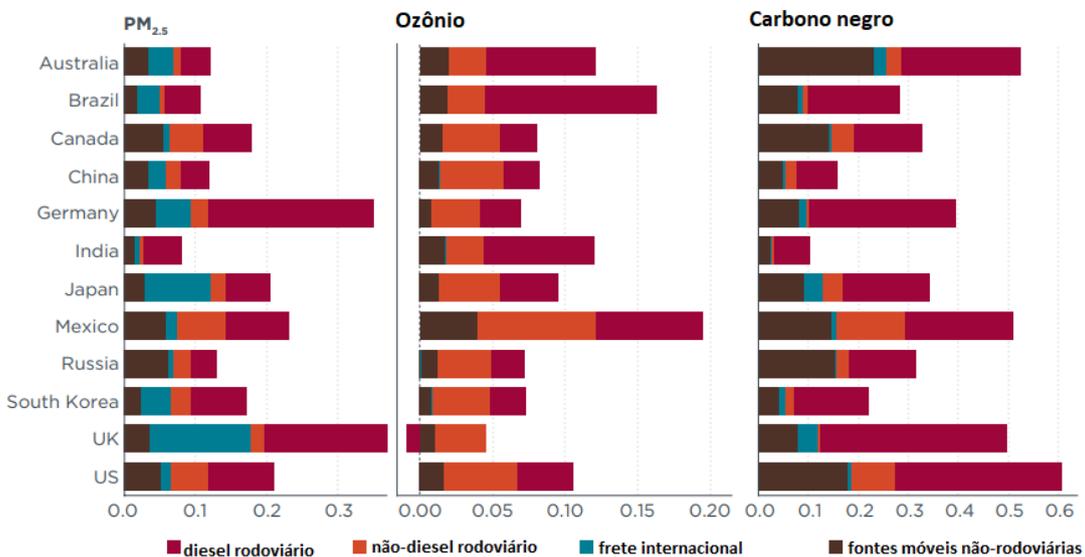


Figura 14 - TAFs específicos de subsetores nos principais mercados de veículos em 2015.

Fonte (ANENBERG et al., 2019)

3.1.2 Cenários de Emissões dos Transportes

As projeções *business-as-usual* (BAU) levam a um possível aumento das emissões dos transportes em até 50% para 2030 e até 100% para 2050, comparadas com as emissões

de 2010 (Figura 15). Os países não-membros da OECD (The Organization for Economic Co-operation and Development) serão responsáveis pela quase totalidade do aumento nas emissões dos transportes, com sua participação aumentando de 40% em 2015 para 56% a 72% projetados em 2050 (ITF, 2017; YEH et al., 2017). A insuficiente infraestrutura de transportes, a ainda pequena posse de automóveis, a rápida urbanização e o crescimento econômico projetado são os fatores que concentram as emissões futuras nos países em desenvolvimento.

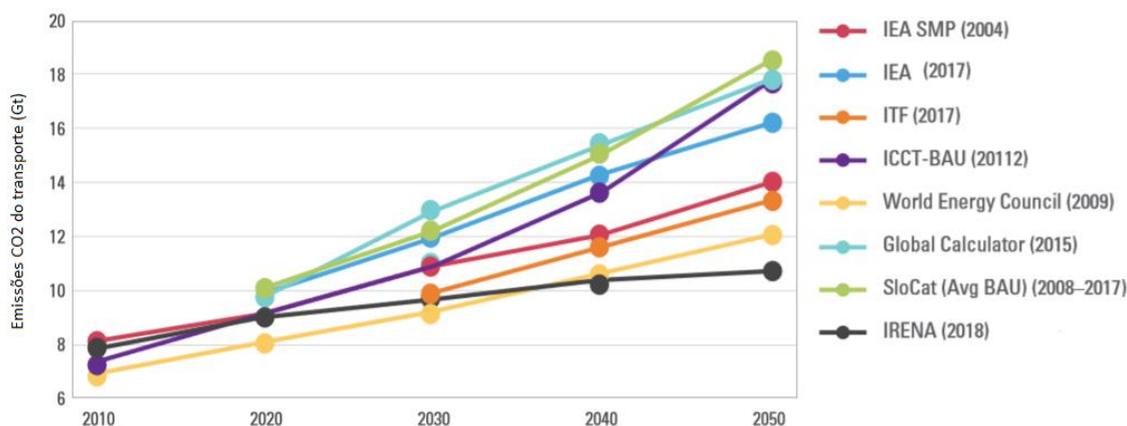


Figura 15 - Projeções de emissões de CO₂ do tipo business-as-usual (2000 a 2050).

Fonte (SLOCAT, 2018)

Os impactos negativos trazidos pelo mais recente relatório do IPCC – Global Warming at 1.5°C (IPCC, 2018) reforçam a necessidade de ações intensas para se tentar reverter rapidamente os caminhos BAU. Mesmo com os compromissos internacionais assumidos no Acordo de Paris, no setor dos transportes existem interpretações limitadas sobre o grau de transformação necessário. As evidências existentes sugerem que o setor de transportes precisa sofrer uma redução de 40 a 70% de suas emissões totais de CO₂ em 2050, em relação a 2015, para atingir as metas de limitar o aquecimento a até 1.5°C (IPCC, 2018). Agrava-se o fato de que investimentos em infraestrutura de transporte possuem efeito de longo prazo, pela dificuldade em mudar uma alocação de recursos já realizada em determinado modal.

Entre as 165 NDC's (Nationally Determined Contributions) apresentadas até a data de publicação do relatório SloCAT (2018), 76% identificam explicitamente o setor de transporte como uma fonte de mitigação e mais de 63% propõem medidas de mitigação específicas ao setor de transporte. No entanto, apenas cerca de 8% dos NDC's incluem uma meta específica de redução de emissões no setor de transportes, e apenas cerca de

12% incluem avaliações do potencial de mitigação do transporte em nível nacional (SLOCAT, 2018).

3.1.3 Mitigações de Emissões dos Transportes – Estado da Arte

O relatório do IPCC (2014) reforça algumas medidas necessárias para a mitigação das emissões do setor de transportes. Dentre as medidas propostas destacam-se: transferência de modal para transportes de baixa emissão de carbono, incentivando os investimentos em transportes públicos para tornarem-se mais atraentes para os usuários e minimizar o tempo de viagem e a distância; redução do consumo energético por passageiro através da melhoria do desempenho dos motores, materiais mais leves e novas tecnologias, como veículos elétricos.

No entanto, muitos estudos multisetoriais consideram o setor de transportes de difícil descarbonização (IPCC, 2014). No entanto, estudos mais recentes afirmam que o setor de transporte pode fornecer uma contribuição significativa para a descarbonização em toda a economia com emissões de 2050 sendo de 1,5 Gt a 10 Gt, com uma média de 4,5 Gt, ou cerca de 44% menos emissões que o cenário B2DS (SLOCAT, 2018).

Com o intuito de reduzir os impactos negativos do setor de transporte rodoviário, várias medidas de regulação das emissões vêm sendo adotadas. Pode-se citar normas que limitam as emissões máximas admissíveis de escape e de evaporação de cada tipo de veículo (por unidade de distância, tempo ou consumo de energia final) e que especificam a qualidade do combustível (exigindo a eliminação do chumbo e as reduções escalonadas do teor máximo de enxofre) reduziram as emissões de frotas de veículos rodoviários em todos os países e cidades onde foram adotadas e aplicadas. Em decorrência pressiona-se pelo fornecimento de combustíveis com melhor qualidade. Medidas, ainda, como a vistoria anual obrigatória e etiquetagem energética veicular contribuem para reduzir as externalidades do setor.

As primeiras normas de emissão para veículos rodoviários foram introduzidas nos Estados Unidos na década de 1960, em resposta a níveis elevados de poluição do ar na Califórnia (OECD/IEA, 2016b). Desde então, foram desenvolvidos programas de regulamentação nos EUA, Europa e Japão, que serviram como referência para outros países. A norma europeia atual para automóveis - Euro 6 - pode reduzir significativamente as emissões médias PM_{2,5} e NO_x de veículos a diesel. Os padrões de emissões de LDV's (light-duty vehicles – veículos leves) nos Estados Unidos e no Japão são ainda mais

rigorosos do que o Euro 6. A Tabela 5 apresenta os padrões adotados para emissões veiculares e percentual de enxofre no combustível em diversos países.

A GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit – Agência Alemã de Cooperação Internacional) apresenta uma abordagem denominada A-S-I (Avoid -Shift-Improve) na busca de uma sustentabilidade do transporte. *Avoid* – evitar – se refere a diminuir a necessidade de transporte através do planejamento integrado do uso do solo e gestão do sistema de transporte. *Shift* – mudar – se refere à melhoria da eficiência das viagens, migrando do transporte individual motorizado para modos não-motorizados e transporte público. *Improve* – melhorar – se relaciona com a melhoria da eficiência dos veículos e dos combustíveis, bem como da infraestrutura de transportes. Este enfoque visa contribuir para as reduções de carbono, melhoria da qualidade do ar urbano, revitalização de espaços públicos e demais benefícios associados (GIZ, 2004).

Tabela 5 – Padrões de emissão veicular e percentual de enxofre admissível no combustível.

Região	Padrão de Emissões						Padrão para enxofre no combustível	
	veículos leves			veículos pesados			Diesel ppm (ano)	Gasolina ppm (ano)
	% das vendas globais de veículos	atividade em passageiros-km (%)	Padrão nacional	% das vendas globais de veículos	atividade de em ton-km (%)	Padrão nacional		
EUA	19,0%	15,9%	Tier 3 (2017)	11,8%	10,9%	US 2010	10 (2017)	10 (2017)
Canadá	2,4%	1,5%	Tier 3 (2017)	1,5%	1,2%	Phase 2	15	10 (2017)
UE	21,0%	14,7%	Euro 6	9,4%	9,3%	Euro VI	10	10
Japão	7,1%	2,8%	PNLTES	2,9%	1,4%	PNLT	10	10
Coréia	1,8%	1,4%	CARB/NMOG Euro 6(diesel)	1,5%	1,0%	Euro VI	10	10
Austrália	1,4%	1,0%	Euro 6 (2018)	0,5%	0,5%	Euro V	10	50
Turquia	1,2%	1,4%	Euro 5	1,5%	1,8%	Euro VI	10	10
China	23,9%	15,2%	China 5 (2018)	48,5%	19,8%	China IV (2014) China V (2017)	10 (2017)	10 (2017)
Rússia	3,4%	3,6%	Euro 5	1,9%	1,7%	Euro V	10	10
Brasil	5,5%	4,1%	L-6	2,8%	6,4%	P-7	50	500
Argentina	0,8%	0,8%	Euro 5	0,3%	0,9%	Euro V (2018)	150	10
Índia	8,8%	4,3%	Bharat IV (2017)	3,9%	11,4%	Bharat IV (2017)	50 (2017)	50 (2017)
México	2,0%	2,7%	Entre Euro 3 - 4	0,9%	2,9%	Euro IV	500	80
Indonésia	1,4%	1,0%	Euro 2	2,5%	1,5%	Euro II	500	3500
África do Sul	0,8%	1,7%	Euro 2	0,6%	1,0%	Euro II	500	500
Arábia Saudita	0,7%	1,0%	Euro 2	0,5%	5,3%	Euro II	10	ND

Padrões:	mais restrito que Euro 6/VI	equivalem a Euro 6/VI	equivale a Euro 5/V	equivalem a Euro 4/IV	equivale a Euro 3/III	Equivale a Euro 2/II
----------	-----------------------------	-----------------------	---------------------	-----------------------	-----------------------	----------------------

. Fonte: (OECD/IEA, 2016a)

A seguir são descritos oito tópicos com concentração de dados e potencial para mitigação e/ou adaptação às mudanças climáticas. A divisão foi a mesma adotada pelo relatório SloCAT (2018) e tem o intuito de trazer a esta tese os principais aspectos relacionados a políticas públicas, de acordo com a abordagem A-S-I, com potencial de aplicação no setor de transportes.

3.1.3.1 Planejamento da Mobilidade Sustentável e Gestão da Demanda

O Planejamento de Mobilidade Sustentável considera em sua análise como o transporte afeta o usuário e seu entorno. Esta análise é interdisciplinar, pois envolve o planejamento de mobilidade, o planejamento urbano, acessibilidade, qualidade de vida, saúde pública e aspectos ambientais. Entre as ações possíveis de planejamento de mobilidade sustentável destaca-se o Gerenciamento da Demanda de Transporte (TDM – Transport Demand Management) se refere às ações que visam evitar (Avoid) viagens ou deslocá-las (Shift) para opções mais eficientes, estimulando menor uso de veículos motorizados, modais não-motorizados e um planejamento urbano direcionado para cidades compactas. A Tabela 6 apresenta exemplos de ações adotadas para TDM. A abordagem básica do TDM é que ele permite que as cidades limitem o tráfego de veículos à capacidade das vias e recompensem os viajantes que usem modos eficientes de recursos, espaço e energia.

Tabela 6 – Exemplos de estratégias TDM.

Estímulo a modos eficientes	Políticas de Desenvolvimento Inteligente	Programas de Implementação	Estratégias complementares de mobilidade
<ul style="list-style-type: none"> • Preços de estacionamento variáveis • Regulamentação de estacionamento • Tarifação de congestionamento, zonas de zero / ou baixa emissão • Realocação de espaço rodoviário • Preços baseados em distância • Políticas de rodízio (restrições de placas pares / ímpares) • Incentivos financeiros (estacionamento, transporte subsidiado ou gratuito) 	<ul style="list-style-type: none"> • Políticas de crescimento inteligente e práticas de planejamento • Desenvolvimento orientado para o transporte sustentável (DOTS) • Ruas completas e interligadas • Recursos de paisagismo para reformular o espaço público • Gestão de estacionamento eficiente • Integração da política de habitação social e transportes 	<ul style="list-style-type: none"> • Associações de Gestão de Transportes • Programas de redução de viagem compartilhada • Gestão de transporte escolar • Gerenciamento de transporte de frete • Marketing de gestão de mobilidade • Reformas de planejamento de transporte 	<ul style="list-style-type: none"> • Horário flexível • Entregas fora de pico • Serviços de teletrabalho e vendas online que reduzam as viagens de veículos • Melhorias na infraestrutura para pedestres e ciclistas • Melhorias no transporte público e no serviço de táxi • Planejamento de viagem multimodal e / ou ferramentas de pagamento intermodal • Incentivo ao veículo de alta ocupação (HOV) • Compartilhamento de carros e de carona

Fonte: (SLOCAT, 2018)

Neste contexto destacam-se as Políticas Nacionais de Mobilidade Urbana (PNMU). As Filipinas, por exemplo, adotaram o Ato de Transporte Sustentável, em 2017, que

direcionam várias estratégias TDM e destina uma verba de US\$10,7 bilhões para sua implementação em 7 anos em 103 cidades. Mais de 800 Planos de Mobilidade Urbana Sustentável foram criados, principalmente em cidades europeias (63% do total). Cidades indianas como Chennai e Pune realizam mudanças direcionadas para ruas completas e uso de bicicletas. Cingapura também adotou o programa “Streets for People”, com regiões sem veículos (SINGAPORE GOVERNMENT, 2015).

Diversos exemplos de medidas para evitar (AVOID) viagens ou distâncias foram adotadas a partir da segunda metade da década de 2010. Sistemas de cotas limites de aquisição ou restrições a veículos foram adotados em Xangai e Cingapura, reduzindo o crescimento da taxa de propriedade de veículos, com investimento em paralelo no transporte público. Em Nova Délhi foi adotado o rodízio de veículos de acordo com a placa, assim como em São Paulo. Medellín adotou medida semelhante nos horários de pico. A China adotou políticas de incentivo a veículos de combustível não-fóssil, com autorização de tráfego em zonas mais amplas que os fósseis e incentivos fiscais. A política de rodízio de placas, no entanto, pode gerar efeito rebote de compra de mais veículos por família, com intuito de fugir da restrição de circulação (DAVIS, 2017).

Ruas sem carros e zonas sem carros estão sendo adotadas por diversas cidades, reduzindo congestionamentos e a concentração de poluentes atmosféricos. Kigali, Ruanda, iniciou um dia mensal sem carros, proibindo todos os veículos motorizados além de estar restringindo o estacionamento nas ruas e planejando vários corredores de transporte público. Oslo, Noruega, anunciou planos para banir todos os carros do centro da cidade até 2019 e investirá pesadamente em infraestrutura de transporte público e ciclismo. Madri, Espanha, planeja tornar 500 acres de seu centro zona sem carros, transformando vias de carros em ruas de pedestres (LEANNA GARFIELD, 2017).

Pedágios com custo variável conforme horário podem auxiliar a reduzir picos de tráfego, bem como isenções para veículos de baixas emissões, como os elétricos. Essas medidas são denominadas taxas de congestionamento (Congestion Charges), desestimulando a circulação nos horários de pico e a concentração de poluentes atmosféricos. Cingapura introduziu com sucesso a taxa de congestionamento nos anos 70 assim como várias outras medidas de TDM que contribuíram para reduzir em 16% o número de veículos per capita entre 1991 e 2014 e reduzir as emissões de CO₂ per capita em 21% (SLOCAT, 2018). Londres implantou a T-CHARGE em 2017, que tarifa os veículos com fabricação anterior a 2006 na região central da cidade (TFL, 2019).

A retirada dos subsídios aos combustíveis fósseis também é uma medida para desincentivar (evitar) as emissões de GEE e de poluentes, privilegiando modelos mais eficientes.

As medidas de mudança (SHIFT) visam deslocar viagens para modos mais eficientes energética e ambientalmente. Exemplos como desconto ou gratuidade no transporte público na hora de pico, integração tarifária com compartilhamento de bicicletas e incentivo de compartilhamento de carros e caronas estão entre as medidas interessantes nesse aspecto. Empregadores públicos e privados podem criar sistemas de incentivo ao compartilhamento de carona, uso de veículos como ônibus fretados, mudança de horários para deslocar pico de tráfego ou trabalho a distância. Diversos aplicativos vem desempenhando este papel mundialmente, como Uber Pool, Waze CarPool, BlaBlaCar, além de outros de alcance regional. O estado de Washington tem um programa de deslocamento de horário de pico bem-sucedido desde 1991, incluindo iniciativas de descontos em alugueis para lugares mais perto do trabalho, apoio financeiro para home-offices serviços de vans. O sistema de Eco-Milhagem, lançado em 2017 em Seul, Coréia do Sul, premia os cidadãos que reduziram suas viagens em comparação com o ano anterior. O metrô de Los Angeles anunciou planos para apresentar um sistema de pagamento que incentiva o uso de transporte público, não-motorizado e elétrico (MUSULIN K., 2018).

Somam-se ainda medidas de gestão de estacionamento, limitando áreas para estacionar, aumentando preços de referências e aumentando valor de acordo com tamanho do espaço utilizado e tempo de uso. A cidade de Nova York introduziu pela primeira vez um programa Park SMART em 2008 para precificar o estacionamento nas áreas comerciais a taxas variáveis. Seguindo os sucessos do programa (isto é, diminuindo a ocupação e a duração do estacionamento), a cidade de Nova York está atualmente planejando um programa atualizado. Cidades de médio porte vem reduzindo o número de vagas disponíveis (por exemplo, Buffalo, Hartford, Cincinnati) e outras cidades vem adotando tarifas muito altas (por exemplo, Londres e Sidney). Em julho de 2017, o prefeito da Cidade do México introduziu uma grande reforma na política de estacionamento e anunciou a limitação de vagas no código de construção da cidade, limitando as vagas de estacionamento de veículos particulares, exigindo estacionamentos obrigatórios para bicicletas e implementação de um fundo para melhorar o transporte públicos que os

incorporadores devem pagar à medida que se aproximam das cotas máximas de estacionamento nas zonas centrais (ITDP, 2017).

Zonas de baixa emissão (Low Emission Zones) são zonas com restrição à circulação de veículos de passageiros e/ou de cargas. Podem ainda ser associadas a zonas lentas, com tráfego com severas restrições de velocidade. Essas zonas foram introduzidas em diversas cidades, especialmente na Europa, com o total global de 241 cidades. Londres está implementando ainda uma Zona de Ultra-Baixa Emissão, essencialmente para estimular modais não-motorizados e elétricos e diminuir a poluição atmosférica (TFL, 2019). As restrições para carga, como por exemplo entregas fora do horário comercial, também podem reduzir congestionamentos e concentração de poluentes.

Essas ações de Planejamento de Mobilidade podem ainda ser integradas com Planos de Ação Climática, aumentando a resiliência aos fenômenos climáticos e diminuindo as emissões, como os adotados por New York e Londres.

3.1.3.2 Transporte Público Urbano

O relatório elaborado pela UN-HABITAT em 2013 (UNACLA, 2013) apresenta o status do transporte urbano em várias cidades no mundo, de forma comparativa. O transporte por caminhada é abundante em regiões menos desenvolvidas pela simples falta de opção de transporte urbano adequado e acessível. O transporte com bicicletas é frequente nos países asiáticos, embora tenha sido substituído pelo motorizado de duas rodas conforme ocorre o aumento de renda local. Por outro lado, o uso de bicicletas também é alto em países desenvolvidos como Holanda, Dinamarca e Alemanha, que já experimentam políticas públicas de incentivo a este modal desde a década de 1970. A Figura 16 apresenta os percentuais de transporte não-motorizado e motorizado (público e privado) em várias cidades do mundo.

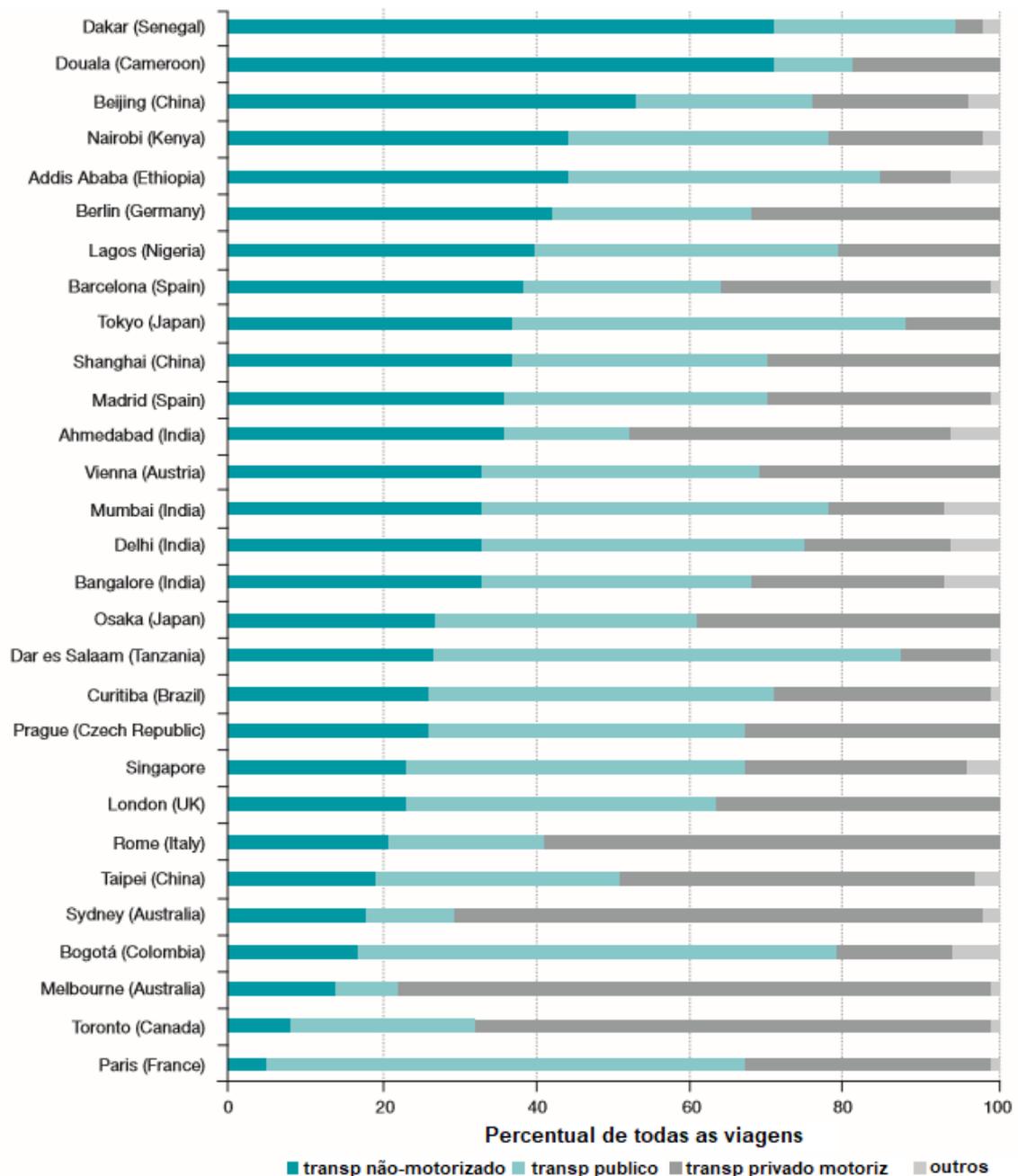


Figura 16 – Distribuição de transportes urbanos em cidades selecionadas.

Fonte UN-HABITAT, 2013

Enquanto os países da Europa Ocidental recebem investimentos no incentivo ao uso de transporte a pé e infraestrutura adequada para o modal ciclovitário, os países em desenvolvimento têm, em geral, uma política de investimentos voltada ao transporte particular motorizado, com forte precariedade nos modais não-motorizados e públicos. Nos países em desenvolvimento o transporte público caracteriza-se por uma regulação fraca, escassez de oferta, má qualidade e predomínio dos operadores do setor informal.

Em muitas cidades brasileiras, por exemplo, a forma imediata de atendimento à necessidade de transporte tem sido a aquisição direta de veículos para transporte quase sempre individual – inclusive ciclomotores, veículos de duas rodas com motores de dois tempos - gerando impactos na poluição atmosférica, perda de produtividade econômica e gerando maior consumo de combustível e de recursos econômicos na construção de infraestrutura, maiores gastos em saúde pública e congestionamentos que representam perda da qualidade de vida dos usuários do sistema de transporte (BALASSIANO, 2004). De acordo com o IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2011), a falta de políticas públicas para transporte de massa e mobilidade urbana, aliada a passagens cada vez mais caras, provocaram uma queda de cerca de 30% na utilização do transporte público no Brasil nos últimos dez anos. Em algumas cidades, dependendo do trajeto, sai mais barato usar moto ou carro do que o ônibus, metrô ou trem, ou simplesmente o trajeto não é atendido por transporte público.

Sistemas de BRT foram implantados na África do Sul, Colômbia, Brasil e Chile entre 2015 e 2018. Os benefícios econômicos do investimento nos transportes públicos incluem tanto a criação direta de emprego como o apoio indireto das atividades industriais, construção civil e outros setores.

A melhoria da qualidade do transporte público é, portanto, uma medida urgente e necessária para reduzir o transporte individual motorizado e amenizar os danos à sociedade. O transporte público precisa atender de modo eficaz à população, com conforto, pontualidade e ramificação suficientes para promover sua atratividade e consequente substituição do transporte individual pelo coletivo.

As taxas de crescimento anuais da propriedade de veículos vêm diminuindo em vários países como Alemanha, França, Itália e Japão. Nas economias em rápido crescimento, porém, como na Ásia e América Latina, esta taxa vem sofrendo alta permanente. Em 2010 havia 825 milhões de carros de passageiro no planeta. Destes, cerca de 70% se encontravam em países desenvolvidos (incluindo os em transição), enquanto apenas 30% se encontravam nos países em desenvolvimento, sobretudo na Ásia. Prevê-se que o número de veículos LDV's aumente para cerca de 1,6 bilhão em 2035 e mais de 2,1 bilhões em 2050 (UN-HABITAT, 2013).

Este aumento de frota demanda espaço nas cidades, piora o tráfego, implica maiores investimentos de curto prazo - notadamente em infraestrutura rodoviária – gerando um

efeito multiplicador de externalidades, pois cada novo investimento neste modal estimula novos participantes.

O transporte público realiza, ainda, o transporte de pessoas com menos veículos, menos energia, menos consumo de espaço e consequentes menos emissões totais de poluentes. O transporte público permite agrupar mais pessoas em menor espaço, reduzindo o total de veículo-quilômetro percorridos. Transportes públicos de alta capacidade como ferrovias e BRT's ampliam os benefícios já mencionado, impulsionando a queda na propriedade de veículos e incentivando a intermodalidade não-motorizada.

Governos nacionais e sub-nacionais vêm buscando aumentar a participação de transporte públicos, ampliando infraestruturas, integrando sistemas de bilhetagem, aumentando capacidade e confiabilidade, na competição com o transporte privado.

Sistemas de Metrô possuem globalmente linhas mais extensas que os sistemas de prioridade de ônibus, atendendo a mais de 53 milhões de passageiros anualmente em todo o planeta. Os sistemas de prioridade de ônibus – BRT's – surgiram como alternativa aos altos investimentos requeridos na infraestrutura ferroviária, destacando-se os mais recentes investimentos na Cidade do México (com 140km de extensão) e Dublin, que remodelou seu sistema em 2017 (KELLY O., 2017).

Os sistemas de bondes e trens leves elétricos (VLT's), por sua vez, vêm experimentando um renascimento contínuo desde os anos 80. Adis Abeba (Etiópia), Abuja (Nigéria), Samarkand (Uzbequistão), Aarhus (Dinamarca) foram implementações deste modal, destacando-se a primeira como pioneira na África Subsaariana, realizada em 2015.

Cidades de relevo montanhoso podem ainda utilizar teleféricos, destacando-se as soluções mais recentes adotadas em Medellín (Colômbia), que funciona como alimentador do metrô, e outras cidades na América Latina (Rio de Janeiro, Caracas, Guayaquil, Santo Domingo e La Paz), Ásia (Busan e Yeosu na Coreia do Sul, Taiwan, Hong Kong), África (Constantine) e Europa (Londres, Koblenz, Bolzano).

Um aspecto relevante que incentiva o uso do transporte público é sua intermodalidade, face à natural complexidade em atender as mais ramificadas necessidades de transporte de cada usuário. Sistemas intermodais conectados a redes formais e informais, agregando modais não-motorizados, transporte compartilhado e vias acessíveis promovem alternativas ao transporte individual motorizado e equidade aos grupos socialmente vulneráveis, como idosos, deficientes, crianças e pessoas com menor poder aquisitivo, especialmente nos países em desenvolvimento, onde há maior heterogeneidade no acesso

à mobilidade urbana. Sistemas de intermodalidade recentes permitem alugar uma bicicleta na última milha (Holanda), acessar compartilhamento de carros (Dublin) e compartilhamento de bicicletas (Taipei). A intermodalidade, no entanto, de modo geral extrapola limites de uma cidade, exigindo uma integração através de um sistema intermunicipal, sob direção de uma autoridade regional.

O incentivo financeiro aos usuários é outro aspecto que pode aumentar a atratividade do transporte público. Inicialmente adotado por diversas cidades como Paris, Bruxelas, Lyon, Seul e Kaohsiung (Taiwan) em resposta a eventos de picos de poluição (LE FIGARO, 2018; THE WEATHER CHANNEL, 2018; VILLE DE LYON, 2018) o transporte gratuito pode receber incentivos permanentes de financiamento, especialmente em conjunto com um financiamento nacional – fundamental para que as cidades alcancem bom níveis de qualidade e capacidade em seus transportes públicos. Os governos nacionais da Colômbia, México, Índia, África do Sul e Brasil introduziram programas para financiar, pelo menos parcialmente, a construção de novos sistemas de transporte coletivo. A parceria MobiliseYourCity está apoiando o desenvolvimento de novos programas nacionais de investimento em transportes públicos na Indonésia e no Peru. O Ministério dos Transportes da Indonésia, por exemplo, fornece 635 ônibus em 17 províncias para apoiar o desenvolvimento do transporte público ao alocar US\$ 307 milhões em seu orçamento de 2018 para o transporte terrestre (KPPI, 2017).

A seguir são relatados compromissos e metas de diversas cidades com foco na melhoria de seu transporte público, com dados consolidados pelo relatório SloCAT:

- Kuala Lumpur, Malásia, inaugurou uma nova linha de transporte rápido em massa (BRT) de 51 km de extensão e 31 novas estações em julho de 2017, resultando em um aumento de 3,7% no número médio de passageiros do transporte público. O governo nacional planeja vários outros projetos ferroviários para atingir uma meta de compartilhamento modal de transporte público nacional de 40% até 2030.
- O Plano Diretor de Transportes Públicos de Ruanda, em 2013, prioriza o transporte público em cinco corredores exclusivos para ônibus, totalizando 92 km, e planeja descontinuar o uso do transporte privado até 2040.
- Cingapura quer aumentar sua participação no modo de transporte público durante o período de pico de 66% (2015) para 75% em 2030.
- O governo de New South Wales anunciou um concurso para o sistema de VLT de Sydney.

- Em 2016, o Chile anunciou que, a partir de 2018, o sistema de metrô de Santiago - o segundo maior da América Latina depois da Cidade do México - seria alimentado por energia solar fotovoltaica (42%) e energia eólica (18%).
- A China, em sua apresentação de NDC de 2015, visa promover a participação do transporte público em viagens motorizadas em cidades de grande e médio porte e alcançar uma participação de 30% até 2020.
- Política Nacional da Indonésia tem como objetivo aumentar a participação do modo de transporte público em 32% até 2019.

3.1.3.3 Transporte Ferroviário de Passageiros e Carga

O transporte ferroviário de passageiros e cargas é um elemento fundamental na mitigação das emissões de carbono ao substituir viagens realizadas pelo modal rodoviário. Este modal apresenta um baixo nível de externalidades como uma menor emissão de poluentes e de CO_{2e} por tonelada ou passageiro transportados. Seus requisitos de construção, ao serem mais restritivos que os do modal rodoviário, possuem ainda implícita resiliência maior a eventos de clima extremo.

A demanda por este setor vem se ampliando especialmente na África, Oriente Médio e América Latina. Seu crescimento também está relacionado com a aumento de demanda por mobilidade interurbana, bem como escoamento de cargas e ainda competindo com transportes de passageiros em longas distâncias, particularmente com trens de alta velocidade. Estes trens de passageiros de alta velocidade utilizam entre 10 a 20% da energia por passageiro/km quando comparados com o modal aéreo, podendo ainda receber eletricidade de fontes renováveis. O desenvolvimento de redes ferroviárias ainda libera as congestionadas redes rodoviárias.

A ampliação das redes passa ainda por ajustes transfronteiriços na padronização das linhas e bitolas, permitindo o tráfego das composições entre países. A Comissão Europeia, por exemplo, estabeleceu políticas para criação da RTE-T – Rede Europeia de Transportes, interligando ferrovias, estradas e vias navegáveis, fomentando normas técnicas em comum. A Rede Ferroviária Transasiática, por sua vez, compreende 117.000km de linhas férreas servindo a 28 países, realizando ligações internas na Ásia e com a Europa. A Argentina se comprometeu em ampliar sua rede ferroviária para mercadorias em 2017, quintuplicando sua capacidade. A Austrália prevê um investimento de US\$6,5 bilhões desde 2017 também para frete neste modal. O Quênia inaugurou um trecho de 480km

com intenção de transferir até 30% do modal rodoviário (DUGGAN B.; MUKTAR I., 2017). O Brasil anunciou a intenção de expandir sua rede ferroviária de cargas com investimentos de mais de US\$1bilhão até 2020 sob forma de concessões (AGÊNCIA BRASIL, 2019) .

A intermodalidade pode superar as barreiras de uso deste modal. No caso de passageiros urbanos e interurbanos a ligação com a última e a primeira milha é parte fundamental desse estímulo. A localização central das estações no meio urbano também integra essa política para passageiros, bem como facilita a intermodalidade de cargas. Investimentos em terminais intermodais estão também em expansão, destacando-se o Terminal Arken Combi no Porto de Gotemburgo, na Suécia, iniciado em dezembro de 2017 que será servido por 12 trens e 200 caminhões por dia, o porto de Hamburgo, que aumentou sua interligação ferroviária com movimentação diária de mais de 200 trens, o Terminal Intermodal de Jundiaí, no Brasil, que reduziu o tempo de transporte de carga de 24 horas para 16 horas, com benefícios ambientais diretos, uma vez que um trem de 21 vagões transporta o equivalente a 42 caminhões (MRS, 2017). Interligações com modais aquaviários podem ainda contribuir para desobstruir as vias rodoviárias, uma vez que sob aspecto de emissões de carbono eles são no máximo equivalentes ao ferroviário.

O próprio modal ferroviário pode ainda receber ações de descarbonização: a eletrificação de ferrovias atingiu 81% na Coreia, 63% no Japão, 61% na Índia e 46% na China. As ferrovias da Áustria, Dinamarca, Finlândia, Holanda, Noruega, Suécia e Suíça estão operando com eletricidade 100% renovável. A Índia lançou seu primeiro trem local movido a energia solar. Em setembro de 2018, o primeiro trem a hidrogênio do mundo entrou em serviço na Alemanha (ALSTOM, 2018). Diversos governos nacionais e empresas de logística também vêm assumindo compromissos de descarbonização de suas linhas férreas.

3.1.3.4 Modais Não-Motorizados

Globalmente, mais de um terço de todas as viagens são realizadas a pé ou de bicicleta. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a Nova Agenda Urbana (NUA) deixam claro o papel dos modais não-motorizados e incentivam o direcionamento das políticas públicas para este setor. Estes documentos promovem o acesso universal à mobilidade urbana e sistemas de transportes diversos, com segurança, equidade de idade e gênero, integrando planejamentos de mobilidade e planos urbanísticos e territoriais.

Este incentivo será dado através de aumento de infraestruturas de mobilidade urbana econômica e fisicamente acessíveis, sustentáveis, seguras e eficientes e ainda opções não-motorizadas, em detrimento do transporte motorizado privado (UNITED NATIONS, 2017).

Além da não-geração de poluentes os modais não-motorizados possuem co-benefícios como promoção da saúde, pela atividade física, inclusão social, por ter baixo ou nenhum custo, integração social e melhoria geral na qualidade de vida.

Diversos governos nacionais e cidades vêm inserindo a caminhada e o ciclismo no seu planejamento de mobilidade urbana e consequentes investimentos. Paris vem reordenando seu espaço urbano com foco nestes modais, restringindo o tráfego de veículos motorizados. Terrasa e Barcelona também vem adotando medidas de ruas completas e restrição de tráfego. Boston prossegue com instalação de novas calçadas e ciclovias. O Reino Unido publicou em abril de 2017 um plano de 1,4 bilhão de euros para aumentar o ciclismo e a caminhada, visando dobrar o ciclismo até 2025. Bordeaux, França, adotou um novo Plano Cicloviário de 70 milhões de euros no horizonte 2017-2020, com o objetivo de aumentar a parcela modal para 15% até 2020. Toronto, Canadá, aprovou seu Plano Cicloviário de 10 anos em meados de 2016, que identifica cerca de 252 km de novas infraestruturas. O governo de Ontário, Canadá, dobrou seu investimento (para US\$ 74 milhões) em modal cicloviário. Seattle, Estados Unidos atualizou seu Plano Diretor de Pedestres em março de 2017, com US \$ 22 milhões investidos em melhorias nas calçadas (SEATTLE GOVERNMENT, 2017).

A Holanda, já destaque nestes modais, especialmente no uso de bicicletas, alocou 100 milhões de euros em 2018 para acelerar a implantação de mais ciclovias, além de permanecer buscando integrar os co-benefícios para a saúde, clima e sociedade, experimenta o uso de materiais reciclados no pavimento de ciclovias e energia renovável na iluminação e cogeração (SOLAROAD, 2018; THE GUARDIAN, 2018). A Alemanha implantou uma política de proteção climática aumentando o investimento em ciclovias. O governo nacional da Colômbia sinalizou com possibilidade de financiar investimentos em suas cidades nestes modais. Nairóbi, Kenya, estabeleceu metas de incremento de caminhada e uso de bicicletas. Helsinque estabeleceu meta de ampliação deste modal, assim como Eslovênia, Dusseldorf e Viena.

Co-benefícios dos modais não motorizados ainda incluem a valorização econômica dos locais onde são estimulados, o aumento da segurança com redução da criminalidade,

aumento da segurança viária para os ciclistas e pedestres e ganhos para saúde já mencionados. Além do transporte individual a modalidade de carga cicloviária também vem sendo estimulada, com os mesmos co-benefícios, do transporte de passageiros. A Figura 17 mostra ainda a relação entre a capacidade de uma via de 3,5m de largura para diversos modais e sua pegada de carbono (SLOCAT, 2018) .

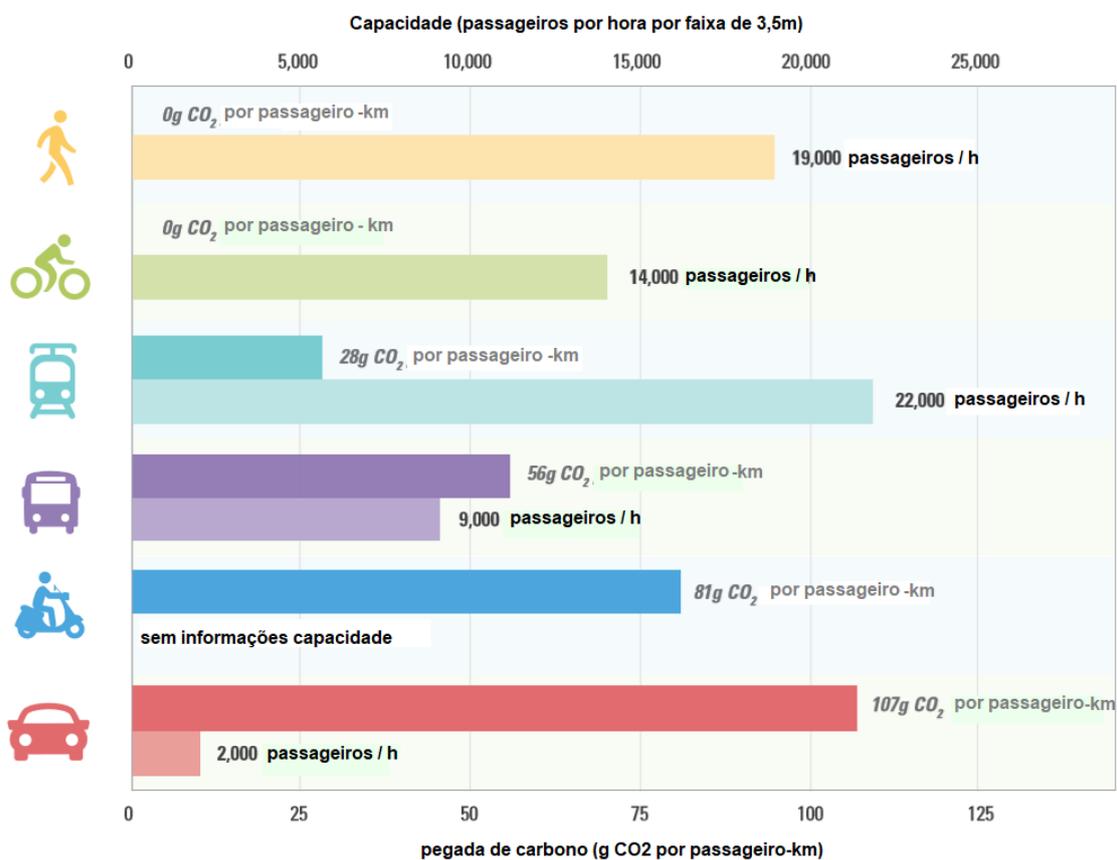


Figura 17 – Capacidade e pegada de carbono de diversos modos de transporte.

Fonte (SLOCAT, 2018)

O uso da caminhada e de bicicletas está fortemente vinculado à existência de bairros e cidades de alta densidade populacional e de uso misto, tornando as distâncias de viagens mais curtas e ainda aumentando também a eficiência dos transportes públicos (UITP, 2015) . O relatório da SloCAT (2018) aborda de forma direta este aspecto, definindo a densidade, a conectividade e os destinos a curta distância a pé e de bicicleta como pontos fundamentais para sociedades tranquilas e cicláveis, lembrando que o potencial de redução integrando os modais não-motorizados com o transporte público é muito maior e pouco explorado.

3.1.3.5 Novos Serviços de Mobilidade

As dificuldades apresentadas na mobilidade urbana fomentaram novas soluções impulsionadas pela maior facilidade de obtenção de dados e pela integração com o setor de tecnologia. Este tópico aborda as soluções mais recentes de mobilidade que se destinam a dar um uso mais eficiente de veículos e serviços de transporte. A facilidade de acesso a essas tecnologias, no entanto, deve ser observada para que elas não criem o efeito rebote de desestímulo ao transporte público tradicional, cuja velocidade de implantação e adaptação a novas demandas é mais lenta.

A seguir são apresentadas as definições destes novos serviços de mobilidade (SLOCAT, 2018):

- Mobilidade compartilhada (Shared Mobility): são serviços e recursos de transporte que são compartilhados entre os usuários, simultaneamente ou um após o outro.
- O compartilhamento de bicicletas (Bikesharing) é um serviço em que as bicicletas são compartilhadas entre os membros de um sistema. Normalmente, a organização de compartilhamento de bicicletas possui e opera uma frota de bicicletas. Cada bicicleta é compartilhada por pessoas diferentes em momentos diferentes.
- O compartilhamento de carros (Carsharing) é um serviço em que os indivíduos geralmente acessam veículos ao se unirem a uma organização que mantém uma frota de carros e caminhões leves. Normalmente, o operador de compartilhamento de carros fornece gasolina, estacionamento e manutenção. Geralmente, os participantes pagam uma taxa cada vez que usam um veículo.
- O compartilhamento de caronas (Ridesharing) facilita viagens compartilhadas entre motoristas e passageiros com pares de origem e destino semelhantes (também conhecidos como caronas).
- As empresas de redes de transporte / transporte (Ridesourcing / transportation network companies - TNCs) fornecem serviços de transporte pré-programados e sob demanda, que conectam motoristas de veículos pessoais com passageiros. Aplicativos de smartphones são usados para reservas, classificações (de motoristas e passageiros) e pagamento eletrônico.
- Microtransit é um serviço de transporte privado habilitado por tecnologia que geralmente usa ônibus ou vans e é caracterizado por horários fixos, operações de despacho, rotas fixas, roteamento flexível ou uma combinação desses.

- Shared Automated Vehicle (SAV) é um veículo automatizado compartilhado por mais de um usuário. Isso pode incluir as opções “pooled” e “non-pooled”; "Em pool" refere-se a um veículo sendo compartilhado por vários usuários não relacionados em uma única viagem para o mesmo destino, e "sem pool" refere-se a um veículo compartilhado por vários usuários individuais que fazem viagens separadas e sequenciais.

A China reforçou sua regulamentação de estímulo para veículos compartilhados, por exemplo, adotando vagas de estacionamento exclusivas ou gratuitas, o que gerou atratividade para players como BMW e Daimler também fornecerem este tipo de serviço. O sistema de compartilhamento de veículos elétricos de Paris operado pela Autolib encerrou sua atividade em julho de 2018 e passa por uma reestruturação, passando a ser operado em outro modelo e por outra empresa em dezembro de 2018, depois de mais de 7 anos de aprendizado. A prefeitura de Madri e o governo da Alemanha implementaram leis específicas para compartilhamento de veículos elétricos.

Em Seattle, algumas vagas de estacionamento na cidade são designadas para veículos de compartilhamento de carros e Seul designou 1.600 vagas em 2016 para serviços de compartilhamento de carros, aumentando para 2.400 em 2018. Bremen, na Alemanha, precursora do compartilhamento de carros com 10.000 usuários, possui 14 estações de compartilhamento que combinam carros, transporte público e bicicletas. Nova York anunciou em maio de 2018 que vai retirar 300 vagas de estacionamento público e reservá-las exclusivamente para carros de empresas de compartilhamento como a Zipcar (NIR S., 2018).

O planejamento de vagas para veículos adotado pelas cidades pode simplesmente restringir o número de vagas ou ainda destinar vagas específicas para carros compartilhados. Essa mobilidade compartilhada, por sua vez, precisa ser divulgada e incentivada publicamente pelas agências de divulgação institucional do governo. O governo dos EUA, por exemplo, iniciou um programa piloto de troca de frota de veículos por compartilhamento em Boston, New York e Washington DC. Fundos federais para estudos de viabilidade econômica, incentivos fiscais projetos piloto também podem ser adotados. Alguns modelos adotados precisam ainda de ajustes legais, como o “modelo de subtração”, onde é destinada uma verba pública direta para manutenção de um serviço de compartilhamento em locais onde este não seria viável economicamente, mantendo a operação do mesmo. Em realidade, a própria compreensão da mobilidade urbana dos

governos nacionais e sub-nacionais precisa ser ajustada para que verbas destinadas a ações de melhoria para uma mobilidade sustentável não sejam compreendidas como fundos perdidos ou até mesmo não-legais. O benefício de ações de mobilidade sustentável pode ser mensurado em dados de tempo de trajeto, indicadores de saúde pública, entre outros (DURABLE, 2018).

O licenciamento público das atividades de mobilidade, com definição de vagas específicas, compartilhamento dos dados de viagens pelas empresas e regras que auxiliem a própria administração pública em seus planejamentos futuros são medidas desejáveis. São Paulo estabeleceu critérios para operação de serviços de viagem compartilhada tipo Uber, exigindo dados, estabelecendo padrões de veículos e impondo taxas por quilômetro. A Estônia e a Jordânia adotaram também recentes regulamentações. O Reino Unido, após proibir o serviço por vários meses, adotou uma nova rodada de regulamentações a partir de junho de 2018. Xangai estabeleceu uma meta no início de 2016 para o compartilhamento de carros atingir 8.000 pontos de atendimento, uma frota de 20.000 Veículos Elétricos e 30.000 postos de carga até 2020. A Holanda pretende ter 100.000 carros compartilhados na estrada em 2018. O compartilhamento de carros faz parte dos Green Deals, um programa no qual o governo holandês promove iniciativas inovadoras para o crescimento econômico sustentável. Desde o início desta ação, em 2015, o número de carros compartilhados cresceu 55% (De Green Deals, 2017).

Conforme já citado neste tópico, os novos serviços estão fortemente vinculados ao uso massivo de dados de transporte. Esses dados podem ser incorporados aos planejamentos públicos de transporte e de urbanismo, que por sua vez tem grande dificuldade de manter estruturas de coleta de dados próprias. Esse compartilhamento pode beneficiar os dois lados: políticas melhor direcionadas para viabilidade econômica e disponibilidade de maior leque de opções de mobilidade à população.

Na China o aplicativo de ridesourcing Didi possui mais de 400 milhões de usuários em 400 cidades. No Sudeste Asiático destaca-se o Grab, que engloba bicicletas, scooters, carros e ônibus em 168 cidades. Os aplicativos Lyft, Cabify e Uber possuem alcance mundial. A empresa 99, no Brasil, possui 18 milhões de usuários cadastrados e novos aplicativos surgem a cada dia. O Go-Jek na Indonésia agrega passageiros e frete com uma frota cadastrada de mais de 1 milhão de motocicletas. A mais recente tendência é a aquisição de empresas de compartilhamento de bicicletas por empresas de terceirização de viagens para o desenvolvimento de plataformas de mobilidade mais amplas. Em abril

de 2018, a Uber adquiriu a JUMP, empresa de bicicletas sem bicicletário fixo (dockless), por US\$ 100 milhões, e em julho de 2018, a Lyft adquiriu a Motivate, empresa que opera os maiores sistemas de bicicletas nos Estados Unidos, incluindo o Citibike de Nova York, em Washington, DC Capital Bikeshare, e Portland's Biketown, por um valor estimado US\$ 250 milhões (SMALL A., 2018).

Empresas de compartilhamentos estão em franca expansão, especialmente nos mais recentes mercados da Ásia e América do Norte. Mesmo no mercado Europeu, já utilizador deste modelo de mobilidade há mais tempo, houve expansão de novos modos de oferta, como por exemplo uso sem bicicletários ou incorporando bicicletas elétricas. A Mobike, uma empresa de compartilhamento de bicicletas sem bicicletário, cujas bicicletas integraram o sistema de posicionamento global (GPS), sem correntes e pneus sem câmara, é um exemplo dessa tendência. No final de 2017, a Mobike havia colocado 8 milhões de bicicletas em mais de 200 cidades em todo o mundo e arrecadou US \$ 600 milhões. Em 2018, a Mobike foi adquirida pela Meituan Dianping, a maior provedora on-demand de serviços on-line na China por US \$ 2,7 bilhões (CADELL C., 2018). Na África os sistemas ainda estão na fase de implantação: a cidade do Cairo lançou um serviço de compartilhamento de bicicletas com o apoio do Programa Nações Unidas para Assentamentos Humanos (UN-HABITAT, 2013). Mais sistemas estão sendo testados em bairros e áreas menores (por exemplo, bairros, campi de universidades) de uma cidade, e sistemas de compartilhamento de bicicletas sem bicicletários estão entrando no mercado africano também. O compartilhamento de patinetes convencionais e elétricos também se soma a essas iniciativas, tendo iniciado em 2012 em San Francisco e hoje tendo alcance global com as empresas Bird, Lime e outras. No geral, os patinetes elétricos têm o potencial de atrair grupos de usuários mais diversificados que os de bicicletas, no entanto o fato de não exigirem uma ciclovia pode gerar eventualmente conflitos com pedestres em locais de caminhada e este aprendizado se encontra em construção (LEGAVOX, 2019; SERVICE-PUBLIC FRANÇAISE, 2018; TRIBUNE DE GENÈVE, 2019). Encontra-se ainda também em fase de testes a utilização de veículos autônomos tanto para transporte tipo ridesharing quanto para possível carsharing. Empresas neste setor estão em franca atuação e setores de automação estão sendo criados em players já conhecidos do mercado, como a Uber e a Alstom, grande fabricante francês com expertise no modal ferroviário (ALSTOM, 2017; UBER CO., 2019).

Ainda há incerteza sobre o impacto nas emissões de serviços de compartilhamento de caronas pagas, pois sua facilidade de uso e comodidade pode ser concorrente com modais não-motorizados em trajetos curtos. Estudo realizado nos EUA constata que até 61% das viagens feitas por este modal compartilhado motorizado ou não seriam feitas ou usariam outros modais, corroborando a possibilidade de efeitos negativos de possível aumento de viagens (BLIS, 2017). O compartilhamento de bicicletas Paris, Vélib, tem a intenção de reduzir as emissões de GEE em 25% até 2020 como parte do Plano Climático de Energia da cidade. A Mobike afirma que na China o uso de suas bicicletas economizou 540.000t CO₂ e dobrou a participação modal do ciclismo de 5,5% para 11,6% de 2016 para 2017, porém são dados autodeclarados que podem guardar ressalvas (MOBIKE, 2017). O compartilhamentos de carros, por sua vez, já traz diversos relatos de desestímulo à compra de novos veículos, notoriamente nos EUA e Europa onde o serviço está amplamente disponível, porém os dados exatos totais de redução de emissões também ainda guardam grandes incertezas (SHAHEEN et al., 2006).

3.1.3.6 Economia de Combustível

As emissões de poluentes atmosféricos e de gases de efeito estufa no transporte decorrem principalmente do uso de combustíveis fósseis. O recente escândalo do Diesel Gate protagonizado pela Volkswagen em 2015 levou a descoberta de manipulações de resultados de emissões de motores também em outros fabricantes como Alfa Romeo, Chevrolet, Dacia, Fiat, Hyundai, Jaguar, Jeep, Land Rover, Nissan, Suzuki, Audi, Mercedes, Opel, Porsche e Renault (EXAME, 2016). As estimativas de crescimento de frotas para passageiros e cargas também são intensas, especialmente nos países em desenvolvimento. A economia de combustível, ou seja, a melhorias da eficiência energética destes veículos é, portanto, caminho de mitigação de emissões. Essas tecnologias devem ser inseridas no já citado modelo A-S-I, otimizando os resultados deste desenvolvimento tecnológico. A Iniciativa Global de Economia de Combustível (The Global Fuel Economy Initiative - GFEI) mostrou que com as tecnologias de custo efetivo existentes, é possível dobrar a média da economia de combustível de veículos leves globalmente até 2030 para novos veículos leves e em 2050 para todos os veículos leves (denominada meta *50by50*). Isso inclui o uso de materiais aprimorados e aerodinâmica e novas tecnologias, como motores start-stop, frenagem regenerativa e motores híbridos ou totalmente elétricos (GFEI, 2018).

Algumas estratégias adotadas principalmente por governos nacionais são direcionadas para essa melhoria energética. A etiquetagem veicular classifica os veículos de acordo com níveis de eficiência no consumo de combustível e emissões de CO₂. Os EUA adotam desde a década de 1970 padrões de consumo. Mesmo países de economias em desenvolvimento já adotam a etiquetagem, ainda que por vezes voluntária, como Chile, Brasil, Tailândia e Vietnã.

Incentivos fiscais vinculados à eficiência energética e emissões de CO₂ também são adotados por diversos países. Outros países, incluindo Áustria, Chile, Dinamarca, França, Ilhas Maurício e Cingapura, desenvolveram um sistema de bonificação de taxas que fornece subsídios para os veículos mais eficientes e impostos adicionais para os menos eficientes. Em janeiro de 2018, Cingapura revisou seu sistema tarifário para cobrir não apenas o CO₂, mas também quatro outros poluentes, como uma abordagem importante para reduzir a poluição do ar e os impactos da mudança climática; a sobretaxa para um veículo é determinada pelo seu poluente de pior desempenho (SINGAPORE GOVERNMENT, 2017). A Suécia implementou medidas para uma arrojada meta de reduzir as emissões do transporte em 70% até 2030 em comparação com 2010.

A União Europeia tem a meta mais ambiciosa (mais baixa), de 95 gCO₂ / km até 2021 para veículos de passageiros. Os Estados Unidos e o Canadá têm uma meta de 99 gCO₂ / km para 2025. A Coreia do Sul tem uma meta de 97 gCO₂ / km para 2020, enquanto a meta da China para 2020 é de 117 gCO₂ / km (SLOCAT, 2018).

Veículos pesados também vêm recebendo padrões de emissões e consumo desde 2012. Canadá, China, Japão, Estados Unidos, e, mais recentemente, a Índia aprovaram programas de economia de combustível de HDV (high-duty vehicle), enquanto a União Europeia, o México e a Coreia do Sul estão desenvolvendo seus programas.

O tamanho dos veículos tem um impacto significativo nas emissões de CO₂. Uma tendência tem sido uma mudança global em direção aos utilitários esportivos (SUVs), que tendem a ter tamanhos similares aos sedãs, mas são mais altos e pesados. A quota de mercado dos SUVs triplicou na última década. Além disso, os veículos elétricos com bateria e híbridos tendem a ser mais pesados devido ao peso da bateria.

3.1.3.7 Mobilidade Elétrica

Os veículos rodoviários com motores elétricos (VE's), que surgiram juntamente com os primeiros automóveis e foram rapidamente substituídos pelos motores à combustão, ressurgem a partir dos anos 2010. A frota mundial, praticamente inexistente em 2010, passou para 1 milhão de veículos em 2015, 2 milhões em 2016 e quase chegou em 3 milhões ao fim de 2017.

Um motor elétrico é mais eficiente que motor à combustão, mas a efetiva redução de emissões de CO₂ só pode ser alcançada se a rede de eletricidade for descarbonizada. Emissões de poluentes diretas, no entanto, são fortemente reduzidas durante sua vida útil – devendo-se estas mais fortemente às emissões da matriz elétrica alimentadora. A descarbonização da matriz elétrica vem se acelerando de forma mais rápida que a penetração dos VE's, como já mencionado. Estudos de emissões considerando todo o ciclo de vida de um veículo elétrico demonstram sua menor pegada de carbono, mesmo nos níveis atuais de carbonização da eletricidade (DURABLE, 2018). As baterias utilizadas, por sua vez, apresentam externalidades ambientais significativas, especialmente ligadas ao uso de níquel e lítio, que ainda demandam aprofundamento na tecnologia de reciclagem e reuso.

Como mostra o exemplo da Califórnia, alguns dos principais impulsionadores de políticas dos VEs foram os padrões para os fabricantes de automóveis, economia de combustível e metas de zero emissões. Diversos países adotaram incentivos e isenções fiscais para os EVs e os introduziram em frotas de transporte público e serviços de compartilhamento de carros, o que abre um enorme potencial para reduzir os níveis de propriedade de automóveis e os custos de transporte, co-benefícios importantes desta modalidade de mitigação.

Diversos fabricantes como a Volvo e a BMW anunciaram que só produzirão veículos elétricos ou híbridos a partir de 2019 e 2020, respectivamente. A Tesla, lançou em 2018 seu modelo de menor preço – Model 3 - na contínua expansão de seus produtos, exclusivamente elétricos. Os governos de Suécia e França anunciaram o fim da fabricação de veículos à combustão no horizonte até 2040 (NEWS, 2018; THE GUARDIAN, 2017). Os veículos de transporte coletivo já possuem histórica eletrificação, onde a utilização nos bondes é seu primeiro registro. Os bondes de pequena capacidade passaram a ter diversos vagões e maior capacidade, sendo denominados VLT's – veículos leves sobre trilhos, leves em uma comparação com o modal ferroviário tradicional. Os ônibus

alimentados por rede aérea, denominados trólebus, também já possuem uso consagrado e vem experimentando um renascimento, com novos fabricantes e adoção de veículos movidos à bateria, independentes de alimentação durante o trajeto. Em Edimburgo, no Reino Unido, os primeiros ônibus públicos totalmente elétricos começaram a funcionar em outubro de 2017. A Cidade do Cabo, na África do Sul, recebeu seus primeiros dez ônibus elétricos no segundo semestre de 2017, e a partir daí os ônibus elétricos serão expandidos para Windhoek na Namíbia e Maurício nos próximos anos. Santiago, no Chile, incorporou os dois primeiros ônibus elétricos em sua frota de transporte público em novembro de 2017, com 90 desses ônibus em circulação até o final de 2018. Shenzhen, China, substituiu todos os seus ônibus (16.539) por VEs no final de 2017, tornando-se a primeira cidade do mundo com uma frota de ônibus totalmente elétrica (HANLEY S., 2018). Apoios financeiros para aquisição de veículos e estações de carregamento foram também implementadas por Reino Unido e Alemanha.

Os veículos tipo LDV's elétricos recebem também incentivo para compra em diversos países: a Noruega oferece subsídios no preço final, além de subsídios adicionais em cada cidade. A Geórgia reduziu impostos de importação. A Ucrânia adotou um imposto diferencial experimental. A Argentina reduziu tarifas de importação. A Áustria oferece também benefícios financeiros diretos para compra. Cingapura também oferece benefícios diretos. Uzbequistão e Quirguistão também reduziram taxas de importação. Os EUA adotaram subsídios que foram encerrados a partir de 200.000 VE's fabricados.

Várias cidades possuem sistemas de carsharing elétricos: Paris, Madrid, Cingapura, Amsterdã, Stuttgart entre outras.

Bicicletas e triciclos elétricos também estão em franca expansão, com vendas aos consumidores, bikesharing, e incentivos como subsídios para aquisição na Suécia e França.

Os governos vêm estabelecendo diversas metas para fomento do modal eletrificado: metas de inserção de veículos na frota nacional (China, Costa Rica, Malta, Malásia, Nova Zelândia, Portugal e Sri Lanka), metas de proibir fabricação de veículos com combustíveis fósseis (Noruega, Holanda, França, Slovênia, Irlanda, Escócia, Taiwan e Reino Unido) e metas para inserção de ônibus elétrico no transporte público urbano (Seattle, Londres, Barcelona, Cidade do Cabo, Los Angeles, Polônia, Cidade do México, Holanda, Barcelona).

O Ministério dos Transportes da China identificou o frete verde como prioridade máxima em sua 13ª Estratégia Quinquenal e visa reduzir as emissões de CO₂ em 7% a 8% até 2020 e está estimulando fortemente a sua adoção pelas empresas. Empresas como o Deutsche Post DHL Group anunciaram planos de descarbonização a longo prazo, para 2050, e introduziram soluções de tecnologia, incluindo caminhões de tração elétrica, e-scooters e bicicletas de carga City Hub. A FedEx adicionou 292 veículos elétricos para a sua frota (no total 2.100) em 2017. UPS atualmente tem 300 veículos totalmente elétricos em operação. A Daimler entregou os primeiros caminhões pequenos elétricos em 2017 e a VW trabalha em seu desenvolvimento (JAMES S., 2018). A Amazon iniciou o pioneiro serviço de entregas denominado Prime Air com veículos aéreos elétricos e autônomos (drones) em centros de desenvolvimento nos EUA, Reino Unido, Áustria, França e Israel (AMAZON, 2018).

A mobilidade elétrica também está associada ao desenvolvimento e ampliação das estações de carregamento, apontadas como um dos gargalos para conveniência dos EV's. Sua forma de tarifação e modelo variam entre países e cidades, especialmente por serem em muitos locais uma nova forma de consumo de energia, com rápido crescimento. China e Alemanha assumiram compromissos nacionais de implantação de estações e vias nacionais eletrificadas.

Além das estações de recarga, as baterias também são gargalos na expansão dos VE's. A tecnologia se encontra em constante aperfeiçoamento principalmente para aumentar a autonomia dos veículos, diminuir o tempo de recarga e reduzir os custos de produção. Em 2017, o preço médio da bateria era de US\$ 209/kWh, e prevê-se que caia abaixo de US\$ 100/kWh em 2025 e US\$ 70/kWh em 2030 (BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE, 2018), aumentando a competitividade frente aos veículos à combustão.

A redução de emissões total proporcionada pelos veículos elétricos depende de uma análise de seu Ciclo de Vida. Estudos atuais consideram que EV's emitem 39% menos CO₂ por quilômetro do que os veículos à combustão, em média, dependendo do tipo de veículo e da matriz elétrica do país (BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE, 2018). A pesquisa sobre os impactos das emissões totais dos VE's deve incluir a fabricação dos veículos e baterias, sua disposição após o uso, o impacto durante o uso tanto na redução de CO₂ quanto de poluentes atmosféricos diretos e ainda os co-benefícios para a saúde pública (DURABLE, 2018). Esta pesquisa ainda está em fase inicial, com grande variação de condições de contorno de acordo com cada caso e local de emprego destes veículos.

3.1.3.8 Uso de Energias Renováveis

O setor de transportes pode utilizar combustíveis 100% renováveis líquidos, misturas de combustíveis fósseis com renováveis líquidos, biogás ou ainda eletricidade gerada por fontes renováveis. Pode-se ainda utilizar hidrogênio, desde que proveniente de fonte de energia renovável. A participação dos renováveis, no entanto, ainda é insipiente, com apenas 3,1% na matriz energética dos transportes (Figura 18).

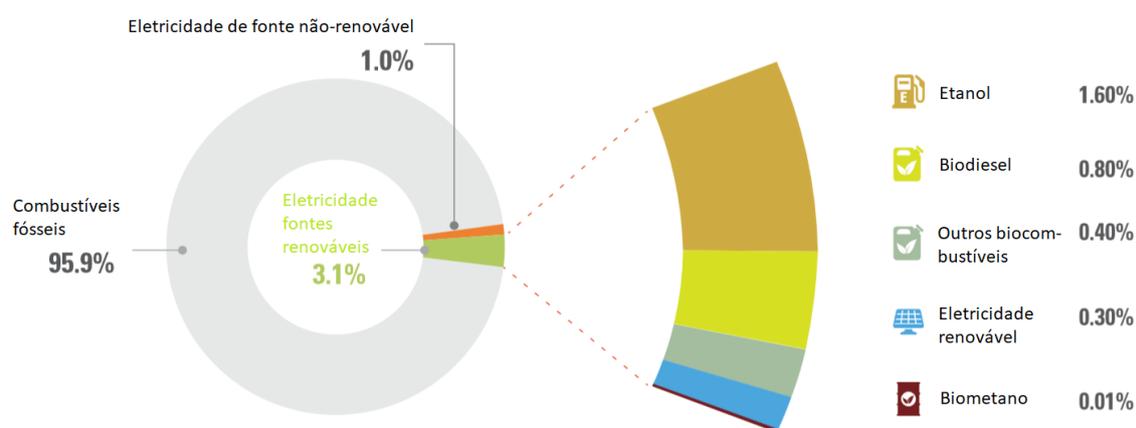


Figura 18 – Participação da energia renovável nos transportes em 2015.

Fonte (SLOCAT, 2018)

No transporte rodoviário, o uso de energia renovável foi estimado em 4,2%, essencialmente através de biocombustíveis. O modal ferroviário pode incorporar biocombustíveis ou eletricidade renovável em frotas movidas a eletricidade. Em 2015 9% da energia deste modal provinha de fontes renováveis. Aviação e navegação continuam sendo os subsetores mais difíceis de descarbonizar. Os aviões podem usar biocombustíveis misturados ao combustível de aviação tradicional e os navios podem usar biocombustíveis ou outros combustíveis renováveis em seus motores ou usar energia eólica ou energia solar.

Mais de 60 países já adotam políticas de incentivos ao uso de biocombustíveis essencialmente com misturas aos fósseis. O uso da terra para as culturas utilizadas na produção de biocombustíveis, uma vez que podem gerar concorrência entre a demanda energética e a demanda alimentar, ainda demandam aprofundamento de estudos. Esta discussão fomenta o desenvolvimento de tecnologia de biocombustíveis celulósicos de segunda geração. O óleo de palma, por exemplo, deverá deixar de ser utilizado na União

Europeia até 2030 em virtude dos impactos ambientais de sua extração (REUTERS, 2018). A sustentabilidade na obtenção dos biocombustíveis é fundamental nas diretrizes da União Europeia, que também proíbe, por exemplo a retirada de florestas para produção de culturas posteriormente fornecedoras de biocombustíveis.

O Brasil e a Tailândia criaram um ambiente para implantação generalizada de biocombustíveis com e sem misturas. A Argentina incentivou através de política fiscal o biodiesel. EUA, Austrália e Reino Unido apoiam com incentivos para pesquisa e desenvolvimento. A Suécia voltou a fomentar também com isenções fiscais. A Holanda incentiva através de uma parceria público-privada a implantação de uma cadeia para fornecer biocombustível para o aeroporto de Schiphol (SKYNRG, 2017).

As ações mencionadas anteriormente de planejamento de transporte sustentável, novos modos de mobilidade - notoriamente os elétricos - transporte público e ainda os veículos elétricos podem incluir os biocombustíveis em sua cadeia de suprimentos ou como geração de eletricidade, fortalecendo as ações de mitigação. No entanto, as políticas de incentivo a estas interligações ainda são escassas: Áustria, Luxemburgo vincularam o subsídio para aquisição de VE's à troca de contrato de fornecimento por energia elétrica renovável. Estradas de ferro da Áustria, Dinamarca, Finlândia, Países Baixos, Noruega, Suécia e Suíça funcionam com 100% de eletricidade renovável. Na Europa, 10% dos combustíveis de transporte consumidos em cada estado membro da União Europeia devem vir de fontes renováveis até 2020 (EUROPEAN UNION, 2015).

A Organização Internacional de Aviação Civil (ICAO) adotou o Plano de Compensação e Redução de Carbono para a Aviação Internacional (CORSIA) que, entre outras coisas, apoia a produção e uso de combustíveis de aviação sustentáveis, particularmente combustíveis produzidos a partir de biomassa e diferentes tipos de resíduos (ICAO, 2019). Iniciativas de eletrificação da frota de apoio em solo e adoção de combustíveis sustentáveis também vem sendo adotados por empresas como a United Airlines e a Delta Airlines.

A Organização Marítima Internacional (OMI) concordou com um limite de 0,5% de enxofre até 2020, o que terá implicações para a queima de óleo combustível pesado e oferece oportunidades para o desenvolvimento de combustíveis renováveis (IMO, 2018).

3.2 Cidades

O crescimento urbano desordenado dos últimos 40 anos causou, em diversas regiões do globo, comunidades superadensadas em condições precárias e assentamentos “satélites” das cidades. As cidades estão consumindo terra, cada vez mais, para acomodar novos desenvolvimentos. Em algumas regiões, a necessidade de terra urbana cresceu muito mais rapidamente do que a população urbana, resultando em padrões de uso da terra menos densos e, em geral, mais ineficientes – tanto sob aspecto socioeconômico quanto ambiental. Ocorrendo, na maior parte das cidades, sem uma estruturação física e gerencial. Mais habitantes, concentrados de forma precária e longe de suas regiões de interesse - trabalho, escolas, lazer – forçam mais viagens, mais emissões. Forçam ainda o próprio custo da terra, criando novas externalidades.

Diversos centros urbanos estão experimentando um crescimento rápido e em grande parte descontrolado da população, criando um padrão de urbanização rápida. O número absoluto de moradores urbanos aumentou de 2,3 bilhões (43% da população mundial) para 4 bilhões em 2015 (54% da população mundial). O aumento da população urbana não foi uniformemente distribuído em todo o mundo. Diferentes regiões viram suas populações urbanas crescer mais rapidamente, ou menos rapidamente, embora praticamente nenhuma região do mundo possa reportar uma diminuição da urbanização (UN-HABITAT, 2016).

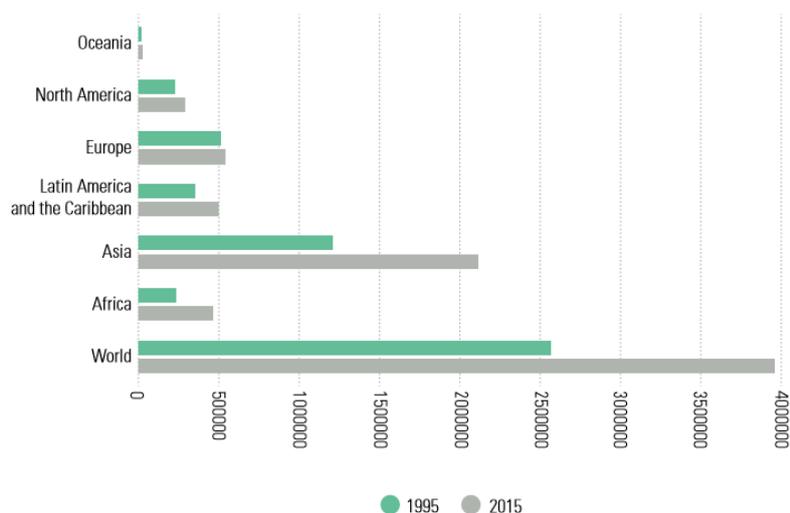


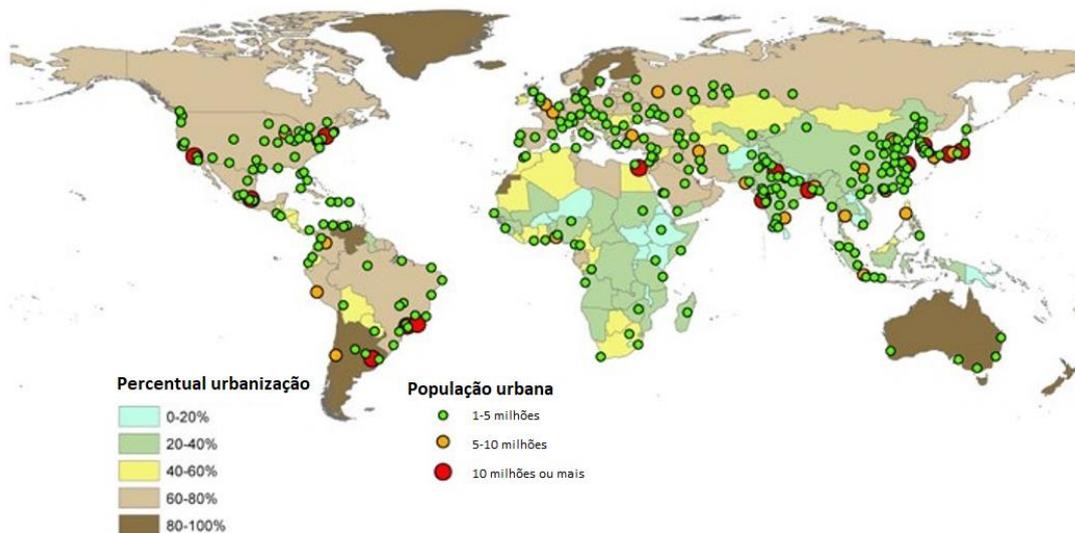
Figura 19 – Populações urbanas nos continentes: 1995-2015.

Fonte UN-HABITAT, 2016.

A Ásia possui o maior número de pessoas vivendo em áreas urbanas, seguido pela Europa, África e América Latina. A notável transformação econômica da China é impulsionada pela urbanização e industrialização. A Figura 19 mostra comparativamente as populações urbanas nos diferentes continentes em 1995 e em 2015. As dez maiores cidades da China representam 20% do PIB do país. As taxas de crescimento urbano também foram diversas: a taxa de crescimento urbano da África é quase 11 vezes mais rápida do que a taxa de crescimento na Europa (UNITED NATIONS, 2016).

As grandes cidades são definidas como tendo entre 5 e 10 milhões de habitantes e megacidades com 10 milhões ou mais de habitantes. Em ambos os casos, houve aumentos notáveis nas duas últimas décadas. Em 1995, havia 22 grandes cidades, e 14 megacidades. Em 2015, ambas as categorias de cidades dobraram (Figura 20), existindo 44 grandes cidades e 29 megacidades. Grandes cidades e megacidades são influentes também na economia global. As 600 maiores cidades com um quinto da população mundial que geram 60% do PIB global (UN-HABITAT, 2016; UNITED NATIONS, 2016)

Padrões globais de urbanização, 1995



Padrões globais de urbanização, 2015

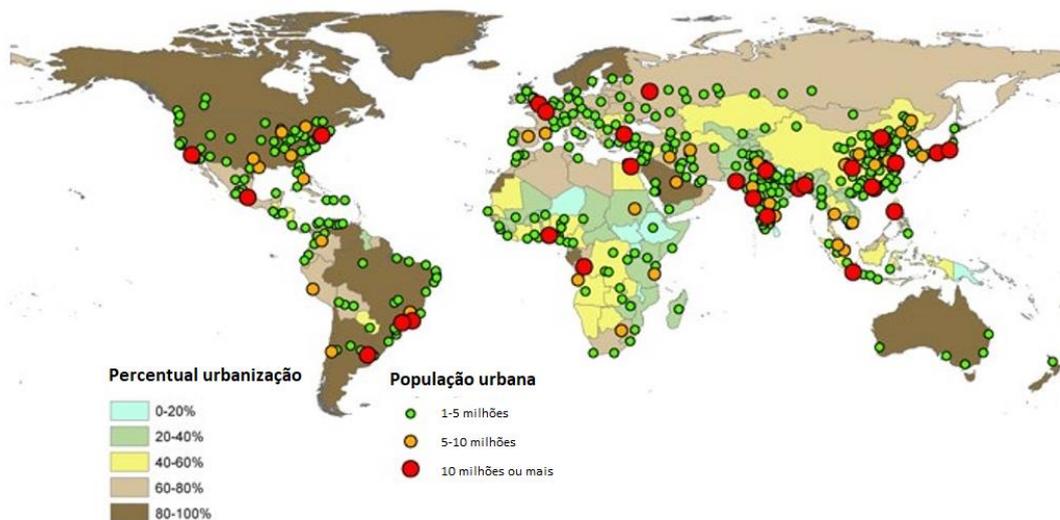


Figura 20 – Padrões globais de urbanização: 1995-2015.

Fonte UN-HABITAT, 2016.

3.2.3 Cidades, emissões e mudanças climáticas

O adensamento urbano gera impactos particulares nas emissões de GEE e nas consequentes mudanças climáticas. A concentração populacional nas cidades foi acelerada após a segunda metade do século XX. Mais de 90% dessa concentração vem ocorrendo nos países em desenvolvimento (UN-HABITAT, 2016). Enquanto algumas

idades, especialmente mais distantes dos centros urbanos, vem tendo diminuição de sua população, o número de cidades com mais de um milhão de habitantes passou de 75 em 1950 para 519 em 2017 (CONSULTANCY, 2018). Esse evento vem ocorrendo principalmente nos centros urbanos com menos capacidade institucional de absorção, incrementando as externalidades geradas e a susceptibilidade aos eventos climáticos extremos (menor resiliência).

Os centros urbanos contribuem em duas categorias para a alteração no ciclo de carbono e os eventos climáticos decorrentes (UN-HABITAT, 2013):

- Emissões diretas de aerossóis, GEE e resíduos - além das emissões de gases, os resíduos e efluentes gerados também afetam o ciclo de carbono, impactando nos ecossistemas receptores;
- Alterações relacionadas com o uso da terra: mudanças na permeabilidade dos solos (pavimentação, construções impermeáveis) e na circulação dos ventos (provocados pelas edificações), canalização de rios, diminuição de cobertura vegetal e a consequente formação de ilhas de calor também alteram o ciclo natural de carbono.

Os centros urbanos nos países em desenvolvimento têm, usualmente, níveis de emissões per capita mais baixos do que as cidades dos países desenvolvidos. Houston e Washington, DC (EUA), por exemplo, têm emissões de carbono cerca de 9 a 18 vezes maiores que as de São Paulo, Délhi e Kolkata (Índia). No entanto, outras cidades ricas como Estocolmo (Suécia) e Barcelona (Espanha) têm menores níveis de emissões per capita do que algumas cidades sul-africanas. Isso ocorre porque vários fatores inter-relacionados moldam ou determinam os padrões de uso e emissões de energia por diferentes populações e setores. A base econômica da cidade - industrial, o setor de serviços ou ligada ao agronegócio – e o uso dos recursos feitos por seus habitantes, e as tecnologias empregadas para isto, são diferentes nos diferentes centros urbanos mundiais. A Figura 21 mostra a pegada de carbono per capita de diferentes cidades e a comparação com a pegada de carbono per capita de seus países.

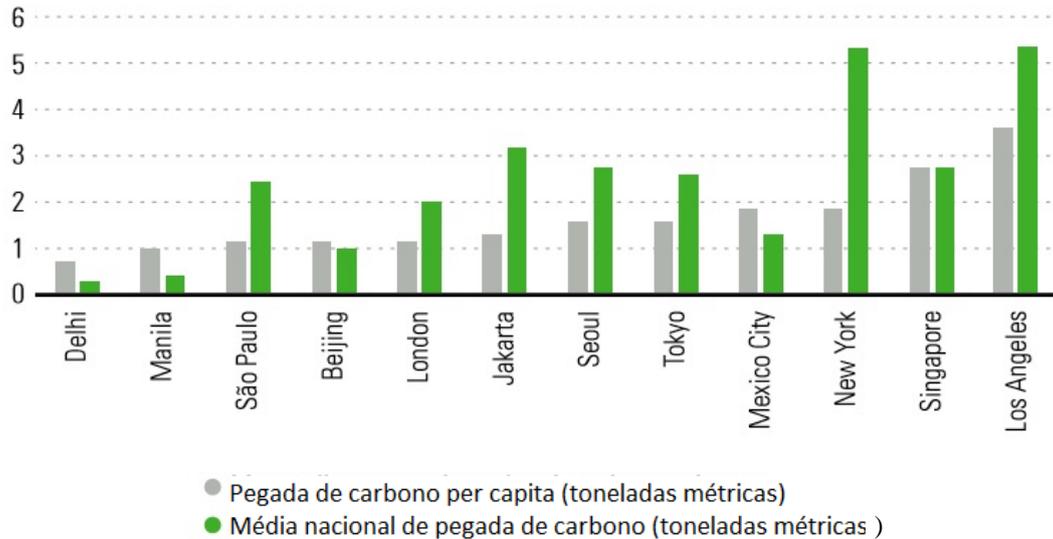


Figura 21 – Comparação entre a pegada de carbono de cidades e países onde estão inseridas.

Fonte: (UN-HABITAT, 2016).

Além de geradores de impactos, os centros urbanos também são diretamente afetados pelas alterações climáticas: o aumento do nível do mar, ocorrência de secas, ondas de calor e inundações têm seus efeitos amplificados, com potencial risco de perdas econômicas e humanas. Deste fato surge o conceito de Resiliência: que é a capacidade de desenvolver aprendizagem, adaptação e até capitalizar oportunidades abertas por um desastre. (UN-HABITAT, 2013).

Mesmo com a geração concentrada de poluentes nas aglomerações urbanas, (SATTERTHWAITE, 2008) lembra que as cidades, por si só, não são o problema. Os padrões de consumo e a falta de políticas públicas adequadas de habitação, transporte e uso da terra são os efetivos geradores de externalidades. É possível encontrar índices de emissões relativamente baixos e boa qualidade de vida com políticas públicas adequadas. As cidades que contam com bons sistemas de transporte público e que evitaram expansão com baixa densidade (sprawling) terão, de maneira geral, níveis de emissões de gases do efeito estufa por pessoa bem mais baixos do que as cidades que não adotaram estas vias de desenvolvimento.

O relatório Habitat (UN-HABITAT, 2013) endossa essa observação citando que a urbanização, ao concentrar recursos, oferecerá oportunidades para elaborar respostas tanto para mitigação quanto adaptação para as mudanças climáticas. As próprias mudanças climáticas em si forçarão as cidades a melhorar sua governança, direcionando

o desenvolvimento sustentável. Situa, ainda, as cidades como importantes polos de inovações para minimizar as emissões e os riscos climáticos.

Iniciativas como o C40 são um desdobramento prático da capacidade de inovação das grandes cidades. Conforme definição do próprio grupo, a C40 é uma rede de grandes cidades no mundo que têm a iniciativa de tomar medidas para enfrentamento das mudanças climáticas através do desenvolvimento e implementação de políticas de redução de emissões de GEE e de adaptação aos riscos climáticos. Em sua apresentação a entidade cita que apesar das cidades representarem apenas 2% da superfície terrestre, consomem mais de 2/3 da energia mundial e são responsáveis por mais de 70% das emissões globais. Cita ainda que as cidades estão, por outro lado, dentre as regiões mais afetadas pelas mudanças climáticas. Em maio de 2017 constam 90 cidades afiliadas em todos os continentes, envolvendo mais de 600 milhões de habitantes (C40, 2019)

3.2.4 Distribuição espacial das cidades e uso da terra

As cidades têm crescido não somente em quantidades totais de habitantes, mas também geograficamente, expandindo seus limites – e o uso do solo - de forma mais acentuada até mesmo do que o incremento populacional. O relatório sobre Fundamentos do Planejamento Urbano, elaborado pelas Nações Unidas em 2016 (UN-HABITAT, 2016) destaca que entre 1990 e 2000, o consumo de terra urbana por habitante passou de 203m² para 239m². De 2000 a 2015, por sua vez, o aumento foi de 239m² para 277m². Ou seja, a não ser que haja uma mudança neste ritmo, pode-se esperar que a extensão das cidades continue a aumentar a uma taxa muito maior do que sua população, reduzindo sua densidade populacional. A Figura 22 mostra esta expansão nas cidades de países mais desenvolvidas e nas localizadas nos países menos desenvolvidos. Pode ser observado nestas figuras que a expansão deste uso de solo foi ainda mais notável nos países menos desenvolvidos.

Esta diminuição do adensamento assume um aspecto agravante para o tema em estudo neste trabalho. As pessoas realizam viagens em meios de transporte não para se locomover, mas para acessar lugares (UNACLA, 2013). Cidades dispersas, com alto índice de expansão geográfica, demandam mais viagens, mais infraestrutura, alongam o tempo dos deslocamentos, diminuindo a produtividade econômica e o bem-estar social. Mais viagens, geram ainda mais emissões: maior número de veículos e maior tempo de emissão por viagem.

As densidades urbanas são um componente crítico da criação de uma cidade acessível, uma vez que influenciam fortemente a viagem. Uma comparação de 32 cidades globais mostrou que o consumo de energia relacionado com o transporte declinou rapidamente com o adensamento urbano. Nas amplas cidades americanas como Atlanta, Geórgia, o transporte público tem dificuldade em competir com o carro particular. Somente quando as densidades urbanas são altas, como em Xangai, na China, os transportes públicos podem ser rentáveis. Atlanta, pode-se notar, tem uma população que é semelhante em tamanho a Barcelona, Espanha. No entanto, Barcelona assumiu um compromisso de longo prazo para tornar a cidade mais compacta, de uso misto e caminhável. Como resultado sua pegada de carbono é apenas uma fração de Atlanta. As curtas distâncias criadas por uma cidade compacta fizeram com que 20% das viagens feitas pelos barceloneses fossem a pé (UNACLA, 2013).

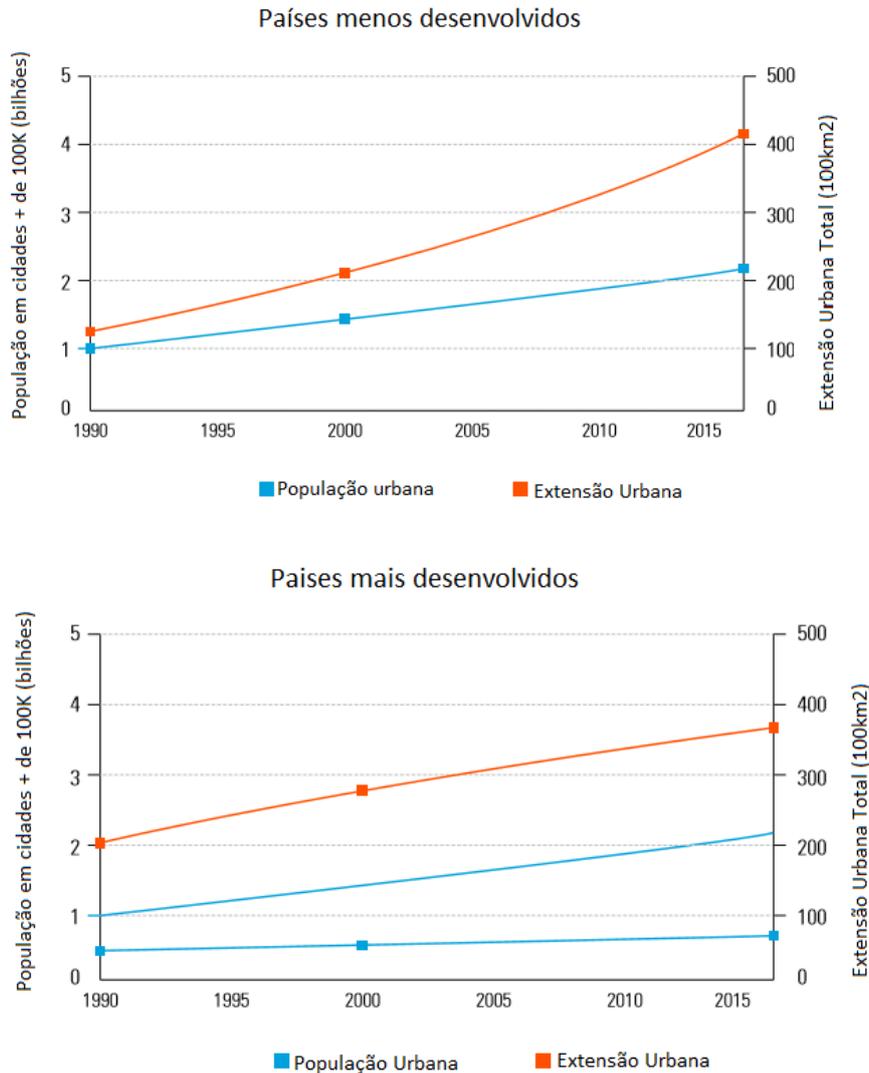


Figura 22 – Expansão territorial das cidades em países mais desenvolvidos e em países menos desenvolvidos.

Fonte (UN-HABITAT, 2016).

Os autores Hong e Goodchild (2014) em uma análise sobre uso do solo na expansão das cidades e emissões, encontram grandes reduções nas emissões, à medida que a densidade residencial, a entropia e a quantidade de ligações aumenta. Há, portanto, uma forte relação entre o ambiente construído e as emissões de transporte tanto em áreas urbanas como suburbanas. Concluem ainda que as características urbanas e suburbanas influenciam as viagens e o meio ambiente, como, por exemplo, a densidade residencial impactando mais nas áreas suburbanas do que nas urbanas, já muito adensadas.

De Cara *et al* (2017) por sua vez, partindo de uma hipótese que a proximidade dos fornecedores de alimentos – usualmente localizados em áreas rurais – poderia ser mais sustentável para as cidades conclui que esta distância não é fator suficiente para justificar

seu benefício. Mais adequada seria, continua o autor, uma análise do bem-estar social provocado pela expansão das cidades até próximo do centro de abastecimento alimentar. Wenban-Smith (2017) em uma análise feita na Grã-Bretanha, mas que pode ser posta em paralelo com outros países, cita que as políticas de planejamento do uso da terra têm se focado somente no tamanho do empreendimento em si e não no seu contexto dentro da cidade. A política de transportes, por sua vez, se baseia em tecnologias de veículos para reduzir as emissões dos transportes, e também não contempla o zoneamento de seu uso dentro das cidades. Seu trabalho sugere que as políticas de uso da terra podem ter um impacto maior sobre as emissões do transporte do que atualmente é levado em consideração. Cita ainda os efeitos adversos na procura de transportes e em emissões relacionadas de decisões de localização e zoneamento urbanos e também seu possível impacto negativo sobre a produtividade econômica e a coesão social.

3.3 Contexto Nacional

O objeto deste estudo se desenvolve na cidade brasileira de Natal, Rio Grande do Norte. Esta seção apresenta os mais recentes aspectos relevantes associados às Políticas Públicas de Transportes e emissões do setor de transporte no contexto brasileiro.

3.3.3 PNMU – Política Nacional de Mobilidade Urbana

A Lei 12.587, de 3 de janeiro de 2012, institui as diretrizes para a Política Nacional de Mobilidade Urbana (BRASIL, PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2012). Conforme a cartilha do Ministério das Cidades elaborada com intuito de abordar a PNMU:

“Na Lei, são definidos e classificados os modos e serviços de transporte, além de exemplificadas infraestruturas de mobilidade urbana que compõem o Sistema Nacional de Mobilidade Urbana. Estas infraestruturas devem sempre estar inter-relacionadas com um planejamento sistêmico para que produzam benefícios efetivos e proporcionais aos recursos empregados, pois apenas aumentar o investimento em infraestrutura não garante a melhoria da mobilidade urbana” (MCID, 2013).

A Lei estabelece, portanto, as diretrizes e princípios para que os municípios realizem o planejamento de seu desenvolvimento urbano e a melhoria de suas infraestruturas, permitindo o adequado deslocamento de pessoas e transporte de cargas no seu território. A PNMU direciona para medidas de desenvolvimento sustentável na mobilidade urbana priorizando o transporte coletivo, público e não-motorizado, em detrimento do particular,

individual e motorizado. Apesar de ser uma Lei Federal, no curioso sistema legal brasileiro, com sua complexidade e abundância de leis não-efetivas, a PNMU não pode ser imposta às cidades. No entanto, a lei estabelece que municípios com população acima de 20 mil habitantes devem desenvolver seu Plano de Mobilidade em até três anos a partir de sua vigência. Caso não o criem, as cidades estão sujeitas a não receberem mais verbas da União para a mobilidade urbana.

A PNMU apresenta nos seus artigos 5º, 6º e 7º seus princípios, diretrizes e objetivos, respectivamente – pontos fundamentais para nortear os planejamentos de mobilidade das cidades. O Anexo I apresenta o extrato da PNMU com a transcrição dos artigos citados neste capítulo.

A PNMU trata ainda da política tarifária do transporte público, entre outros aspectos, dando amparo legal para subsídios no transporte público, porém informando a necessidade de transparência nos benefícios concedidos aos operadores. Cita ainda no Artigo 8º a necessária “*contribuição dos beneficiários diretos e indiretos para custeio da operação dos serviços*” – o que permite um aprofundamento no estudo do impacto financeiro das externalidades negativas da mobilidade urbana já apresentadas.

A seguir a PNMU cita que todos os serviços devem ser precedidos por licitação – processo de aquisição de bens e serviços regulamentado no Brasil pelas leis nº 8.666/93 (Lei das Licitações) e nº 8.987/95 (Lei das Concessões). O processo licitatório deve ainda fixar metas de qualidade e desempenho, incentivos e penalidades aplicáveis, riscos econômicos e financeiros, condições e meios de controle pela concedente (o poder público) e fontes de receita extra tarifárias e subsídios. Prossegue na delimitação dos direitos dos usuários e atribuições dos poderes públicos federal, estadual e municipal (Artigos 14 a 20).

No capítulo V são tratadas as diretrizes para o planejamento e gestão dos sistemas de mobilidade urbana, em seus artigos 21, 22 e 23. As diretrizes reforçam a necessidade de um planejamento prévio, integrado e permanente. É amparada a legalidade de ações que priorizem o transporte público e a mobilidade sustentável sobre o transporte individual motorizado. Essas ações já foram listadas e discutidas no tópico 3.1.3.

O Artigo 24º trata da principal ferramenta de planejamento de mobilidade urbana: O Plano de Mobilidade Urbana (PlanMob), estabelecendo sua obrigatoriedade, como já citado, para todas as cidades com mais de 20 mil habitantes. Este Plano de Mobilidade Urbana além de necessitar seguir os princípios de diretrizes da PNMU deve ainda ser

integrado ao Plano Diretor – que regula o uso e ocupação do solo, pois, conforme a literatura revisada, o uso do solo tem reflexos diretos na mobilidade da cidade.

Apesar da obrigatoriedade de elaboração dos PlanMob's desde 2015, em janeiro de 2019 foi publicado por duas associações de ciclistas nacionais – Bike Anjo e UCB - um relatório contemplando o status das capitais dos estados brasileiros (BIKEANJO; UCB, 2019). Dentre as capitais, teoricamente os municípios com maior capacidade financeira e de pessoal para mais breve elaboração dos PlanMob's, apenas 44% efetivamente o possuem, enquanto os demais 56% ou ainda estão elaborando, revisando ou não possui. A cidade deste estudo de caso – Natal/RN - consta como ainda em elaboração pois a proposta de lei municipal para sua aprovação - etapa final após a finalização dos estudos do plano não foi realizada até a publicação deste estudo.

3.3.4 RenovaBio

Conforme citado no tópico 3.1.3.8 – Uso de energias renováveis, o Brasil possui um amplo sistema de fornecimento de biocombustível – etanol proveniente da cana-de-açúcar – no sistema de transporte nacional. Este sistema foi iniciado através de uma política de governo brasileira denominada Pró-Álcool em 14 de novembro de 1975, com adoção em grande escala de etanol em substituição a gasolina em virtude da crise de petróleo de 1973 e reforçado pela crise de 1979. Posteriormente, no entanto, o preço do petróleo foi reduzido no mercado internacional e o do açúcar teve alta, tornando este produto opção de produção prioritária para as usinas de cana-de-açúcar. Este fato associado a falta de prioridade nas políticas públicas para biocombustíveis, gerando crises de desabastecimento, praticamente encerrou a produção de veículos movidos somente à álcool no final da década de 1990, junto com o Pró-Álcool.

Nos EUA, no entanto, em virtude das pressões ambientais iniciadas na Califórnia, no início da década de 1990 foram desenvolvidos os motores denominados flex-fuel, que podem funcionar com gasolina, álcool ou quaisquer proporções de misturas destes. Após regulamentação deste tipo de motor ocorrida no Brasil somente em 2002, rapidamente se sucederam os lançamentos pelas montadoras instaladas no país, aproveitando a estrutura de distribuição existente, chegando a um percentual de 95% do total de automóveis vendidos no país. Os motores flex, adotados inclusive em motores importados, receberam melhorias tecnológicas e passaram a adotar partida a frio, receber sistemas modernos de turbocompressor e sofrerem downsizing (NOVACANA, 2018a). Existem recentes

estudos de incorporar os motores flex a veículos híbridos, potencializando sua mitigação de emissões (NOVACANA, 2018b).

O Acordo de Paris, 25 anos após o fim do Pró-Álcool, no entanto, passa a reforçar a importância dos biocombustíveis como mitigadores de emissões. Em resposta, no fim de 2017 entrou em vigor a Lei 13.576 que cria a Renovabio - Política Nacional de Biocombustíveis, com objetivo de contribuir nos compromissos assumidos no Acordo de Paris, promover a expansão e confiabilidade dos biocombustíveis na matriz energética de transportes brasileira e assegurar previsibilidade no mercado de combustíveis, induzindo ganhos de eficiência energética e redução de emissões (ANP, 2019).

A Renovabio encontra-se em lenta implementação, face à complexidade de entes envolvidos e recentes mudanças de cenários políticos e econômicos no país. Sua regulamentação e implementação é gerenciada pela ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. De acordo com as informações disponíveis no site oficial da Renovabio, foram estabelecidas metas nacionais de redução de emissões do setor de combustíveis através da Resolução CNPE nº5, de junho de 2018, que por sua vez serão transformadas em metas individuais compulsórias anuais para os distribuidores de combustíveis a serem definidas e tomadas públicas até 1º de julho de 2019 (ANP, 2019). Produtores e importadores de biocombustível passarão a ter notas inversamente proporcionais à intensidade de carbono de seu combustível, notas estas atribuídas por empresas certificadoras credenciadas junto à ANP. A recente Resolução ANP nº 758, de 23 de novembro de 2018 regulamentou a certificação da produção ou importação eficiente de biocombustíveis e o credenciamento de firmas inspetoras. Finalmente, as distribuidoras de combustíveis deverão comprovar o cumprimento de metas individuais compulsórias por meio da compra de Créditos de Descarbonização (CBIO), ativo financeiro negociável em bolsa, derivado da certificação citada. Os produtores e importadores de biocombustíveis que aderirem voluntariamente ao programa poderão, a partir dessa produção certificada, comercializar esses créditos. Os distribuidores de combustíveis cumprirão a meta individual compulsória anual ao comprovar a propriedade dos CBIOs em sua carteira.

3.3.5 Rota 2030

A Lei Federal 13755 de 10 de dezembro de 2018 (BRAZIL, 2018) estabelece o Programa Rota 2030 – Mobilidade e Logística. O programa define regras para a fabricação dos automóveis produzidos e comercializados no Brasil nos próximos 15 anos. A princípio o programa tem como principais focos melhorar a inovação tecnológica, a segurança e a sustentabilidade dos carros comercializados no país. No entanto a sua redação deixou a desejar nos aspectos ambientais, focos deste objeto de estudo. As alíquotas (IPI – imposto sobre produtos industrializados) para carros de passeio e comerciais leves (com motores a combustão) seguem sendo: 7% (modelos 1.0); 11% (acima de 1.0 até 2.0, flex ou a etanol); 13% (acima de 1.0 até 2.0 a gasolina); 18% (acima de 2.0, flex ou a etanol); 25% (acima de 2.0, a gasolina); utilitários (4% e 8%). Não houve incentivo para carros mais eficientes - os dotados com avançados motores de 3-cilindros, com alívio de massa ou com turbocompressores para redução de consumo e emissões, de tecnologia já dominada. Há apenas uma cláusula de que modelos novos precisarão ser 11% mais econômicos (em relação a modelos 2017) nos primeiros 5 anos de sua implantação – os demais anos ainda não tem metas estabelecidas. No tópico de mobilidade elétrica há apenas redução do IPI para carros elétricos e híbridos: de 25% para 7%, após regulamentação dada pelo MDIC (Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços) o que pode reduzir o valor final destes veículo mas não o suficiente para colocá-los em concorrência com os veículos a combustão.

A ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos reforça, através de Tavares O. (2018) que o Rota 2030 cria um conflito entre entes responsáveis pela emissões dos veículos automotores ao adotar metas menos rigorosas que as metas europeias para redução de emissões de veículos leves, incentivando o upsizing da frota brasileira além do já citado pouco interesse em incentivar de modo mais amplo e eficaz a penetração de veículos elétricos na matriz de transportes brasileira, ao contrário das soluções de mitigação de emissões já analisadas e em curso em outros países. Prossegue também a crítica na ausência de critérios de redução de emissões para veículos pesados a diesel. Finalmente é nítida a ausência de quaisquer parâmetros de incentivos para a indústria de veículos de transporte público limpo e sua cadeia de suprimentos.

4 Caso da cidade de Natal

O estudo de caso desta tese foi publicado com o título *Urban Mobility and Greenhouse Gas Emissions: Status, Public Policies, and Scenarios in a Developing Economy City, Natal, Brazil*, pela revista *Sustainability*, volume 10, 2018 (LOPES TOLEDO et al, 2018). Este capítulo incorpora esse artigo e detalha a pesquisa realizada.

4.1 Contexto

A cidade de Natal, uma capital de médio porte no Brasil, atualmente é dependente essencialmente de combustíveis fósseis na sua rede de transportes urbanos. A capital do Rio Grande do Norte, apresenta uma população de 877.662 habitantes (IBGE, 2016) e sua região metropolitana composta por 14 municípios não-conurbados totaliza 1.577.072 habitantes (cerca de 50% da população do estado do Rio Grande do Norte), que sofrem as consequências do crescimento populacional e reordenamento urbano não planejados. Apesar de contar com uma frota circulante urbana de mais de 320.000 veículos de uso individual, seu Sistema de Transporte Coletivo Urbano, composto essencialmente por transporte coletivo rodoviário – ônibus e micro-ônibus - e uma linha de trem diesel urbano, se mostra precário e insuficiente.

Esse sistema transporta diariamente cerca de 320 mil de passageiros, através de 85 linhas, exploradas por seis empresas, que operam uma frota de 712 veículos com a alta idade média de 7 anos e seis meses. Este serviço é denominado Serviço Regular I. Há ainda o Serviço Regular II com 174 permissionários distribuídos em 24 linhas, utilizando micro-ônibus e atendendo cerca de 30.000 passageiros/dia. O transporte ferroviário urbano é marginal, respondendo por cerca de 11.000 passageiros diários.

O sistema atual de transporte apresenta baixa atratividade, com veículos antigos de baixo nível de conforto, altas emissões de GEE e consumo de energia, linhas de itinerários complexos e pouco eficientes e com alto tempo de espera. O transporte coletivo de passageiros em vans ou peruas, conhecido como fretamento alternativo é também permitido, com uma frota ainda mais precária e um serviço irregular e inseguro, beirando a marginalidade.

O presente estudo analisa as emissões do setor de transporte urbano de Natal que ainda não possui um inventário de emissões de GEE.

Apesar de ser um estudo de caso, não foram realizados muitos estudos sobre emissões no Brasil especialmente em âmbito municipal. Isto é particularmente relevante, uma vez que,

como relatado anteriormente, uma lei federal exige que cidades com mais de 20.000 habitantes devem preparar um plano de mobilidade urbana. O significado deste estudo é contribuir para a literatura sobre o transporte e as emissões de GEE, visando compreender os principais emissores do setor urbano e fornecer dados para os formuladores de políticas públicas e membros de comitês elaborarem Planos de Mobilidade Urbana cientes sobre os impactos da não-priorização do transporte público e modais não motorizados.

4.1.1 Análise comparativa do caso de Natal com a PNMU

Ao se realizar a análise do PlaMob Natal foi verificado um notório afastamento entre o mesmo e a PNMU. A Tabela 7 realiza uma análise comparativa entre as diretrizes da PNMU, estabelecidas em seu Art. 6º, as Diretrizes Para o Planejamento e Gestão dos Sistemas de Mobilidade Urbana, estabelecidas em seu Art 21º e os incisos que devem ser contemplados em um Plano de Mobilidade Urbana, conforme o Art 24º e o PlanMob objeto deste estudo de caso.

Tabela 7 – Quadro comparativo PlanMob versus PNMU

Diretrizes da PNMU	PlanMob Analisado
<i>I - integração com a política de desenvolvimento urbano e respectivas políticas setoriais de habitação, saneamento básico, planejamento e gestão do uso do solo no âmbito dos entes federativos;</i>	O PlanMob não possui vínculo com Plano Diretor da cidade.
<i>II - prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado;</i>	A fase de diagnóstico abrangeu as calçadas, entrevistas com ciclistas e o transporte público, porém as ações são tímidas e pontuais para o transporte a pé, ausência do planejamento de execução do plano cicloviário e não são previstas mudanças no transporte público, apenas uma sugestão de mudança para sistema tronco-alimentador, sem planejamento apresentado.
<i>III - integração entre os modos e serviços de transporte urbano;</i>	Não está prevista inserção de intermodalidade (ligação ferroviária-rodoviária ou não-motorizada e demais modos).
<i>IV - mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade</i>	Os aspectos ambientais não são abordados no PlanMob
<i>V - incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes;</i>	Assunto não abordado
<i>VI - priorização de projetos de transporte público coletivo estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado</i>	A implantação de uma rede tronco-alimentadora é a única sugestão relacionada, porém não é apresentado seu planejamento.
<i>VII - integração entre as cidades gêmeas localizadas na faixa de fronteira com outros países sobre a linha divisória internacional.</i>	Não se aplica

VIII - garantia de sustentabilidade econômica das redes de transporte público coletivo de passageiros, de modo a preservar a continuidade, a universalidade e a modicidade tarifária do serviço. Não é apresentada mudança de sistemática de composição de preço de tarifação ou proposta de subsídio público

Diretrizes para o Planejamento e Gestão dos Sistemas de Mobilidade Urbana

I - a identificação clara e transparente dos objetivos de curto, médio e longo prazo; As ações propostas não possuem prazo de implantação.

II - a identificação dos meios financeiros e institucionais que assegurem sua implantação e execução; Não há quantificação financeira dos investimentos necessários nem sugestão formas de viabilizá-los

III - a formulação e implantação dos mecanismos de monitoramento e avaliação sistemáticos e permanentes dos objetivos estabelecidos; e Não há proposição de ações permanentes em continuidade às ações propostas pelo PlanMob

IV - a definição das metas de atendimento e universalização da oferta de transporte público coletivo, monitorados por indicadores preestabelecidos. Este aspecto é apresentado como revisão teórica sobre o tema, sem apresentar proposta de execução.

O Plano de Mobilidade Urbana deverá contemplar

I - os serviços de transporte público coletivo; Abordado, com sugestão de mudança para sistema tronco-alimentador

II - a circulação viária; Abordadas obras de mobilidade urbana já cadastradas nos órgãos responsáveis e intervenções pontuais (rotatórias e retornos)

III - as infraestruturas do sistema de mobilidade urbana, incluindo as ciclovias e ciclofaixas; É apresentado o traçado de um sistema cicloviário, oriundo do Plano Cicloviário da cidade e uma série de seções tipo possíveis, sem orçamentação ou projeto.

IV - a acessibilidade para pessoas com deficiência e restrição de mobilidade; Não há ações novas propostas

V - a integração dos modos de transporte público e destes com os privados e os não motorizados; Não há ações propostas

VI - a operação e o disciplinamento do transporte de carga na infraestrutura viária; Foram feitas propostas relevantes

VII - os polos geradores de viagens; Não há ações propostas

VIII - as áreas de estacionamentos públicos e privados, gratuitos ou onerosos; Não há novas ações propostas

IX - as áreas e horários de acesso e circulação restrita ou controlada; Foram feitas propostas relevantes para circulação de cargas

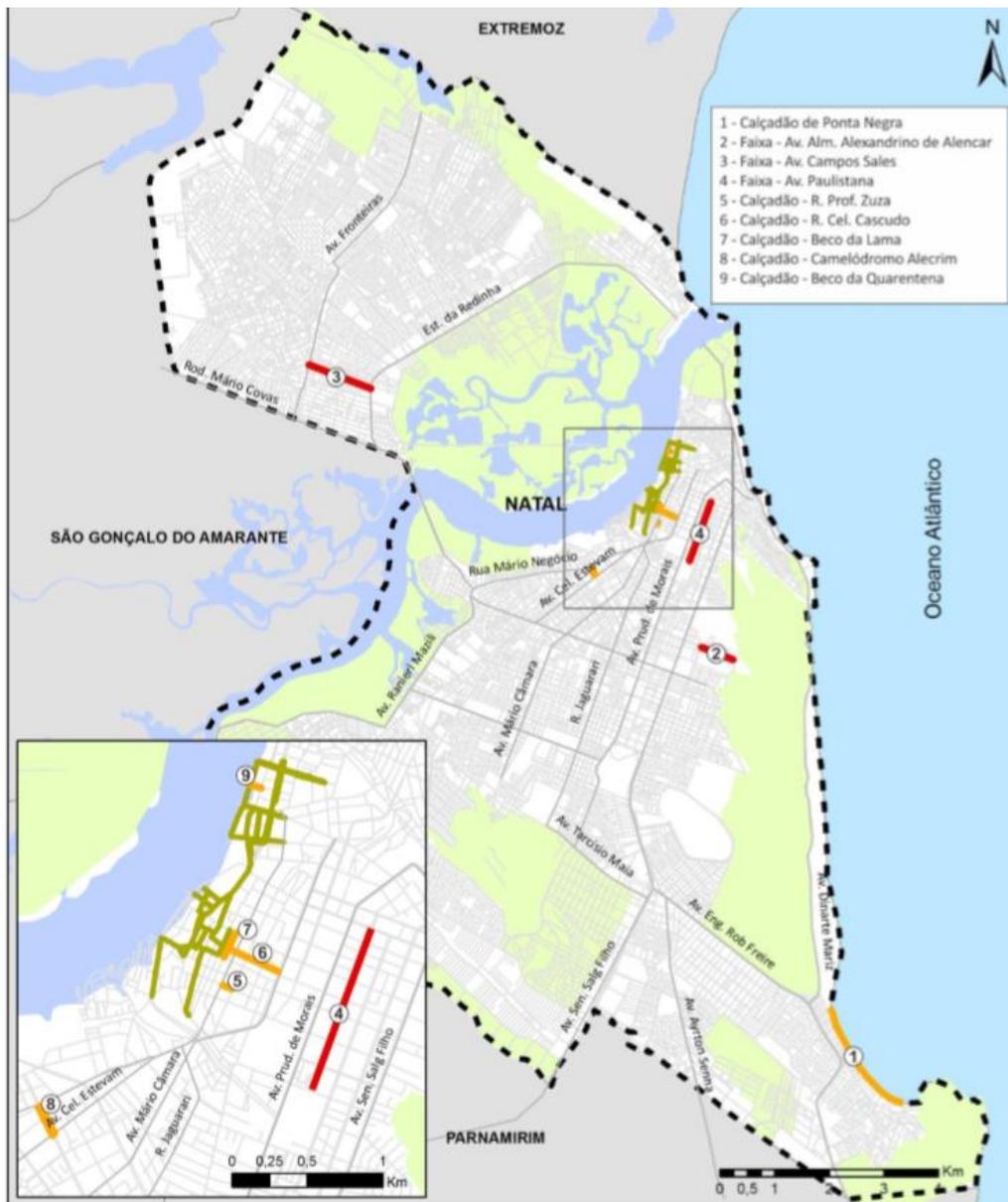
X - os mecanismos e instrumentos de financiamento do transporte público coletivo e da infraestrutura de mobilidade urbana; Não há novas ações propostas

XI - a sistemática de avaliação, revisão e atualização periódica do Plano de Mobilidade Urbana em prazo não superior a 10 (dez) anos. “ Não há novas ações propostas, possivelmente sendo proposta somente no posterior projeto de Lei Municipal

Conforme a consolidação realizada no quadro acima, os fundamentos da PNMU ficaram frustrados na maior parte do PlanMob. De modo geral o PlanMob se aprofunda no

diagnóstico dos problemas, faz uma breve revisão de literatura sobre os mesmos, apresenta poucas intervenções a serem tomadas diretamente, dificultando a ação do gestor público. Também não há nenhuma definição de prazos, prioridades ou orçamentos das ações apresentadas.

Como exemplo das soluções apresentadas, para a **mobilidade a pé** é apresentado um mapa de localização de possíveis ações, denominado Plano de Melhoria para Pedestres, com ações em 9 pontos da cidade (Figura 23). A forma de apresentação das possíveis ações, no entanto, não possibilita muitas ações imediatas de um gestor público: *“Recomenda-se que o uso exclusivo por pedestres seja estendido para todo o dia aos domingos”*, *“O uso principal da faixa de pedestres é o lazer e o esporte”*, *“Neste sentido, recomenda-se que a faixa funcione com exclusividade aos modos não motorizados durante todo o período do dia, passando a ser proibido o estacionamento junto ao canteiro central”*, *“é essencial que seja implantada sinalização horizontal e vertical alertando para o compartilhamento e indicando a prioridade do pedestre”*, *“Para tal, deve ser realizado um projeto urbanístico que inclua propostas de paisagismo, iluminação e arborização adequada, assim como paraciclos para o estacionamento de bicicletas”*. *“Com o objetivo de garantir a vivacidade dos espaços e assegurar a segurança das pessoas, recomenda-se que sejam realizadas outras atividades no espaço, principalmente à noite, com o objetivo de manter a presença da população em diferentes horários do dia e evitar que o espaço se torne ermo e propício à atos criminosos, tais como vandalismo e assaltos. Dessa forma, poderão ser realizadas atividades culturais e de lazer, aproveitando o novo espaço público que será implantado”* (NATAL, 2017a).



Plano de melhorias para pedestres

Figura 23 – Ações do PlanMob para pedestres.

Fonte: (NATAL, 2017a)

Para o **transporte por bicicletas**, como o próprio PlanMob informa, é apresentado o traçado existente no Plano Ciclovitário da cidade, que prevê a implantação de 37 novos segmentos de ciclovias e ciclofaixas, aumentando em 190km a infraestrutura existente (NATAL, 2017a), porém sem detalhamento de orçamentação, fontes de recursos e prazo para execução (Figura 24).



Figura 24 – Ações do PlanMob para transporte cicloviário.

Fonte: (NATAL, 2017a)

No denominado **sistema viário** são apresentadas 41 obras voltadas para o modal rodoviário resultantes de uma revisão do cadastro de todas as obras viárias existentes para a cidade oriundas do Plano Diretor de Transporte Metropolitano da Região Metropolitana do Natal, Plano de Reabilitação de Áreas Urbanas Centrais- Ribeira (PRAC/Ribeira) e do Governo de Estado, algumas previstas há 12 anos (desde 2007), porém sem expectativa de execução. Não é demonstrado se as obras são hoje viáveis e se

são relevantes individualmente para o PlanMob. A simulação de tráfego feita considera que todas serão realizadas até 2020 – obviamente uma hipótese equivocada. Não há informação sobre fonte de recursos para estas obras e não há hierarquização das mesmas. Para o **transporte de cargas**, no entanto, as propostas foram elaboradas de forma a direcionar as ações dos gestores públicos, como exemplo: *“Elaborar estudo técnico específico sobre a circulação de cargas e operações associadas (identificando origem/destino, tipo de veículos, volumes transportados, identificação de gases poluentes e sua quantidade etc.)”, “Elaborar decreto que regulamente a Lei nº 6.619/2016 e atualize as restrições de circulação de veículos de carga;”, “Implantar programa de inspeção veicular, visando ao combate à poluição pelos gases de escapamento;”, “Embora o Código de Obras (Lei Complementar nº055/2004) determine, em seu Anexo III, o número mínimo de vagas de estacionamento para cada tipo de empreendimento, bem como exija a implantação de vagas destinadas à carga e descarga de mercadorias em determinadas edificações, a legislação vigente não estabelece o número mínimo de vagas destas vagas. Dessa forma, um empreendedor sabe que deve implantar vagas de carga e descarga, mas não possui nenhuma lei municipal que indique quantas vagas devem ser implantadas com essa finalidade. Nesse sentido, recomenda-se que a legislação seja alterada considerando os parâmetros adotados em outras capitais.”*

4.1.2 Limitações Regionais

A cidade deste estudo de caso é a capital do Rio Grande do Norte, situado no Nordeste do Brasil. Após extensa busca bibliográfica verifica-se que os dados regionais são escassos tanto nos aspectos de planejamento de transportes quando na sua interface ambiental.

Os dados para estimativas de concentração de PM elaborados pela WHO, por exemplo, não possuem pontos permanentes de medição local. Os pontos mais próximos estão na região de Salvador, no estado da Bahia, a mais de 1.000km de distância (Figura 25) .

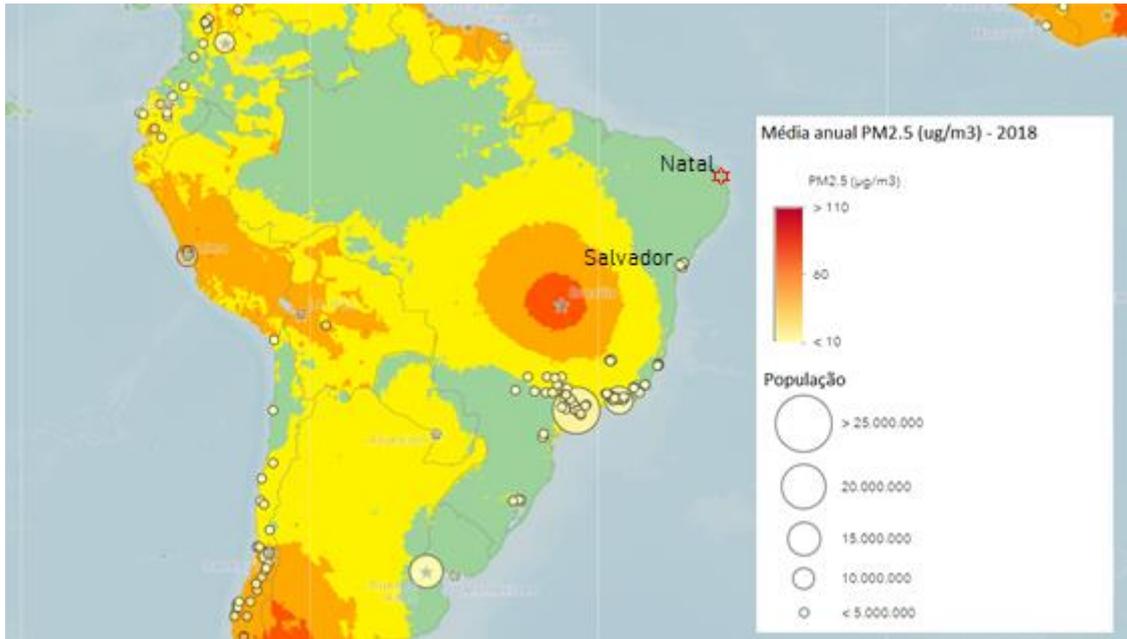


Figura 25 – Média ambiental anual das medições de $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$), atualização 2018.

Fonte: (“WHO | WHO Global Ambient Air Quality Database (update 2018)”, 2019).

Em 2013 foi elaborada dissertação de mestrado com a análise da concentração no período de 1 ano de apenas um ponto de coleta de $\text{PM}_{2.5}$ e PM_{10} , dentro da área urbana (ALBUQUERQUE, 2013). Os resultados obtidos de concentração foram inferiores aos atuais limites da WHO (WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2019), com excessão de um mês para o poluente PM_{10} (Figura 26). No entanto, a análise multivariada realizada neste trabalho conclui que as variáveis meteorológicas foram as que mais influenciaram nos resultados.

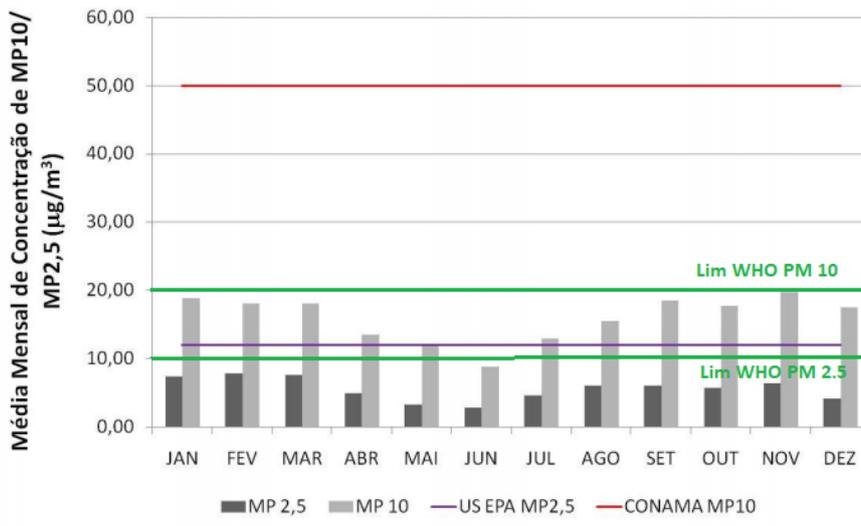


Figura 26 – Média mensal das medições de $\text{PM}_{2.5}$ e PM_{10} versus limites WHO, ano 2012.

Fonte: (ALBUQUERQUE, 2013) – Editado inserindo limites WHO.

Em dissertação apresentada em 2016, onde é analisada a concentração de $PM_{2.5}$ coletada em um ponto na região urbana através de um impactador Harvard, por um período de 10 meses (DUARTE, 2016). As médias mensais variaram entre 2,98 e $14,43\mu g/m^3$. Como não há 12 meses de dados, não há uma média anual, no entanto a média dos 10 meses analisados foi de $10,07\mu g/m^3$, acima do limite admissível para a média anual segundo a WHO, com três meses excedendo estes valores (Figura 27).

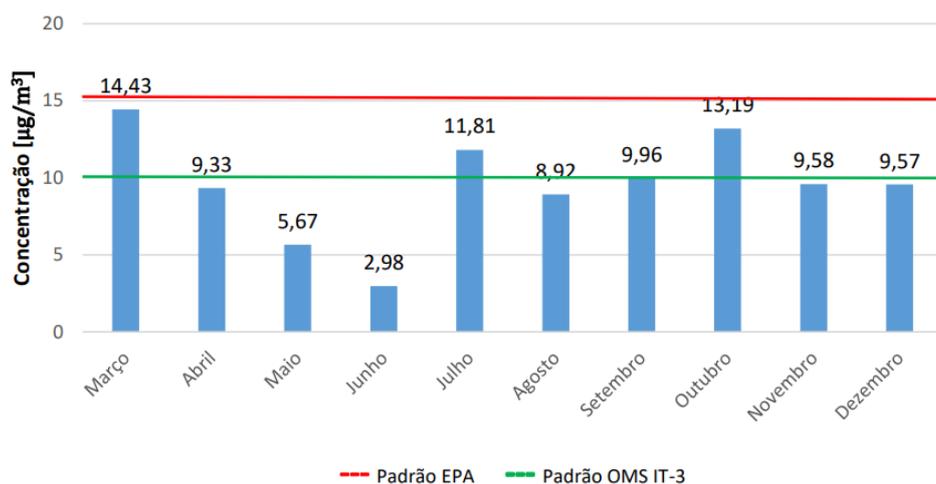


Figura 27 – Média mensal das medições de $PM_{2.5}$ versus limites WHO e EPA, ano 2015.

Fonte: (DUARTE, 2016).

O padrão diário de medições verificou que por 20 vezes foi extrapolado o limite de concentração diária de $25\mu g/m^3$, com picos acima de $50\mu g/m^3$ (Figura 28). O ponto de medição foi próximo do utilizado por Albuquerque (2013), demonstrando uma sensível degradação na qualidade do ar na região.

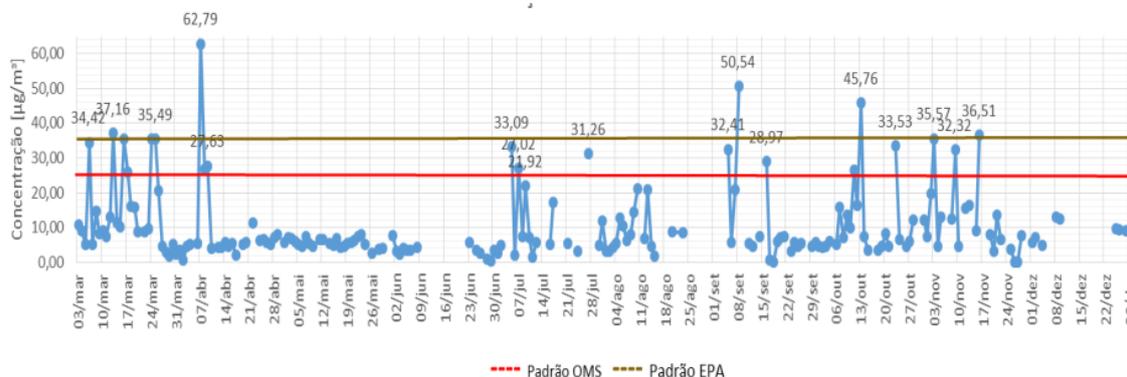


Figura 28 – Média diária das medições de $PM_{2.5}$ versus limites WHO e EPA, ano 2015.

Fonte: (DUARTE, 2016).

Conforme contato com o Governo do Estado do Rio Grande do Norte, o estado não possui dados atualizados sobre sua matriz energética nem inventário de emissões de carbono. Também não há sistema permanente de controle ou acompanhamento de emissões de carbono ou emissões de poluentes atmosféricos. Da mesma forma estes dados não existem no município de Natal.

Entre os escassos trabalhos publicados sobre a mobilidade urbana destacam-se os do Prof Enilson Medeiros dos Santos (UFRN), o primeiro abordando a temática do ambiente de trabalho dos trabalhadores do transporte público da cidade (SILVEIRA et al., 2014) e o segundo abordando emissões de GEE dos ônibus urbanos de Natal entre 2006 e 2008 e uma hipotética substituição por GNV – solução adotada na época no Rio de Janeiro mas depois sem continuidade (ANDRADE; SANTOS, 2014). O mais recente trabalho em conferência com estudo de caso da cidade foi uma simulação de mudança de uma via existente para uma via tipo rua completa, dentro da já abordada temática de mitigação via Planejamento Urbano (PAPER; VALEN, 2019). Destaca-se também a inserção da temática transporte público feita pelo Prof Rubens Ramos (UFRN) nas discussões públicas, bem como em proposições de monografias sobre o assunto no curso de engenharia civil (ARAÚJO, 2017; MACEDO, 2017).

4.2 Dados e Metodologia Geral

4.2.1 Bases de dados utilizada

Este estudo foi realizado tomando como exemplo a cidade de Natal (Coordenadas GPS: $-5^{\circ}47'42,0''\text{ S} - 35^{\circ}12'33,98''\text{ W}$), capital do estado do Rio Grande do Norte, localizado em Nordeste do Brasil Figura 29.

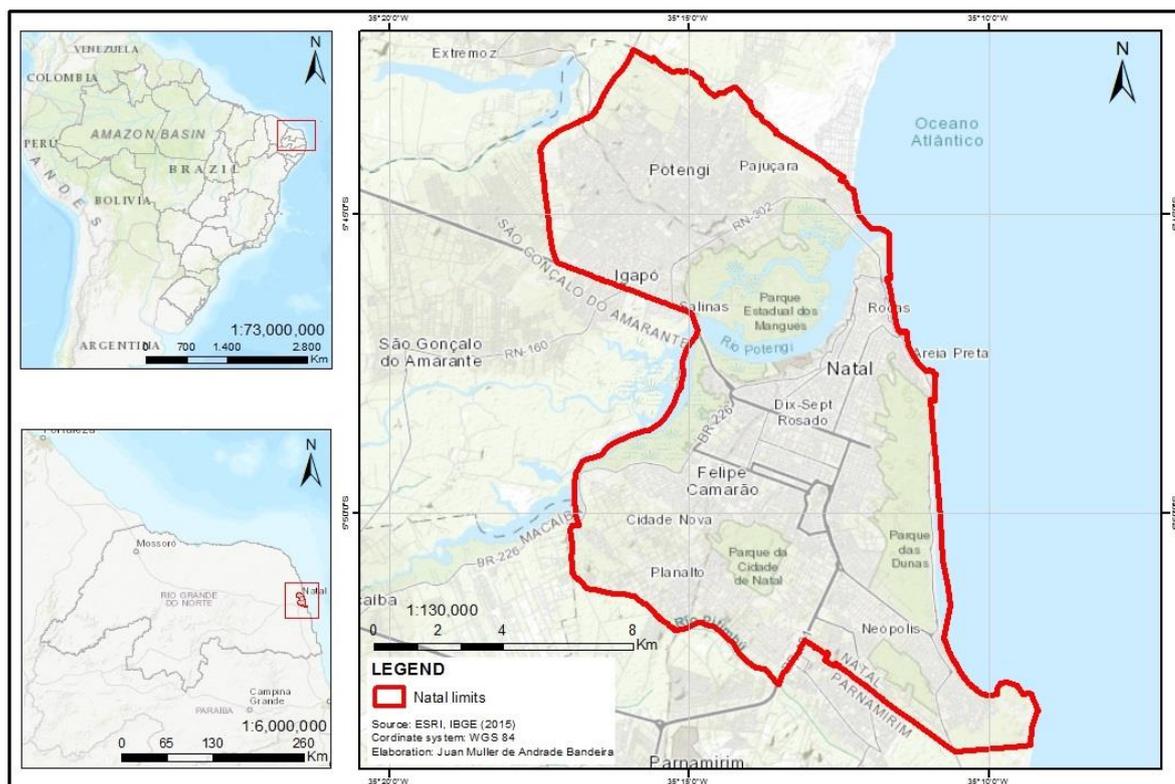


Figura 29 – Cidade de Natal, região do estudo de caso.

Os dados para a elaboração deste estudo foram obtidos a partir de dados públicos, acessados da seguinte maneira:

- Dados públicos disponíveis: obtidos do PlanMob para o município de Natal (NATAL, 2017b), compreendendo informações sobre o transporte público (composição, idade da frota, quilometragem anual percorrida) e privado (contagem de tráfego e pesquisa Origem–Destino) no município, bem como relatórios de vendas de combustíveis emitidos por Agência Nacional de Petróleo do Brasil - ANP (ANP, 2017) e o relatório anual de frota do Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Norte -DETRAN/RN (DETRAN/RN, 2016).
- Dados públicos obtidos a pedido: dados de vendas da distribuidora de gás natural de Natal, Potigás (POTIGÁS, 2017), dados de consumo de diesel ferroviário da Companhia Brasileira de Trens Urbanos - CBTU (BRASIL, CBTU, 2017), contagem de tráfego utilizada na elaboração do PlanMob e dados relacionados com transporte rodoviário intermunicipal do

Departamento de Estrada e Rodagem do Rio Grande do Norte - DER/RN (DER/RN, 2017).

Os dados obtidos para os subsetores referem-se a 2015, que compõe o ano de base deste estudo, devido aos dados públicos disponíveis e por ser o ano de referência para os dados usados na confecção do PlanMob.

4.2.2 Metodologia do Inventário de Emissões

Após a coleta dos dados públicos disponíveis e solicitados, foi adotada a metodologia do Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Escala Comunitária (GPC), baseada na metodologia aplicada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que foi usada para calcular o inventário municipal de emissões de transportes urbanos entre 2012–2015 (IPCC et al., 2006; WRI et al., 2014). Os dados foram cruzados com o PlanMob da cidade (NATAL, 2017b), assim como com os dados da Empresa Brasileira de Trens Urbanos - CBTU (BRASIL, CBTU, 2017) e do Departamento de Estradas e Rodovias -DER / RN, a fim de entender o papel dos seguintes subsetores: transporte público urbano municipal e intermunicipal, frete e serviços urbanos, trens urbanos e transporte motorizado individual.

O inventário de emissões de GEE por queima de combustíveis foi dividido em duas abordagens distintas baseadas na metodologia do IPCC: a abordagem de referência (topdown) e a abordagem setorial (bottom-up). O método top-down considera apenas a oferta total de energia do município, sem o detalhamento sobre como essa energia é consumida para estimar as emissões de dióxido de carbono (CO₂). O método bottom-up identifica onde e como ocorrem as emissões em cada setor.

Com base nos dados de vendas de combustível no município, as emissões totais do setor de transporte urbano foram calculadas usando uma metodologia **top-down** de 2012 a 2015, onde as emissões de CO₂ são estimadas a partir do consumo de combustível fóssil e de fatores de emissão. Conforme o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (BRASIL, 2014), a metodologia top-down consiste em calcular as emissões do gás considerado a partir da equação 1 :

$$E = C \times Fe \text{ (Equação 1)}$$

onde,

E = taxa anual de emissão do poluente considerado, expressa em massa/ano

C = consumo anual do combustível considerado em volume

Fe = fator de emissão do poluente considerado, expresso em massa de poluente por volume de combustível

Os fatores de emissão considerados estão na Tabela 8 a seguir:

Tabela 8 – Fatores de Emissão.

Combustível	Unidade	Poder	Densidade	Fatores de Emissão (kg GEE/un.)		
		Calorífico Inferior (kcal/kg)	(kg/unidade)	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gasolina Automotiva (pura)	litros	10.400	0,742	2,212	0,0008	0,00026
Óleo Diesel (puro)	litros	10.100	0,840	2,603	0,0001	0,00014
Gás Natural Veicular (GNV)	m ³	8.800	-	1,999	0,0034	0,00011
Etanol Hidratado	litros	6.300	0,809	1,457	0,0004	0,00001
Biodiesel (B100)	litros	9.000	0,880	2,431	0,0003	0,00002
Etanol Anidro	litros	6.750	0,791	1,526	0,0002	0,00001

Fonte: (BRASIL, 2014)

O combustível vendido no Brasil possui adição de biocombustíveis, que foi variável no decorrer dos anos, conforme a Tabela 9, sendo incluídos nos cálculos:

Tabela 9 – Adição biocombustível no ano de 2015.

	Mês				Média Anual
	Jan	Fev	Mar	Abr-Dez	
Perc. de etanol na gasolina	25%	25%	26%	27%	27%
Perc. de Biodiesel no Diesel	7%	7%	7%	7%	7%

Fonte: (ANP, 2017)

O detalhamento dos dados, conforme mencionado, permite o detalhamento do uso de cada sub-setor analisado através do cálculo via metodologia bottom-up. O município não apresenta dados detalhados da frota e quilometragem atualizada, permitindo a quantificação das emissões totais da frota, através de uma metodologia bottom-up. Esse método exigiria uma maior disponibilidade de informações desagregadas (distâncias percorridas, eficiência do consumo de combustível, taxas de ocupação de veículos e número de viagens, entre outros) para a estimativa do total de emissões de GEE. Esse problema é semelhante ao de outras cidades latino-americanas de tamanho médio: menos recursos pessoais e institucionais para controlar suas emissões no setor econômico (BID,

2017). Esse detalhamento foi realizado apenas para o setor de transporte público urbano (ônibus), com dados obtidos do PlanMob. Os dados do DER / RN permitiram a quantificação bottom-up do transporte intermunicipal (ônibus). Nestes dois subsetores foi adotada a $E = (Q \times CM) \times Fe$ (Equação 2):

$$E = (Q \times CM) \times Fe \text{ (Equação 2)}$$

Onde,

E = taxa anual de emissão do poluente considerado, expressa em massa/ano

Q = quilometragem anual percorrida

CM= consumo médio sugerido de acordo com ano e modelo da frota

Fe = fator de emissão do poluente considerado, expresso em massa de poluente

O setor de frete e serviços urbanos também foi parcialmente quantificado pelo PlanMob, embora com dados de 2007 – de forma que foi optado por não usar a metodologia bottom-up. Essa particularidade será discutida adiante. A quantificação total para os outros subsetores seguiu o método top-down.

Os dados de consumo de combustível fornecidos pela CBTU permitiram o cálculo dos impactos das emissões do transporte ferroviário, aplicando o método top-down. Para o transporte rodoviário, os dados do PlanMob sobre transportes individuais permitiram a quantificação das viagens para este setor, mas as emissões totais de GEE foram calculadas subtraindo o total de emissões de transportes urbanos dos subsetores públicos e carga e serviços de diesel, já que veículos a diesel de passeio não são fabricados no Brasil (e o uso de diesel inclui um benefício fiscal federal com a intenção de reduzir as despesas de frete). No entanto, embora o diesel seja permitido apenas em veículos comerciais, eventuais equívocos sobre as classificações de veículos permitem o uso de veículos classificados como veículos comerciais leves como transporte motorizado individual. Os sub-setores desta metodologia são sintetizados na Figura 30. A metodologia adotada é considerada adequada, pois permite quantificar as emissões totais de GEE no transporte urbano na cidade de referência, bem como uma compreensão mais profunda do impacto de cada modalidade de transporte, no tocante às emissões, de acordo com os dados disponíveis, e atende ao objetivo da pesquisa. Foi adotada a hipótese de equivalência entre os resultados obtidos pelas metodologias top-down e bottom-up, uma vez que as práticas internacionais registram pequenas diferenças entre as estimativas de emissão de CO₂ por esses métodos.

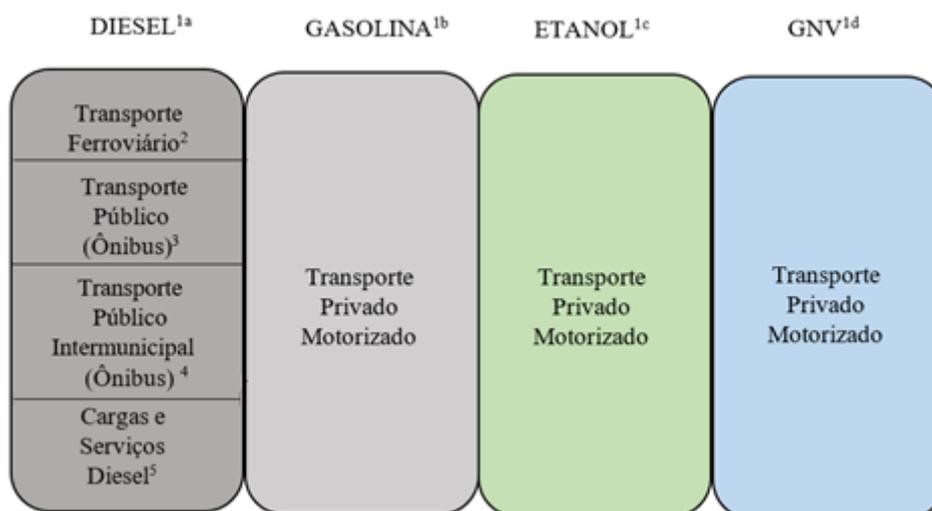


Figura 30 – Dados para o cálculo das emissões dos subsetores dos transportes urbanos.

^{1A, 1B, 1C, 1D} Dados (ANP, 2017) ²Dados (BRASIL, CBTU, 2017); ³Dados (NATAL, 2017b); ⁴Dados (DER/RN, 2017); ⁵ 1a-2 – 3 – 4.

4.2.3 Metodologia de Elaboração dos Cenários

Posteriormente, utilizando a metodologia GPC/IPCC, analisou-se o impacto do planejamento do PlanMob em relação às emissões de GEE, calculando os cenários para 2020 e 2025, conforme previsão do aumento do consumo de combustível em transportes urbanos do PlanMob (NATAL, 2017b). Os cenários de mitigação são então apresentados, incluindo propostas de políticas públicas para fortalecer o transporte público sobre o privado, que foi diagnosticado como o principal fator responsável pelo aumento de emissões nos dois cenários que usam dados do PlanMob.

O PlanMob apresenta dois cenários de consumo de combustível para a cidade para 2020 e 2025. Este estudo calcula o total de emissões de CO_{2e} desses dois cenários do PlanMob, seguindo a mesma metodologia GPC/IPCC (WRI et al., 2014), nomeando os cenários CPMob1 e CPMob2. Esses cenários fornecerão dados para a proposta de mais dois cenários focados na redução de emissões de GEE, nos cenários de mitigação CM1 e CM2. O CM1 apresenta um esforço para direcionar as políticas públicas de mobilidade urbana para a redução das emissões de GEE, um aspecto que não é abordado no PlanMob. O cenário de mitigação adicional CM2 é mais ambicioso, considerando ações mais impactantes ou mais intensas do que as adotadas no CM1. A elaboração desses cenários envolve uma revisão bibliográfica das soluções aplicáveis à cidade de referência.

4.3 Inventário de Emissões de GEE da cidade de Natal

Esta seção detalha como as emissões de GEE no CO_{2eq} foram calculadas usando dados dos vários setores de transporte urbano. Embora todos os dados tenham sido submetidos à mesma metodologia GPC / IPCC explicada na Seção 3, esta seção permite a replicação subsequente dos cálculos para outras cidades, de acordo com os dados disponíveis localmente.

4.3.1 Cálculos

De acordo com a metodologia GPC/IPCC as emissões de GEE são divididas em escopos. O escopo 1 se refere a todas as emissões diretas realizadas por fontes dentro dos limites municipais. O escopo 2 se refere a emissões indiretas decorrentes da importação de eletricidade e o escopo 3 são emissões que ocorrem decorrentes de atividades dentro das fronteiras municipais, porém são realizadas fora da cidade. A figura exemplifica.

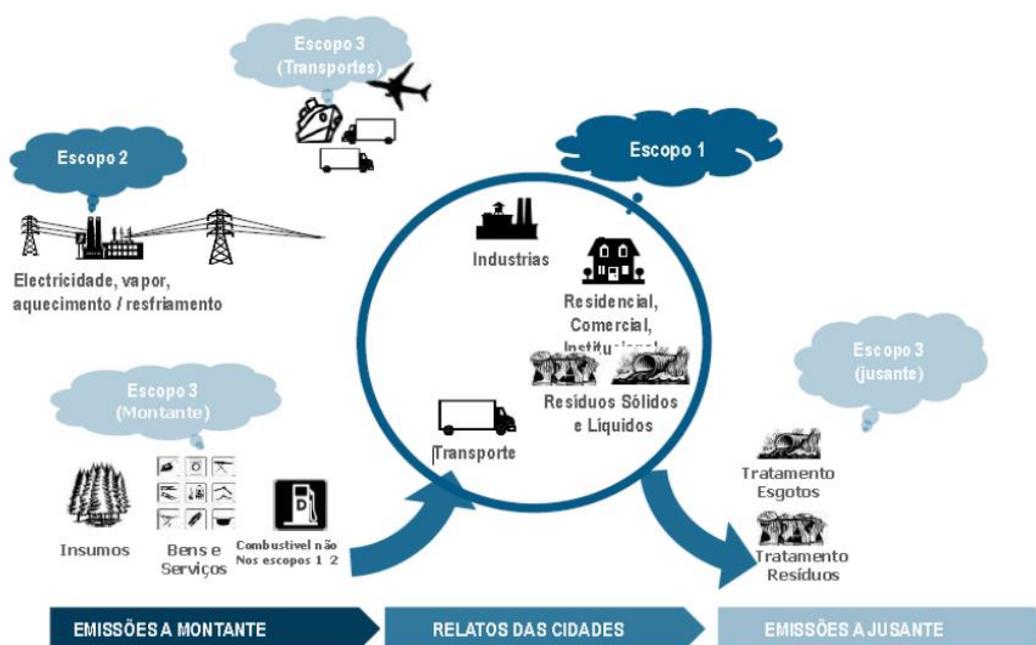


Figura 31 – Escopos para cálculo das emissões de GEE.

Fonte: (LONDRINA, 2017)

Neste estudo, foram analisadas as emissões de GEE do Escopo 1 do setor de transportes de Natal. Conforme detalhado nos cálculos do inventário, o transporte intermunicipal rodoviário, de acordo com o PlanMob Natal, possui cerca de 80% das viagens para a cidade de Natal – pólo regional da economia e origem ou destino da maioria do tráfego

de passageiros deste sub-setor - percentual este adotado para o transporte intermunicipal realizado por ônibus. Desta forma, foram alocadas para a cidade de Natal, com mesmo percentual de 80%, as emissões de GEE deste sub-setor. No caso do transporte ferroviário, foi adotada a alocação de 100% das emissões para o município de Natal, pois não há dados de O-D disponíveis e a única via férrea existente tem viagens que sempre se originam ou terminam em Natal. Foi adotado o Nível 2 (Tier 2), com a utilização dos fatores de emissão nacionais (BRASIL, 2014) desse setor energético. Os fatores de emissão finais já foram apresentados na tabela 8. A tabela 10 demonstra, conforme ainda o mesmo relatório (BRASIL, 2014), os parâmetros utilizados no cálculo dos fatores de emissão e sua densidade energética.

Tabela 10 – Parâmetros para cálculo dos fatores de emissão no ano de 2015.

Combustível	Fator de Emissão (tC/ TJ)	TJ/tep	tep/m ³	% Oxidada
Gasolina	18,9		0,77	
Etanol Anidro	18,8		0,51	
Etanol Hidratado	18,8	0,04187	0,534	99%
Diesel Mineral	20,2		0,8480	
Biodiesel	20,2		0,7920	
GNV	15,3		0,880	99,5%

Fonte: (BRASIL, 2014)

BOX 1 :

Foi utilizada a ferramenta GHG Protocol, que contabiliza as emissões de CO₂ dos biocombustíveis separadamente, como emissões de CO₂ biogênico:

“Algumas atividades antrópicas emitem CO₂ por conta da transformação de estoques biológicos de carbono (vegetais, animais, algas, entre outros). O carbono presente em tais estoques biológicos foi removido da atmosfera através da fotossíntese, logo estas emissões não possuem impacto adicional na concentração deste GEE na atmosfera. Por este motivo, as emissões de CO₂ biogênico devem ser contabilizadas de maneira separada em relação às outras emissões de GEE, pois estas possuem impacto adicional nas concentrações de GEE na atmosfera. Recomenda-se, então, a contabilização das emissões de CO₂ biogênico na subcategoria “Emissões de CO₂ biogênico” de alguma das categorias de fontes de emissão de Escopo 1, Escopo 2 ou Escopo 3. Exemplos: Emissão de CO₂ biogênico por conta da queima de biocombustíveis, pela supressão de vegetação plantada, pela decomposição de material orgânico, entre outros. IMPORTANTE: Apenas as emissões de CO₂ devem ser contabilizadas nessa subcategoria. As emissões de outros GEE (CH₄, N₂O, etc) por conta dessas mesmas atividades devem ser contabilizadas nas categorias de fontes de emissão de cada escopo. Isto pelo fato de haver diferença entre o potencial de aquecimento global (GWP, em inglês) desses gases e o GWP do CO₂ que é capturado durante a fotossíntese. (GHG PROTOCOL, 2012, 2013)

As vendas totais de combustíveis para transporte são mostradas na Tabela 11, de acordo com os dados obtidos. Esses dados permitem o cálculo do total de emissões de gases de efeito estufa em CO_{2eq} do setor de transporte urbano de Natal, de acordo com a metodologia GCP / IPCC mencionada anteriormente.

Tabela 11 – Vendas totais de combustíveis no município de Natal (RN): 2012 a 2015

Ano	Gasolina Automotiva (MI)	Etanol (MI)	Óleo Diesel (MI)	Gás Natural Veicular (GNV) (Mm3)
2015	207	21,8	107	17,3
2014	213	13,6	97,2	17,8
2013	205	16,5	100	19,1
2012	192	16,0	89,0	20,5

Dados consolidados pelo autor. Fontes de dados primárias: (ANP, 2017; POTIGAS, 2017)

As bases de cálculo do transporte público urbano rodoviário concedido à iniciativa privada, conforme apresentado na Tabela 12, vieram do PlanMob, que indica os quilômetros percorridos e a tipologia existente dos veículos. Segundo o PlanMob, não houve alteração nas linhas e quilômetros deste subsetor entre 2012–2015.

Tabela 12 – Dados do transporte público rodoviário concedido pelo município de Natal / RN: 2015

Serviço Público de Transporte	Tipo da frota de veículos	Frota (quantidade)	idade média da frota (anos)	Distância anual percorrida (Mkm)
REGULAR 1	Ônibus urbano a diesel	646	7,5	62,9
REGULAR 2	Micro-ônibus a diesel	177	7,5	17,6

Dados consolidados pelo autor. Fontes de dados primárias: (NATAL, 2017b)

Os dados usados para calcular as emissões do transporte rodoviário são apresentados no Anexo 2, que lista a nomenclatura das linhas interurbanas com origem ou destino no município de referência. De acordo com a matriz Origem-Destino (O-D) informada no PlanMob, o município de Natal concentrou 80% das motivações das viagens metropolitanas interurbanas rodoviárias. Esse percentual foi adotado para ajustar as emissões deste setor, respondendo pelo município que gera viagens.

Além dos sistemas rodoviários, existe um sistema de 56,2 km no modo ferroviário apenas para passageiros, operado em via singela, com equipamentos a diesel. Esse sistema faz conexões internas no município, bem como conexões intermunicipais na região

metropolitana de Natal. Não foram encontrados dados de pesquisa de origem-destino para este sistema, mas mostra pouca participação na rede de transporte da cidade, e é o município de Natal que concentra as demandas de deslocamento e o faturamento. As emissões para o sistema ferroviário foram atribuídas, de forma conservadora, integralmente ao município de Natal.

Tabela 13 – Transporte público ferroviário em Natal (2012 a 2015)

Ano	Número passageiros (milhões)	Consumo de óleo diesel (x 100.000l)	Frota
2015	2,41	4,2	2 locomotivas e 3 sistemas lightrail
2014	1,54	3,95	2 locomotivas e 2 sistemas lightrail
2013	1,55	4,03	4 locomotivas
2012	1,85	2,42	4 locomotivas

Dados consolidados pelo autor. Fontes de dados primárias: (CBTU - COMPANHIA BRASILEIRA DE TRENS URBANOS, 2016)

Há poucos dados relevantes atuais para o transporte municipal de carga no PlanMob. Os dados disponíveis são de 2007, provenientes de uma pesquisa de Origem-Destino realizada no município (COPPE/UFRJ, 2007). Nenhuma atualização para esses dados no PlanMob 2017 foi realizada. De acordo com a pesquisa de 2007 da O-D, 35.226 viagens de caminhão são realizadas diariamente, das quais 13.073 são internas, 6901 originadas no município e 6601 têm como município o destino. Esses dados de 2007 foram usados para uma estimativa bottom-up do consumo de combustível (WRI et al., 2014), considerando uma idade média da frota de cinco anos (DETRAN/RN, 2016), caminhões pesados a diesel para transporte intermunicipal, caminhões diesel médios para transporte interno e uma distância de transporte correspondendo à extensão aproximada do município, na sua maior dimensão de 25 km para o transporte interno, e metade desse valor, 13 km, para o transporte intermunicipal. Essa estimativa foi comparada às vendas de diesel no município em 2007, a fim de quantificar o peso desse setor para o mesmo ano (Tabela 14). Devido à precariedade da atualização dos dados, a quantificação deste subsetor foi agregada a outros setores de serviços públicos urbanos que utilizam veículos a diesel, como transporte privado de ônibus e locação de minivans (transfers), serviços públicos de manutenção, coleta de lixo e transporte escolar.

Tabela 14 – Estimativa da participação do setor de carga no consumo total de diesel para 2007

Quantificação	Rota	Tipo veículo	idade média	dmt(km)
6901 viagens diárias	Natal - outros destinos	Caminhão pesado a diesel	2002	13
6601 viagens diárias	Outros destinos - Natal	Caminhão pesado a diesel	2002	13
13073 viagens diárias	Viagens intramunicipais	Caminhão médio a diesel	2002	25
Consumo estimado diesel (MI)	20,5			
Consumo anual em 2007 (MI)	100			
Percentual estimado participação setor cargas	20,5%			

Dados consolidados pelo autor. Fontes de dados primárias: (ANP, 2017; COPPE/UFRJ, 2007)

Este percentual não foi usado na quantificação direta deste subsetor, sendo apenas um indicador que o menor percentual do consumo de diesel na cidade se deve efetivamente ao transporte de cargas. Este subsetor – cargas e serviços diesel – adotou a mesma quantificação top-down dos demais setores citados.

4.3.2 Resultados

A Tabela 15 e a Figura 32 mostram o inventário de emissões de GEE em CO_{2e} do setor de transporte urbano, de acordo com o tipo de combustível, entre 2012–2015.

Tabela 15 – Emissões calculadas de gases de efeito estufa (GEE) do transporte urbano do município de Natal 2012–2015 (mil tCO_{2eq}).

	2012	2013	2014	2015
Gasolina	355,6	364,2	369,9	351,0
Etanol	0,2	0,2	0,2	0,3
Diesel	224,6	252,8	243,9	264,9
GNV	43,5	40,4	37,7	36,7
Total	624,0	657,7	651,7	653,0

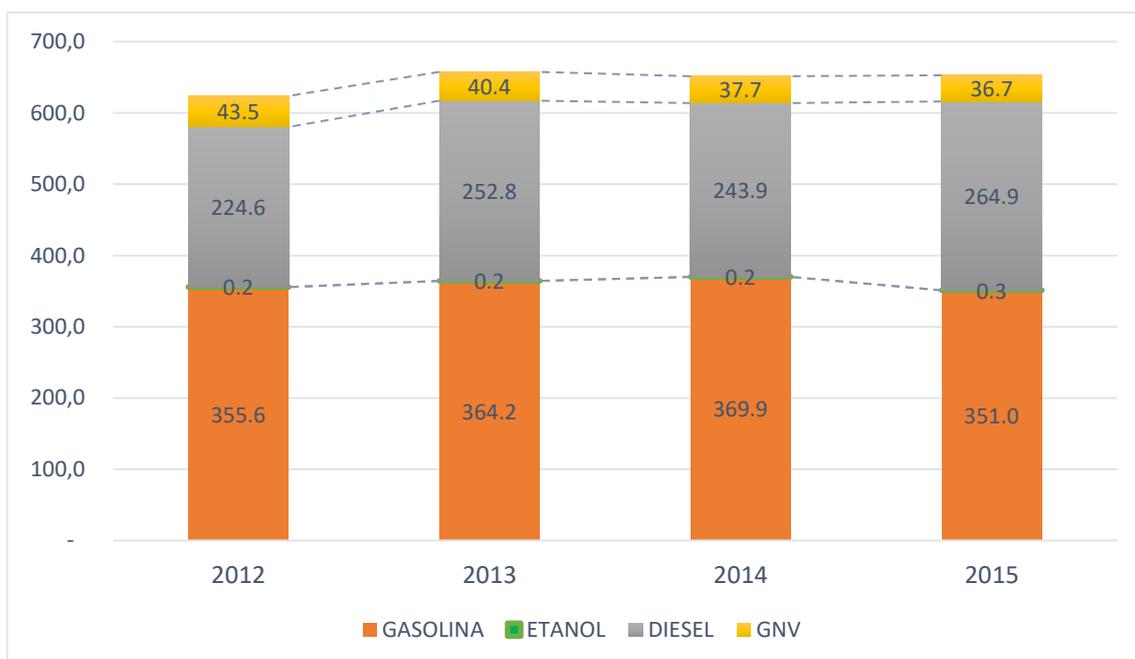


Figura 32 – Emissões calculadas de gases de efeito estufa (GEE) do transporte urbano do município de Natal 2012–2015 (mil tCO_{2eq}).

A Tabela 16 apresenta a quantificação das emissões de GEE em CO_{2eq} no setor de transporte urbano no município de Natal em 2015, por subsetores, como resultado dos dados obtidos do PlanMob e dados solicitados para este ano base. As contribuições de transporte individual motorizado (automóveis a gasolina, flex, etanol e GNV – inclusive taxis e motocicletas), transporte público municipal (rodoviário), transporte rodoviário intermunicipal (rodoviário), transporte ferroviário de passageiros e cargas e serviços a diesel são listadas por categoria.

Tabela 16 – Emissões calculadas do transporte urbano do município de Natal e seus subsetores em 2015.

ATIVIDADE	Emissões em toneladas métricas de CO ₂ equivalente (mil tCO _{2e})	% participação
TRANSPORTE URBANO TOTAL	653,0	100%
Ônibus urbanos	84,5	13,0%
Transporte intermunicipal (rodoviário)	11,0	1,7%
Trens Urbanos	1,1	0,2%
Cargas e serviços urbanos (a diesel)	169,4	26,0%
Transporte Privado Motorizado	386,9	59,3%

A Figura 33 exibe os dados de emissão em forma gráfica por subsetor. A Figura 34 apresenta as contribuições das emissões de CO_{2eq} por passageiro transportado em cada subsetor.

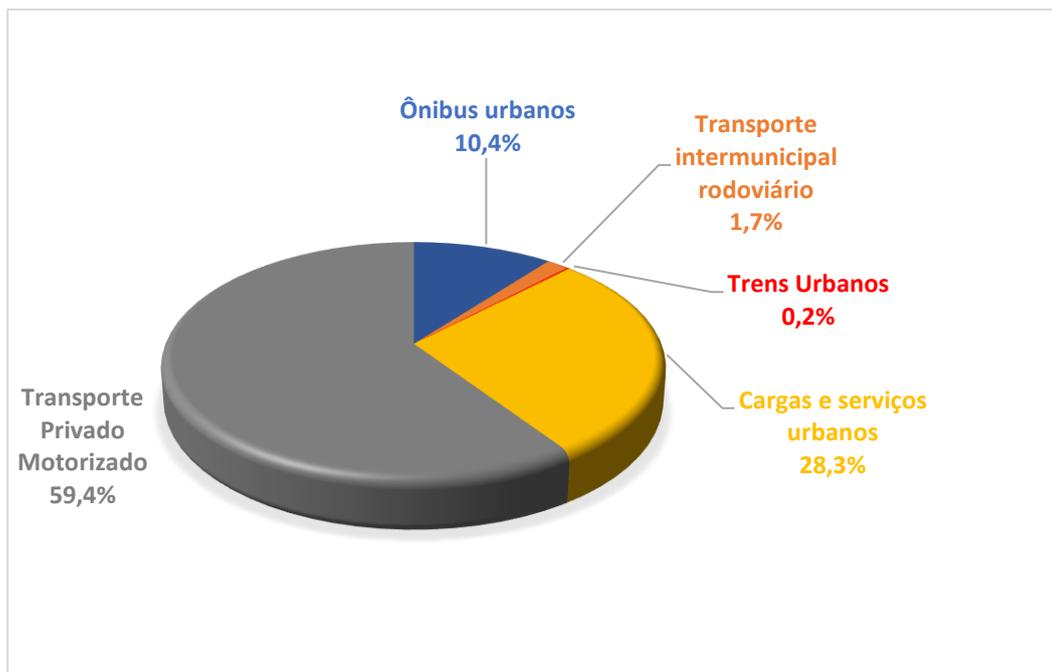


Figura 33 – Emissões calculadas por subsetor de transporte urbano (mil tCO_{2eq}) para 2015.

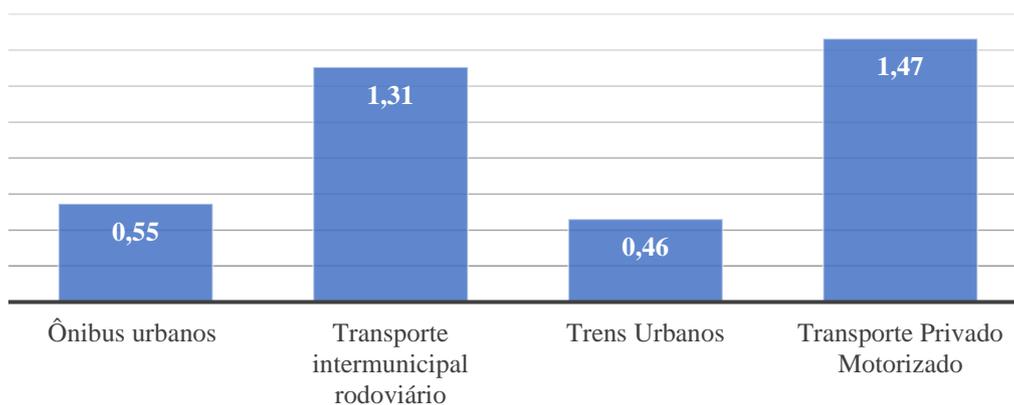


Figura 34 – Emissões por passageiro dos subsectores de transporte urbano (kgCO_{2eq}) para 2015.

A Tabela 17 compara o transporte público intermunicipal com o realizado no município. Além das emissões por passageiro, a quilometragem percorrida por passageiro - que é maior no transporte intermunicipal - também foi analisada.

Tabela 17 – Ônibus urbanos e interurbanos: emissões de CO₂ em 2015.

	Distância anual por passageiro (km)	Emissões anuais por passageiro (kg CO _{2e})
Ônibus urbanos	0,53	0,55
Transporte intermunicipal rodoviário	1,14	1,3

4.3.3 Discussão

4.3.3.1 Ônibus urbanos

As emissões de CO_{2eq} dos ônibus urbanos foram quantificadas através dos dados de quilometragem percorrida e frota a partir dos dados do PlanMob. O município tem atividades relacionadas à fiscalização de rotas de transporte público, portanto, esses dados mostram um grau razoável de confiabilidade. A baixa frota de veículos urbanos destinados ao transporte público é digna de nota. De acordo com dados do DETRAN/RN, a frota municipal total de referência em 2015 totalizou 360.777 veículos, enquanto a frota ativa de transporte público totalizou apenas 823 veículos, ou 0,23% da frota. No entanto, esta pequena frota, devido à alta quilometragem anual alcançada, o uso de apenas diesel, e veículos de meia-idade contribuíram com cerca de 10% do total de emissões de CO₂. Destaca-se o fato de o transporte público contar ainda com microônibus que operam linhas próprias, denominada “frota complementar” e veículos de similar alta idade média, sistema existente em muitos países africanos, conforme constatado pelo relatório da SloCAT (2018). Neste inventário os subsetor de ônibus urbanos incluiu as emissões destes ônibus e microônibus em conjunto por terem operação, linhas e regulação idênticas no município.

4.3.3.2 Transporte Individual Motorizado

O alto impacto do transporte motorizado individual nas últimas décadas é um fenômeno recorrente nas grandes e médias cidades latinas dos países em desenvolvimento. O transporte individual motorizado representou cerca de 60% das emissões de CO_{2eq} neste inventário, sendo a modalidade de contribuição predominante para as emissões totais do transporte urbano no município. As ações de mitigação das políticas públicas devem priorizar o desestímulo ao seu uso. Para isso é necessário o aumento da atratividade dos transportes públicos, insuficiente e de baixa qualidade, como acontece frequentemente nos países em desenvolvimento, ver por exemplo Dhakap e Schipper (2005) e Dhakal (DHAKAL; RUTH, 2017).

No entanto, mesmo com uma frota antiga, os ônibus urbanos apresentam uma taxa de emissão por passageiro que é 2,7 vezes menor do que a taxa de emissão por passageiro do transporte motorizado individual, como acontece em todo o mundo. Ver por exemplo Jain e Tiwari (2016) e Madlener e Sunak (2011).

4.3.3.3 Transporte Público Intermunicipal Rodoviário

Conforme relatado na pesquisa Origem-Destino, o município tem um papel regional na geração de viagens. Assim, este subsetor transporta anualmente 10.488.855 passageiros, ou cerca de 8% do total de 135 milhões de passageiros (o transporte urbano atende a 124,6 milhões de passageiros). A taxa de emissão por passageiro no transporte intermunicipal rodoviário é 2,38 vezes maior que a taxa de emissão dos ônibus urbanos. Esse crescimento decorre diretamente das maiores distâncias entre os municípios, o que é um resultado consistente com o aumento das distâncias de deslocamento. No entanto, esse modo apresenta emissões totais e por passageiro inferiores ao transporte motorizado privado. A melhoria da eficiência da rota, a redução da idade média dos veículos - que apresenta uma idade média semelhante à da frota urbana, de 7,5 anos - e o uso de tecnologias menos emissoras, como gás natural ou até veículos elétricos, devem estimular o aumento do uso desse modo de transporte público, levando à redução de emissões.

4.3.3.4 Transporte Ferroviário

Este subsetor destaca-se com as emissões absolutas mais baixas (0,2% das emissões totais) e a menor taxa de emissão por passageiro entre todos os sistemas urbanos, com um índice de emissão 3,2 vezes inferior ao transporte motorizado individual e 17% inferior ao transporte público de ônibus. Infelizmente, sua participação nos movimentos urbanos também é a mais baixa, representando apenas 2% dos passageiros transportados pelo sistema público rodoviário. Esta menor taxa de emissões, mesmo usando veículos movidos a diesel, resulta da melhor eficiência energética do transporte ferroviário.

4.3.3.5 Carga e Serviços Urbanos

Os dados deste subsetor são escassos, sem dados atualizados de origem-destino, contagem de tráfego, discriminação de frotas e milhas percorridas. No entanto, a economia municipal está concentrada principalmente no setor de serviços, sem importantes regiões industriais como centros geradores de carga e um porto de pequena representatividade. No entanto, a participação deste setor representa quase um terço do total das emissões do setor de transporte urbano. A análise da matriz O-D de 2007 e as comparações com o consumo de diesel na época indicam que o transporte de carga representaria uma pequena parte deste sistema, sendo o restante o transporte fretado de passageiros de ônibus, micro ônibus e serviços públicos. Esse setor, apresentando dados escassos, pode se beneficiar da atualização de sua pesquisa Origem-Destino, quantificando o impacto de atividades como a coleta de lixo e a movimentação de

veículos de manutenção de água e esgoto e energia e ambulâncias, entre outros; são todos os serviços executados pelo poder público, seja diretamente ou via concessão, facilitando uma mudança mais rápida do óleo diesel para veículos elétricos, por exemplo.

4.4 Cenários para Emissões de GEE da cidade de Natal

4.4.1 Cálculos

O PlanMob apresenta cenários de mobilidade urbana para 2020 e 2025, de acordo com uma metodologia específica para esse planejamento, que leva em conta a evolução do PIB, o crescimento populacional e o aumento da frota atual. A análise da metodologia aplicada pelo governo municipal na elaboração do PlanMob não está no escopo deste estudo. No entanto, de acordo com a bibliografia citada (NATAL, 2017b), os dados primários foram obtidos por meio de Contagem Volumétrica Classificada (CVC), dados documentais e secundários e câmeras filmadoras, além de reuniões técnicas e audiências públicas. Também foram desenvolvidos modelos para o crescimento da renda da população e usado o software Aimsum para simular tráfego e elaborar seus próprios cenários. Nestes cenários, observa-se um aumento do consumo de combustível devido à piora do nível de tráfego. O *business-as-usual*, ou cenário de referência, não indica obras ou mudanças no sistema rodoviário. Além do cenário de referência, o PlanMob apresenta uma lista de 41 obras não estruturais que, se implementadas, gerariam um pequeno benefício em relação ao cenário inicial. Este cenário prevê um aumento no consumo de combustível menor do que o cenário da linha de base. Os impactos sobre o consumo de combustível são mostrados na Tabela 18. As projeções de viagens individuais motorizadas para 2020 e 2025 estão listadas na Tabela 19. As emissões foram calculadas para 2020 e 2025 seguindo a projeção “business-as usual”, gerando o cenário de emissões de GEE denominado CPMob1. Em seguida, as intervenções previstas no PlanMob geraram o cenário CPMob2. As emissões foram calculadas pela metodologia top-down já mencionada. Os cenários CPMob1 e CPMob2, portanto, foram construídos considerando o aumento de consumo de combustível previsto no PlanMob.

Tabela 18 – Estimativas consumo de combustível de acordo com PlanMob (2012 a 2015)

Cenário de mobilidade urbana	Incremento consumo combustível em 2020	Incremento consumo combustível em 2025
1 – <i>business as usual</i>	10,1%	22,2%
2 - com intervenções	9,2%	20,5%

Fonte: (NATAL, 2017a)

Tabela 19 – Projeção de viagens diárias motorizadas individuais apresentadas pelo Planejamento Municipal de Transportes.

Diagnóstico em 2015	Projeção 2020	Projeção 2025
1.046.797	1.127.397	1.215.331

Fonte: (NATAL, 2017a)

Na ausência de planejamento municipal para ações de mudança nos subsetores do transporte urbano, em 2020 e 2025 foram aumentados equitativamente os consumos de todos os subsetores de acordo com o percentual previsto no PlanMob, conforme a Figura 36, mantendo-se porém as estimativas para 2015 nos subsetores de transporte públicourbano e intermunicipal rodoviário por serem setores concedidos e sem previsão de mudanças tanto de acordo com o PlanMOB quanto de acordo com o DER.

O único setor que contou com cálculo específico de estimativa de emissões foi o ferroviário. Este setor em particular possui um planejamento de aumento de sua oferta. De acordo com o relatório anual da CBTU (CBTU, 2016) foi realizada a compra de composições ferroviárias (denominadas equivocadamente no relatório como VLT's – pois são composições ferroviárias convencionais, pesadas), movidas a diesel, com intuito de aumentar a capacidade operacional. Essa compra foi iniciada em 2014 porém as entregas das composições sofreram atrasos, sendo entregue em média um nova composição por ano, conforme Tabela 20. Associada a entrega há um aumento equivalente no uso deste modal, como pode ser observado na mesma Tabela 20. Foi considerado que, conforme os atrasos de entregas observados somente em 2024 deverão estar em operação as 12 composições novas denominadas VLT's pela CBTU. Neste trabalho foi adotada a hipótese de crescimento linear do Movimento Dia Útil – MDU (Figura 35), parâmetro de medição do número de passageiros utilizado pela CBTU. Conforme o consumo de diesel informado pela CBTU (BRASIL, CBTU, 2017), há um indicador de consumo de cerca de 49 l de diesel por passageiro – indicador utilizado para extrapolação do consumo para os anos de 2020 e 2025.

Tabela 20 – Projeção de consumo de diesel para o transporte ferroviário.

ANO	MDU	LOCOMOTIVAS	VLT'S	DIESEL(L)
2014	6000	2	3	395001
2015	8500	2	3	420690
2016	10300	2	4	512212
2017	11425	2	5	
2018	13575	2	6	
2019	15382,5	2	7	
2020	17190	2	8	842310
2021	18997,5	2	9	
2022	20805	2	10	
2023	22612,5	2	11	
2024	24420	2	12	
2025	26227,5	2	12	1285147,5

Dados até 2016 (BRASIL, CBTU, 2017), extrapolação a partir de 2017.

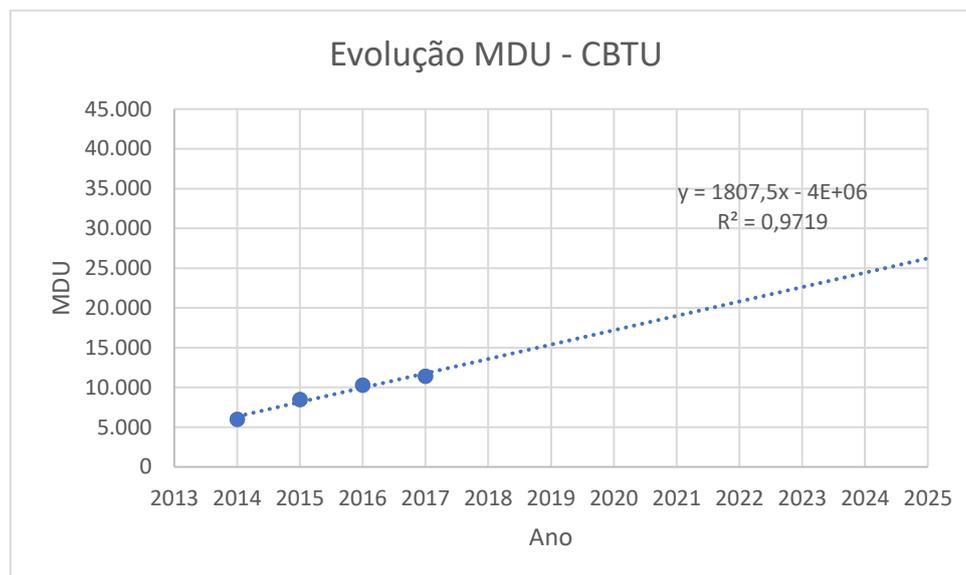


Figura 35 – Projeção de crescimento do MDU

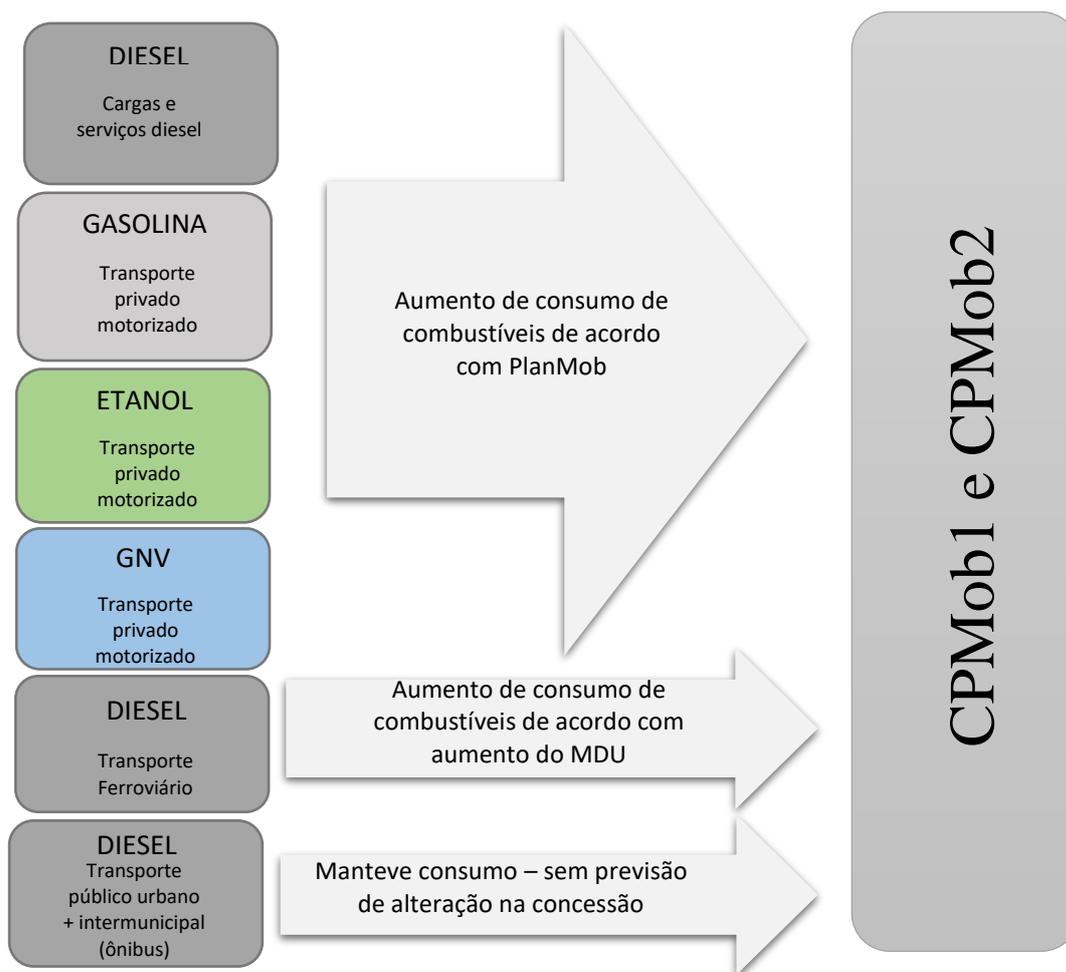


Figura 36 – Parâmetros adotados para construção dos cenários CPMob1 e CPMob2.

Além dos cenários de emissões de GEE baseados nos dados do PlanMob, foram elaborados cenários de mitigação de emissões de GEE, atuando principalmente nos subsetores com maior participação de emissões, e tomando por referência o inventário do ano 2015. O primeiro cenário de mitigação, CM1, apresenta um esforço para direcionar as políticas públicas de mobilidade urbana para as reduções de emissões - aspecto que não é abordado no PlanMob. O cenário de mitigação adicional - CM2 - é mais ambicioso, considerando ações mais impactantes ou mais intensas do que aquelas adotadas no CM1. Os cenários de mitigação não visam apenas reduzir as emissões de GEE, mas também visam melhorar a mobilidade da cidade e reduzir a poluição atmosférica.

A revisão de literatura permitiu direcionar os cenários de mitigação deste estudo para soluções aplicáveis à Natal. Pereira Jr et al.(2016) e La Rovere et al. (2016), em seu estudo nacional sobre o Brasil, abordaram as seguintes ações no cenário inicial de mitigação: investimentos em Bus Rapid Transit (BRT), ampliação de ciclovias, otimização de

tráfego, melhoria na eficiência energética de equipamentos leves e pesados veículos e expansão do uso de etanol e biodiesel. Nesses estudos, o cenário adicional de mitigação também incluiu a inserção de ônibus elétricos, eficiência energética adicional de veículos leves, expansão do metrô e tramway (VLT) e investimento em hidrovias e ferrovias para transporte de cargas. O impacto da melhoria da eficiência energética dos veículos de combustão é ainda reforçado por vários autores (BUENO, 2012; IEA, 2017; TALBI, 2017; USÓN et al., 2011; VAN DER ZWAAN et al., 2013; WILLS; LA ROVERE, 2010). O foco no transporte público é decisivo em toda a literatura relacionada à descarbonização do transporte urbano (Llet al., 2017; MCID, 2013; REDMANet al., 2013). Gouvello et al. (2010) também citaram a direção que o setor de transportes urbanos deve tomar para sua descarbonização: o desenvolvimento de sistemas de ônibus de alta capacidade e transporte ferroviário em locais de alto tráfego, gerenciamento de mobilidade urbana para reduzir o congestionamento (o aumento da velocidade horária de 20 km/h para 25 km/h pode gerar uma redução de até 5% nas emissões), o estabelecimento de estratégias para limitar o transporte individual, integrar diferentes modos de transporte, integrar o uso do solo ao transporte, reduzir as distâncias de viagem, incentivar o transporte não motorizado e fortalecer o uso de biocombustíveis, especialmente etanol. O Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas dos Transportes e Mobilidade Urbana (2013) também direciona ações, com foco no transporte público, planejamento urbano com densificação e uso misto das regiões, criação de infraestrutura para mobilidade coletiva por transporte público, e substituição de combustíveis fósseis em ônibus urbanos. A adoção de veículos privados elétricos também é considerada um caminho inevitável (BARAN, 2012; VAN DER ZWAAN et al., 2013) na redução do total de emissões, caminho este, porém que vem tendo lenta penetração no mercado brasileiro, conforme as estatísticas de venda e decorrente de faltas de políticas nacionais de incentivo, o que faz com os recentes lançamentos de veículos elétricos vendidos no Brasil ainda tenham preços incompatíveis com o mercado, desestimulando uma rápida eletrificação da frota (ANFAVEA, 2018; NOVACANA, 2018b, [S.d.]).

O escopo deste estudo é privilegiar cenários de mitigação que possam ser efetivamente desenvolvidos pelas políticas públicas dos municípios (ELIASSON; PROOST, 2015; MERCIER et al., 2016). Entretanto, cidades médias, como a objeto deste estudo,

apresentam limitações em suas ações de mitigação quando comparadas às grandes cidades:

- O sistema de metrô - transporte em trilhos eletrificados de alta capacidade - é inviável na escala de cidade de tamanho médio (GOUVELLO, 2010; MCID; MT, 2013);
- Apesar da grande importância do tipo de combustível usado nas emissões geradas, os municípios em geral demonstram capacidade limitada de incentivar um combustível: os tributos são em sua maioria estaduais e/ou nacionais. O município só pode restringir os horários ou zonas de tráfego de certos veículos;
- As cidades também apresentam pouca capacidade para ações destinadas a melhorar a eficiência energética dos veículos, pois estes são normalmente regulados pelos padrões nacionais. Elas podem incentivar veículos e modos menos poluentes, dando-lhes maior liberdade de movimento ou áreas de estacionamento exclusivas.

Essas particularidades são consideradas nos cenários CM1 e CM2, que privilegiam as ações que podem ser tomadas em âmbito municipal. As descrições das considerações adotadas em cada cenário de mitigação serão apresentadas durante a análise dos resultados, pois dependem do estágio anterior do inventário de emissões de GEE.

A construção dos cenários seguiu as projeções de aumentos nas viagens individuais motorizadas estimadas pelo PlanMob. Também acompanhou a série de crescimento o número de passageiros de trens urbanos, de acordo com o aumento de capacidade que a rede vem sofrendo desde o evento da Copa do Mundo de 2014. No entanto, isso tem sido limitado pela dificuldade que a CBTU vem passando para atingir suas metas diárias de passageiros devido a atrasos no cronograma de entrega de suas composições. Das 12 composições de diesel adquiridas em 2014, apenas cinco estavam em operação até o final de 2017. Devido à falta de estudos de Origem-Destino para este modo de transporte, não haverá substituição de modal quando ocorrer seu crescimento; este modal, com uma tarifa subsidiada de cerca de US \$ 0,14 contra a tarifa de US \$ 1,00 em ônibus urbanos e até US \$ 2,27 em ônibus intermunicipais, eventualmente pode substituir os modos não motorizados, como caminhada e transporte cicloviário. Para o transporte interurbano rodoviário, a mesma taxa de crescimento foi adotada para o número de viagens individuais, sem migração modal; não há planos para mudar sua estrutura de acordo com o órgão estadual, nem planos para sua integração ao transporte urbano no PlanMob. Neste sub-setor foi mantida a atribuição de 80% das emissões para a cidade de Natal. O setor de frete e serviços urbanos a diesel também acompanhará o aumento percentual de

consumo de combustível previsto no PlanMob, conforme definido pela quantificação top-down planejada para todo o tráfego.

O PlanMob sugere a implementação de uma extensa rede de ciclovias, dos atuais 31 km para 210 km, mas não há quantificação para orçamentos ou fontes de recursos para essa ação, além de um cronograma de execução. Essa implementação será incluída nos cenários de mitigação CM1 e CM2, a serem concluídos em 2025, mas distante dos cenários básicos pela simples ausência de um plano do governo para sua implementação. A estimativa de substituição do transporte motorizado pelo ciclovitário ainda possui difícil mensuração, mesmo em cidades com estrutura ciclovitária consolidada. A cidade de Nova Iorque, por exemplo, adota um indicador de contagem de ciclistas que *“não representa o número total de ciclistas em Nova Iorque, mas sim a melhor forma de estimar as tendências de uso de bicicleta ao longo do tempo”* (ITDP, 2015). Este indicador revelou um crescimento médio anual de mais de 10% no número de ciclistas entre o ano 2000 e 2014. No caso de Natal, segundo o PlanMob, apesar de a matriz O-D de 2007 indicar que 4% das viagens diárias foram realizadas de bicicleta, mesmo sem estrutura ciclovitária adequada, *“é indubitável que a demanda de ciclistas em Natal é muito superior aos 4% constatados em 2007”* – porém também é indubitável a falta de dados para comprovar esta afirmação. Não há dados atuais sobre impactos de novas ciclovias implantadas, apenas uma pesquisa com ciclistas feita para entender os motivos de viagens e o perfil dos mesmos. A busca de referências quantitativas de mitigação atingida pelo estímulo ao modal ciclovitário leva ao trabalho de Gouvello et al. (GOUVELLO, 2010), que para um cenário brasileiro em 2030 e com uma implantação adequada da rede de ciclovias que permitiria uma redução de até 1,6% nas emissões totais do transporte urbano. Devido à falta de dados O-D atualizados, a mesma estimativa relatada por Gouvello et al. será aplicada como um exemplo de quantificação de mitigação, não devendo ser considerada uma estimativa de cálculos absolutos.

O PlanMob 2017 também menciona:

- ineficiência da rede de transporte de ônibus urbanos com linhas ponto-a-ponto, sobreposição de itinerários e rotas simultâneas, mas não apresenta propostas de mudança; em vez disso, menciona apenas que uma mudança para uma rede estrutural hierárquica deve ser realizada dentro dos principais corredores de transporte;
- deficiência generalizada na mobilidade de pedestres, mas também sem apresentar nenhum plano de ação para correção. A única intervenção planejada é a reabilitação de

um bairro histórico, que atualmente não é muito representativo da mobilidade urbana como pólo gerador de viagens;

- possível implementação de uma rede de compartilhamento de bicicletas, mas sem qualquer quantificação de seu impacto ou viabilidade.

Por esses motivos, essas ações não foram incluídas nos cenários CPMob1 e CPMob2, e devido à falta de dados sobre seu impacto na mobilidade urbana e, conseqüentemente, nas emissões de GEE, não foram incluídas nas ações de mitigação. A revisão da literatura também identificou estudos sobre novos modos de transporte (ARAÚJO, 2017; MACEDO, 2017), analisando a implantação de um sistema de tramway (VLT) e trólebus, respectivamente, em Natal. A implantação de uma linha de trólebus de 10 km foi considerada no cenário CM1 para 2025. Adicionalmente, o cenário CM2 também contemplará a implantação de um total de 28 km de linhas de tramway, em outro trecho viário no município. A literatura analisada (ARAÚJO, 2017; MACEDO, 2017), apesar de apresentar indicadores iniciais de estimativas de custos, não apresenta a análise do retorno do investimento para o possível operador, o que impede uma análise efetiva do custo real para implementar essas modalidades. O sistema de trólebus de 10 km tem investimento estimado em R\$ 17,3 milhões para infraestrutura e R\$ 22,77 milhões para a aquisição de 18 trólebus articulados. O sistema de bondes de 28 quilômetros, incluindo infraestrutura, desapropriação, construção de estações, pátios de manobra, estacionamentos e aquisição de veículos, totaliza cerca de R\$ 2 bilhões, mas carece de uma análise de receita do sistema e das operações de estacionamento durante toda a vida útil. A ausência, no entanto, de estudos inserindo de forma integrada o sistema tramway e a linha trólebus no sistema de mobilidade urbana fez com que fosse feita somente a substituição de itinerários de ônibus urbanos a diesel existentes de 2015 por aqueles modais eletrificados, nos trechos onde os modais eletrificados operariam, o que desconsidera a principal vantagem destes modais: o aumento de capacidade do sistema de transporte urbano.

Os cenários de mitigação também incluíram a substituição de parte da frota de ônibus a diesel por veículos elétricos. Pereira Jr et al. (2016), no cenário de mitigação para o Brasil, estimou uma disseminação de 8% desse tipo de veículo até 2030, mas na cidade de Natal, os passageiros concentraram-se em poucas linhas, então existe a possibilidade de substituir um percentual maior de milhagem percorrida mantendo a rede existente. Porcentagens de 10% para CM1 e 15% para CM2, para 2025, e 3% e 5% para 2020,

respectivamente, foram adotadas. A Figura 37 resume as ações mitigadoras apresentadas em cada cenário:

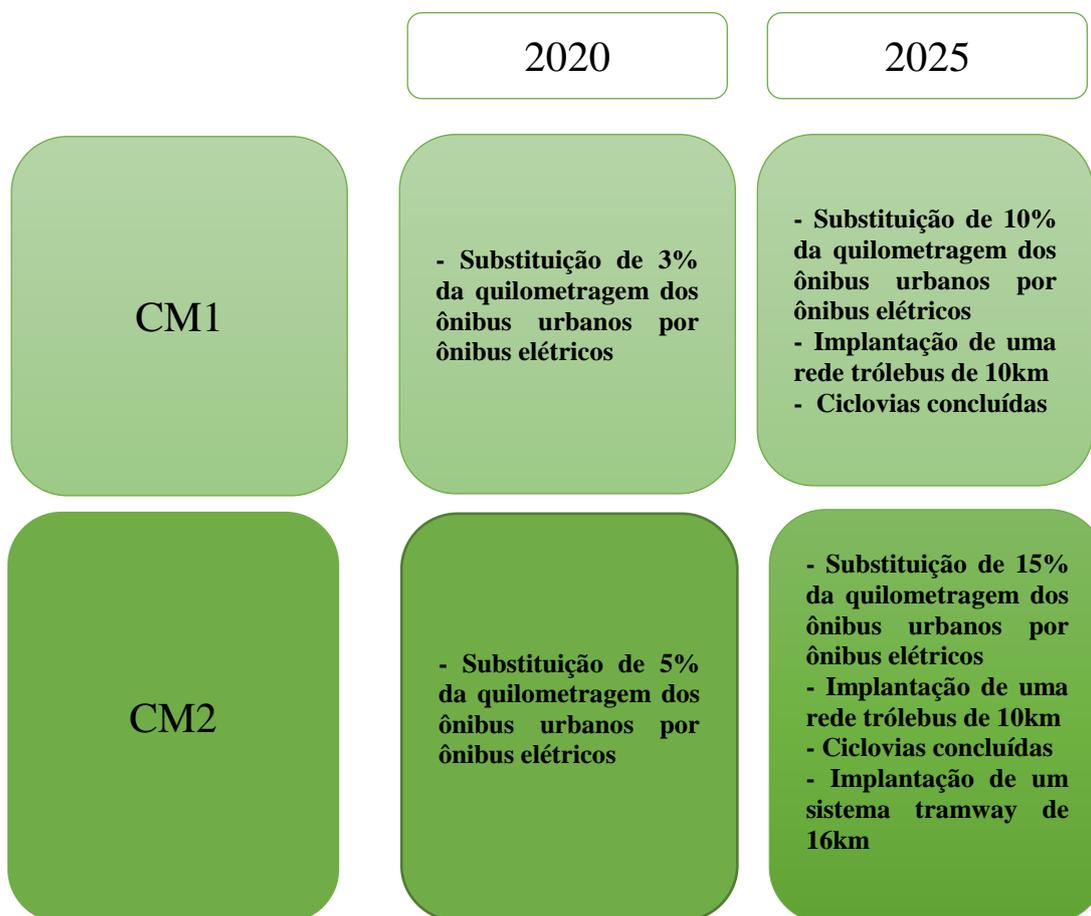


Figura 37 – Parâmetros adotados para construção dos cenários CM1 e CM2

Após a elaboração dos cenários, foram construídas propostas de políticas públicas para o setor de transporte urbano que estimulam o desenvolvimento sustentável e, conseqüentemente, melhor qualidade de vida para a população (GUDIPUDI et al., 2017). Adicionalmente ainda foi quantificado, de acordo com os fatores de emissão e densidades de combustível do Inventário Nacional de Emissões (BRASIL, 2014), a redução na emissão do Material Particulado gerado pela redução do consumo de diesel nos cenários de mitigação, um dos principais poluentes atmosféricos como visto no item 1.1 deste trabalho.

4.4.2 Resultados

Os resultados das emissões totais de CO_{2eq} do setor de transporte urbano em Natal para os cenários CPMob1, CPMob2, CM1 e CM2 são exibidos na Tabela 21 e na Figura 38. A Tabela 21 também exhibe as mitigações de emissões alcançadas em cada cenário analisado em comparação ao cenário de referência CPMob1.

Tabela 21 – Emissões de CO_{2eq} do transporte urbano em Natal: cenários para 2020 e 2025.

	EMISSÕES TOTAIS (mil tCO _{2eq})			Redução de emissões em relação ao CPMob1 (2025)	Redução de emissões em relação ao CPMob2 (2025)	Redução absoluta de emissões em relação ao CPMob1 (2025) (mil t CO _{2eq})	Redução absoluta de emissões em relação ao CPMob2 (2025) (mil t CO _{2eq})
	2015	2020	2025				
CPMob1		717,74	797,54	-	-	-	-
CPMob2	652,95	711,89	786,50	-1,38%	-	-11,04	-
CM1		710,05	764,60	-4,13%	-2,78%	-32,94	-21,90
CM2		708,82	752,74	-5,62%	-4,29%	-44,80	-33,76

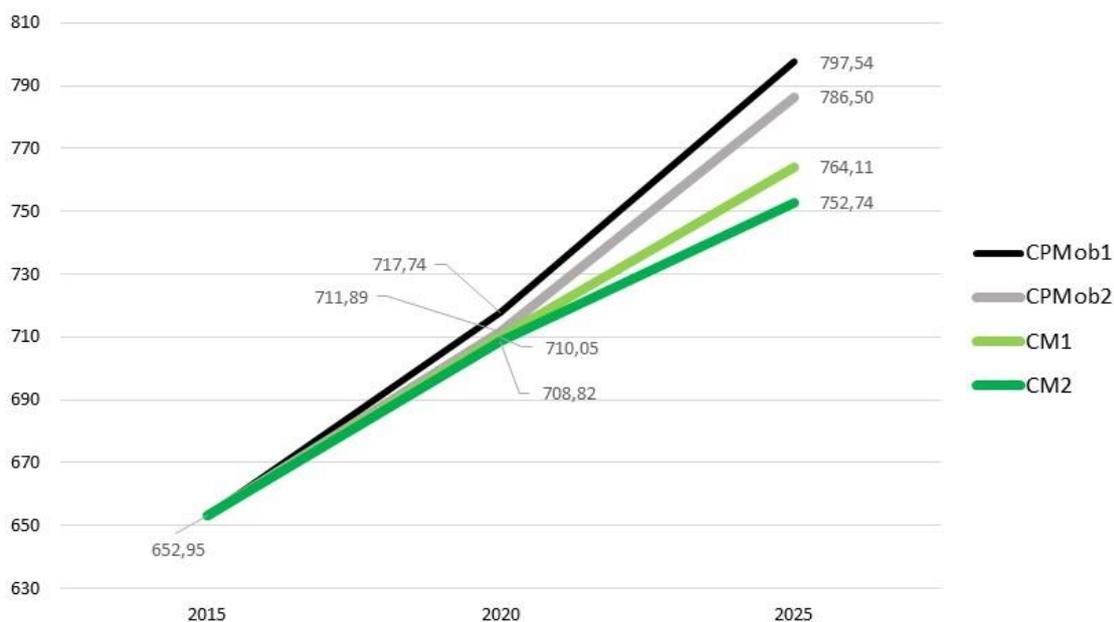


Figura 38 – Cenários de emissão e mitigação (mil tCO_{2eq}).

A Tabela 22 apresenta os impactos das ações previstas nos cenários de mitigação, de acordo com o modo de transporte adotado.

Tabela 22 – Redução das emissões de CO_{2eq} dos cenários de mitigação em relação ao CPMob2 no ano de 2025 (mil tCO_{2eq}).

	Implantação ciclovia	Inserção ônibus elétricos	Implementação de via com trólebus¹	Implementação sistema de tramway¹	Total
CM1	12,43	6,18	3,25	-	21,86
CM2	12,24	9,31	3,25	8,76	33,56

Obs: 1 – a inserção dos sistemas trólebus e tramway ocorreu em substituição aos itinerários de ônibus urbanos existentes em 2015, desconsiderando o aumento de capacidade gerado por estes sistemas.

A Tabela 23 apresenta a redução total da emissão de particulados em virtude da redução do consumo de diesel nos cenários de mitigação:

Tabela 23 – Redução das emissões de particulados PM em relação aos cenários PMob1 e PMob2

	Óleo Diesel (MI)	Emissões de MP (x 10⁶ g_{poluentes})	
2015	107	48,6	
CPMob1	132	60,0	
CPMob2	130	59,2	
	Redução de consumo de diesel em relação a CPMob1 (MI)	Redução de emissão de particulados PM em relação a CPMob1 (x10⁶ g_{poluente})	Percentual de redução em relação a CPMob1
CM1	- 6,44	-2,47	-4,11%
CM2	- 12,0	-4,60	-7,66%
	Redução de consumo de diesel em relação a CPMob2(MI)	Redução de emissão de particulados PM em relação a CPMob2 (x10⁶ g_{poluente})	Percentual de redução em relação a CPMob2
CM1	- 6,42	-4,58	-4,15%
CM2	-12,0	-2,46	-7,75%

4.4.3 Discussão

Os cenários do PlanMob são tímidos em suas soluções para o transporte urbano, e mostra um agravamento do tráfego em todos os cenários para 2020 e 2025. A cidade apresenta uma pequena porcentagem do consumo de biocombustível (etanol de cana) que é menor do que a previsão de 30 a 40% nos cenários brasileiros, como observado na venda de combustíveis. Em vez disso, está próximo de 10%, o que se deve principalmente à pequena diferença no preço final da gasolina. Os cenários de mitigação incluíram estudos conceituais com a inclusão de trólebus e tramway na rede de transporte público, somente

em substituição aos itinerários existentes de ônibus urbanos. No entanto, como essas simulações não foram acompanhadas pela atualização de uma pesquisa de Origem-Destino, ao integrar os diferentes sistemas de transporte, os resultados de redução de emissão de GEE foram inferiores à capacidade desses modos de transporte. Somente o tramway, conforme o sistema proposto (ARAÚJO, 2017) , tem capacidade para transportar até 900.000 passageiros por dia, ou cerca de 60% de todos os passageiros de transporte urbano, mas foi analisado apenas como substituto dos ônibus a diesel. É sobejamente conhecido que em todas as cidades dos países em desenvolvimento o incentivo ao transporte público e não motorizado pode reduzir emissões de GEE (ver por exemplo Shekarrizfard et al. (2017), Jain e Tiwari (2016), e Dhakal (2003).

A Figura 39 demonstra graficamente a hierarquização dos resultados obtidos na redução de emissões de CM1 E CM2 em relação ao CPMob2.

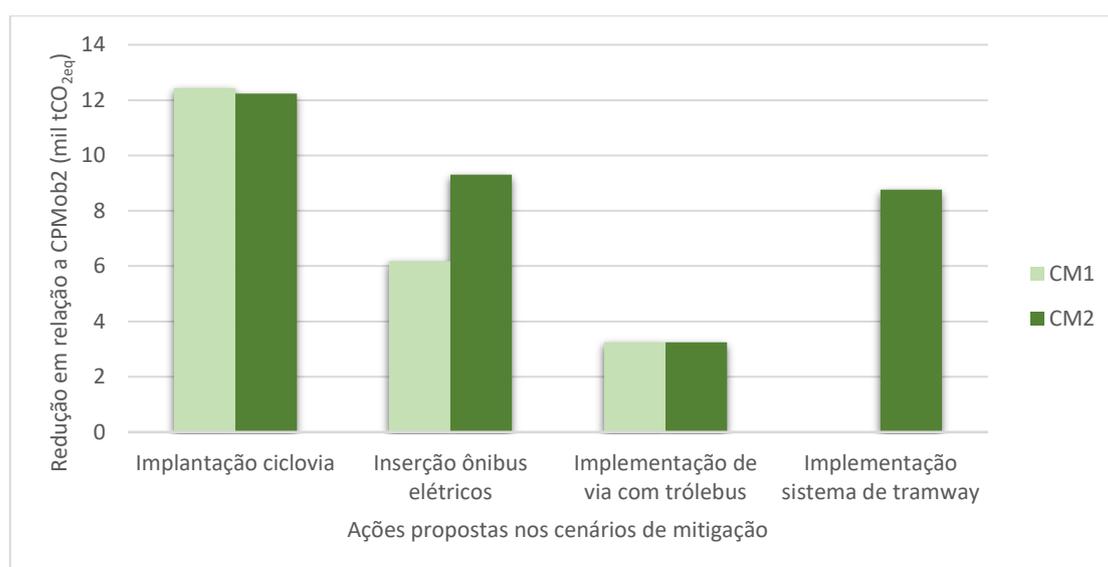


Figura 39 – Hierarquização das ações de mitigação nos cenários CM1 e CM2 em relação ao cenário CPMob2 (mil tCO_{2eq}) – dados da tabela 22.

O resultado final de mitigação de emissões foi bastante tímido, cerca de 5% no cenário CM2, pois a inserção de ônibus elétricos considerou a mesma rede existente em 2015, e os modais tramway e trólebus não deslocaram passageiros de outros modais para o transporte público – fato esperado e desejável em função do aumento de capacidade porém não considerada na construção dos cenários de mitigação em função da ausência de dados de planejamento de mobilidade urbana integrando estes modais. Conforme os cenários modelados, mesmo a implantação de ciclovias com hipóteses otimistas de

transferência de passageiros de outros modais para bicicletas (apesar das dificuldades conhecidas e verificadas em outras cidades para essa opção se tornar um modo de transporte e não apenas uma forma de lazer) representaria uma pequena parcela de cerca de 1,5% de mitigação de emissões de GEE . A implantação de ônibus elétricos em substituição ao atuais ônibus a diesel no transporte urbano poderia aumentar sua contribuição para redução de emissões se associada a uma mudança da rede de ônibus existente, passando de rede tipo ponto-a-ponto para rede tronco-alimentadora. Essa mudança não foi simulada por não haver dados disponíveis nos órgãos de mobilidade.

A implantação de um sistema de tramway também não foi associada a um estudo de sua interferência no sistema de ônibus existente, por ausência de dados. Foi feita somente a retirada das linhas de ônibus que percorrem seu traçado, substituindo-as pelo tramway. Da mesma forma foi feito com a simulação de aplicação de um sistema trólebus – apenas retirando os ônibus a diesel no seu traçado, substituindo-os pelos veículos elétricos.

Desta forma, as reduções alcançadas foram também pequenas, totalizando até 5% de redução de emissões no cenário CM2 em relação a CPMob2, pois foram essencialmente de substituição dos atuais motores a diesel dos ônibus por motores elétricos dos trólebus e tramway. Não foi mensurada a maior vantagem de implantação destes sistemas: o aumento de capacidade de transporte público de passageiros, pela ausência de estudos sobre estes modais em conjunto com o sistema existente. Esse aumento de capacidade através de sistemas de alta capacidade eletrificados tem ainda o potencial de desestimular o transporte individual motorizado, subsetor mais importante nas emissões de GEE na cidade.

Além dos resultados particularmente tímidos de mitigação, os cenários de mitigação não tem a capacidade de estimar os custos de redução de emissões devido à falta de dados. A solução com a maior redução de emissões em ambos os cenários de mitigação do PlanMob, a implementação de um sistema integrado de bicicletas, não tem quantificação orçamentária no PlanMob, nem qualquer separação entre ciclovias e ciclofaixas - que possuem custos diferenciados - o que torna uma estimativa de custos médios inviável.

Como mencionado anteriormente, os sistemas de trólebus e tramway que foram relatados na literatura não apresentam uma análise dos retornos de investimento durante sua operação; em vez disso, eles apresentam apenas estimativas parciais de custos de implementação, o que tornaria uma comparação entre esses valores incorreta.

Ao se observar, no entanto, os resultados obtidos com a redução de emissão de materiais particulados, são obtidos percentuais maiores que os obtidos na redução de GEE, especialmente porque as ações de mitigação se concentraram em substituir o combustível mais emissor de PM, o diesel, por alternativas eletrificadas. Essa redução de emissões é importante pois, conforme relatado no item 4.1.2, já há indícios de que a poluição atmosférica na cidade está acima dos índices recomendados pela WHO desde 2015. Os aumentos de consumos de diesel previstos no PlanMob, portanto, aumentarão as emissões de MP, gerando os diversos impactos negativos sociais já citados.

4.5 Políticas Públicas

O transporte apresenta um alto potencial de redução de emissões, mas também necessita de um conjunto de ações, incluindo infraestrutura, educação, estímulo, restrições de uso, regulamentos e participação do cidadão, a fim de alcançar o sucesso (BARAN, 2012; MERCIER et al., 2016). As políticas públicas podem ser direcionadas para a mitigação das emissões de carbono, da mesma forma que Tan et al. (2018), que construiu sugestões de políticas públicas que não possuem vínculos políticos, realizando uma análise profunda dos modos de transporte e sua estrutura de energia, em um estudo de caso para Chongqing.

4.5.1 Desestímulo ao transporte individual motorizado

O transporte individual é o sub-setor que exibe o maior impacto e onde é previsto o maior crescimento de emissões. Este sub-setor deve ser desencorajado, com ações de restrição de tráfego, rotatividade de vagas, estradas de baixa velocidade, ruas exclusivas para pedestres, áreas reservadas ao transporte público, diminuição do número de vagas de estacionamento e ações eficazes para melhorar o transporte público além da educação sobre os impactos negativos do transporte motorizado individual. São ainda necessárias mudanças no planejamento de investimentos municipais para o setor, com foco no transporte público e modos de transporte não motorizados. Essas medidas estão de acordo com as propostas por Dhakap e Schipper (2005) e Madlener e Sunak (2011). Os exemplos de co-benefício citados por Puppim de Oliveira et al. (2013) e Doll e Puppim de Oliveira (2017) em sistemas mais eficientes de mobilidade urbana demonstram o potencial para os co-benefícios do foco em transportes públicos atraentes e de baixo carbono. O

transporte motorizado individual em veículos a diesel, que não é quantificável com os dados disponíveis, mas é certamente relevante em relação às emissões municipais, pode ser desencorajado pela criação de zonas de circulação que proíbem o uso de veículos a diesel durante horários estendidos, como já é adotado em várias cidades em todo o mundo, reduzindo ainda mais as emissões de particulados (C40, 2016).

4.5.2 Promoção do Transporte Público

Incentivos ao transporte público podem ser iniciados por medidas onde há pouco ou nenhum investimento público: o município pode realizar uma concorrência pública para estudos de viabilidade sobre a implementação de um sistema de trólebus, incluindo concessões em um trecho pré-estabelecido por um período definido. Da mesma forma, uma concorrência pública poderia ser implementada para uma análise de viabilidade de um sistema de tramway a ser implantado via Parceria Público-Privada (PPP). Ambos os sistemas também dependem de uma mudança na rede de ônibus urbanos para um sistema que permita o uso de sistemas de alta capacidade.

Podem ser implementados aplicativos para monitorar ônibus e microônibus urbanos, confirmando as estimativas de quilometragem e consumo de combustível e fornecendo dados em tempo real aos passageiros sobre suas estimativas de localização e tempo de viagem.

Na tentativa de superar a deficiência de investimentos neste subsetor, a prefeitura pode oferecer esses estudos de viabilidade ao setor privado, definindo segmentos ou setores de interesse, ou períodos de concessão, com o chamado Procedimento de Manifestação de Interesse - PMI), que servirá para dirigir uma futura concessão ou PPP - Parceria Público-Privadas, como sugerido por Dhakap e Schipper (2005) devido à limitada capacidade de investimento de cidades em países em desenvolvimento. O PMI deve incluir estudos de viabilidade técnica e econômico-financeira, modelagem institucional, modelagem jurídica, projeto e os demais elementos necessários para compor as peças da licitação futura dessas modalidades.

4.5.3 Outros Serviços Regulados pelo Município

Como mencionado anteriormente, as frotas de veículos diesel de serviços públicos oferecem um potencial de mitigação de curto prazo; o município pode regular a obrigação de trocar combustível, por exemplo, para serviços públicos de energia, água e esgoto,

coleta de lixo, ambulâncias e polícia, entre outros. Limitações em relação à circulação de caminhões médios e grandes e veículos a diesel, permitindo microônibus elétricos para acesso porta-a-porta, também impactariam este subsetor no curto prazo.

O uso obrigatório de veículos elétricos pela frota de táxis também pode ser implementado rapidamente. Esse setor poderia ser ainda mais bem quantificado com a adoção de aplicativos de controle de viagens por GPS, a fim de fornecer dados sobre o impacto real dessa concessão de transporte privado.

A regulamentação dos serviços compartilhados de carpool e mobilidade urbana, além de bicicletas compartilhadas podem incentivar seu uso, liberando o uso do solo, além de incentivar a adoção de veículos elétricos.

4.5.4 Transporte Ativo

Incentivos para o transporte ativo incluem calçadas e ciclovias interconectadas e acessíveis. Isso exige conexão entre legislação sobre uso do solo, mobilidade e acessibilidade além de uma fiscalização eficaz, que também demonstre transparência nas ações e intenções do governo. Não há metas municipais para a interconexão de modos de transporte ativos, assim como nenhuma publicidade do plano cicloviário, observando que 60% dos deslocamentos já são não-motorizados. Calçadas e ciclovias devem ser acompanhadas de cobertura de árvores para incentivar a caminhada, dado o clima tropical de alta insolação.

Estímulo também deve ser fornecido para empresas que desenvolvem iniciativas de transporte ativo, como frete com bicicletas e compartilhamento de bicicletas, entre outros, através de prêmios e incubadoras.

4.5.5 Transparência e Planejamento Integrado

A ligação entre o planejamento da mobilidade urbana e o uso e ocupação da terra urbana deve ser estimulada. O PlanMob que foi desenvolvido pela cidade não levou em consideração o uso da terra para criar futuros cenários de mobilidade. Nenhuma interação entre os dados atuais e as projeções do uso da terra que poderiam impactar a mobilidade urbana foi realizada. O distanciamento do PlanMob analisado das políticas de redução de emissões não é uma exclusividade das cidades latino-americanas: não é fácil combinar os diversos interesses sociais, econômicos e ambientais (ELIASSON; PROOST, 2015; FINNVEDEN; ÅKERMAN, 2014; GÖSSLING; COHEN, 2014). Segundo o trabalho de

Silva et al. (2018), o desenvolvimento orientado ao transporte sustentável (DOTS) poderia levar à redução de 9 a 15% no consumo de energia e conseqüentes emissões. Shekarrizfard et al. (2017) citou vários exemplos que, através de um melhor planejamento urbano, é possível aumentar o número de viagens sem o mesmo aumento de emissões. Alonso et al. (2017) encontrou um cenário que produz uma redução efetiva de viagens motorizadas e conseqüentes emissões na cidade de Madrid apenas com reorganização urbana. No estudo de caso de Beijing desenvolvido por Wang et al. (2014), o intenso crescimento populacional em regiões suburbanas quadruplicou as emissões individuais de transporte entre 2000-2009 devido a aumentos de viagem. O estudo de caso sobre o uso da terra perto de estações de metrô em Los Angeles conduzido por Kim et al. (2016) demonstrou a ligação entre a localização de escritórios e centros comerciais e a geração de viagens. De acordo com Dhakap e Schipper (2005), o planejamento da mobilidade urbana fracassa porque não prevê uma diminuição no estoque de veículos e a demanda por viagens; em vez disso, fornece apenas melhorias de infraestrutura direcionadas ao modo mais emissor, incentivando-o.

A obtenção de dados O-D pode ser a forma mais barata de mitigação, uma vez que permite a integração posterior entre vários modos de transporte, incluindo o transporte intermunicipal.

A transparência nos dados de transporte municipal é necessária, especialmente no que diz respeito à quantificação e custo estimado do transporte público. A transparência de dados promove a inovação em soluções para este setor.

4.6 Limitações

Este trabalho foi desenvolvido com dados públicos disponíveis ou dados solicitados aos órgãos responsáveis pelos setores de mobilidade. Dados não atualizados pelos órgãos responsáveis podem gerar distorções, principalmente nas projeções do cenário. Além da disponibilidade, os dados públicos podem apresentar deficiência de qualidade. Os dados de consumo de combustível emitidos pela ANP são baseados nas declarações de vendas realizadas pelos postos de combustível – eventuais vendas sem notificação fiscal não são computadas. O PlanMob apresenta dados antigos, por exemplo uma matriz O-D feita em 2007, que serviu de base para a simulação de tráfego e conseqüente previsão de aumento de consumos de combustíveis. Questionada sobre atualização dos dados matriz O-D, a empresa responsável pela elaboração do PlanMob informou que essa atualização

dependeria de um novo contrato com a prefeitura, por não estar incluído no objeto inicialmente contratado.

Os dados utilizados para metodologia bottom-up, quilometragem percorrida e frota, dependem fortemente de uma fiscalização permanente física de fiscais ao longo de todo o dia nos itinerários previstos, tanto no transporte municipal quanto no transporte intermunicipal. Essa fiscalização é frágil, sendo adotadas essencialmente, declarações das próprias empresas de transporte. Além deste fato observou-se um excesso de “itinerários mortos”, ou seja, declarações de deslocamento dos veículos sem passageiros, algumas vezes de até 1 terço da quilometragem total em algumas linhas – o que levanta dúvidas sobre a precisão destas informações. Este estudo também apresenta limitações por não incluir parâmetros de comparação com outras cidades médias brasileiras ou de países em desenvolvimento.

A ausência de contagem seletiva de tráfego não permite maior precisão nas estimativas de emissões de poluentes. Este estudo investiga o detalhamento dos sub-setores de mobilidade urbana, mas não analisou soluções de planejamento urbano que podem permitir a racionalização dos deslocamentos, orientando a expansão da cidade ao longo de eixos de transporte público de massa, como no exemplo de Curitiba, Medellín, entre outras (C40, 2015). Há vasta literatura que trata do impacto do uso da terra nas emissões de GEE. Além das bibliografias citadas acima, Bart (2010), Deal et al. (2017), Kennedy et al. (2011), Hankey et al. (2010), and Pan et al. (2018) aprofundaram os estudos sobre os impactos ambientais da expansão urbana, incluindo as emissões de GEE, bem como propostas de políticas de mitigação. No entanto, o principal documento de planejamento da mobilidade urbana - o PlanMob - ainda não foi integrado ao Planejamento Urbano de Uso do Solo - o Plano Diretor Urbano. Trabalhos futuros podem verificar os pontos de interferência entre Plano Diretor e Plano de Mobilidade, buscando o Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável – DOTS, com planejamento de ações que mitiguem conflitos e potencializem soluções sustentáveis para a cidade (EVERS et al., 2018) .

Trabalhos futuros podem ser desenvolvidos para melhorar a mobilidade urbana com redução dos impactos ambientais provocados pela emissões de GEE e de poluentes atmosféricos. Pode ser realizado um estudo de integração do transporte urbano, incorporando as soluções já existentes, como o Plano Cicloviário, com um sistema de transportes de alta capacidade e baixas emissões, como o tramway e sistemas de BRT

com trólebus ou ônibus elétricos. Este planejamento deve ter foco nas diretrizes da PNMU priorizando o transporte não-motorizado e o transporte público.

A ausência de dados mais precisos sobre a frota pode estimular trabalhos sobre implantação de sistemas de monitoramento de tráfego em tempo real, com tecnologias já existentes, compartilhando dados de aplicativos como Waze, Google Maps, entre outros – e contribuindo para o planejamento urbano e ainda controle de tráfego, conforme já adotado em outras cidades (SLOCAT, 2018).

A ausência de uma rede de monitoramento de qualidade do ar sugere que trabalhos futuros possam incentivar essa geração de dados, especialmente pela atual facilidade de acesso a dados em nuvem que podem ser alimentados remotamente.

5 Conclusão

A pesquisa é válida por utilizar uma metodologia científica para realizar o inventário de GEE do transporte urbano, tratando-se de uma contribuição original pelo fato da cidade não dispor dessa quantificação. Com a elaboração do inventário de emissões foi possível também estabelecer um cenário de referência para cenários alinhados com o planejamento de mobilidade existente na cidade e ainda a proposição de cenários de mitigação. As projeções elaboradas de acordo com o PlanMob geraram aumento de emissões, especialmente por este Planejamento de Mobilidade ter se afastado das diretrizes da PNMU, ao não prever ferramentas de estímulo aos transportes públicos, infraestrutura para transportes não-motorizados e estímulo a iniciativas sustentáveis ambientalmente – crítica levantada neste trabalho.

Os cenários de mitigação apresentam exemplos de políticas públicas que têm impacto na redução de emissões de GEE, inserindo modais de transporte público eletrificado – ônibus elétricos, sistema tramway e trólebus – e de transporte não-motorizado – sistema cicloviário.

As ações de redução de emissões de GEE possuem ainda sinergia com a redução de emissão de poluentes atmosféricos, conforme a quantificação de emissão de PM elaborada, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar.

Esses resultados levaram à proposição de diversas políticas públicas que devem ser adotadas pelo governo municipal, revisando os critérios adotados pelo PlanMob, abordando compromissos nacionais de redução de emissões, direcionando investimentos para setores menos emissores, como transporte público, transporte não-motorizado e transporte eletrificado, e adotando ações de mitigação nos setores mais emissores.

Desta forma, os objetivos propostos por esta pesquisa foram alcançados, agregando dados originais para este relevante setor urbano e energético:

- caracterização do sistema de transporte urbano de Natal, sob aspecto das emissões de GEE;
- caracterização, sob aspecto das emissões de GEE, o planejamento urbano municipal de mobilidade, denominado PlanMob Natal.
- elaboração de cenários para redução de emissões de GEE através da implantação de sistemas de transporte público, não motorizado e/ou otimização dos sistemas existentes;

- proposição de políticas públicas para mobilidade para a cidade de Natal/RN através dos cenários desenvolvidos na pesquisa com ganhos de eficiência energética e ambiental, reduzindo emissões de GEE e melhorando a qualidade do ar urbano.
- verificar a relação entre o Plano de Mobilidade de Natal com a PNMU - Política Nacional de Mobilidade Urbana.

Conforme a análise das pesquisas locais sobre a temática, foi verificada a escassez de políticas públicas locais para os dois temas – transportes e emissões. Foram encontrados somente trabalhos pontuais de medição de qualidade do ar que demonstram a queda na qualidade do ar urbano entre a publicação dos dois estudos revisados, de 2013 a 2016 – com relação provável com o aumento da frota automobilística no mesmo período. Não há redes de monitoramento permanentes da qualidade do ar. Essa escassez de dados locais reforça a relevância do trabalho desenvolvido.

Foi verificado que o transporte individual motorizado é responsável por 59,43% das emissões de gases de efeito estufa provenientes do transporte urbano, seguido pelo setor de carga e serviços urbanos a diesel com 28,3%, para o ano base de 2015. Contribui para este resultado a baixa participação de etanol hidratado nas vendas de combustíveis da cidade, bem menor que a média nacional: apenas 10% das vendas contra 30-40% na média brasileira. Este fato se deve à proximidade de preço final entre etanol hidratado e gasolina no mercado local. O subsetor de transporte individual motorizado possui também a maior taxa de emissão por passageiro, sendo cerca de 2,7 vezes maior que a taxa do transporte público por ônibus.

O setor de transporte público por ônibus, com uma frota de apenas 0,23% total de veículos na cidade, contribui com 10,43% das emissões de CO_{2eq}, devido à sua alta idade média, ter motores somente a diesel e ainda com itinerários que carecem de racionalização. O transporte público intermunicipal feito por ônibus possui alta taxa de emissão por passageiro, próxima da taxa do transporte individual motorizado, sendo realizado também por veículos de alta idade média e com extensas quilometragens em seus itinerários.

O setor ferroviário possui a menor taxa de emissão por passageiro, mesmo com motores diesel, especialmente pela melhor eficiência energética deste modal, associada à sua alta capacidade. O modal ferroviário, porém, tem uma participação muito pequena no sistema de mobilidade urbana.

O setor de cargas e serviços diesel utiliza motores diesel em suas operações e inclui o uso de veículos como caminhonetes e utilitários esportivos a diesel (SUV's), pois não há dados disponíveis separando veículos a diesel da frota destinada ao transporte particular da cidade. Dados de 2007 sugerem que o percentual de transporte de cargas no total de consumo de diesel urbano é de apenas 20%, o que levanta a hipótese de relevante fração deste subsetor estar sendo utilizada como transporte individual motorizado.

O detalhamento por sub-setores do inventário de emissões de GEE dos transportes urbanos realizado neste trabalho reforça a necessidade de direcionar políticas públicas para o transporte coletivo, desestimulando o deslocamento de transporte privado individual, principal subsetor emissor na cidade.

Os cenários que utilizaram PlanMob tiveram como consequência o aumento de emissões de GEE e de MP. Os cenários de mitigação apresentaram inserção de transportes públicos eletrificados e do modal ciclovitário, como exemplo de ações que podem ser tomadas para mitigação de emissões. Para substituição dos ônibus diesel nos cenários de mitigação foram adotados ônibus elétricos, um linha conceitual de trólebus com 10km de extensão e um sistema de tramway com 16 km de extensão. A implantação de um sistema de tramway também não foi associada a um estudo de sua interferência no sistema de ônibus existente devido à inexistência de estudos e dados. Foi feita apenas a retirada das linhas de ônibus que percorrem seu traçado, substituindo-as pelo tramway. Da mesma forma foi feito com a simulação de aplicação de um sistema trólebus – apenas retirando os ônibus a diesel no seu traçado, substituindo-os pelos veículos elétricos.

O cenário planejado pela prefeitura em seu PlanMob resultará em um aumento de 20,45% nas emissões de CO_{2eq} em 2025. Os cenários de mitigação simulados neste estudo resultariam em uma redução inicial em relação ao cenário do PlanMob de até 5% (44.800 tCO_{2eq} em 2025). Além disso, permitiriam uma redução de até 7,7% na emissão de MP em relação ao cenário do PlanMob, visto que as ações de mitigação se concentraram na substituição do diesel - combustível mais emissor de materiais particulados dentre todos os fósseis.

Os baixos percentuais de mitigação obtidos indicam a necessidade de que sejam realizados estudos sobre a mobilidade urbana integrando a racionalização das linhas de ônibus e a inserção de modais de alta capacidade, inclusive eletrificados.

Modos de eletromobilidade - o trólebus e o tramway - permitem mitigações adicionais com aumento de capacidade de transporte público urbano, porém não mensuradas neste

trabalho. Somente o sistema tramway teria a capacidade teórica de transportar com baixas emissões até um terço de todos os passageiros do sistema transporte urbano diariamente. Sua implementação deve estar associada a uma reorganização dos itinerários de transporte coletivo, alimentando os modais elétricos de alta capacidade e incentivos à migração do transporte individual para estes novos sistemas. Atualmente a rede de ônibus é do tipo ponto-a-ponto e através de uma racionalização de itinerários, com uma rede tronco-alimentadora, reduções adicionais podem ser alcançadas. A implementação de uma regulagem mais frequente dos motores dos veículos de transporte público urbano também deve ser estudada, pois pode gerar resultados expressivos na mitigação de emissões. As políticas públicas propostas para a municipalidade, alinhadas com a revisão de literatura, com a capacidade de ação dos governos municipais e com os resultados do estudo buscam o estímulo à uma mobilidade urbana sustentável, integrada, acessível e socialmente justa:

- serviços Regulados pelo Município: troca de combustível para serviços públicos de energia, água e esgoto, coleta de lixo, ambulâncias e polícia, entre outros; regulagem mais frequente dos motores dos veículos prestadores de serviços públicos e transporte urbano; limitações à circulação de caminhões médios e grandes e veículos diesel, permitindo microônibus elétricos para acesso porta-a-porta; taxis elétricos; app's para taxis para controle de km; regulamentação dos serviços compartilhados de carpool e de bicicletas compartilhadas; zonas, vagas e outros incentivos para veículos elétricos;
- desestímulo ao transporte individual motorizado: restrição de tráfego; rotatividade de vagas; ruas de baixa velocidade; ruas exclusivas para pedestres; áreas reservadas ao transporte público; diminuição do número de vagas de estacionamento e ações eficazes para melhorar o transporte público; educação ; zonas livres de veículos diesel;
- promoção do Transporte Público: estudos de viabilidade sobre a implementação de um sistema de trólebus e tramway com uso de PPP's e PMI's; mudança da rede de ônibus atual; app's para passageiros e para controle de quilometragem e rota;
- transporte ativo: calçadas e ciclovias interconectadas e acessíveis, relacionadas com legislação sobre uso do solo, mobilidade e acessibilidade além de uma fiscalização eficaz, que também demonstre transparência nas ações e intenções do

governo; cobertura vegetal para sombreamento; incentivos para fretes por bicicleta;

- transparência e Planejamento Integrado: ligação entre o planejamento da mobilidade urbana e o uso e ocupação da terra urbana deve ser estimulada; desenvolvimento orientado ao transporte sustentável (DOTS); o planejamento da mobilidade urbana fracassa porque não prevê uma diminuição no estoque de veículos e a demanda por viagens; em vez disso, fornece apenas melhorias de infraestrutura direcionadas ao modo mais emissor, incentivando-o.

O trabalho, ao depender de dados públicos, possui limitações, especialmente devido à atualização destes dados nos órgãos de mobilidade urbana, bem como quanto à sua qualidade, visto que alguns são auto-declarados pelas empresas operadoras de transporte público. Os dados de consumo de combustível emitidos pela ANP são baseados nas declarações de vendas realizadas pelos postos de combustível – eventuais vendas sem notificação fiscal não são computadas. O PlanMob municipal, elaborado em 2017, apresenta dados antigos, por exemplo uma matriz O-D feita em 2007, que serviu de base para a simulação de tráfego e consequente previsão de aumento de consumos de combustíveis. Os dados utilizados para metodologia bottom-up, quilometragem percorrida e frota, dependem fortemente de uma fiscalização permanente física de fiscais ao longo de todo o dia nos itinerários previstos, tanto no transporte municipal quanto no transporte intermunicipal, ou seja, de modo geral são dados informados pelas empresas operadoras de transportes. O trabalho não apresenta os impactos econômicos dos cenários pela ausência de dados desta natureza no PlanMob.

Trabalhos futuros podem ser desenvolvidos para melhorar a mobilidade urbana, mitigando impactos ambientais provocados pela emissões de GEE e de poluentes atmosféricos.

O levantamento dos pontos de interferência entre Plano Diretor e Plano de Mobilidade, buscando o Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável – DOTS, podem mitigar novas externalidades previsíveis. O estudo de integração intermodal do transporte urbano, incorporando as soluções já existentes, como o Plano Cicloviário, com um sistema de transportes de alta capacidade e baixas emissões, também pode ser realizado – incluindo ainda uma racionalização nos itinerários dos ônibus urbanos. A implantação de sistemas de monitoramento de tráfego em tempo real, com tecnologias já existentes, compartilhando dados de aplicativos como Waze, Google Maps, entre outros forneceria dados atualizados para políticas públicas de mobilidade urbana. A qualidade do ar pode

ser monitorada através de estações de pequeno porte, conectadas em redes de dados, aproveitando a redução de custos de hardware e a capacidade de processamento e armazenamento de dados de nuvem. Trabalho podem também ser desenvolvidos integrando ações municipais e estaduais, por exemplo, prevendo, a partir de uma redução de IPVA – tarifa definida pelo estado – o estímulo à eletrificação da frota de veículos privados, ou ainda, com política própria de tributação que incentive a adoção maior de biocombustíveis.

6 Referências Bibliográficas

AGÊNCIA BRASIL. *Ministro da Infraestrutura anuncia concessão de 3 ferrovias até 2020* | Agência Brasil. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-01/ministro-da-infraestrutura-anuncia-concessao-de-3-ferrovias-ate-2020>>. Acesso em: 21 mar 2019.

ALBUQUERQUE, Maria Helena de Oliveira. *Determinação da Concentração de Metais no Material Particulado (PM10 e PM2,5) do Ar Atmosférico em uma Área Urbana da Cidade do Natal*. 2013. UFRN, 2013.

ALONSO, Andrea; MONZÓN, Andrés; WANG, Yang. Modelling land use and transport policies to measure their contribution to urban challenges: The case of Madrid. *Sustainability (Switzerland)*, v. 9, n. 3, 2017.

ALSTOM. *Autonomous transportation*. Disponível em: <<https://www.alstom.com/autonomous-transportation-smart-and-safe-operations>>. Acesso em: 23 mar 2019.

ALSTOM. *World premiere: Alstom's hydrogen trains enter passenger service in Lower Saxony* | Alstom. Disponível em: <<https://www.alstom.com/press-releases-news/2018/9/world-premiere-alstoms-hydrogen-trains-enter-passenger-service-lower>>. Acesso em: 27 mai 2019.

AMAZON. *Prime Air na Amazon.com*. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011>>. Acesso em: 25 mar 2019.

ANDRADE, Ricardo Teixeira Gregório; SANTOS, Enilson Medeiros Dos. Quantificação das Emissões de Gases Efeito Estufa – GEEs – Segundo Matriz Energética Diesel ou GNV no Transporte Público por Ônibus em NATAL–RN. *Holos*, v. 3, p. 3, 2014.

ANENBERG, Susan e colab. *A global snapshot of the air pollution-related health impacts of transportation sector emissions in 2010 and 2015*. . Washington D.C., U.S.A.: [s.n.], 2019. Disponível em: <www.theicct.org>.

ANFAVEA. *Estatísticas 2015 - ANFAVEA*. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/estatisticas-2015.html>>. Acesso em: 5 fev 2018.

ANP. *Annual sales of hydrated ethanol and petroleum products by municipality*. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/dados-estatisticos/vendas-anuais-de-etanol-hidratado-e-derivados-de-petroleo-por-municipio>>. Acesso em: 4 jan 2018.

ANP. *RenovaBio*. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/renovabio>>. Acesso em: 26 mar 2019.

ARAÚJO, Thais Ohana Ferreira De. *STUDY OF A BASIC SYSTEM OF TRAMWAY IN NATAL-RN*. Disponível em: <<https://monografias.ufrn.br/jspui/handle/123456789/5390>>. Acesso em: 31 out 2018.

BALASSIANO, Ronaldo. Um Procedimento Metodológico para Priorização de Intervenções de Gerenciamento da Mobilidade. *Revista Cetrama* 12, v. 1, p. 27–34, 2004.

BARAN, Renato. *The introduction of electric vehicles in Brazil: Evaluation of the Impact on Gasoline and Electricity Consumption*. 2012. 124 f. COPPE/UFRJ, 2012.

BART, István László. Urban sprawl and climate change: A statistical exploration of cause and effect, with policy options for the EU. *Land Use Policy*, v. 27, n. 2, p. 283–292, 1 Abr 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837709000374>>. Acesso em: 14 set 2018.

BHATTACHARYYA, Subhes C. *Energy economics : concepts, issues, markets and governance*. [S.l.]: Springer, 2011.

BID. *Leading the Sustainable Development of Cities - Transport System*. Washington, D.C. USA: BID, 2017.

BIKEANJO; UCB. *RAIO-X DOS PLANMOBS DAS CAPITAIS BRASILEIRAS*. Brasília, DF: [s.n.], 2019. Disponível em: <[Campanha De Olho nos PlanMobs - www.deolhonosplanmobs.org](http://www.deolhonosplanmobs.org)>.

BLIS, Laura. *Uber and Lyft Mean More Congestion, Trips, and Miles - CityLab*. Disponível em: <<https://www.citylab.com/transportation/2017/10/the-ride-hailing-effect-more-cars-more-trips-more-miles/542592/>>. Acesso em: 23 mar 2019.

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. *Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO₂*. [S.l: s.n.], 2018. Disponível em: <https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/1726_BNEF_C40_Electric_buses_in_cities_FINAL_APPROVED_%282%29.original.pdf?1523363881>.

BRASIL, CBTU. *Letter 93-2017 - Diesel Consumption for Railway Operation*. NATAL, Brazil: CBTU - Companhia Brasileira de Trens Urbanos, 2017.

BRASIL, MMA. *NATIONAL INVENTORY OF ATMOSPHERIC EMISSIONS BY ROAD AUTOMOTIVE VEHICLES 2013*. Brasília, Brazil: Ministério do Meio Ambiente - Governo do Brasil, 2014. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Inventario_de_Emissoes_por_Veiculos_Rodoviaros_2013.pdf>.

BRASIL, PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **LAW 12.587, OF JANUARY 3, 2012**. , 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm>. Acesso em: 3 jan 2018.

BRAZIL, Presidency of the rRpublic. *Law 13755*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Lei/L13755.htm>. Acesso em: 26 mar 2019.

BUENO, Gorka. Analysis of scenarios for the reduction of energy consumption and GHG emissions in transport in the Basque Country. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 4, p. 1988–1998, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.004>>.

C40. *C40*. Disponível em: <<https://www.c40.org/>>. Acesso em: 7 fev 2019.

C40. *Good Practice Guide: Low Emission Vehicles*. [S.l: s.n.], 2016. Disponível em: <https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/good_practice_briefings/images/7_C40_GPG_LEV.original.pdf?1456788962>.

CADELL C. *China's Meituan Dianping acquires bike-sharing firm Mobike for \$2.7 billion - Reuters*. Disponível em: <<https://www.reuters.com/article/us-mobike-m-a-meituan/chinas-meituan-dianping-acquires-bike-sharing-firm-mobike-for-2-7-billion-idUSKCN1HB0DU>>. Acesso em: 27 mai 2019.

CBTU - COMPANHIA BRASILEIRA DE TRENS URBANOS. *Management Report*. Brasília, Brazil: [s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.cbtu.gov.br/index.php/pt/governanca/relatorio-anual-da-administracao>>.

CONSULTANCY, Wendell Cox. *Demographia World Urban Areas & Population Projections*. *Demographia*. Belleville, IL/USA: [s.n.], 2018. Disponível em: <<http://www.demographia.com/db-worldua.pdf>>.

COPPETEC/COPPE/UFRJ. *Urban Mobility Plan for Natal - Cargo Handling Report*. NATAL, RN: COPPETEC/COPPE/UFRJ, 2007.

DAVIS, Lucas W. Saturday driving restrictions fail to improve air quality in Mexico City. *Scientific Reports*, v. 7, n. February, p. 1–9, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/srep41652>>.

DE CARA, Stéphane; FOURNIER, Anne; GAINÉ, Carl. LOCAL FOOD, URBANIZATION, AND TRANSPORT-RELATED GREENHOUSE GAS EMISSIONS. *Journal of Regional Science*, v. 57, n. 1, p. 75–108, 1 Jan 2017. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/jors.12299>>. Acesso em: 7 fev 2019.

DEAL, Brian e colab. The role of multidirectional temporal analysis in scenario planning exercises and Planning Support Systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 64, p. 91–102, 1 Jul 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971516300849>>. Acesso em: 14 set 2018.

DEFYEYES, Kenneth S. *Beyond oil : the view from Hubbert's peak*. [S.l.]: Hill and Wang, 2005. Disponível em: <<https://cmc.marmot.org/Record/.b2799093x>>. Acesso em: 7 fev 2019.

DER/RN. *Intermunicipal Road Transport - DER/RN*. NATAL, Brazil: DEPARTAMENTO ESTADUAL DE ESTRADAS E RODAGEM-DER/RN, 2017.

DETRAN/RN. *Government Of The State Of Rio Grande Do Norte Statistical Report Of The Fleet Of Vehicles - Renavan, 2015*. NATAL, Brazil: Government Of The State Of Rio Grande Do Norte, 2016. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/acervo/detran/doc/DOC000000000161970.PDF>>.

DHAKAL, Shobhakar. Implications of transportation policies on energy and environment in Kathmandu Valley, Nepal. *Energy Policy*, v. 31, n. 14, p. 1493–1507, 2003.

DHAKAL, Shobhakar; RUTH, Matthias. Challenges and Opportunities for Transition to Low Carbon Cities. *Creating Low Carbon Cities*. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 1–4. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-49730-3_1>. Acesso em: 26 mai 2018.

DHAKAP, Shobhakar; SCHIPPER[^], Lee. Transport and Environment in Asian Cities: Reshaping the Issues and Opportunities into a Holistic Framework. *IGES International Review for Environmental Strategies*, v. 5, n. 2, p. 399–424, 2005.

DOLL, Christopher N.H.; PUPPIM DE OLIVEIRA, Jose Antonio. *Urbanization and Climate Co-Benefits*. [S.l.]: Routledge, 2017. Disponível em: <<https://www.taylorfrancis.com/books/9781315667300>>.

DUARTE, Ediclê de Souza Fernandes. *Análise e Caracterização do Material Particulado Atmosférico Fino em uma Região Metropolitana de Natal-RN*. 2016. 2016 f. UFRN, 2016.

DUGGAN B.; MUKTAR I. *East Africa's railway renaissance - CNN*. Disponível em: <<https://edition.cnn.com/2017/05/31/africa/kenya-nairobi-railway/index.html>>. Acesso em: 27 mai 2019.

DUPUY, J.P. *Introdução à crítica da ecologia política*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1980.

DURABLE, Commissariat Général au Développement. *Analyse coûts bénéfiques des véhicules électriques Les autobus et autocars*. . Paris: [s.n.], 2018.

ELIASSON, Jonas; PROOST, Stef. Is sustainable transport policy sustainable? *Transport Policy*, v. 37, p. 92–100, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.09.010>>.

EPE. *Balanco Energético Nacional Relatório Síntese | ano base 2016 | . .* [S.l.: s.n.], 2017.

EUROPEAN UNION. *EUR-Lex - 32015L1513 - EN - EUR-Lex*. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32015L1513>>. Acesso em: 27 mai 2019.

EVERS, Henrique e colab. DOTS nos Planos Diretores: Guia para inclusão do Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável no Planejamento Urbano. p. 132, 2018.

EXAME. *Escândalo do “dieselgate” tem 16 novas marcas envolvidas | EXAME*. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/negocios/escandalo-do-dieselgate-tem-16-novas-marcas-envolvidas/>>.

Acesso em: 23 mar 2019.

FINNVEDEN, Göran; ÅKERMAN, Jonas. Not planning a sustainable transport system. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 46, p. 53–57, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2014.02.002>>.

FULTON, Lew e colab. Climate Change Mitigation Pathways for Southeast Asia: CO2 Emissions Reduction Policies for the Energy and Transport Sectors. *Sustainability*, v. 9, n. 7, p. 1160, 2017. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/9/7/1160>>.

GFEI. *The Global Fuel Economy Initiative : Delivering Climate Action*. . San Francisco: [s.n.], 2018.

GHG PROTOCOL. *Classificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) de Escopo 1 nas respectivas categorias de fontes de emissão – versão 2 . 0 .* . [S.l: s.n.], 2013.

GHG PROTOCOL. *Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa*. . [S.l: s.n.], 2012. Disponível em: <https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos_ghg/152/especificacoes_pb_ghgprotocol.pdf>.

GISTEMP. *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP)*. NASA Goddard Institute for Space Studies. Disponível em: <<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>>.

GISTEMP. *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP)*. NASA Goddard Institute for Space Studies.

GIZ. Sustainable Urban Transport: Avoid-Shift-Improve (A-S-I). p. 2, 2004.

GÖSSLING, Stefan; COHEN, Scott. Why sustainable transport policies will fail : EU climate policy in the light of transport taboos. *Journal of Transport Geography*, v. 39, p. 197–207, 2014.

GOUVELLO, C. *Brazil Low-carbon Country Case Study*. Washington, D.C. USA: The World Bank, 2010. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/BRAZILEXTN/Resources/Brazil_LowcarbonStudy.pdf>.

GOVERNO DO RIO GRANDE DO NORTE. *Strategic Plan for Sustainable Development for the Metropolitan Region of Natal: Natal Metropolis 2020*. . NATAL, Brazil: [s.n.], 2007. Disponível em: <https://natal.rn.gov.br/sempla/paginas/File/Produtos_6_e_7.pdf>.

GREENDEALS. *De Green Deals*. Disponível em: <<https://www.greendeals.nl/green-deals>>. Acesso em: 27 mai 2019.

GUDIPUDI, Ramana e colab. Benchmarking urban eco-efficiency and urbanites' perception. *Cities*, v. 74, n. November 2017, p. 109–118, 2017.

HANKEY, Steve; MARSHALL, Julian D. Impacts of urban form on future US passenger-vehicle greenhouse gas emissions. *Energy Policy*, v. 38, n. 9, p. 4880–4887, 1 Set 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421509005151>>. Acesso em: 14 set 2018.

HANLEY S. *CleanTechnica | Clean Tech News & Views: Solar Energy News. Wind Energy News. EV News. & More*. Disponível em: <<https://cleantechnica.com/2018/01/01/shenzhen-completes-switch-fully-electric-bus-fleet-electric-taxis-next/>>. Acesso em: 27 mai 2019.

HANSEN, J. e colab. GLOBAL SURFACE TEMPERATURE CHANGE. *Reviews of Geophysics*, v. 48, n. 4, p. RG4004, 14 Dez 2010. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2010RG000345>>. Acesso em: 28 jan 2019.

HONG, Jinhyun; GOODCHILD, Anne. Land use policies and transport emissions: Modeling the impact of trip speed, vehicle characteristics and residential location. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 26, p. 47–51, Jan 2014. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1361920913001363>>. Acesso em: 7 fev 2019.

- IBGE. *Estimates of the resident population in the municipalities and for the units of the Brazilian federation with a reference date on July 1, 2017*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/natal/pesquisa/38/46996>>.
- ICAO. *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)*. Disponível em: <<https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx>>. Acesso em: 9 abr 2019.
- IEA. *CO₂ EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION Highlights*. International Energy Agency. [S.l: s.n.], 2014. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2014.pdf>>.
- IEA. *CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2017 - Highlights*. . [S.l: s.n.], 2017. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustionHighlights2017.pdf>>.
- IEA. *World Energy Outlook 2011*. . [S.l: s.n.], 2011. Disponível em: <<https://www.iea.org/newsroom/news/2011/november/world-energy-outlook-2011.html>>. Acesso em: 6 jan 2018.
- ILLICH, Ivan. *Energia e Equidade*. Lisboa: Sá da Costa, 1975.
- IMO. *INITIAL IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS Contents*. . [S.l: s.n.], 2018. Disponível em: <<http://www.imo.org>>. Acesso em: 27 mai 2019.
- IPCC e colab. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Kanagawa, Japan: [s.n.], 2006. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html>>.
- IPCC. *Climate Change 2014 - Synthesis Report. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland, 151 pp: [s.n.], 2014.
- IPCC, 2018. *Global Warming of 1.5°C. Summary for Policymakers - 2018*. . Geneva, Switzerland: [s.n.], 2018. Disponível em: <http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf>.
- IPCC SAR. *Climate Change 1995: A report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Second Assesment Report*. [S.l: s.n.], 1996. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/es405168b>>.
- IPEA e colab. Mobilidade e Pendularidade no Complexo Metropolitano Expandido de São Paulo: O sistema de transporte fretado como alternativa de deslocamento. *Estudos Avançados*, v. 24, n. 1, p. 1–16, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141988000300010&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt%5Cnhttp://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2009/artigos/E2009_T00138_PCN41516.pdf>.
- ITDP. *Ciudad de México: líder regional en política de estacionamiento*. Disponível em: <<http://mexico.itdp.org/noticias/ciudad-de-mexico-lider-regional-en-politica-de-estacionamiento/>>. Acesso em: 27 mai 2019.
- ITDP. *Indicador do uso da bicicleta em São Paulo - Contagens Volumétricas de Ciclistas*. . São Paulo: [s.n.], 2015.
- ITF. *ITF Transport Outlook 2017*. , ITF Transport Outlook. [S.l.]: OECD, 30 Jan 2017. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/transport/itf-transport-outlook-2017_9789282108000-en>. Acesso em: 27 mai 2019.
- JAIN, Deepty; TIWARI, Geetam. How the present would have looked like? Impact of non-motorized transport and public transport infrastructure on travel behavior, energy consumption and CO₂emissions - Delhi, Pune and Patna. *Sustainable Cities and Society*, v. 22, p. 1–10, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.01.001>>.

JAMES S. *Daimler Announces Two All-Electric Trucks to Compete with Tesla's Semi | Greener Ideal*. Disponível em: <<https://greenerideal.com/news/daimler-announces-two-electric-trucks-compete-teslas-semi/>>. Acesso em: 27 mai 2019.

KELLY O. *17 new bus routes announced under €1bn Dublin traffic plan*. Disponível em: <<https://www.irishtimes.com/news/ireland/irish-news/17-new-bus-routes-announced-under-1bn-dublin-traffic-plan-1.3100100>>. Acesso em: 27 mai 2019.

KENNEDY, C.; PINCETL, S.; BUNJE, P. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution*, v. 159, n. 8–9, p. 1965–1973, 1 Ago 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749110004781>>. Acesso em: 14 set 2018.

KIM, Dohyung e colab. Sustainable mobility: Longitudinal analysis of built environment on transit ridership. *Sustainability (Switzerland)*, v. 8, n. 10, p. 1–14, 2016.

KPPI. *Tahun 2018 Kemenhub Mendapatkan Alokasi Anggaran Sebesar Rp. 48,187 Triliun*. Disponível em: <<http://www.dephub.go.id/post/read/tahun-2018-kemenhub-mendapatkan-alokasi-anggaran-sebesar-rp.-48,187-triliun>>. Acesso em: 27 mai 2019.

LA ROVERE, E. L.; e colab. *Economic and Social Implications of Greenhouse Gas Mitigation Scenarios in Brazil until 2030: IES-Brazil Project*. Rio de Janeiro, Brazil: Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, 2016.

LE FIGARO. *Pollution: Paris demande la gratuité des transports lors des pics*. Disponível em: <<http://www.lefigaro.fr/flash-eco/2018/05/04/97002-20180504FILWWW00184-pollution-paris-demande-la-gratuite-des-transport-lors-des-pics.php>>. Acesso em: 19 mar 2019.

LEANNA GARFIELD. *Cities are going car-free around the world - Business Insider*. Disponível em: <<https://www.businessinsider.com/cities-going-car-free-2017-2>>. Acesso em: 27 mai 2019.

LEGAVOX. *Les accidents en trottinettes ou patinettes électriques assimilés à des piétons pour l'indemnisation - Légavox*. Disponível em: <<https://www.legavox.fr/blog/maitre-anthony-bem/accidents-trottinettes-patinettes-electriques-indemnis-26012.htm>>. Acesso em: 23 mar 2019.

LEIBOWICZ, Benjamin D. Effects of urban land-use regulations on greenhouse gas emissions. *Cities*, v. 70, p. 135–152, 1 Out 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com.ez29.capes.proxy.ufrj.br/science/article/pii/S0264275117301646>>. Acesso em: 27 mar 2018.

LI, Peilin; ZHAO, Pengjun; BRAND, Christian. Future energy use and CO₂ emissions of urban passenger transport in China: A travel behavior and urban form based approach. *Applied Energy*, v. 211, n. October 2017, p. 820–842, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.022>>.

LONDRINA. *Inventário de Gases de Efeito Estufa do Município de Londrina*. Londrina, Paraná.: [s.n.], 2017.

LOPES TOLEDO, André e colab. Urban Mobility and Greenhouse Gas Emissions: Status, Public Policies, and Scenarios in a Developing Economy City, Natal, Brazil. *Sustainability*, v. 10, n. 11, p. 3995, 1 Nov 2018. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/10/11/3995>>. Acesso em: 13 dez 2018.

MACEDO, JAN ERIK JOHANSSON. *Study Of Trolleybus Line In Natal*. Disponível em: <<https://monografias.ufrn.br/jspui/handle/123456789/3636>>. Acesso em: 31 out 2018.

MADLENER, Reinhard; SUNAK, Yasin. Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: What can we learn for urban energy planning and urbanization management? *Sustainable Cities and Society*, v. 1, n. 1, p. 45–53, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2010.08.006>>.

MANI, Muthukumara e colab. *South Asia 's Hotspots-The Impact of Temperature and Precipitation Changes on Living Standards*. [S.l.: s.n.], 2018.

MATTOCK, Heidi e colab. The carcinogenicity of outdoor air pollution. *The Lancet Oncology*, v. 14, n. 13, p. 1262–1263, 2013.

MCID. *National Policy on Urban Mobility*. . [S.l: s.n.], 2013. Disponível em: <http://www.secid.ma.gov.br/files/2015/03/cartilha_lei_12587-1.pdf>.

MCID; MT. *Sector Plan for Transport and Urban Mobility for Mitigation and Adaptation to Climate Change (PSTM)*. Brasília, Brazil: Brasil, Ministério dos Transportes, 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80076/Mineracao.pdf>>.

MERCIER, Jean e colab. *Policy tools for sustainable transport in three cities of the Americas: Seattle, Montreal and Curitiba. Transport Policy*. [S.l: s.n.], 2016

MOBIKE. *Bike-sharing and the City 2017 White Paper Introduction Bike-sharing : Making Cities More*. . [S.l: s.n.], 2017.

MRS. *NOVO TERMINAL INTERMODAL DE JUNDIAÍ VAI AUMENTAR EFICIÊNCIA DAS EMPRESAS DA REGIÃO NO ACESSO AO PORTO DE SANTOS*. Disponível em: <<https://www.mrs.com.br/post-blog-mrs/novo-terminal-intermodal-de-jundiai-vai-aumentar-eficiencia-e-competitividade-das-empresas-da-regiao-no-acesso-ao-porto-de-santos/>>. Acesso em: 27 mai 2019.

MUSULIN K. *LA Metro to develop MaaS system for TAP smart card program | Smart Cities Dive*. Disponível em: <<https://www.smartcitiesdive.com/news/la-metro-to-develop-maas-system-for-tap-smart-card-program/529316/>>. Acesso em: 27 mai 2019.

NATAL, Prefeitura Do. *URBAN MOBILITY DIRECTOR PLAN - Offer Improvement Plan*. NATAL, Brazil: PREFEITURA DO NATAL, 2017a. Disponível em: <www.planmobnatal.com.br>.

NATAL, PREFEITURA DO. *URBAN MOBILITY DIRECTOR PLAN - DIAGNOSIS AND TRENDS*. . Natal, Brazil: [s.n.], 2017b. Disponível em: <WWW.PLANMOBNATAL.COM.BR>.

NEWS, CBC. *Tesla, Volvo, BMW — all join in: Is this finally the dawn of the electric car era? | CBC News*. Disponível em: <<https://www.cbc.ca/news/business/tesla-model3-volvo-bmw-electric-car-alternative-fuel-gasoline-1.4192878>>. Acesso em: 25 mar 2019.

NIR S. *Car-Share Companies Get Coveted Parking in New York City - The New York Times*. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2018/05/31/nyregion/nyc-zipcar-parking.html>>. Acesso em: 27 mai 2019.

NOVACANA. *Carro com motor flexível faz 15 anos no Brasil | novaCana.com*. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/carros/carro-motor-flexivel-15-anos-brasil-050418>>. Acesso em: 26 mar 2019a.

NOVACANA. *Protótipo híbrido flex da Toyota chega em Brasília depois de percorrer 1,5 mil km | novaCana.com*. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/combate/carro-eletrico/prototipo-hibrido-flex-toyota-chega-brasilia-230318>>. Acesso em: 26 mar 2019b.

NOVACANA. *Unica tenta frear adoção do carro elétrico no Brasil*. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/combate/carro-eletrico/unica-frear-adocao-carro-eletrico-brasil-090218/>>. Acesso em: 27 mar 2018.

OECD/IEA. *Energy, Climate Change and Environment - 2016 Insights*. . Paris: [s.n.], 2016a. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ECCE2016.pdf>>.

OECD/IEA. *Energy and Air Pollution - World Energy Outlook, Special Report*. . Paris: [s.n.], 2016b. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlookSpecialReport2016EnergyandAirPollution.pdf>>.

OLIMPIO TAVARES. *ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos*. Disponível em:

<<http://antp.org.br/noticias/ponto-de-vista/rota-2030-colide-com-proconve-e-politica-nacional-do-clima.html>>. Acesso em: 26 mar 2019.

PAN, Haozhi e colab. Sociohydrology modeling for complex urban environments in support of integrated land and water resource management practices. *Land Degradation & Development*, 9 Ago 2018. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/ldr.3106>>. Acesso em: 14 set 2018.

PAPER, Conference; VALEN, Gabriel Costa. O conceito de ruas completas : aplicação a um projeto viário em Natal-RN , Brasil , considerando a Política Nacional de Mobilidade Urbana. 2019, [S.l: s.n.], 2019.

PEREIRA JR., A. O.; CUNHA, S. H. F.; SANTOS, T. *Economic and Social Implications of Greenhouse Gas Mitigation Scenarios in Brazil Until 2030 - Transport Sector GHG Mitigation Scenarios*. Rio de Janeiro, Brazil: Centro Clima/COPPE/UFRJ, 2016.

POLICARPO, Nara Angélica e colab. Road vehicle emission inventory of a Brazilian metropolitan area and insights for other emerging economies. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 58, p. 172–185, 2018. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S136192091730576X>>.

POTIGAS. *Total consumption of NGV for the municipalities served by Potigás, in the last 05 years (2012, 2013, 2014, 2015, 2016)*. . NATAL, Brazil: [s.n.], 2017.

PUPPIM DE OLIVEIRA, Jose Antonio; DOLL, Christopher N.H.; SUWA, Aki. *Urban Development with Climate Co-Benefits: Aligning Climate, Environmental and Other Development Goals in Cities*. [S.l: s.n.], 2013.

REDMAN, Lauren e colab. Quality attributes of public transport that attract car users: A research review. *Transport Policy*, v. 25, p. 119–127, 2013.

REUTERS. *EU to phase out palm oil from transport fuel by 2030* | Reuters. Disponível em: <<https://www.reuters.com/article/us-eu-climatechange-palmoil/eu-to-phase-out-palm-oil-from-transport-fuel-by-2030-idUSKBN1JA21F>>. Acesso em: 25 mar 2019.

RIBAS, Rodrigo Pacheco. *Perspectivas De Demanda E Emissões De Co 2 No Setor Energético Brasileiro Face Às Políticas De Mitigação Da Mudança Do Clima*. 2013. 202 f. UFRJ, 2013.

SATTERTHWAITE, David. Cidades e mudanças climáticas. *Political Science*, n. December, 2008.

SEATTLE GOVERNMENT. *Mayor Murray unveils updated Pedestrian Master Plan, investments improving safety in Seattle neighborhoods - Mayor Murray*. Disponível em: <<http://murray.seattle.gov/mayor-murray-unveils-updated-pedestrian-master-plan-investments-improving-safety-seattle-neighborhoods/>>. Acesso em: 27 mai 2019.

SERVICE-PUBLIC FRANÇAISE. *Circulation en trottinette électrique, rollers ou skateboard* | service-public.fr. Disponível em: <<https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F308>>. Acesso em: 23 mar 2019.

SHAHEEN, Susan A.; COHEN, Adam P.; ROBERTS, J. Darius. Carsharing in North America. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 1986, n. 1, p. 116–124, 1 Jan 2006. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0361198106198600115>>. Acesso em: 27 mai 2019.

SHEKARRIZFARD, Maryam e colab. Regional assessment of exposure to traffic-related air pollution: Impacts of individual mobility and transit investment scenarios. *Sustainable Cities and Society*, v. 29, n. x, p. 68–76, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.12.002>>.

SHRESTHA, Ram Manohar e colab. *Economics of Reducing Greenhouse Gas Emissions in South Asia; Options and Cost*. [S.l: s.n.], 2012.

SILVA, Mafalda e colab. A Scenario-Based Approach for Assessing the Energy Performance of Urban Development Pathways. *Sustainable Cities and Society*, v. 40, n. October 2017, p. 372–382, 2018. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210670717313318>>.

SILVEIRA, Ladjane Sarmiento Da; ABREU, Cynara Carvalho De; SANTOS, Enilson Medeiros Dos. Análise da situação de trabalho de motoristas em uma empresa de ônibus urbano da cidade de Natal/RN. *Psicologia: Ciência e Profissão*, v. 34, n. 1, p. 158–179, 2014.

SINGAPORE GOVERNMENT. *gov.sg | Streets for People*. Disponível em: <<https://www.gov.sg/news/content/streets-for-people>>. Acesso em: 27 mai 2019.

SINGAPORE GOVERNMENT. *Joint Media Release by the Land Transport Authority (LTA) & NEA - New Vehicular Emissions Scheme to Replace Carbon-Based Emissions Vehicle Scheme from 1 January 2018 | Press Room | Land Transport Authority*. Disponível em: <<https://www.lta.gov.sg/apps/news/page.aspx?c=2&id=08685840-d664-4713-9ccb-96dcd8936d08>>. Acesso em: 27 mai 2019.

SKYNRG. *Sustainable Aviation Fuel | Sustainable Aviation Fuel | SkyNRG*. Disponível em: <<https://skynrg.com/sustainable-aviation-fuel/sustainable-aviation-fuel/>>. Acesso em: 27 mai 2019.

SLOCAT. *Transport and Climate Change Global Status Report 2018*. . [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<http://slocat.net/tcc-gsr>>.

SMALL A. *Lyft Buys Motivate America's Largest Bikeshare Company - CityLab*. Disponível em: <<https://www.citylab.com/transportation/2018/07/lyft-buys-motivate-bikesharing-systems/564347/>>. Acesso em: 27 mai 2019.

SOLAROAD. *Projects – SolaRoad*. Disponível em: <<https://www.solaroad.nl/portfolio/>>. Acesso em: 21 mar 2019.

SOUZA, Cristiane Duarte Ribeiro De e colab. Inventory of conventional air pollutants emissions from road transportation for the state of Rio de Janeiro. *Energy Policy*, v. 53, p. 125–135, 1 Fev 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512008798?via%3Dihub>>. Acesso em: 3 jan 2018.

TALBI, Bisma. CO2 emissions reduction in road transport sector in Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 69, n. June 2015, p. 232–238, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.208>>.

TAN, Xianchun e colab. Scenario Analysis of Urban Road Transportation Energy Demand and GHG Emissions in China—A Case Study for Chongqing. *Sustainability*, v. 10, n. 6, p. 2033, 2018. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/10/6/2033>>.

TFL - TRANSPORT FOR LONDON. *Ultra Low Emission Zone - Transport for London*. Disponível em: <<https://tfl.gov.uk/modes/driving/ultra-low-emission-zone>>. Acesso em: 9 abr 2019.

THE GUARDIAN. *A road full of bottlenecks: Dutch cycle path is made of plastic waste | Environment | The Guardian*. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/environment/2018/sep/13/a-road-full-of-bottlenecks-dutch-cycle-path-is-made-of-plastic-waste>>. Acesso em: 21 mar 2019.

THE GUARDIAN. *All Volvo cars to be electric or hybrid from 2019 | Business | The Guardian*. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/business/2017/jul/05/volvo-cars-electric-hybrid-2019>>. Acesso em: 25 mar 2019.

THE WEATHER CHANNEL. *La gratuité des transports, remède contre la pollution en ville ? | The Weather Channel*. Disponível em: <<https://weather.com/fr-FR/france/alaune/news/2018-02-14-gratuite-transportes-allemande-pollution>>. Acesso em: 19 mar 2019.

TRIBUNE DE GENÈVE. *Mobilité: Les piétons veulent chasser les trottinettes des trottoirs - News*

- Genève: *Actu genevoise - tdg.ch*. Disponível em: <<https://www.tdg.ch/geneve/actu-genevoise/Les-pietons-veulent-chasser-les-trottinettes-des-trottoirs/story/25488102>>. Acesso em: 23 mar 2019.
- UBER CO. *Uber Advanced Technologies Group*. Disponível em: <<https://www.uber.com/info/atg/>>. Acesso em: 23 mar 2019.
- UITP. *Mobility in cities database. Synthesis report. Uitp*. [S.l: s.n.], 2015. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=18984081&site=ehost-live>>.
- UN-HABITAT. *PLANNING AND DESIGN FOR SUSTAINABLE URBAN MOBILITY*. Nairobi, KENYA: United Nations Human Settlements Programme, 2013.
- UN-HABITAT. *The Fundamentals of Urbanization Evidence base for Policy Making*. Nairobi, KENYA: United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat), 2016. Disponível em: <<https://unhabitat.org/books/the-fundamentals-of-urbanization-evidence-base-for-policy-making/>>.
- UNACLA. *Transport and mobility snapshots*. . [S.l: s.n.], 2013. Disponível em: <www.unhabitat.org>.
- UNITED NATIONS. *New Urban Agenda*. Quito: [s.n.], 2017.
- UNITED NATIONS. *The World's Cities in 2016: Data Booklet*. [S.l: s.n.], 2016. Disponível em: <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/the_worlds_cities_in_2016_data_booklet.pdf>.
- USÓN, Alfonso Aranda e colab. *Energy efficiency in transport and mobility from an eco-efficiency viewpoint*. *Energy*. [S.l: s.n.], 2011
- VAN DER ZWAAN, Bob; KEPPO, Ilkka; JOHNSON, Filip. How to decarbonize the transport sector? *Energy Policy*, v. 61, p. 562–573, 1 Out 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513004734>>. Acesso em: 6 jan 2018.
- VANHULSEL, Marlies e colab. Road transportation emission inventories and projections – Case study of Belgium: Methodology and pitfalls. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 27, p. 41–45, 1 Mar 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920913001466>>. Acesso em: 3 jan 2018.
- VILLE DE LYON. *Pic de pollution : en raison des conditions météo, la circulation différenciée sera levée le 2 mars | Ville de Lyon*. Disponível em: <<https://www.lyon.fr/actualite/deplacements/pic-de-pollution-circulation-differenciee-des-jeudi-matin>>. Acesso em: 19 mar 2019.
- VIVANCO, Marta G.; ANDRADE, Maria de Fátima. Validation of the emission inventory in the Sao Paulo Metropolitan Area of Brazil, based on ambient concentrations ratios of CO, NMOG and NOx and on a photochemical model. *Atmospheric Environment*, v. 40, n. 7, p. 1189–1198, 1 Mar 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231005010186?via%3Dihub>>. Acesso em: 3 jan 2018.
- WANG, Yunjing e colab. Changing urban form and transport CO2 emissions: An empirical analysis of Beijing, China. *Sustainability (Switzerland)*, v. 6, n. 7, p. 4558–4579, 2014.
- WENBAN-SMITH, Alan. Land-use drivers of transport emissions – revisited. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, v. 170, n. 2, p. 76–85, 7 Abr 2017. Disponível em: <<http://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/jtran.15.00097>>. Acesso em: 28 jan 2019.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Global ambient air pollution*. Disponível em: <<http://maps.who.int/airpollution/>>. Acesso em: 26 fev 2019.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Inheriting a sustainable world? Atlas on children's health and the environment*. . Villars-sous-Yens, Switzerland: [s.n.], 2017.

WHO | WHO Global Ambient Air Quality Database (update 2018). Disponível em: <<https://www.who.int/airpollution/data/cities/en/>>. Acesso em: 26 fev 2019.

WILLS, William; LA ROVERE, Emilio Lèbre. Light vehicle energy efficiency programs and their impact on Brazilian CO₂ emissions. *Energy Policy*, v. 38, n. 11, p. 6453–6462, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Ambient (outdoor) air quality and health*. Disponível em: <[https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)>. Acesso em: 26 fev 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Exposure to ambient air pollution from particulate matter for 2016*. . [S.l: s.n.], 2018. Disponível em: <www.who.int/airpollution/data>.

WRI; C40; ICLEI. Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories: An Accounting and Reporting Standard for Cities. p. 1–176, 2014. Disponível em: <http://ghgprotocol.org/files/ghgp/GHGP_GPC.pdf>.

YEH, Sonia e colab. Detailed assessment of global transport-energy models' structures and projections. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 55, p. 294–309, 1 Ago 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920916301651?via%3Dihub>>. Acesso em: 27 mai 2019.

Anexo I – Extrato da Lei 12.587, de 3 de janeiro de 2012

“Lei Nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012.

(...)

Seção II

Dos Princípios, Diretrizes e Objetivos da Política Nacional de Mobilidade Urbana

Art. 5º A Política Nacional de Mobilidade Urbana está fundamentada nos seguintes princípios:

- I - acessibilidade universal;*
- II - desenvolvimento sustentável das cidades, nas dimensões socioeconômicas e ambientais;*
- III - equidade no acesso dos cidadãos ao transporte público coletivo;*
- IV - eficiência, eficácia e efetividade na prestação dos serviços de transporte urbano;*
- V - gestão democrática e controle social do planejamento e avaliação da Política Nacional de Mobilidade Urbana;*
- VI - segurança nos deslocamentos das pessoas;*
- VII - justa distribuição dos benefícios e ônus decorrentes do uso dos diferentes modos e serviços;*
- VIII - equidade no uso do espaço público de circulação, vias e logradouros; e*
- IX - eficiência, eficácia e efetividade na circulação urbana.*

Art. 6º A Política Nacional de Mobilidade Urbana é orientada pelas seguintes diretrizes:

- I - integração com a política de desenvolvimento urbano e respectivas políticas setoriais de habitação, saneamento básico, planejamento e gestão do uso do solo no âmbito dos entes federativos;*
- II - prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado;*
- III - integração entre os modos e serviços de transporte urbano;*
- IV - mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade;*
- V - incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes;*
- VI - priorização de projetos de transporte público coletivo estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado; e*
- VII - integração entre as cidades gêmeas localizadas na faixa de fronteira com outros países sobre a linha divisória internacional.*
- VIII - garantia de sustentabilidade econômica das redes de transporte público coletivo de passageiros, de modo a preservar a continuidade, a universalidade e a modicidade tarifária do serviço. (Incluído pela Lei nº 13.683, de 2018)*

Art. 7º A Política Nacional de Mobilidade Urbana possui os seguintes objetivos:

- I - reduzir as desigualdades e promover a inclusão social;*
- II - promover o acesso aos serviços básicos e equipamentos sociais;*
- III - proporcionar melhoria nas condições urbanas da população no que se refere à acessibilidade e à mobilidade;*

IV - promover o desenvolvimento sustentável com a mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades; e

V - consolidar a gestão democrática como instrumento e garantia da construção contínua do aprimoramento da mobilidade urbana.

(...)

Das Diretrizes Para o Planejamento e Gestão dos Sistemas de Mobilidade Urbana

Art. 21. O planejamento, a gestão e a avaliação dos sistemas de mobilidade deverão contemplar:

I - a identificação clara e transparente dos objetivos de curto, médio e longo prazo;

II - a identificação dos meios financeiros e institucionais que assegurem sua implantação e execução;

III - a formulação e implantação dos mecanismos de monitoramento e avaliação sistemáticos e permanentes dos objetivos estabelecidos; e

IV - a definição das metas de atendimento e universalização da oferta de transporte público coletivo, monitorados por indicadores preestabelecidos.

Art. 22. Consideram-se atribuições mínimas dos órgãos gestores dos entes federativos incumbidos respectivamente do planejamento e gestão do sistema de mobilidade urbana:

I - planejar e coordenar os diferentes modos e serviços, observados os princípios e diretrizes desta Lei;

II - avaliar e fiscalizar os serviços e monitorar desempenhos, garantindo a consecução das metas de universalização e de qualidade;

III - implantar a política tarifária;

IV - dispor sobre itinerários, frequências e padrão de qualidade dos serviços;

V - estimular a eficácia e a eficiência dos serviços de transporte público coletivo;

VI - garantir os direitos e observar as responsabilidades dos usuários; e

VII - combater o transporte ilegal de passageiros.

Art. 23. Os entes federativos poderão utilizar, dentre outros instrumentos de gestão do sistema de transporte e da mobilidade urbana, os seguintes:

I - restrição e controle de acesso e circulação, permanente ou temporário, de veículos motorizados em locais e horários predeterminados;

II - estipulação de padrões de emissão de poluentes para locais e horários determinados, podendo condicionar o acesso e a circulação aos espaços urbanos sob controle;

III - aplicação de tributos sobre modos e serviços de transporte urbano pela utilização da infraestrutura urbana, visando a desestimular o uso de determinados modos e serviços de mobilidade, vinculando-se a receita à aplicação exclusiva em infraestrutura urbana destinada ao transporte público coletivo e ao transporte não motorizado e no financiamento do subsídio público da tarifa de transporte público, na forma da lei;

IV - dedicação de espaço exclusivo nas vias públicas para os serviços de transporte público coletivo e modos de transporte não motorizados;

V - estabelecimento da política de estacionamentos de uso público e privado, com e sem pagamento pela sua utilização, como parte integrante da Política Nacional de Mobilidade Urbana;

VI - controle do uso e operação da infraestrutura viária destinada à circulação e operação do transporte de carga, concedendo prioridades ou restrições;

VII - monitoramento e controle das emissões dos gases de efeito local e de efeito estufa dos modos de transporte motorizado, facultando a restrição de acesso a determinadas vias em razão da criticidade dos índices de emissões de poluição;

VIII - convênios para o combate ao transporte ilegal de passageiros; e

IX - convênio para o transporte coletivo urbano internacional nas cidades definidas como cidades gêmeas nas regiões de fronteira do Brasil com outros países, observado o art. 178 da Constituição Federal.

Art. 24. O Plano de Mobilidade Urbana é o instrumento de efetivação da Política Nacional de Mobilidade Urbana e deverá contemplar os princípios, os objetivos e as diretrizes desta Lei, bem como:

I - os serviços de transporte público coletivo;

II - a circulação viária;

III - as infraestruturas do sistema de mobilidade urbana;

III - as infraestruturas do sistema de mobilidade urbana, incluindo as ciclovias e ciclofaixas; (Redação dada pela Lei nº 13.683, de 2018)

IV - a acessibilidade para pessoas com deficiência e restrição de mobilidade;

V - a integração dos modos de transporte público e destes com os privados e os não motorizados;

VI - A operação e o disciplinamento do transporte de carga na infraestrutura viária;

VII - os polos geradores de viagens;

VIII - as áreas de estacionamentos públicos e privados, gratuitos ou onerosos;

IX - as áreas e horários de acesso e circulação restrita ou controlada;

X - os mecanismos e instrumentos de financiamento do transporte público coletivo e da infraestrutura de mobilidade urbana; e

XI - a sistemática de avaliação, revisão e atualização periódica do Plano de Mobilidade Urbana em prazo não superior a 10 (dez) anos. “

Anexo II – Dados do Transporte Intermunicipal Rodoviário.

Identificação de linha	Número de passageiros	km por ano	Identificação de linha	Número de passageiros	km por ano
1. E 1.3	66763, 0	179430, 0	1. E 2.26	66903, 0	129360, 0
1. E 1.2	28646, 0	179872, 0	1. E 2,27	68066, 0	129360, 0
1. E 1.4	31148, 0	168192, 0	1. E 2.20	58148, 0	120360, 0
1. E 1.1	24801, 0	168191, 0	1. E 2.21	52164, 0	117600, 0
1. E 1.7	54391, 0	153561,60	1. E 2.19	48935, 0	118580, 0
1. E 1.16	28079, 0	110592, 0	1. E 2.17	54822, 0	129360, 0
1. E 1.15	52293, 0	73566, 0	1. E 2.18	64961, 0	129360, 0
1. E 1.32	52166, 0	226560, 0	1. E 2.21.1	62359, 0	108780, 0
1. E 1.33	56747, 0	113822, 0	1. E 2.19.1	65491, 0	108780, 0
1. E 1,17	72636, 0	81618, 0	1. E 2.22.1	62359, 0	117600, 0
1. E 1.13	52538, 0	142848, 0	1. E 2.5.2	48555, 0	134400, 0
1. E 1.34	46537, 0	62952, 0	1. E 2.24	86470, 0	140650, 0
LDI-195-102	289075, 0	549217,16	LDI-185-094	347335, 0	203750, 0
LDI-110-100	336422, 0	451919, 0	1. E 2.15	71720, 0	129360, 0
LDI-140-054	552611, 0	602196,52	1. E 2.14	70287, 0	129360, 0
LDI-140-066	18600, 0	33777,60	1. E 2.16	65914, 0	129360, 0
LDI-150-117	984888, 0	541817, 0	1. E 2.13	66120, 0	129360, 0
LDI-150-116	812842, 0	530904, 0	1. E 2.20.1	66451, 0	117600, 0
LDI-160-090	878960, 0	433532, 0	1. E 2.24.1	58794, 0	89189, 0
LDI-160-089	634071, 0	303820, 0	1. E 2.23.1	48838, 0	82419, 0
1. E 1.49	61031, 0	114912, 0	1. E 2.25	64052, 0	129360, 0
1. E 1.10	40479, 0	83220, 0	1. E 2.4	23550, 0	180480, 0
1. E 1.50	60826, 0	114912, 0	1. E 2.3	23014, 0	199680, 0
1. E 1.11	58513, 0	106856, 0	1. E 2.52	23428, 0	171360, 0
1. E 1.51	65284, 0	264389,28	Total	10488885, 0	11980085,76
1. E 1.52	33431, 0	129360, 0			
1. E 2.5	33757, 0	79104, 0			
LDI-105-013	30910, 0	48800, 0			
LDI-185-088	548227, 0	384062, 0			
LDI-185-087	1471600, 0	871222, 0			
LDI-185-736	506142, 0	359072, 0			
LTR-105-016	38202, 0	38506,60			
LTR-105-019	197589, 0	191520, 0			
LTR-105-753	472191, 0	662354, 0			
1. E 2.22	60191, 0	118580, 0			
1. E 2.23	67532, 0	129360, 0			

Dados consolidados pelo autor. Fonte de dados: (DER/RN, 2017)