

Trabalho de Conclusão de Curso

Thiago Vieira Vasques

INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SANTA CATARINA

Florianópolis

2018



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Engenharia Sanitária e Ambiental

Thiago Vieira Vasques

**INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE
SANTA CATARINA**

Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para a
Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Leonardo
Hoinaski

Florianópolis
2018

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

Vasques, Thiago
Inventário de Emissões Veiculares no Estado de
Santa Catarina / Thiago Vasques ; orientador,
Leonardo Hoinaski, 2018.
84 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Poluição
Atmosférica. 3. Inventário de Emissões. 4. Emissões
Veiculares. 5. método Top-Down. I. Hoinaski,
Leonardo. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental. III. Título.

Thiago Vieira Vasques

**INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE
SANTA CATARINA**

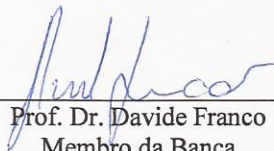
Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para a conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II.

Florianópolis, 18 de junho de 2018.



Prof. Dr. Leonardo Hoinaski
Orientador

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Davide Franco
Membro da Banca



Prof. Dr. Pedro Luiz Borges Chaffe
Membro da Banca

“Viver é fácil com os olhos fechados
confundindo tudo o que você vê...”.

John Lennon

AGRADECIMENTOS

Agradeço eternamente aos meus pais Vagner Vasques e Marluce Vieira Vasques pela batalha constante em buscar sempre o caminho da verdade e propiciar uma vida digna e saudável. Por me proporcionarem toda a educação, sabedoria, amor e carinho que me permitiram chegar até aqui.

Ao meu avô Helion Vasques por todo cuidado, companheirismo, carinho, diversão, risadas e com certeza por ser o melhor avô do mundo. Por me mostrar e incentivar a encarar essa vida com muita felicidade.

À minha irmã Tamara Vieira Vasques, por sempre ser o exemplo de como crescer e lutar na vida, uma pessoa guerreira, forte e determinada que estará sempre ao meu lado.

A Beatriz Lima, por ser o meu porto seguro, que esta sempre ao meu lado, incentivando, apoiando e compartilhando a forte afeição que o ser humano pode ter por outra pessoa.

Ao Professor Dr. Henrique de Melo Lisboa, por acreditar no meu potencial e permitir que eu pudesse fazer parte do Laboratório de Controle da Qualidade do Ar.

Ao Professor e Orientador Dr. Leonardo Hoinaski, por todos os ensinamentos, motivações, alegrias e desafios, que permitiu a evolução como pesquisador e como ser humano, através do seu trabalho impecável e exemplar. Siga em frente, o céu é o limite!

Aos membros da banca, Professor Davide Franco e Pedro Chaffe, por aceitar o convite e pelas contribuições para este estudo.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Controle de Qualidade do Ar que foram fundamentais para difundir o conhecimento, compartilhar as alegrias e observar a beleza da ciência. (Andy Blanco, Marlon Brancher, Diogo Corrêa, Andy Maes, Victória Knih, Nathan Campos, Otávio Nunes, Gustavo Savi, Fabio Vigano, Annemarie Reif, Julia Moore, Kelvin Duenhas, Robson Will, Audrey, Ariadne, Eduarda).

Ao Vicente Câmara, por ser meu primeiro colega de pesquisa no Laboratório e também no mercado de trabalho. Os seus ensinamentos jamais serão esquecidos e a sua alegria é fantástica!

A todos os amigos e colegas que conquistei na Universidade Federal de Santa Catarina, e também ao melhor quarteto o meu muitíssimo obrigado por estarem comigo nessa trajetória estaremos sempre juntos!

A todos os amigos de infância, do colégio e da vida, sem vocês nada seria possível, são fundamentais na minha vida.

RESUMO

O estado de Santa Catarina possui a 6ª maior frota e uma das maiores densidades de veículos do país. Por este motivo, é importante que sejam elaboradas estratégias de controle de emissões veiculares em Santa Catarina. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo, elaborar um inventário de emissões veiculares para o estado de Santa Catarina. Utilizando o método de estimativa *Top-Down* considerando a idade da frota, o consumo de combustível e o fator de emissão dos veículos para cada município do estado, estimou-se que o estado catarinense é responsável pela emissão de 109.991,71 ton.ano⁻¹ de CO, 14.124,86 ton.ano⁻¹ de HC, 92.012,32 ton.ano⁻¹ de NO_x, 3.990,85 ton.ano⁻¹ de MP e 808,18 ton.ano⁻¹ de N₂O. O estado de SC possui frota veicular com predomínio de veículos leves, equivalente a 59% da frota total, sendo estes os principais responsáveis pela emissão de CO (74%) e HC (57%). Os veículos comerciais leves possuem um perfil de emissão semelhante aos veículos leves, no entanto, com menor magnitude devido a menor frota. As motos, apesar de representarem a segunda maior frota do estado em número de veículos e 24% da frota total, emitem pouco. Os veículos pesados representam apenas 5% da frota total, e são os principais emissores de NO_x (93%) e MP (99%). Em comparação com estudos realizados em âmbito nacional, e nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná, os veículos leves têm a maior contribuição para a emissão de CO no estado catarinense. A emissão total de CO, NO_x e MP em Santa Catarina é maior que o estado fluminense. Quando comparada a emissão por veículos, SC supera o estado de SP e do RJ em todos os poluentes. A comparação das emissões por área territorial apresentou que o estado de Santa Catarina é a maior emissora de Material Particulado por km². Diante desses resultados, as emissões veiculares se mostram como uma importante fonte de emissão de poluentes, que podem ser sujeitas a uma possível adoção de medidas de controle visando à preservação da qualidade do ar.

Palavras-chave: Poluição atmosférica, Inventário de emissões, Emissões veiculares, método *Top-Down*.

ABSTRACT

The state of Santa Catarina has the 6th largest fleet and one of the highest densities of vehicles in the country. For this reason, it is important that vehicle emission control strategies be developed in Santa Catarina. In this context, the present work aims to compile an inventory of vehicle emissions for the state of Santa Catarina. Using the *Top-Down* estimation method considering the age of the fleet, fuel consumption and vehicle emission factor for each municipality in the state, it was estimated that the state of Santa Catarina is responsible for the emission of 109,991.71 ton.year⁻¹ of CO, 14,124.86 ton.year⁻¹ of HC, 92,012.32 ton.year⁻¹ of NO_x, 3,990.85 ton.year⁻¹ of MP and 808.18 ton.year⁻¹ of N₂O. The state of SC has a vehicular fleet with a predominance of light vehicles, equivalent to 59% of the total fleet, being the main responsible for the emission of CO (74%) and HC (57%). Light commercial vehicles have an emission profile similar to light vehicles, however, with lesser magnitude due to smaller fleet. Motorcycles, although representing the second largest fleet of the state in number of vehicles and 24% of the total fleet, emit little. Heavy vehicles account for only 5% of the total fleet, and are the main emitters of NO_x (93%) and MP (99%). Compared to studies carried out at the national level, and in the states of São Paulo, Rio de Janeiro and Paraná, light vehicles have the largest contribution to the emission of CO in the state of Santa Catarina. The total emission of CO, NO_x and MP in Santa Catarina is greater than the state of Rio de Janeiro. When compared to emission by vehicles, SC exceeds the state of SP and RJ in all pollutants. The comparison of emissions by territorial area showed that the state of Santa Catarina is the largest emitter of particulate matter per km². In view of these results, vehicular emissions are shown as an important source of emission of pollutants, which may be subject to a possible adoption of control measures aiming at the preservation of air quality.

Keywords: Air Pollution, Emissions Inventory, Vehicle Emissions, method *Top-Down*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização do Estado de Santa Catarina.	35
Figura 2: Vias da mesorregião da Grande Florianópolis.....	36
Figura 3: Vias da mesorregião Norte.	37
Figura 4: Vias da mesorregião do Vale do Itajaí.....	38
Figura 5: Vias da mesorregião Oeste.	38
Figura 6: Vias da mesorregião Sul.....	39
Figura 7: Vias da mesorregião Serrana.	39
Figura 8: Fluxograma da Metodologia.	43
Figura 9: Estimativa de emissão dos poluentes CO, NO _x , HC, MP e N ₂ O das categorias de veículos leves (L), comerciais leves (C.L.), motos (M) e pesados (P) para cada municípios de SC.....	55
Figura 10: Porcentagem de contribuição de emissão de cada categoria de veículos leves (L), comerciais leves (C.L.), motos (M) e pesados (P) no Estado de SC.	57
Figura 11: Mapas de emissões de monóxido de carbono em SC	63
Figura 12: Mapas de emissões de hidrocarbonetos em SC	64
Figura 13: Mapas de emissões de óxidos de nitrogênio em SC	66
Figura 14: Mapas de emissões de material particulado em SC	67
Figura 15: Mapas de emissões de óxido nítrico em SC.....	68
Figura 16: Estimativa de emissão dos poluentes CO, NO _x , HC, MP e N ₂ O das categorias de veículos leves (L), comerciais leves (C.L.), motos (M) e pesados (P) para cada municípios de SC.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ranking das cidades mais populosas do Estado de SC (>100.000 hab).	40
Tabela 2: Municípios com maior Frota de Automóveis (Ciclo Otto) do estado de SC.	41
Tabela 3: Municípios com maior frota de veículos pesados (Ciclo Diesel) do estado de SC.	41
Tabela 4: Comparativo entre estados Brasileiros com maior nº veic/hab.	42
Tabela 5: Agrupamento de Classes dos Veículos e os tipos de motorização.	45
Tabela 6: Agrupamento dos Combustíveis Licenciados em tipos de combustíveis descritos nos fatores de emissão da CETESB.	46
Tabela 7: Tipos de combustível por Classe e ano do veículo.	51
Tabela 8: Consumo de Combustível por classe de Veículos no ano de 2016 em 10^3 m^3 e porcentagem do consumo pela categoria.	52
Tabela 9: Porcentagem da composição da frota de Veículos.	53
Tabela 10: Municípios com maior consumo de gasolina e etanol.	54
Tabela 11: Municípios com maior consumo de Óleo Diesel.	54
Tabela 12: Estimativas médias e extremas dos municípios catarinenses para as categorias de veículos leves (L), comerciais leves (C.L.), motos (M) e pesados (P).	56
Tabela 13: Emissão de poluentes por categoria de veículos leves (L), comerciais leves (C.L.), motos (M) e pesados (P) no Estado de SC.	57
Tabela 14: Comparação da proporção de emissões de CO, NO _x e MP para veículos leves e comerciais leves.	58
Tabela 15: Comparação da proporção de emissões de CO, NO _x e MP para motos.	59
Tabela 16: Comparação da proporção de emissões de CO, NO _x e MP para veículos pesados.	59
Tabela 17: Comparação das áreas, frota de veículos e emissões veiculares nos estados de SC (este estudo), SP (CETESB, 2016), RJ (SOUZA, 2012), PR (GRAUER et al., 2013) e BRASIL (BRASIL, 2013).	60
Tabela 18: Comparação das emissões de CO, NO _x e MP por veículos.	60
Tabela 19: Comparação das emissões de CO, NO _x e MP por área territorial.	61
Tabela 20: Ranking dos municípios poluidores de acordo com a categoria para emissão de CO.	80
Tabela 21: Ranking dos municípios poluidores de acordo com a categoria para emissão de HC.	80
Tabela 22: Ranking dos municípios poluidores de acordo com a categoria para emissão de HC.	81
Tabela 23: Ranking dos municípios poluidores de acordo com a categoria para emissão de MP.	81
Tabela 24: Ranking dos municípios poluidores de acordo com a categoria para emissão de N ₂ O.	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP – Agência Nacional do Petróleo
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CO – Monóxido de Carbono
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito
EEA – European Environment Agency
FE – Fator de Emissão
GNV – Gás Natural Veicular
HC – Hidrocarbonetos
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis.
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LCQAr – Laboratório de controle da Qualidade do Ar
MMA – Ministério do Meio Ambiente do Brasil
MP – Material particulado Inalável
MP 2,5 – Material particulado com diâmetro aerodinâmico menor do que 2,5 µm
N₂O – Óxido Nitroso
NO₂ – Dióxido de Nitrogênio
NO_x – Óxidos de Nitrogênio
OCDE – Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento
OMS – Organização Mundial da Saúde
PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente
PR – Estado do Paraná
PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PROMOT – Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares
PRONAR – Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
RJ – Estado do Rio de Janeiro
RVEP – Relatório de Valores de Emissão de Produção
SC – Estado de Santa Catarina
SP – Estado de São Paulo
SO₂ – Dióxido de Enxofre
UNEP – United Nations Environment Programme
USEPA – United States Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	OBJETIVOS	23
2.1	OBJETIVO GERAL	23
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
3.1	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	25
3.2	LEGISLAÇÃO DE CONTROLE DA QUALIDADE DO AR.....	26
3.3	EMISSÕES VEICULARES.....	29
3.3.1	Principais fatores de interferência nas emissões veiculares	30
3.4	INVENTÁRIO DE EMISSÕES.....	32
3.4.1	Método <i>Bottom-Up</i>	33
3.4.2	Método <i>Top-Down</i>	34
4	MATERIAIS E MÉTODO	35
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	35
4.2	ESTIMATIVA DE EMISSÕES	42
4.3	CARACTERIZAÇÃO DA FROTA VEICULAR	44
4.4	FATOR DE EMISSÃO	47
4.4.1	Fator de Emissão dos veículos leves e comerciais leves	47
4.4.2	Fator de Emissão das motocicletas	48
4.4.3	Fator de Emissão dos veículos pesados	49
4.5	CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS NAS CATEGORIAS.....	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1	PERFIL DA FROTA VEICULAR	53
5.2	ESTIMATIVAS DE EMISSÃO.....	54
5.3	ESPACIALIZAÇÃO DAS EMISSÕES.....	62
6	CONCLUSÃO	69
7	RECOMENDAÇÕES	71
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
9	APÊNDICES	79
9.1	ESTIMATIVAS DE EMISSÃO.....	79
9.2	RANKING DOS MUNICÍPIOS POLUIDORES DE ACORDO COM A CATEGORIA PARA CADA POLUENTE	80

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial, econômico e tecnológico intensificou o crescimento desordenado de centros urbanos, caracterizando o estopim para a degradação da qualidade do ar. A poluição atmosférica é uma das principais preocupações globais. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), o ar é um recurso básico para a vida. A deterioração da qualidade deste recurso, devido às ações antrópicas e naturais, é uma ameaça à saúde ambiental (WHO, 2005). O Ministério do Meio Ambiente do Brasil (BRASIL, 2016) cita que, além de trazer prejuízos à saúde, os danos causados pela poluição atmosférica também elevam os gastos do estado, devido ao aumento do número de atendimentos, internações hospitalares e uso de medicamentos.

Os veículos automotores são os principais meios de transporte no estado de Santa Catarina, seja para uso particular ou para escoamento da produção com o transporte de cargas. A crescente frota de veículos nos centros urbanos, e por consequência no estado, alerta a importância da contribuição dessas fontes para emissão de poluentes tóxicos prejudiciais à saúde e nocivos ao meio ambiente (BRASIL, 2016).

O elevado número de veículos nas cidades tornam as emissões veiculares responsáveis por uma considerável parte das emissões atmosféricas (CETESB, 2016). A utilização de combustíveis fósseis como fonte de energia para o setor de transportes é responsável pela emissão de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂), material particulado (MP) e hidrocarbonetos (HC). Esses poluentes causam efeitos adversos à saúde humana e estão relacionados a doenças respiratórias, como asma, à maior incidência de câncer, doenças cardiovasculares, problemas neurológicos e de reprodução (UEDA, 2011).

Portanto, é necessária a implementação de medidas de controle e prevenção da poluição do ar com intuito de compreender os impactos causados pelas emissões antropogênicas em centros urbanos, conhecer os perfis das fontes poluidoras e averiguar os cenários em que o ambiente pode ser insalubre para a vida e para o meio ambiente.

Para estabelecer estratégias eficientes de redução da poluição do ar, deve-se determinar a distribuição espacial das fontes de emissão. Para as emissões relacionadas ao tráfego de veículos, esta tarefa está longe de ser trivial. É complexa a determinação de emissões veiculares e os respectivos impactos de fontes que variam no tempo e no espaço.

Assim, as emissões veiculares devem ser estimadas, através de métodos matemáticos consistentes. (TUIA, 2007).

O inventário de emissões é uma ferramenta de grande utilidade no estudo da poluição urbana, pois permite a identificação de fontes predominantes de emissão e, também o estudo de tendências anuais de redução ou aumento de determinado poluente na atmosfera. Além disso, com esta ferramenta é possível avaliar o progresso de metas de redução de emissões, sendo importante instrumento de avaliação estratégica de monitoramento e controle da qualidade do ar (UEDA, 2011).

De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), o estado de Santa Catarina (SC) possui a 6ª maior frota e uma das maiores densidades de veículos do país. Os municípios mais urbanizados e industrializados tendem emitir maior quantidade de poluente de acordo com o perfil da frota. Em SC, nenhum órgão ambiental realiza o monitoramento da concentração de poluentes atmosféricos, e ainda desconhece as principais fontes de emissão (ALVES *et al.*, 2014).

O objetivo do presente trabalho é elaborar um inventário da emissão de poluentes atmosféricos para o estado de Santa Catarina, com base no perfil da frota veicular, consumo de combustível de cada cidade catarinense, e o fator de emissão elaborado pela CETESB (2016). O estudo foi realizado com o intuito de apresentar aos habitantes de Santa Catarina o impacto causado na qualidade do ar pelas emissões veiculares, e aperfeiçoar as pesquisas já realizadas por: Fernandes (2014), Maes (2017), Meirelles (2017) no Laboratório de Controle de Qualidade do Ar – LCQAr da Universidade Federal de Santa Catarina.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar um inventário de emissões veiculares no estado de Santa Catarina.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Objetivo específico 1: Estimar as emissões veiculares em Santa Catarina utilizando o método *Top-Down*;
Hipótese: A partir do método *Top-Down* é possível determinar as emissões veiculares de cada cidade do estado, bem como segregar a contribuição de cada componente da frota veicular.
- Objetivo específico 2: Comparar estimativas com estudos de inventários de emissões veiculares de outros estados;
Hipótese: Santa Catarina possui uma grande frota veicular em um pequeno território. Logo, as emissões veiculares em SC são elevadas quando comparadas a outros estados.
- Objetivo específico 3: Comparar as emissões georreferenciadas entre as categorias de veículos para os municípios do estado;
Hipótese: A emissão de cada poluente é influenciada pelo perfil da frota de cada cidade.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

O ar como um recurso básico para a vida, e que a deterioração desse recurso, devido a ações antrópicas e naturais é uma ameaça à saúde ambiental (WHO, 2005). Poluição atmosférica é a presença de contaminantes ou substâncias poluentes no ar que interferem na saúde ou bem estar humano, ou produzem outros efeitos nocivos ao meio ambiente. (USEPA, 2009a). No Brasil, a Resolução nº 003/1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) apresenta a definição de poluição atmosférica como, qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

- I – Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- II - Inconveniente ao bem-estar público;
- III - Danoso aos materiais, à fauna e flora;
- IV - Prejudicial à segurança ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

A poluição atmosférica não causa transtornos somente à saúde da população, mas também ocasiona maiores gastos para o estado, devido o aumento de serviços em unidades de saúde. Esse tipo de poluição também pode causar a deterioração de materiais (corrosão), do solo e das águas (chuvas – ácidas), fauna e flora, além de afetar a visibilidade (BRASIL, 2016).

Os poluentes podem ser classificados segundo sua origem, como primários e secundários, sendo que mais de 90% dos problemas de contaminação do ar são causados pelos primários. Os poluentes contaminantes primários são aqueles emitidos diretamente da fonte de emissão, enquanto que os secundários são formados na atmosfera através da reação química entre dois ou mais poluentes primários, ou pela reação dos componentes primários com constituintes da atmosfera. As fontes geradoras de poluentes podem ser classificadas em estacionárias e móveis. As estacionárias são definidas como qualquer instalação, equipamento ou processo natural ou artificial, em local fixo, que possa liberar ou emitir matéria ou energia para a atmosfera. As fontes móveis são as que se encontram em movimento (CETESB, 2001).

Fontes de origem antrópica (a partir da queima de combustíveis fósseis nos transportes, indústrias e aglomerados domésticos) possuem suma importância na emissão de poluentes. A poluição causada pelo ozônio, dióxido de nitrogênio e material particulado em suspensão causam sérios riscos à saúde. O Material Particulado de até 2,5 micrometros (MP_{2,5}) é produzidos por combustão incompleta de combustíveis fósseis e biomassa. Este poluente pode penetrar profundamente nos pulmões e na corrente sanguínea, o que torna perigoso em qualquer concentração (EEA, 2017).

Cerca de 90% dos cidadãos europeus encontram-se expostos a concentrações de poluentes superiores aos níveis de qualidade do ar recomendado pela Organização Mundial de Saúde - OMS (EEA, 2017). O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) reportou mais de 3,7 milhões de mortes devido à poluição do ar ambiente em 2012. E que países desenvolvidos têm custo estimado de 3,5 trilhões de dólares por ano em mortes e saúde pública causada pela má qualidade do ar (UNEP, 2014).

A poluição atmosférica é uma questão transfronteiriça que se coloca a nível local e global. Os poluentes emitidos numa determinada região podem ser transportados, causando ou contribuindo para a má qualidade do ar num outro local (EEA, 2017).

Nos países desenvolvidos, a poluição do ar diminuiu nos últimos anos, em parte, devido a controles de emissão mais rigorosos nos veículos. Os países que compunham a Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OCDE) em 2010 atribuíram ao transporte rodoviário a responsabilidade por 50% do custo dos impactos do ar na saúde (UNEP, 2104).

3.2 LEGISLAÇÃO DE CONTROLE DA QUALIDADE DO AR

No Brasil, as iniciativas legais com enfoque na regulamentação da poluição do ar tiveram como partida a regulamentação da Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, quando estabelecida a Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA. Esta lei atribui ao Conselho Nacional do Meio Ambiente, entre outras competências, “*estabelecer, privativamente, normas e padrões nacionais de controle da poluição por veículos automotores, aeronaves e embarcações, mediante audiência dos Ministérios Competentes*” (art. 8º, inciso IV) (BRASIL, 1981).

Com objetivo de reduzir e controlar as emissões atmosféricas provenientes das fontes móveis, o CONAMA criou o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE

em 1986, e o Programa de Controle de Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares – PROMOT em 2003. Esses programas estabeleceram limites de emissão, que ao passar dos anos se tornam cada vez mais restritivos reduzindo significativamente as emissões de poluentes (CETESB, 2016).

O PROCONVE, instituído em 6 de maio de 1986 em caráter nacional pela resolução Nº 18 do CONAMA, considera as tecnologias dos motores de veículos do ciclo Otto e Ciclo Diesel, a qualidade do combustível e a concepção com os principais fatores de emissão, com objetivos de: (BRASIL, 1986)

- reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores visando o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos;
- promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes;
- criar programas de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso;
- promover a conscientização da população com relação à questão da poluição do ar por veículos automotores;
- estabelecer condições de avaliação dos resultados alcançados;
- promover a melhoria das características técnicas dos combustíveis líquidos, postos à disposição da frota nacional de veículos automotores, visando a redução de emissões poluidoras à atmosfera;

Considerando o crescimento da frota de motocicletas, ciclomotores e similares, e a contribuição desta categoria de veículos para o aumento da emissão de poluentes nocivos e a contínua deterioração da qualidade de vida. A partir de 2003 com a instituição da resolução Nº 297 do CONAMA de 26 de fevereiro de 2002, tiveram início das restrições para as emissões de motocicletas, através do PROMOT.

Os programas PROCONVE e PROMOT têm o seu funcionamento por fases, instituídas através de resoluções do CONAMA. Estas resoluções fornecem valores limites de emissão de poluentes que podem ser emitidos pelos veículos. Desta forma, para que seja concedida a licença de comercialização de um determinado modelo de veículo no

Brasil, seja produzido aqui ou importado, devem ser atendidas as exigências dos programas, e aferidas por meio de ensaios padronizados em laboratório credenciado pelo IBAMA em condições controladas para constatar se está de acordo com as resoluções vigentes (MMA, 2013). Atualmente os poluentes restringidos pela legislação são: Monóxido de Carbono, Hidrocarboneto Totais, Hidrocarboneto não metano, Óxidos de Nitrogênio, Aldeídos e Material Particulado.

A cada nova fase estabelecida, maior é o limite da quantidade de poluente que pode ser emitida. Desta maneira, os veículos mais novos emitem uma quantidade muito menor de poluente. A renovação natural que ocorre na frota por meio de sucateamento, veículos que deixam de circular por falta de peças, implicam que a soma dos poluentes emitidos tem diminuído ao longo dos anos. As fases do programa são aplicadas com cronogramas diferenciados de acordo com a classificação dos veículos em razão do seu Peso Bruto Total – PBT, sendo caracterizadas por “L” para veículos leves e “P” para veículos pesados (MMA, 2013).

O PROCONVE veio a definir os primeiros limites de emissão para veículos automotores e serve de instrumento para contribuir com o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar intitulados pelo Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR (BRASIL, 1989). A Resolução 5 do CONAMA de 15 de junho de 1989, institui o PRONAR *“como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem estar das populações e melhoria da qualidade de vida com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura(..)”*(BRASIL, 1989). Entre as estratégias básicas apresentadas pelo programa, esta o monitoramento da qualidade do ar, e a elaboração do inventário nacional de fontes de poluentes do ar. Sendo este último com objetivo de desenvolver metodologias que permitam o cadastramento das emissões, bem como o devido processamento dos dados referentes a poluição do ar.

Porém, apesar da existência de meio legais em prol da qualidade do ar, o estado de Santa Catarina, não possui monitoramento da qualidade do ar (VORMITTAG et al., 2014). A Justiça Federal já condenou o estado de SC a elaborar seu Plano de Controle de Poluição Veicular, visto que nenhuma providência foi tomada para sua elaboração desde 2011 (CONAMA, 2009; MPF, 2017).

3.3 EMISSÕES VEICULARES

Há um consenso na comunidade científica mundial de que as emissões veiculares são responsáveis por deteriorar a qualidade do ar em diversos locais no mundo. (VENKATRAM et al., 2009; HEI, 2010; HEIST et al., 2013; YANG et al., 2015; REQUIA et al., 2016). As emissões veiculares são responsáveis pela maior parte das emissões dos principais poluentes atmosféricos. Ainda que as tecnologias automotivas estejam melhorando, o tamanho da frota e o intenso uso dos automóveis comprometem os ganhos obtidos com os avanços tecnológicos (CETESB, 2016).

De acordo com relatório final do 1º Inventário Nacional de Emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários (MMA, 2011), as emissões de um veículo automotor podem ocorrer pelo escapamento (emissões diretas) ou podem ser de natureza evaporativa do combustível, aparecendo durante o uso e o repouso do veículo. São influenciadas por vários fatores, dentre os quais pode-se destacar: tecnologia do motor, porte e tipo de uso de veículo, idade do veículo, projeto e materiais do sistema de alimentação do combustível, tipo e qualidade do combustível (pressão de vapor), condições de manutenção e condução, além de fatores meteorológicos (pressão e temperatura ambientes).

Os principais poluentes lançados na atmosfera pelos veículos são provenientes do processo de combustão incompleta, emitidos diretamente pelo escapamento automotivo (GUARIEIRO *et.al.*, 2011). Segundo dados da EEA, (2013), os principais poluentes atmosféricos decorrentes das emissões veiculares são:

- Gases precursores do Ozônio, conhecidos como: Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x) e os Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos (COVNM);
- Gases agravadores do efeito estufa: Gás Carbônico (CO₂), Metano (CH₄) e Óxido Nitroso (N₂O);
- Substâncias caracterizadas pela ação acidificante no meio ambiente: Amônia (NH₃), Dióxido de Enxofre (SO₂);
- Material Particulado (MP);
- Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA), Poluentes Orgânicos Persistentes (POP), que contém espécies carcinogênicas;
- Outras substâncias tóxicas e metais pesados.

No Brasil, diversas ações foram adotadas para conter a emissão de poluentes para a atmosfera. A partir do ano de 1982, os veículos foram equipados com um conversor catalítico que convertem as emissões de NO_x , CO e HC em compostos menos nocivos. Outra ação oportuna e de caráter mundial foi a adoção de álcool etílico na composição da gasolina, especialmente para a mitigação das emissões de Monóxido de Carbono (DE OLIVEIRA AGUIAR, 2015).

Mesmo com redução na emissão de poluentes atmosféricos nos últimos anos, no ano de 2015, 97% do CO, 76% dos HCs, 67,5% dos NO_x e 40% do MP_{10} encontrados na Região Metropolitana de São Paulo foram emitidos por veículos. As indústrias se sobressaem apenas na emissão dos SO_x (CETESB, 2016).

Existe uma diminuição constante das emissões de poluentes primários por veículos automotores entre os anos de 2002 a 2012. Apesar do aumento de 100% da frota de veículos, foi registrada a redução de 52% na emissão de monóxido de carbono e 45% de hidrocarbonetos não-metano (BRASIL, 2013). Entretanto, o maior desafio atualmente enfrentado pela Agência de Proteção Ambiental do Estado de São Paulo e a comunidade local está no controle dos poluentes secundários, como o ozônio e partículas finas (DE FATIMA ANDRADE, 2017).

A compreensão das emissões e impactos relacionados ao tráfego em nível de projeto, em escala urbana e nacional, é cada vez mais importante para os estudos epidemiológicos, regulatórios, de exposição, risco e prestação de contas (HEALTH EFFECTS INSTITUTE, 2010).

O avanço das tecnologias, legislação e ações mitigadoras para o controle de emissão de poluentes tem surtido um efeito positivo na preservação da qualidade do ar. No entanto, para determinação de diagnósticos, e promoção de ações de controle das emissões veiculares, é necessário ampliar estudos que podem orientar as práticas necessárias.

3.3.1 Principais fatores de interferência nas emissões veiculares

O fator de emissão é a massa do poluente emitida pelos veículos ao circular por uma determinada distância. Esses valores são elaborados pelos fabricantes e importadores de veículos através de ensaios de emissão dos automotores destinados ao mercado brasileiro, e divulgados por meios de Relatórios de Valores de Emissão de Produção (RVEP) (CETESB, 2016).

Os Valores dos fatores de emissões dependem de diversas considerações que interferem na quantidade de poluentes emitidos. De

maneira geral, os principais fatores considerados são: tipo de veículo; tipo de combustível; parâmetros de utilização, como idade, quilometragem acumulada, inspeção e manutenção; modos operativos como velocidade média, fração de partidas a frio e a quente; e parâmetros ambientais como temperatura e umidade (WANG, 2009).

No Brasil, a resolução CONAMA N° 15/1995 estabelece o controle da emissão veicular de gases a partir das categorias de veículos. São classificados de acordo com o peso do automotor, sua capacidade de carga e o número máximo de passageiros transportado (BRASIL, 1995).

A utilização dos diferentes tipos de combustível está relacionada com o tipo de motor do veículo: Ciclo Otto e Ciclo Diesel, ambos são motores a combustão interna, e possuem padrões de emissões diferentes. O primeiro é equipado em veículos leves que são responsáveis pelo consumo de gasolina e etanol hidratado, tem como principal característica a vela de ignição, e são responsáveis pela maior parte da emissão de monóxido de carbono e hidrocarbonetos. O segundo é utilizado em veículos pesados que possui maior consumo de óleo diesel, a combustão é realizada pelo aumento da temperatura no motor provocada pela compressão do ar, e emitem mais óxidos de nitrogênio e material particulado (CETESB, 2016) (TEIXEIRA; FELTES; SANTANA, 2008).

O aumento da idade dos veículos representa um duplo desafio para o desenvolvimento de uma mobilidade mais sustentável. O prolongamento da vida dos veículos mais antigos pode retardar a taxa de introdução de tecnologias mais eficientes, além de que os sistemas de controle de emissão de gases já existentes na frota geralmente deterioram com a idade do veículo e são mais propensos à falha em veículos mais antigos (AUSTIN e ROSS, 2001. *apud* SPITZLEY *et al.*, 2005).

As condições de deterioração dos veículos são avaliadas de acordo com a quilometragem percorrida. De acordo com MMA (2011), são estabelecidos incrementos médios no fator de emissão dos veículos por acúmulo de quilometragem baseados em dados do PROCONVE. Conforme estabelecido em lei, a Resolução n° 014 do CONAMA de 1995 prevê, a necessidade de comprovar que os veículos automotores do Ciclo Otto respeitam os limites estabelecidos por no mínimo 80.000 km de uso, considerando as condições de manutenção recomendadas pelo fabricante.

3.4 INVENTÁRIO DE EMISSÕES

Os inventários de emissões atmosféricas são instrumentos estratégicos de gestão ambiental destinados a catalogar as emissões das fontes de poluição numa dada área geográfica e num dado período de tempo (ANAC, 2014; MMA, 2014; ANTT, 2012; CETESB, 2016). Sua elaboração pode fornecer subsídios entre as emissões e as concentrações ambientais de poluentes resultantes e, portanto, o sucesso da implantação pode:

- Identificar e hierarquizar as diferentes fontes contribuintes e as emissões totais;
- Identificar os principais poluentes em uma área de interesse;
- Avaliar os efeitos das medidas de controle sobre as taxas de emissão;
- Estimar, com auxílio da modelagem, os efeitos das emissões na qualidade do ar;
- Identificar medidas potenciais de redução;
- Restituir séries históricas e determinar tendências de emissões futuras;

Os inventários de emissões são essenciais para a compreensão da qualidade do ar e das alterações climáticas em escala local e global. O uso dessa ferramenta tem como objetivo catalogar e quantificar todas as informações necessárias das emissões que alteram diretamente a qualidade do ar e as mudanças climáticas, ou então que podem causar reações com outros gases na atmosfera (PARRISH, 2006).

Os inventários utilizam fatores de emissão como principal ferramenta, devido ao baixo custo e a disponibilidade no acesso de dados. Sendo assim empregados facilmente em diversas fontes de poluentes, fixos e móveis (EPA, 2001).

Uma melhor compreensão da variação espacial das emissões atmosféricas pode revelar os riscos na saúde e orientar políticas públicas mais eficazes para o planejamento, saúde ambiental e desenvolvimento econômico (REQUIA, 2016).

De acordo com o estudo de caracterização do transporte rodoviário de mercadorias e seu impacto sobre o inventário de emissões da China, a preparação de inventários é essencial para a avaliação e gestão dos problemas atmosféricos atuais (YANG, 2015). Entre todas as fontes, as

emissões veiculares apresentaram maior incerteza e ambiguidade na sua estimativa.

Os inventários de emissões são conhecidos frequentemente por apresentarem incerteza (TROMBETTI, 2018). É importante caracterizar e quantificar a incerteza e a variabilidade dos inventários de emissões para evitar interferências errôneas na modelagem da qualidade do ar e avaliação da exposição, o que pode levar a grandes implicações na políticas ambientais (BATTERMAN, 2015).

Para o desenvolvimento de um inventário de emissões podem ser aplicadas duas abordagens conhecidas e bem consolidadas. A primeira é o método *Top-Down*, que utiliza dados mais abrangentes como o consumo de combustível a partir das vendas totais do mesmo. A segunda é o método *Bottom-Up*, que, considera a intensidade de uso, a distância percorrida e os fatores de emissão por cada tipo de veículo (CETESB, 2016; PINTO, 2010).

Ao elaborar o inventário é essencial escolher a estratégia que melhor combina com as necessidades de qualidade de dados e os recursos disponíveis (EPA, 2001).

3.4.1 Método *Bottom-Up*

O método *Bottom-Up* considera tanto a tecnologia como a forma de utilização do combustível, como a intensidade de uso do veículo. É indicada para uso e aplicação em escala local e regional, permitindo inclusive espacialização das emissões em estradas, ruas e rodovias. É considerado o somatório dos diferentes tipos de combustível x e os anos modelo y . Sobre esta metodologia descreve-se a Equação 1 (MMA, 2011), a seguir:

$$E_p = \sum_{c=1}^{c=x} \sum_{i=1}^{i=y} N_{c,i} \times FE_{c,i,p} \times D \quad (1)$$

Onde, E_p é a taxa de emissão para o poluente p , $N_{c,i}$ é o número de veículos que utilizam o combustível c da frota do ano-modelo i , $FE_{c,i,p}$ é o fator de emissão de veículos que utilizam o combustível c da frota do ano-modelo i , para o poluente p , e D a distância percorrida.

3.4.2 Método *Top-Down*

O método *Top-Down* necessita de uma quantidade reduzida de parâmetros de entrada, quando comparados com modelos *Bottom-Up* (por exemplo, números de carros na área de interesse, distância média conduzida pelo tipo de veículo, etc.). Assim, é mais econômico e mais fácil de implementá-lo. No entanto, o erro na estimativa das emissões de escape por um modelo *Top-Down* é geralmente esperado ser maior do que um modelo *Bottom-Up*.

Para a determinação de dados de entrada, o método *Top-Down* determina as emissões de forma abrangente, sem considerar a tecnologia ou forma de utilização da fonte energética (MMA, 2011). De acordo com Wang, (2009), essa é a abordagem mais indicada para a aplicação em macroescala/mesoescala, adequada para este trabalho.

São consideradas o somatório dos diferentes tipos de combustível x e os anos modelo y . Sobre essa metodologia descreve-se a Equação 2 (MMA, 2011), a seguir:

$$E_p = \sum_{c=1}^{c=x} \sum_{i=1}^{i=y} C_c \times FE_{c,i,p} \quad (2)$$

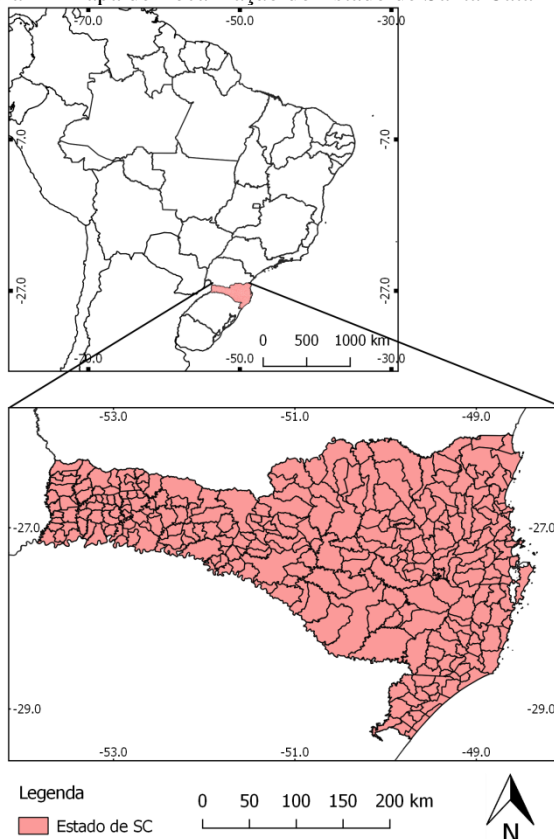
Onde, E_p é a taxa de emissão para o poluente p , C_c é a quantidade de combustível c (em unidades de volume de combustível) e $FE_{c,i,p}$ é o fator de emissão de veículos que utilizam o combustível c da frota do ano-modelo i , para o poluente p (em massa de poluente/volume de combustível).

4 MATERIAIS E MÉTODO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Santa Catarina é uma das 27 unidades federativas do Brasil, e se localiza no centro da região Sul do país (Figura 1). O estado possui 295 municípios distribuídos em uma área de 95.737,954 km². Segundo o IBGE a população estimada é de 7.001.161 pessoas para o ano de 2017, resultando na 9ª maior densidade demográfica do ranking nacional, com 65,27 hab/ km². Também segundo o IBGE (2017), o estado possui uma frota de 4.772.160 veículos, 6ª maior frota nacional com predomínio de veículos leves.

Figura 1 - Mapa de Localização do Estado de Santa Catarina.

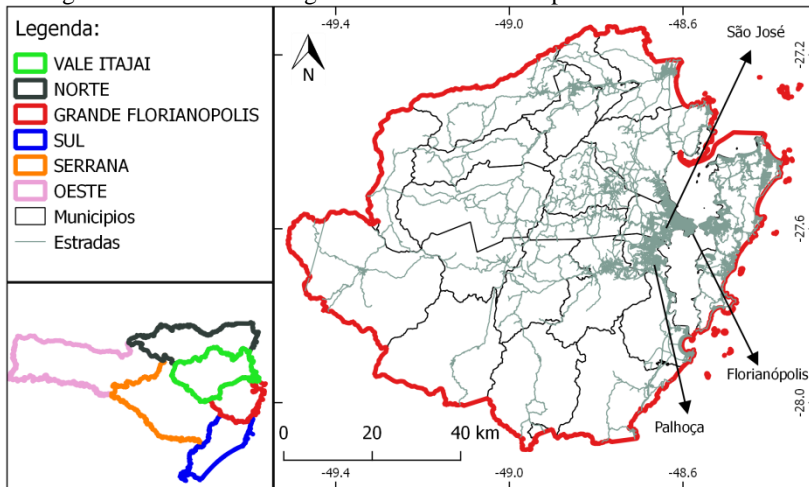


Fonte: Elaborado pelo Autor.

A conurbação é outra característica importante. O crescimento dos centros urbanos em algumas mesorregiões do estado favorece a intensificação dos fluxos econômicos e sociais entre as cidades vizinhas. Este cenário implica na problemática do transporte dessas regiões, deixando de ser municipal, e assumindo uma dimensão metropolitana. Este fator requer atenção das entidades governamentais.

Florianópolis é a capital do estado em estudo e pertence à mesorregião da Grande Florianópolis (Figura 2), com uma população estimada de 485.838 habitantes e uma frota de 334.521 veículos. A cidade é um dos principais destinos turísticos do estado. No verão a população de turistas triplica, sendo que aproximadamente a metade dos visitantes utilizam como meio de transporte o veículo próprio (FECOMERCIO SC, 2016).

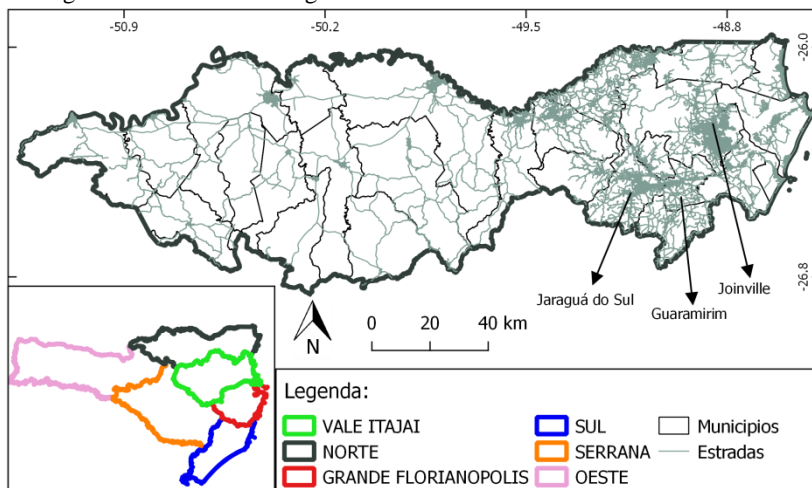
Figura 2: Vias da mesorregião da Grande Florianópolis.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O município de Joinville localizado na mesorregião norte (Figura 3), é o mais populoso do estado e o terceiro município mais populoso da região sul do país, com estimativa de 577.077 pessoas, atrás de Curitiba (1.908.359 habitantes) e Porto Alegre (1.484.351 moradores). Joinville também possui a maior frota veicular de Santa Catarina, com 383.176 veículos.

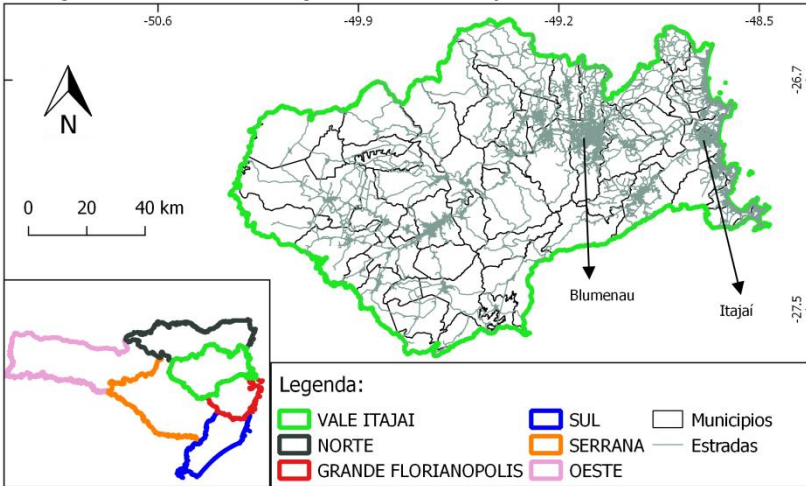
Figura 3: Vias da mesorregião Norte.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Blumenau é a terceira cidade mais populosa do estado, com estimativa de 348.513 habitantes. O município pertence à mesorregião do vale do Itajaí (Figura 4). A cidade de Itajaí também pertence à mesma mesorregião de Blumenau e possui 212.615 habitantes, representando, a sétima cidade mais populosa do estado. O município tem como destaque a estrutura portuária, e a sexta maior proporção de veículos por habitantes de Santa Catarina.

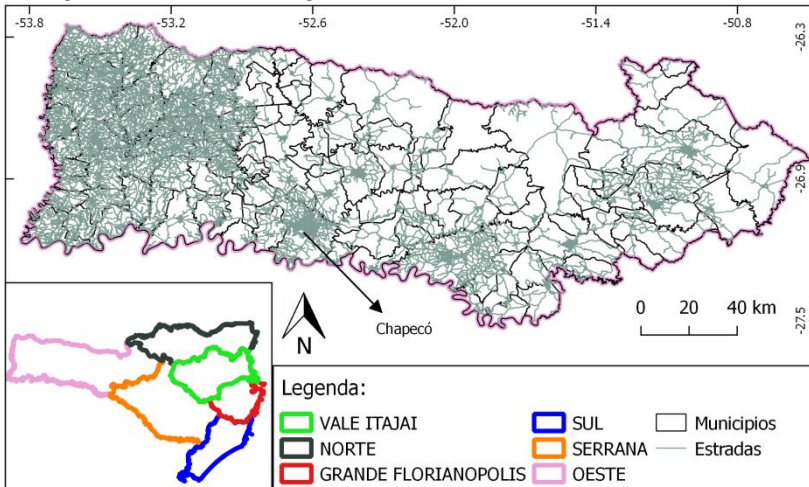
Figura 4: Vias da mesorregião do Vale do Itajaí.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A cidade mais populosa da mesorregião oeste é Chapecó, que tem como característica a grande produção de alimentos industrializados. (Figura 5)

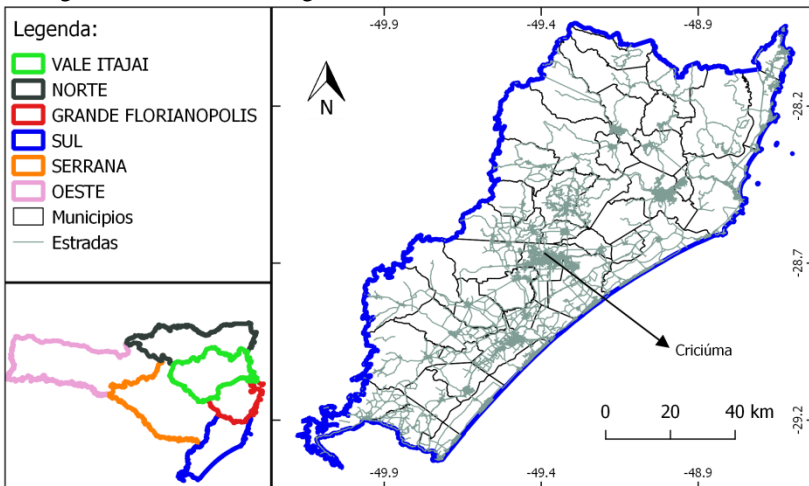
Figura 5: Vias da mesorregião Oeste.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

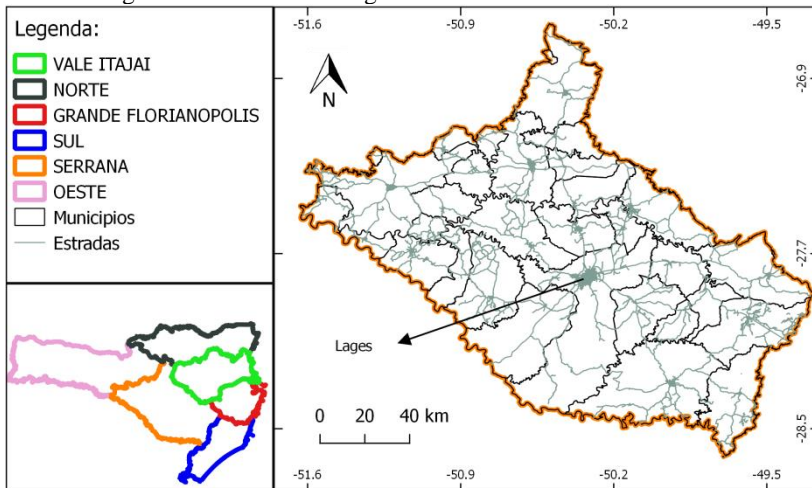
Os municípios de Criciúma e Lages também figuram entre as cidades importantes do estado. Pertencem às mesorregiões sul (Figura 6) e serrana (Figura 7), respectivamente. Ambas estão entre as cidades mais populosas de SC com 211.369 e 158.508 habitantes (IBGE, 2017).

Figura 6: Vias da mesorregião Sul.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 7: Vias da mesorregião Serrana.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

As 13 cidades mais populosas do estado, com mais de cem mil habitantes, ocupam apenas 8% do território estadual. Nestes municípios estão concentrados 45% da população e 46% da frota de veículos, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Ranking das cidades mais populosas do Estado de SC (>100.000 hab).

Estado	População (hab.)	Área (km ²)	Densidade Dem. (hab/km ²)	Frota Veicular (veic)	Nº de Veículos por Habitante (veic/hab)
Joinville	577.077	1.126,106	512,45	383.176	0,66
Florianópolis	485.838	675,409	719,32	334.521	0,69
Blumenau	348.513	518,497	672,16	256.894	0,74
São José	239.718	150,453	1593,31	154.334	0,64
Chapecó	213.279	626,060	340,67	159.892	0,75
Itajaí	212.615	288,286	737,51	156.298	0,74
Criciúma	211.369	235,70	896,77	148.228	0,70
Jaraguá do Sul	170.835	529,447	322,67	114.746	0,67
Palhoça	164.926	395,133	417,39	104.194	0,63
Lages	158.508	2.631,50	60,23	105.764	0,67
Balneário Camboriú	135.268	46,24	2.925,09	88.351	0,65
Brusque	128.818	283,22	454,82	99.871	0,78
Tubarão	104.457	301,75	346,16	88.787	0,85

Fonte: Adaptado de IBGE,2017.

As cidades mais urbanizadas e industrializadas possuem uma maior frota de veículos do ciclo Otto e do ciclo Diesel, conforme apresentado nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Municípios com maior Frota de Automóveis (Ciclo Otto) do estado de SC.

	Municípios	Frota Total	Automóveis	Porcentagem de Automóveis
1º	Joinville	383.176	247.278	64%
2º	Florianópolis	334.521	218.747	65%
3º	Blumenau	256.894	164.615	64%
4º	São José	154.334	93.713	61%
5º	Criciúma	148.228	91.207	62%
6º	Chapecó	159.892	89.147	56%
7º	Itajaí	156.298	79.653	51%
8º	Jaraguá do Sul	114.746	69.670	61%
9º	Lages	105.764	66.997	63%
10º	Palhoça	104.194	60.789	58%

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 3: Municípios com maior frota de veículos pesados (Ciclo Diesel) do estado de SC.

	Municípios	Frota Total	Veículos Pesados	Porcentagem de Veículos
1º	Joinville	383.176	13.590	3,55%
2º	Itajaí	156.298	8.961	5,73%
3º	Blumenau	256.894	7.980	3,11%
4º	Chapecó	159.892	7.629	4,77%
5º	Florianópolis	334.521	7.530	2,25%
6º	Criciúma	148.228	5.884	3,97%
7º	Lages	105.764	5.577	5,27%
8º	Concordia	62.460	5.351	8,57%
9º	São José	154.334	4.764	3,09%
10º	Tubarão	88.787	4.362	4,91%

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O estado catarinense possui a maior frota por habitante do país, com 0,68 veículos por habitante, na frente do Paraná (0,63 veículos por habitante) e de São Paulo (0,61 veículos por habitante). Entretanto, este último estado possui densidade demográfica 2,5 vezes maior e uma frota de veículos aproximadamente 6 vezes maior, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Comparativo entre estados Brasileiros com maior n° veic/hab.

Estado	População (hab.)	Área (km ²)	Densidade Dem. (hab/km ²)	Frota Veicular (veic.)	N° de Veículos por Habitação (veic/hab)
1° Santa Catarina	7.001.161	95.737,954	73,12	4.772.160	0,68
2° Paraná	11.320.892	199.307,939	56,80	7.140.439	0,63
3° São Paulo	45.094.866	248.219,627	181,67	27.332.101	0,61
4° Rio Grande do Sul	11.322.895	281.737,888	40,19	6.650.259	0,59
5° Mato Grosso	3.344.544	903.202,446	3,70	1.881.794	0,56
14° Rio de Janeiro	16.718.956	43.781,590	381,88	6.377.484	0,38
Brasil	207.660.929	8.515.759,09	24,38	93.867.016	0,45

Fonte: Adaptado de IBGE,2017.

4.2 ESTIMATIVA DE EMISSÕES

Para estimar as emissões veiculares foi utilizada uma adaptação do método *Top-Down*.

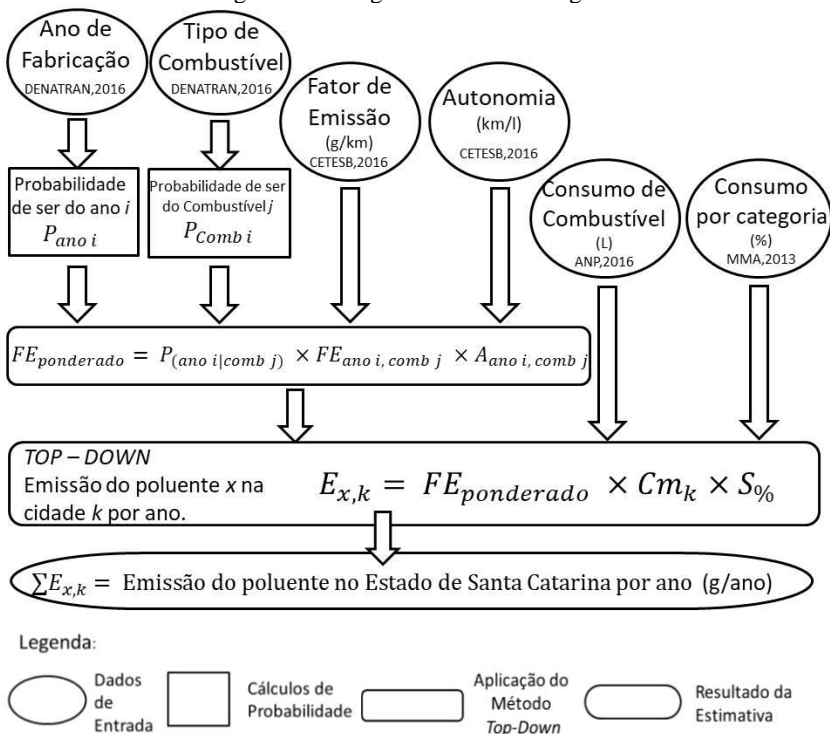
O método utiliza um fator de emissão (FE) ponderado em função das características da frota de cada cidade (ano modelo, combustível e categoria). O consumo de combustível em cada município também é utilizado. A Equação 2 descrita no item 3.4.2 descreve o método *Top-Down* empregado.

O fator de emissão é usualmente representado pela quantidade de poluente emitido por um veículo em uma distância percorrida (g/km). Neste trabalho, as emissões dos poluentes são obtidas pela multiplicação entre a quantidade de combustível consumida (L/ano), a autonomia de

cada veículo (km/L) e o Fator de Emissão (g/km). O resultado é a emissão de um poluente (g/ano) para cada municipalidade. A soma das emissões de cada município é a emissão do estado.

Foram considerados que todos os veículos licenciados em uma cidade utilizam os combustíveis e emitem os poluentes no respectivo município. O fluxograma apresentado na Figura 8 descreve as fontes e os dados necessários para a implementação da metodologia, os cálculos estimativos e o resultado final da estimativa de emissão.

Figura 8: Fluxograma da Metodologia.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Foram estimadas as emissões de Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarbonetos (HC_{total}), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Material Particulado (MP), e Óxido Nitroso (N₂O) com base nos fatores de emissão elaborados nos estudos da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2016).

Nesse trabalho consideraram-se apenas as emissões por escapamento. Emissões evaporativas e de ressuspensão do solo foram desconsideradas. A alocação espacial das emissões dos poluentes em SC foi feita para cada cidade, distribuindo as emissões homogeneamente em todo o território.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA FROTA VEICULAR

A caracterização da frota foi necessária para ponderar o fator de emissão para cada cidade. O método utilizado é sensível ao tipo de veículo. O ano da frota e o tipo de combustível consumido são requisitos fundamentais para determinação do perfil de emissão do município. Desta forma, cidades que possuem uma frota mais antiga emitem poluentes em uma quantidade diferente dos que possuem frota mais moderna.

O estado de Santa Catarina possui 4.772.160 veículos licenciados, distribuídos em 21 categorias, e 17 tipos diferentes de combustível no ano de 2016, segundo os relatórios estatísticos disponibilizados pelo DENATRAN (2016). Os veículos foram agrupados nas classes leves, comerciais leves, motos e pesados conforme a Tabela 5. Foram desconsiderados as categorias de bonde, reboque, semi-reboque e side-car, pois estes não têm emissão de escapamento. Este procedimento foi feito para estimar o fator de emissão médio de cada cidade, segundo a sua própria frota.

Tabela 5: Agrupamento de Classes dos Veículos e os tipos de motorização.

Classes	Categorias	Motorização
Leves	Automóvel, outros;	Otto – Gasolina C
		Otto - Etanol
		Otto - <i>flex fuel</i>
Comerciais Leves	Caminhonete, Caminhoneta, Utilitário;	Otto – Gasolina C
		Otto - Etanol
		Otto - <i>flex fuel</i>
		Diesel
Motos	Ciclomotor, Motocicleta, Motoneta, Quadriciculo, triciculo;	Otto – Gasolina C
		Otto - <i>flex fuel</i>
Pesados	Caminhão, Caminhão Trator, Chassi Plataforma, Trator Esteira, Trator Rodas, Onibus, e Micro-Onibus	Diesel

Fonte: Adaptado de DENATRAN, 2016.

Em relação os combustíveis também foram realizados agrupamentos, para posterior aplicação no cálculo da probabilidade de utilização. Veículos licenciados que possuem como alternativa o uso de Gás Natural Veicular ou Gás Natural Combustível são considerados veículos adaptados. CETESB (2016), afirma que o GNV é utilizado em veículos convertidos com motor do ciclo Otto, que eram originalmente movidos a etanol hidratado ou gasolina comum. Já os veículos elétricos, sem informação ou frota experimental são agrupados em outra categoria, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6: Agrupamento dos Combustíveis Licenciados em tipos de combustíveis descritos nos fatores de emissão da CETESB.

Tipo de Combustível	Combustíveis Licenciados
Gasolina	Gasolina, Gasolina/Elétrico
Etanol	Álcool
Flex	Álcool/Gasolina
Diesel	Diesel
Gás Natural Veicular	Gás Natural Veicular, Álcool/Gás Natural Combustível, Álcool/Gás Natural Veicular, Gás Metano, Gasogênio, Gasolina/Gás Natural Combustível, Gasolina/Gás Natural Veicular, Gasolina/Alcool/Gás Natural
Outros	Elétrico/Fonte Externa, Elétrico/Fonte Interna, Sem Informação, Vide/Campo/Observação.

Fonte: Adaptado de DENATRAN, 2016.

De acordo com o relatório de emissões veiculares no estado de São Paulo (CETESB,2016), existe uma fração ínfima de veículos elétricos licenciados. O mesmo relatório não estima as emissões de veículos movidos a GNV devido à baixa contribuição desses na frota circulante do estado. Logo, para fins de simplificação de cálculos os veículos elétricos e movidos a GNV, foram ignorados, pois representam uma parcela mínima do total.

Os veículos do tipo '*flex fuel*' podem utilizar tanto a gasolina quanto o etanol como combustível. Segundo a CETESB (2016), no estado de São Paulo 48% destes veículos utilizam etanol hidratado como combustível, enquanto 52% utilizam gasolina. Esta mesma porcentagem foi aplicada para os veículos do estado de Santa Catarina.

A Lei Nº 13.033 de 25/09/2014 e a Portaria MAPA nº 75 de 05/03/2015, estabelecem percentuais de adição obrigatória em volume, de etanol anidro à gasolina. Os volumes do consumo de etanol hidratado utilizados na estimativa de emissão são considerados quando o veículo a álcool, ou flex abasteceu com etanol hidratado.

4.4 FATOR DE EMISSÃO

Este trabalho utilizou os fatores de emissão divulgados no relatório de emissões veiculares no estado de São Paulo do ano de 2016 (CETESB, 2016). Não foram considerados incrementos do fator de emissão devido à intensidade de uso dos veículos. Os métodos de determinação dos fatores de emissão para os veículos leves, comerciais leves, motos e pesados são apresentados a seguir.

4.4.1 Fator de Emissão dos veículos leves e comerciais leves

Para compatibilizar a frota de veículos leves de cada cidade e os fatores de emissões, os veículos com ano modelo de fabricação até 1982 foram agrupados. Os veículos ano modelo 2016 e 2017 foram agrupados como veículos de 2016, pois este é o ano mais recente de dados fornecidos pela CETESB. A respeito da frota de veículos comerciais leves a mesma adaptação foi necessária, além do agrupamento dos carros novos do ano de 2017 para 2016, os veículos com ano modelo até 1983 foram agrupados.

Os veículos leves e comerciais leves possuem o seu fator de emissão de acordo com o a idade do veículo e a motorização (Gasolina, Etanol e *flex-fuel*). Para cada município, a emissão de cada poluente é determinada considerando que para cada cidade k , os veículos podem ser do ano i e combustível j . A Equação 3 apresenta o cálculo das emissões pelo método *Top-Down* para todos os combustíveis (x) e ano modelo (y):

$$Ex_k = \sum_{j=1}^{j=x} \sum_{i=1}^{i=y} P_{(j,i)} \times FEx_{j,i} \times A_{j,i} \times Cm_k \times S_{\%} \quad (3)$$

Considerando:

- Ex_k , a emissão do poluente x para a cidade k em g/ano;
- $P_{(j,i)}$ a a probabilidade condicional do veículo utilizar o combustível j , e ser do ano i ;
- $FEx_{j,i}$ o fator de emissão do poluente x para cada veículo que utiliza o combustível j e é do ano i em g/km;
- $A_{j,i}$ a autonomia do veículo que utiliza o combustível j e é do ano i em km/L;

- Cm_k a quantidade de combustível m em litros consumido na cidade k (em unidades de combustível);
- $S\%$ a porcentagem do consumo do combustível m por tipo de veículo;

4.4.2 Fator de Emissão das motocicletas

Para motos os veículos de ano modelo de fabricação até 2003 foram agrupados, além do agrupamento dos veículos novos do ano de 2017 para 2016. As motocicletas variam suas emissões conforme a motorização, podendo ser gasolina ou a tecnologia *flex-fuel*. A probabilidade condicional e o fator de emissão também consideram as categorias c cilindradas (inferior ou superior a 150cc). A Equação 4 mostra a metodologia da determinação do fator de emissão para as motos.

$$Ex_k = \sum_{c=1}^{c=z} \sum_{j=1}^{j=x} \sum_{i=1}^{i=y} P_{(c,j,i)} \times FE_{c,j,i} \times A_{c,j,i} \times Cm_k \times S\% \quad (4)$$

Sendo:

- Ex_k , a emissão do poluente x para a cidade k em g/ano;
- $P(c,j,i)$ a probabilidade condicional do veículo ser da categoria c , utilizar o combustível j , e ser do ano i ;
- $FE_{c,j,i}$ o fator de emissão do poluente x para cada veículo da categoria c que utiliza o combustível j e é do ano i em g/km;
- $A_{c,j,i}$ é a autonomia do veículo da categoria c que utiliza o combustível j e é do ano i em km/L;
- Cm_k é a quantidade de combustível m em litros consumido na cidade k (em unidades de combustível);
- $S\%$ é a porcentagem do consumo do combustível m por tipo de veículo;

Para fins de simplificação de cálculos, entre os anos de 2003 e 2009 as categorias (>150 e ≤ 500 cc) e (≥ 501 cc) foram unificadas, considerando os valores da categoria (>150 e ≤ 500 cc). Entre o ano de 2010 e 2016, foi considerado que as motos *flex-fuel* (tanto abastecidas com gasolina C como álcool) teriam a mesma autonomia das motos com motor ciclo Otto à gasolina.

4.4.3 Fator de Emissão dos veículos pesados

A classe dos veículos pesados utiliza um único combustível, no caso o Diesel. Assim como as motos, veículos pesados também possuem diferentes subcategorias que devem ser ponderadas. Nesta categoria foram agrupados os veículos com ano modelo de fabricações inferiores a 1999. Os veículos novos de 2017 foram agrupados com o ano modelo 2016.

Os veículos pesados são divididos em duas categorias, caminhões e ônibus, e oito subcategorias de porte, caminhões semileves, leves, médios, semipesados e pesados; ônibus urbanos, micro-ônibus e ônibus rodoviários. Para determinar a porcentagem de veículos em cada subcategoria, foram utilizados dados da produção e vendas de autoveículos da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (<http://www.anfavea.com.br/estatisticas.html>), e os dados do DENATRAN, do tipo de veículo de cada frota municipal. Até o ano de 2006 a CETESB disponibilizou o fator de emissão de sete subcategorias, sem considerar um fator de emissão específico para a subcategoria micro-ônibus. Neste caso a probabilidade de cada subcategoria foi a proporção de produção da ANFAVEA, segregando a categoria de ônibus entre urbanos e rodoviários. A partir de 2006 a categoria de ônibus foi dividida em três subcategorias, rodoviários, urbanos e micro-ônibus, totalizando oito subcategorias entre os veículos pesados.

A estimativa de emissão da categoria pesados é representada pela Equação 5, para todos as categorias (z) e ano modelo (y):

$$Ex_k = \sum_{c=1}^{c=z} \sum_{i=1}^{i=y} P_{(c,i)} \times FE_{c,i} \times A_{c,i} \times Cm_k \times S_{\%} \quad (5)$$

Onde:

- Ex_k , a emissão do poluente x para a cidade k em g/ano;
- $P(c,i)$ a probabilidade condicional do veículo ser da categoria c , e ser do ano i ;
- $FE_{c,i}$ o fator de emissão para cada veículo da categoria c e é do ano i em g/km;
- $A_{c,i}$ é a autonomia do veículo da categoria c e é do ano i em km/L;

- C_{m_k} é a quantidade de combustível m em litros consumido na cidade k (em unidades de combustível).
- $S_{\%}$ é a porcentagem do consumo do combustível m por tipo de veículo;

4.5 CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS NAS CATEGORIAS

Através dos dados dos tipos de combustível da frota de cada município disponibilizados no DENATRAN (<http://www.denatran.gov.br/estatistica/261-frota-2016>) é possível determinar a proporção de veículos que utilizam um determinado combustível para cada intervalo dos anos em que os fatores de emissão são conhecidos, para cada tipo de combustível, conforme a Tabela 7.

Tabela 7: Tipos de combustível por Classe e ano do veículo.

Classes	Ano	Combustível
Leves	Até 1982 a 2002	Gasolina C
		Etanol
	2003 a 2006	Gasolina C
		Etanol
		Flex – Gasolina C
		Flex - Etanol
	2007 a 2016	Gasolina C
		Flex – Gasolina C
		Flex - Etanol
Comerciais Leves	Até 1983 a 2002	Gasolina C
		Etanol
	2003 a 2005	Gasolina C
		Etanol
		Flex – Gasolina C
		Flex - Etanol
	2006	Gasolina C
		Etanol
		Flex – Gasolina C
		Flex - Etanol
		Diesel
	2007 a 2016	Gasolina C
		Flex – Gasolina C
Flex - Etanol		
Diesel		
Motos	2003 a 2009	Gasolina C
	2010 a 2016	Gasolina C
		Flex – Gasolina C
		Flex - Etanol
Pesados	1999 a 2016	Diesel

Fonte: Adaptado de DENATRAN, 2016.

Com o passar dos anos, veículos com novas tecnologias de combustíveis nos motores foram implementadas na frota. A partir de 2003 a tecnologia flex-fuel teve a sua rápida penetração no mercado e começou a ser comercializado para os veículos leves e comerciais leves,

chegando às motos em 2010. A frota de veículos *flex fuel* foi desagregada entre aquela que opta por utilizar gasolina e aquela que opta por utilizar etanol hidratado. Foram utilizadas as proporções de que 48% dos veículos *flex fuel* utilizam etanol hidratado como combustível e os outros 52% abastecem com gasolina.

Nos municípios em que não possuem a comercialização de etanol combustível admitiu-se que os veículos movidos a álcool fossem adaptados para veículos *flex fuel*. Assim consumiriam gasolina como combustível. Para a porcentagem de 48% dos carros *flex fuel* que consumiriam etanol, considerou que esses abasteceriam com gasolina.

De acordo com os dados de consumo de combustível por município para o ano de 2016, fornecidos pela Agência Nacional de Petróleo – ANP (<http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos>), os 295 municípios do estado comercializam os combustíveis gasolina e óleo diesel nas suas unidades territoriais. O etanol hidratado é comercializado em apenas 240 municípios. Esta condição também foi considerada nas estimativas.

O consumo de combustível varia entre as classes de veículos. Entre elas existem motores do ciclo Otto e do ciclo Diesel. Cada uma consome uma parcela de cada tipo de combustível comercializado no município, conforme é apresentado na Tabela 8. A segregação do consumo de combustível por classe de veículos foi estabelecida de acordo com as informações do inventário de emissões por veículos rodoviários do ano de 2013 (BRASIL, 2013).

Tabela 8: Consumo de Combustível por classe de Veículos no ano de 2016 em 10^3 m^3 e porcentagem do consumo pela categoria.

Categoria		Gasolina C	Etanol	Diesel
Leves	10^3 m^3 (%)	24.541 (77)	15.625 (82)	-
Comerciais Leves	10^3 m^3 (%)	4.497 (14)	2.583 (14)	1.662 (4)
Motos	10^3 m^3 (%)	2.721 (9)	851 (4)	-
Pesados	10^3 m^3 (%)	-	-	38.704 (96)
TOTAL	10^3 m^3 (%)	31.759 (100)	19.059 (100)	40.366 (100)

Fonte: Adaptado de BRASIL, (2013).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PERFIL DA FROTA VEICULAR

A frota do estado de Santa Catarina tem predomínio de veículos leves com 59,23% da sua frota total. O detalhamento por categorias deste estudo segue o perfil das frotas veiculares descrito pela CETESB, (2016) para o estado de São Paulo, e os valores apresentados pelo inventário nacional de emissões de veículos rodoviários (BRASIL, 2013). A Tabela 9 apresenta a proporção de veículos para cada categoria.

Tabela 9: Porcentagem da composição da frota de Veículos.

Categoria	Santa Catarina	São Paulo	BRASIL
Leves	59,23%	67,0%	57,0%
Comercial Leves	12,06%	13,0%	11%
Motos	23,71%	17,0%	28%
Pesados	4,99%	3,7%	4%

Fonte: Adaptado de (CETESB, 2016; BRASIL,2013).

Apesar dos estados de Santa Catarina e São Paulo possuírem algumas características distintas como área, tamanho da população e, alternativas de transporte público, o perfil da frota veicular de ambas cidades tem predomínio de veículos leves. As proporções das categorias comerciais leves e pesados na frota de SC e SP apresentaram similaridade. A frota nacional também se mostra semelhante aos estados observados.

Em relação ao consumo de combustível, diferentes municípios lideram o consumo dos três tipos de combustível comercializados no estado de SC. Conforme relatado no item 4.3 e apresentado na Tabela 10, os veículos leves são os principais consumidores de gasolina e etanol hidratado. A Tabela 10 apresenta os cinco municípios com maior consumo desses combustíveis.

Tabela 10: Municípios com maior consumo de gasolina e etanol.

Rank	Município	Gasolina (L)	Município	Etanol (L)
1°	Joinville	240.977.000	Florianópolis	9.821.007
2°	Florianópolis	229.986.208	Joinville	6.093.000
3°	Blumenau	128.695.909	Blumenau	4.711.650
4°	São José	102.347.580	São José	4.118.934
5°	Itajaí	98.875.428	Balneário Camboriu	2.493.617
SC		2.700.772.289	SC	74.866.298

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os veículos pesados consomem exclusivamente o óleo diesel, e são os maiores consumidores desse combustível. Uma pequena parcela é consumida pelos comerciais leves. A Tabela 11 apresenta os municípios de maior consumo de óleo diesel.

Tabela 11: Municípios com maior consumo de Óleo Diesel.

	Município	Óleo Diesel (L)
1°	Chapecó	173.409.500
2°	Guaramirim	124.319.138
3°	Jaraguá do Sul	122.365.500
4°	Joinville	120.702.569
5°	Itajaí	111.936.911
SC		2.417.877.814

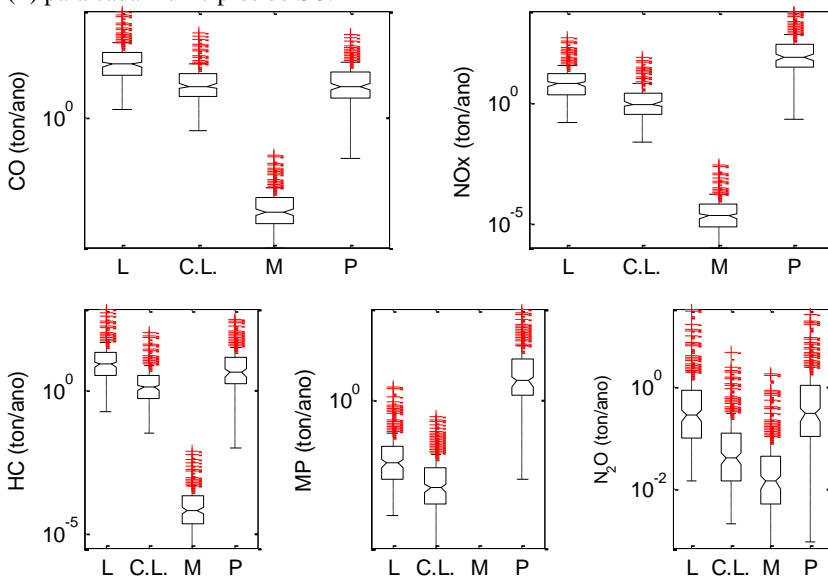
Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.2 ESTIMATIVAS DE EMISSÃO

Foram calculadas as emissões de poluentes para todos os 295 municípios do estado de Santa Catarina. As diferentes categorias de veículos consideradas no presente trabalho possuem variações no fator de emissão, ano do veículo e o combustível utilizado. A Figura 9 apresenta a estimativa de emissão de poluentes, discriminada para cada categoria de veículo: leves (L), comerciais leves (C.L.), motos (M) e pesados (P). Cada dado do *boxplot* (Figura 9) representa a emissão de

um município do estado de SC. No Apêndice 9.1 é apresentada a Figura 9 em escala normal.

Figura 9: Estimativa de emissão dos poluentes CO, NOx, HC, MP e N2O das categorias de veículos leves (L), comerciais leves (C.L.), motos (M) e pesados (P) para cada municípios de SC.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir da Figura 9, nota-se que a maioria das cidades catarinenses tende a seguir um perfil de emissão de algumas toneladas por ano (em torno da mediana). Isso ocorre de forma semelhante para todos os poluentes estimados. Porém, existem municípios que apresentam uma emissão muito acima da região interquartil, como pode ser visto nos (*outliers*) da Figura 9 (símbolo +). O estado de Santa Catarina tem como característica 95% dos municípios rurais com até cem mil habitantes, e baixa densidade demográfica. Os 5% municípios restantes são mais urbanizados e industrializados, se destacando entre as que possuem maior emissão (representadas pelos *outliers*). (IBGE, 2017).

A Tabela 12 apresenta os valores da mediana referentes às estimativas. Esses dados representam os valores medianos de emissões em todos os municípios do estado por categoria de veículos. Também são apresentados os valores extremos, de máxima e mínima emissão das cidades do estado de Santa Catarina.

Tabela 12: Estimativas médianas e extremas dos municípios catarinenses para as categorias de veículos leves (L), comerciais leves (C.L.), motos (M) e pesados (P).

Poluente		L (ton/ano)	C.L. (ton/ano)	M (ton/ano)	P (ton/ano)	TOTAL (ton/ano)
CO	Med.	82,645	13,488	0,000	12,918	117,648
	Mín	1,778	0,305	0,000	0,033	2,116
	Máx	6606,062	1112,336	0,045	984,527	8430,344
HC	Med.	7,906	1,238	0,000	4,084	14,806
	Mín	0,188	0,030	0,000	0,010	0,227
	Máx	661,533	103,991	0,007	309,124	990,668
NO _x	Med.	5,675	0,873	0,000	73,595	81,893
	Mín	0,148	0,023	0,000	0,188	0,359
	Máx	494,141	75,105	0,003	5644,222	5858,080
MP	Med.	0,022	0,005		3,335	3,447
	Mín	0,001	0,000		0,008	0,009
	Máx	2,281	0,380		252,470	253,631
N ₂ O	Med.	0,281	0,041	0,014	0,303	0,678
	Mín	0,014	0,002	0,001	0,001	0,018
	Máx	32,053	4,809	1,748	26,333	57,020

Fonte: Elaborado pelo Autor.

As emissões médias, máximas e mínimas descritas na Tabela 12, apresentam a diferença da magnitude nas diferentes cidades. As discrepâncias encontradas afirmam a hipótese de que as cidades mais urbanizadas e industrializadas que possuem maior número de veículos emitem mais poluentes. Nota-se que os valores mínimos estão muito mais próximos das medianas do que os máximos, indicando a presença de muitas cidades pequenas que emitem menos poluentes. Assim, é possível constatar que as emissões das cidades urbanizadas tem peso importante na emissão global do estado. O ranking dos 10 municípios mais poluidores de acordo com a categoria de veículos para cada poluente do presente estudo estão apresentados no Apêndice 9.2.

As estimativas anuais dos poluentes discriminadas para cada categoria de veículo no estado de Santa Catarina são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13: Emissão de poluentes por categoria de veículos leves (L), comerciais leves (C.L.), motos (M) e pesados (P) no Estado de SC.

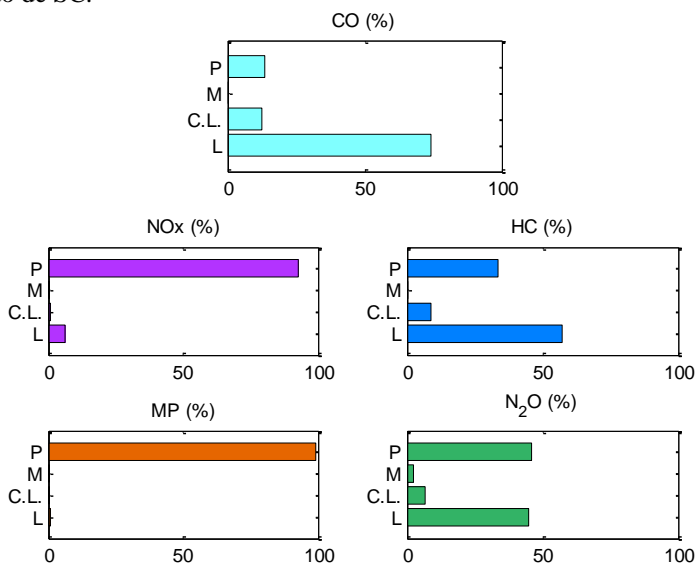
Poluente	L (ton/ano)	C.L. (ton/ano)	M (ton/ano)	P (ton/ano)	TOTAL (ton/ano)
CO	81468,01	13632,12	0,49	14891,09	109991,71
HC	8085,32	1271,54	0,08	4767,92	14124,86
NO _x	5900,07	912,38	0,03	85199,84	92012,32
MP	26,25	5,59		3959,01	3990,85
N ₂ O	361,92	54,18	19,11	372,96	808,18

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os resultados apresentam uma nítida variação da emissão estimada para cada poluente, de acordo com as categorias de veículos. A emissão de MP na categoria das motocicletas é pequena. O relatório da CETESB (2016) não apresenta fatores de emissão desse poluente pra essa categoria, por isso a ausência desses valores.

A Figura 10 apresenta a porcentagem de contribuição de cada categoria para cada poluente.

Figura 10: Porcentagem de contribuição de emissão de cada categoria de veículos leves (L), comerciais leves (C.L.), motos (M) e pesados (P) no Estado de SC.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O estado de Santa Catarina possui os veículos leves como os principais responsáveis pela emissão de CO (74%) e HC (57%), enquanto que os veículos pesados, que compõem apenas 5% da frota de veículos do estado, complementam com uma quantidade considerável a emissão desses poluentes. Os comerciais leves possuem um perfil de emissão semelhante aos veículos leves, no entanto, com menor magnitude devido a menor quantidade de veículos. A categoria das motocicletas possui a segunda maior frota do estado em número de veículos. O seu fator de emissão e a sua autonomia são os menores entre as categorias, o que favorece o menor consumo de combustível. Portanto, as emissões das motocicletas representam uma parcela muito inferior em relação às demais categorias. Os veículos pesados, mesmo em menor quantidade, são os responsáveis pela emissão da maior parte do MP (99%) e NO_x (93%). O N₂O é emitido de forma parecida por leves e pesados.

Em comparação com outros estudos, as categorias de veículos leves e comerciais leves em Santa Catarina emitem proporcionalmente uma maior quantidade de CO do que os estados do Rio de Janeiro (SOUZA, 2012), São Paulo (CETESB, 2016), e o inventário brasileiro de emissões por veículos rodoviários (BRASIL, 2013). A proporção de NO_x e MP é coerente com os estudos comparados. A Tabela 14 apresenta os valores encontrados para categoria leves e comercial leves.

Tabela 14: Comparação da proporção de emissões de CO, NO_x, e MP para veículos leves e comerciais leves.

Estado	% de emissão dos Veículos Leves			% de emissão dos Veículos Comerciais Leves		
	CO	NO _x	MP	CO	NO _x	MP
SC	74,1	6,4	0,6	12,4	0,99	0,14
RJ	55,0	16,0	2,7	4,2	1,7	0,2
SP	59,0	11,7	2,0	10,6	6,6	13,3
Brasil	47,0	7,0	2,0	7,0	5,0	6,0

Fonte: Adaptado de (CETESB, 2016; BRASIL, 2013; SOUZA, 2012).

A categoria das motos apresentam valores muito inferiores em comparação com os outros estudos realizados no Rio de Janeiro (SOUZA, 2012) e São Paulo (CETESB, 2016). O presente estudo por

considerar irrisório, desprezou a emissão de MP das motocicletas. Os valores para esta categoria estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Comparação da proporção de emissões de CO, NO_x, e MP para motos.

Estado	% de emissão de Motocicletas		
	CO	NO _x	MP
SC	0,004	0,00003	-
RJ	33,0	1,4	5,9
SP	22,7	1,5	4,2
Brasil	34,0	1,0	2,0

Fonte: Adaptado de (CETESB, 2016; BRASIL, 2013; SOUZA, 2012).

Em relação aos veículos pesados as emissões de CO, NO_x e MP de Santa Catarina são as maiores do que Rio de Janeiro, São Paulo e Inventário Nacional. (Tabela 16).

Tabela 16: Comparação da proporção de emissões de CO, NO_x, e MP para veículos pesados

Estado	% de emissão dos Veículos Pesados		
	CO	NO _x	MP
SC	13,5	92,6	99,2
RJ	8,0	82,0	91,0
SP	7,5	57,6	82,6
Brasil	10,0	87,0	90,0

Fonte: Adaptado de (CETESB, 2016; BRASIL, 2013; SOUZA, 2012).

Os inventários de emissões veicular nacional, e do estado do Rio de Janeiro, utilizaram o método *bottom-up*. Para o estado de São Paulo também se aplicou esta metodologia para a estimativa de CO e NO_x. A estimativa de emissão de MP aplicada pela CETESB (2016), no estado paulista, foi pelo método *Top-Down*, assim como todas as estimativas de emissões presentes neste estudo. Santa Catarina possui a maior emissão de CO em todas as categorias de veículos, reafirmando a importância das emissões veiculares do estado de SC. A proporção de emissão encontrada nas Tabelas 14, 15, 16 é semelhante. Isto mostra que os estudos entraram em concordância neste aspecto.

A Tabela 17 apresenta a área, frota de veículos e uma comparação da emissão total de poluentes veiculares do presente estudo, os demais estados e o inventário nacional.

Tabela 17: Comparação das áreas, frota de veículos e emissões veiculares nos estados de SC (este estudo), SP (CETESB, 2016), RJ (SOUZA, 2012), PR (GRAUER et al., 2013) e BRASIL (BRASIL, 2013).

Estado	Área (km ²)	Frota Veicular	Emissão (ton/ano)		
			CO	NO _x	MP
SC	95.737,95	4.772.160	109.992	92.012	3.991
RJ	43.781,59	2.979.320	87.390	48.613	852
PR	199.397,94	7.140.439	475.712	35.930	5.431
SP	248.219,62	15.295.196	335.642	180.609	5.034
Brasil	8.515.759,09	49.000.000	1.300.000	1.100.000	39.000

Fonte: Adaptado de (CETESB, 2016; BRASIL, 2013; SOUZA, 2012).

A comparação entre os estudos revelou que o estado catarinense possui a segunda menor frota, e a terceira maior área entre os demais. Os valores de emissão de Monóxido de Carbono pelos veículos do estado do Paraná destoam dos demais estudos realizados. Santa Catarina emite mais que o estado do Rio de Janeiro em todos os poluentes. As diferenças metodológicas, a idade da frota e a área de cada região podem explicar a distinção dos resultados.

Para realizar as comparações entre as emissões, foi calculada emissão anual por veículo em cada estudo, conforme a Tabela 18.

Tabela 18: Comparação das emissões de CO, NO_x e MP por veículos.

Estado	Emissão (kg.veic ⁻¹ .ano ⁻¹)		
	CO	NO _x	MP
SC	23,04	19,28	0,84
RJ	29,33	16,32	0,29
PR	66,62	5,03	0,76
SP	21,94	11,81	0,33
Brasil	26,53	22,45	0,80

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Entre os estados comparados, São Paulo apresenta a maior frota de veículos com aproximadamente três vezes mais que a frota do estado catarinense. No entanto, aplicando a razão da emissão por veículo, Santa Catarina apresenta a segunda maior emissão de CO e NO_x, e também a maior emissão de MP por veículo, com emissões superiores comparados ao estado paulista. Santa Catarina possui uma emissão menor que a média nacional. Isso pode ser explicado pela característica da frota catarinense (possivelmente mais nova do que a média nacional). Nota-se também que as emissões por veículos seguem a mesma ordem de grandeza. Isso indica que os estudos convergiram neste ponto.

Os estados utilizados como comparação nesse estudo possuem territórios de diferentes dimensões. As comparações entre as taxas de emissões, também foram efetuadas em função da área territorial de cada estudo, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19: Comparação das emissões de CO, NO_x e MP por área territorial.

Estado	Emissão (t.km ⁻² .ano ⁻¹)		
	CO	NO _x	MP
SC	1,149	0,961	0,042
RJ	0,200	1,110	0,019
PR	2,386	0,180	0,027
SP	1,352	0,728	0,020
Brasil	0,153	0,129	0,005

Fonte: Elaborado pelo Autor.

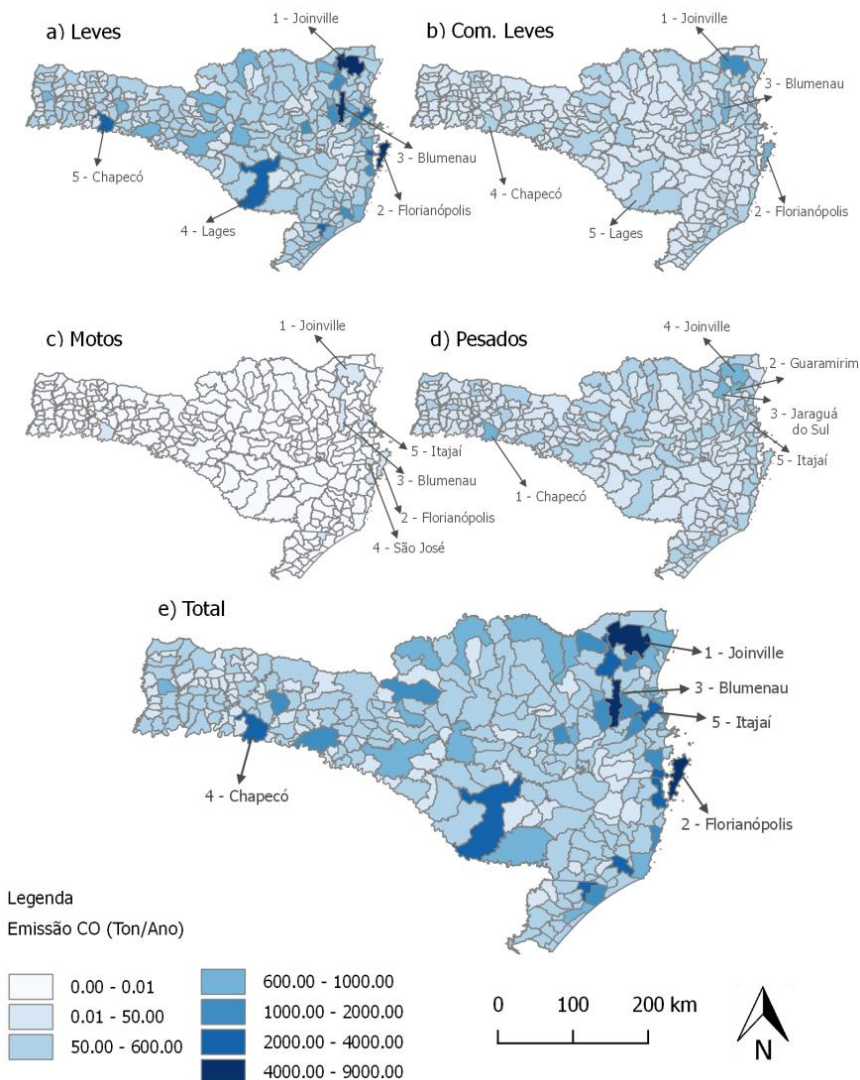
Santa Catarina possui a terceira maior área entre os estados comparados, e a maior taxa de emissão de MP. A taxa emissão de CO do estado catarinense é próximo do valor apresentado pela CETESB, (2016) em SP. Os resultados encontrados para NO_x estão coerentes no que foram apresentados nos outros estudos. Nota-se que o estado de Santa Catarina supera o estado de São Paulo em emissão por unidade de área nos poluentes NO_x e MP. A emissão de CO é próxima do que é encontrada no estudo. Isso mostra o quão importante às emissões veiculares são no estado catarinense.

5.3 ESPACIALIZAÇÃO DAS EMISSÕES

Os resultados obtidos nesse trabalho foram georreferenciados utilizando o Quantum GIS. Com este *software*, foram elaborados mapas com a espacialização das emissões de todos os municípios catarinenses (Figura 11, 12, 13, 14, 15). Para cada poluente foi segregada a emissão gerada por cada categoria de veículo: a) Leves; b) Comercial Leves; c) Motos; d) Pesados; e a emissão total (e), que considera a soma das emissões de todas as categorias. A quantidade de poluente emitido foi classificada em intervalos com diferentes valores, para melhor visualização das regiões com maiores contribuições de emissões.

A Figura 11 apresenta a espacialização das emissões de Monóxido de Carbono (CO). Este poluente, emitido principalmente por veículos leves, possui a maior emissão em Joinville, Florianópolis Blumenau e os três municípios mais populosos do estado, e também entre os maiores consumidores de gasolina. Esse resultado afirma a hipótese que a maior emissão de CO é proveniente das cidades com maior frota de automóveis. O município de Lages que se destaca como a quarta cidade com maior emissão desse poluente entre os veículos leves, é a décima cidade mais populosa, e o nono município com maior consumo de gasolina e número de automóveis. A sua contribuição entre os cinco primeiros pode ocorrer devido à idade da frota de veículos. Os veículos comerciais leves, por possuírem um perfil de emissão semelhante aos veículos leves, resultaram nos mesmos municípios com maior destaque na emissão desse poluente. A categoria das Motocicletas confirma a inferioridades na quantidade de poluentes emitidos. Os veículos pesados, responsáveis pelo restante da contribuição, possuem maior emissão em cidades mais industrializadas. O mapa que representa a emissão total de CO no estado é semelhante às emissões dos veículos leves, afirmando a maior contribuição dessa categoria para a emissão de monóxido de carbono.

Figura 11: Mapas de emissões de monóxido de carbono em SC

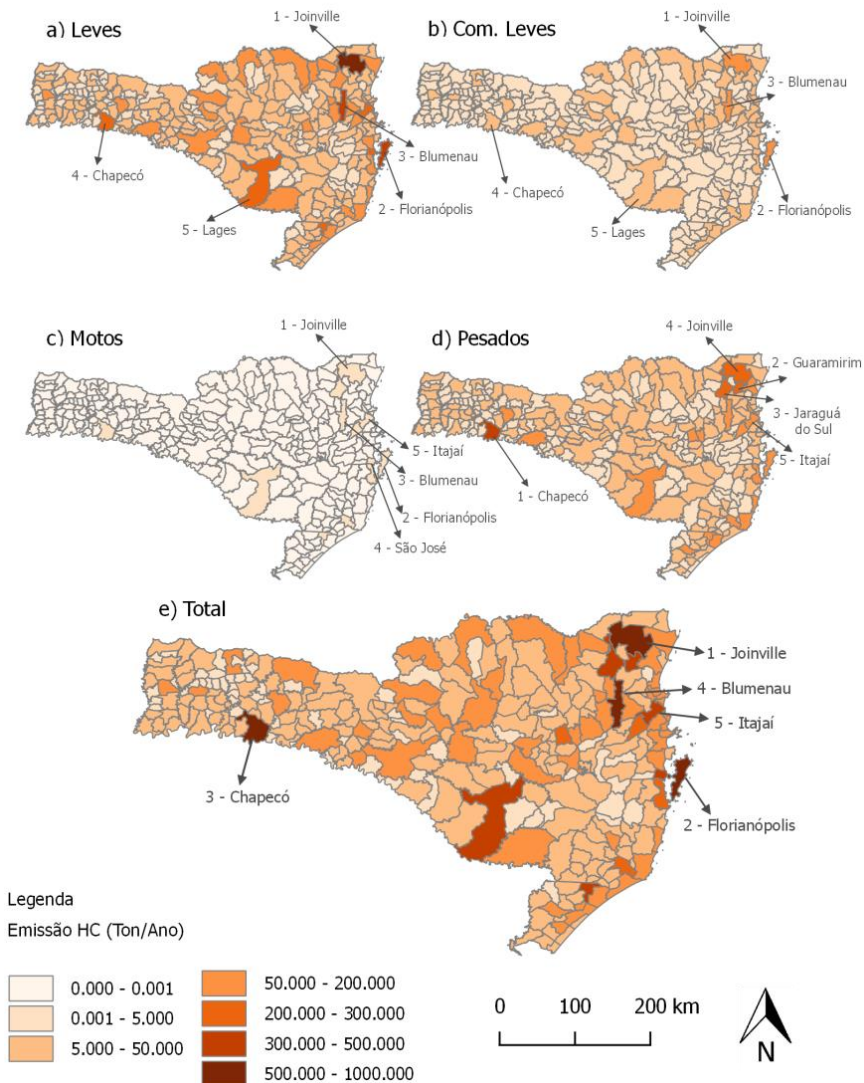


Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Figura 12 apresenta a espacialização das emissões de hidrocarbonetos totais (HC). Conforme apresentado na Figura 11 os veículos leves são os principais responsáveis pela emissão de CO e HC. Logo, os municípios que possuem maior número de automóveis se

destacaram quanto à emissão desse poluente. Para todas as categorias de veículos, e para a emissão total, os municípios com maior contribuição são os mesmos citados e apresentados na Figura 11.

Figura 12: Mapas de emissões de hidrocarbonetos em SC

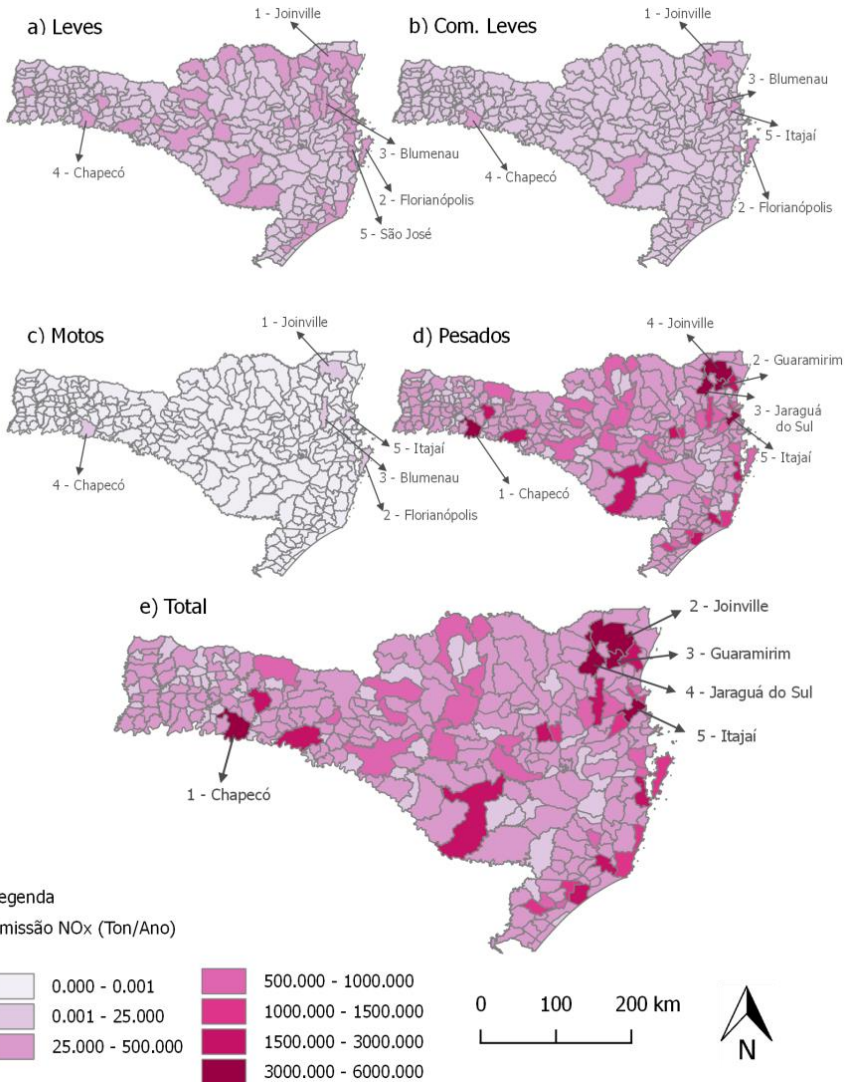


Fonte: Elaborado pelo Autor.

A espacialização das emissões de NO_x e MP estão apresentadas nas Figuras 13 e 14 respectivamente. A maior representatividade na emissão desses poluentes ocorre em municípios com concentração de veículos pesados e maior consumo de óleo diesel. A emissão de material particulado e óxidos de nitrogênio nas categorias leves e comerciais leves possuem menor ordem de grandeza. A emissão de NO_x para a categoria das motocicletas apresentam uma inferioridade das emissões, quando comparados com as outras categorias. A emissão de MP das motos, não foi realizada, devido à ausência de fatores de emissão para essa categoria.

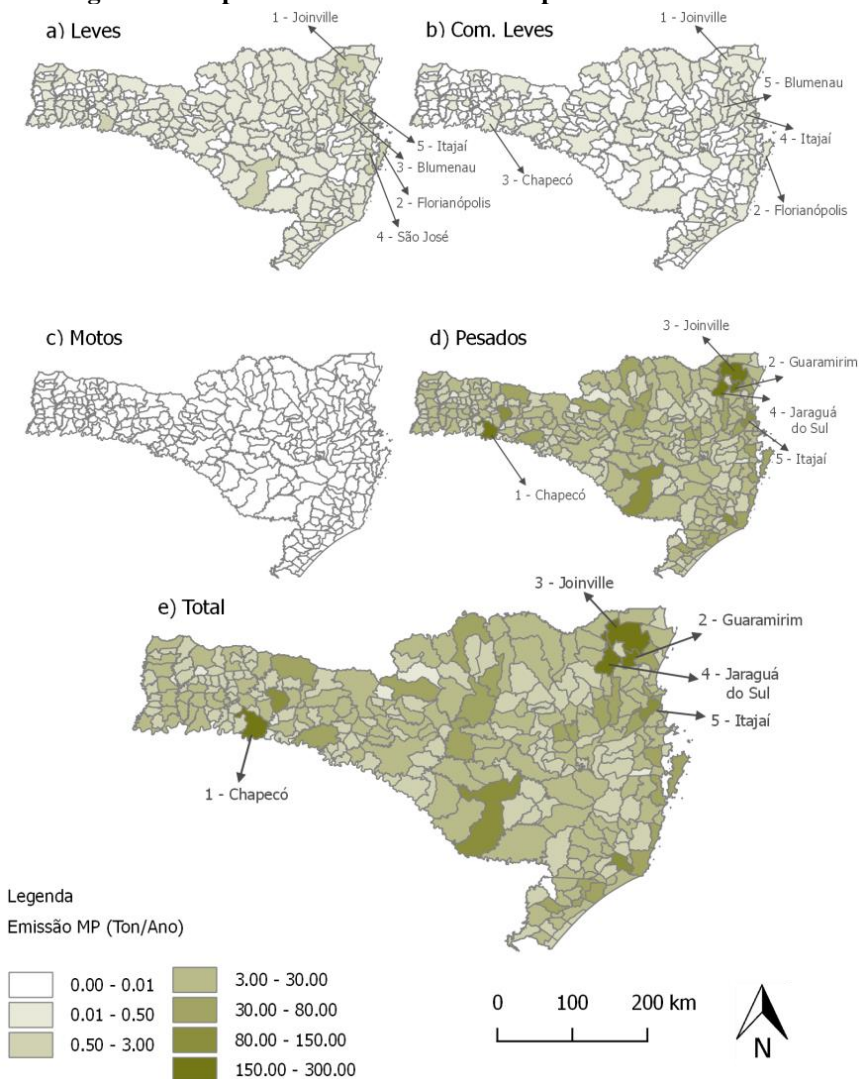
A categoria de veículos leves apresentam maior emissão de CO e HC em municípios que possuem maior frota dessa categoria de veículos. Em contrapartida os veículos pesados, maiores emissores de MP e NO_x têm maior contribuição de emissão em municípios que possuem maior consumo de óleo diesel.

Figura 13: Mapas de emissões de óxidos de nitrogênio em SC



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 14: Mapas de emissões de material particulado em SC

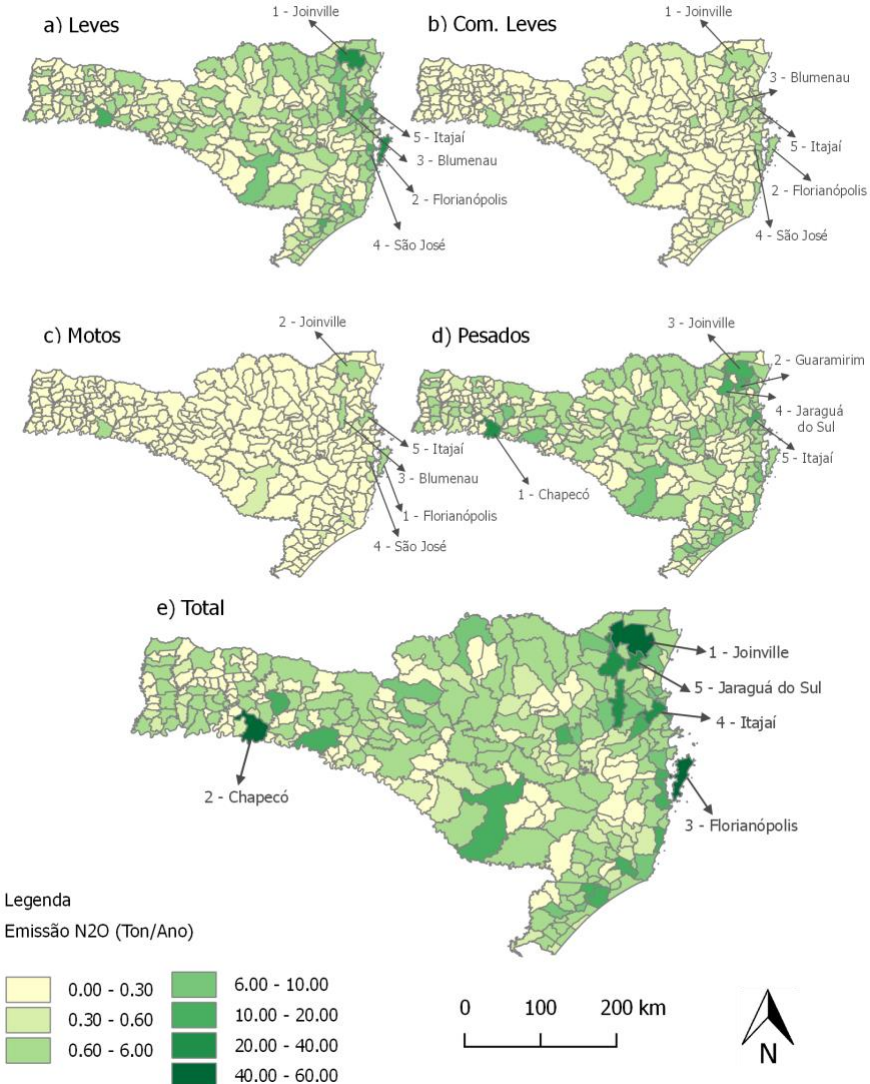


Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Figura 15 apresenta a espacialização das emissões de óxido nitroso. Este poluente é emitido majoritariamente por veículos leves e pesados. No entanto, a categoria com maior contribuição de emissão deste poluente para cada município, varia de acordo com o perfil da

frota. As categorias leves, comerciais leves, e motos emitem as maiores concentrações de N_2O nos mesmos municípios. Os veículos pesados emitem a maior quantidade de óxido nitroso nas cidades com maior presença de indústrias. Em relação ao total da emissão, os municípios mais populosos, urbanizados e industrializados se destacam.

Figura 15: Mapas de emissões de óxido nitroso em SC



Fonte: Elaborado pelo Autor.

6 CONCLUSÃO

Este estudo é pioneiro no que tange a poluição veicular em âmbito estadual para Santa Catarina. Através da metodologia *Top-Down*, utilizando os dados de consumo de combustível, idade da frota e o fator de emissão dos veículos, estimou-se que a unidade federativa do presente trabalho é responsável pela emissão de 109.991,71 ton.ano⁻¹ de CO, 14.124,86 ton.ano⁻¹ de HC, 92.012,32 ton.ano⁻¹ de NO_x, 3.990,85 ton.ano⁻¹ de MP e 808,18 ton.ano⁻¹ de N₂O.

A razão de emissão dos poluentes por veículo e por área, mostrou o potencial poluidor do estado. Santa Catarina possui uma das maiores taxas de emissão de CO, superando as emissões do estado de São Paulo quando considerados a emissão por veículo. SC se destaca em relação os estados de SP e PR no quesito de emissão de NO_x por unidade de área. O estado catarinense, comparado aos estados de Rio de Janeiro, Paraná, São Paulo e o inventário nacional, têm a maior emissão de Material Particulado por km² e por veículo. Os resultados obtidos reforçam o impacto dessas fontes no território de Santa Catarina.

O estado possui um uma frota veicular com predomínio de veículos leves equivalente a 59% da frota total. Os automóveis são os principais responsáveis pela emissão de CO (74%) e HC (57%). Os municípios de Joinville, Florianópolis, Blumenau, Chapecó e Itajaí estão entre os que possuem maior frota de veículos leves, consumo de gasolina e etanol. Portanto, possuem a maior emissão desses poluentes. Os veículos pesados representam apenas 5% da frota total, e são os principais emissores de NO_x (93%) e MP (99%). Os municípios de Chapecó, Joinville, Jaraguá do Sul, Guaramirim e Itajaí são as cidades com maiores emissões de poluentes provenientes dos veículos do ciclo diesel.

Os 295 municípios do estado de SC possuem um perfil de emissão semelhante, quando comparadas as emissões das diferentes categorias de veículos. No entanto, é possível observar que existem cidades que emitem poluentes em ordem de grandeza muito maior que outras. Este resultado confirma o impacto das emissões em cidades mais urbanizadas, industrializadas e populosas, com destaque para Joinville, Florianópolis e Blumenau.

Os resultados obtidos e as comparações realizadas reforçam a importância da elaboração de inventários de emissões veiculares. Essa ferramenta estratégica de gestão ambiental pode ser utilizada em diversos modelos, trabalhos e estudos para adotar medidas necessárias de intervenção e controle para alcançar os padrões da qualidade do ar.

7 RECOMENDAÇÕES

Diante do estudo proposto, com o intuito de aprofundar o conhecimento sobre o panorama da poluição atmosférica no estado de Santa Catarina, recomenda-se:

- ✓ Elaborar inventários de fontes fixas, móveis e outras fontes, bem como inventariar as emissões evaporativas, de abastecimento e emissões de ressuspensão de solo;
- ✓ Realizar a comparação da aplicação dos métodos *Top-Down* e *Bottom-up* em estudos de mesoescalas/macroescalas;
- ✓ Realizar a desagregação e georreferenciamento das emissões sobre as vias de trânsito de veículos, considerando que essas regiões são as que realmente emitem;
- ✓ Elaborar estudos de inventários de emissão com alta resolução temporal e espacial utilizando modelos de fluxo veicular;
- ✓ Realizar campanhas de monitoramento da qualidade do ar próximo às vias de trânsito;
- ✓ Aplicação de estudos de modelagem de dispersão para simulação do processo do transporte de poluentes atmosféricos, auxiliando no monitoramento e controle da qualidade do ar;
- ✓ Elaboração de cenários com novas tecnologias de veículos e combustíveis que incorporem as medidas mitigadoras para reduzir as emissões;
- ✓ Verificação do atual plano de mobilidade urbana e o impacto na qualidade do ar ao implementar modelos com novos modais de transporte.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E.M.P., Costa, R.R., Braga, A.A., Miranda, M., Nascimento, NC do, Saldiva, P.H.N.. Monitoramento Da Qualidade Do Ar No Brasil. Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2014. Instituto Saúde e Sustentabilidade, São Paulo, p. 100.

ANAC. AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – SUPERINTENDÊNCIA DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS. Inventário nacional de emissões atmosféricas da aviação civil: Relatório final. 2014. 78p

ANTT. AGENCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES – SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS E PESQUISAS. Inventário nacional de emissões atmosféricas do transporte de cargas: Relatório final. Brasília. 2012. 44p.

AUSTIN, S., Ross, M., 2001. History of emissions reductions: normal emitters in FTP-type driving. In: Society of Automotive Engineers 2001 World Congress, SAE International, Detroit.

BATTERMAN, S. Temporal and spatial variation in allocating annual traffic activity across an urban region and implications for air quality assessments. Transportation Research Part D: Transport and Environment, v. 41, p. 401-415, 2015.

BRASIL. Lei N. 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências.

BRASIL. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. (Org.). BOLETIM ESTATÍSTICO - CNT - DEZEMBRO 2016.20171. ed. Brasília: Brasil, 2016. 1 p. Disponível em: <[http://cms.cnt.org.br/Imagens CNT/BOLETIM ESTATÍSTICO/BOLETIM ESTATÍSTICO 2016/Boletim Estatístico - 12 - 2016.pdf](http://cms.cnt.org.br/Imagens/CNT/BOLETIM%20ESTATÍSTICO/BOLETIM%20ESTATÍSTICO%202016/Boletim%20Estatístico%20-%2012%20-%202016.pdf)>. Acesso em: 06 jun. 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 05/1989**. Dispõe sobre a criação do pelo Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR.

BRASIL - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Qualidade do Ar. 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>. Acesso em: 29 maio de 2018.

BRASIL - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Veículos automotores emitem menos poluentes. 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/10195-ve%C3%ADculos-automotores-emitem-menos-poluentes>>

____. **Resolução n. 003/1990**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Poluentes.[s.l: 2001. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp>. Acesso em: 25 mai. 2018

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade do ar no Estado de São Paulo**. Série relatórios. 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). RESOLUÇÃO No 418, de 25 de novembro de 2009 Documento, 2009.

DE FATIMA ANDRADE, M. et al. Air quality in the megacity of São Paulo: Evolution over the last 30 years and future perspectives. Atmospheric Environment, v. 159, p. 66-82, 2017.

DE OLIVEIRA AGUIAR, Suzana et al. Avaliação das emissões de escapamento veicular em condições específicas do motor: partida e marcha-lenta. Transportes, v. 23, n. 3, p. 35-43, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). Frota de veículos (2016). Disponível em : < <http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/237-frota-veiculos> >. Acesso em : 20 mar. 2018.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013. Luxemburgo: Publications Office Of The European Union, 2013. Disponível em: <<http://eea.europa.eu/emep-eea-guidebook>>. Acesso em: 28 mai. 2018.

European Environment Agency. EEA. Air quality in Europe — 2017 report, 2017. Luxemburgo: Publications Office Of The European Union, 2017. Disponível em: < <https://www.eea.europa.eu/pt/themes/air/intro> >. Acesso em: 08 nov. 2017

FERNANDES, Melissa Cavichioli. Estimativa das Emissões Veiculares para CO, HC e NOx na Avenida Beira Mar Norte em Florianópolis/SC. 2014. 112 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

GRAUER, Andreas *et al.* INVENTÁRIO ESTADUAL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DE POLUENTES (MP, CO, NOX, SOX) E PROPOSTA PARA REVISÃO E AMPLIAÇÃO DA REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DO ESTADO DO PARANÁ: RELATÓRIO FINAL. Curitiba: IAP, 2013. 160 p. (1). Relatório Final. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Monitoramento/INVENTARIO/INVENTARIO_ESTADUAL_DE_EMITSOES_ATM_-versaofinal.pdf >. Acesso em: 28 maio 2018.

GUARIERO, L. L. N.; Vasconcellos, P. C.; Solci, M. C. (2011). Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão. Ver. Virtual Química, v. 3, n. 5, p. 434 – 445. DOI: 10.5935/1984- 6835.20110047

HEI. Traffic-related air pollution: a critical review of the literature on emissions, exposure, and health effects Health Effects Institute, 2010.

HEIST, D.; ISAKOV, V.; PERRY, S.; SNYDER, M.; VENKATRAM, A.; HOOD, C.; STOCKER, J.; CARRUTHERS, D.; ARUNACHALAM, S.; OWEN, R. C. Estimating near-road pollutant dispersion: A model inter-comparison. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 25, p. 93–105, 2013.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=sc>. >Acesso 27 mai. 2018.

MAES, A. Análise do impacto na qualidade do ar das emissões veiculares de NO_x e CO nos entornos da avenida beira mar norte em Florianópolis/sc. 2017. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

MEIRELLES, T. Inventário de emissões veiculares: um estudo de caso da região de Florianópolis. 2017. 99 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – SECRETARIA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E QUALIDADE AMBIENTAL. 1o Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários: Relatório final. Brasília. Estação das artes. 2011. 114p.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – SECRETARIA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E QUALIDADE AMBIENTAL. Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários: Relatório final. Brasília. Estação das artes. 2014. 114p.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – SECRETARIA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E QUALIDADE AMBIENTAL. Emissões Veiculares. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/mma-em-numeros/emissoes-veiculares>> 2013.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL (MPF). Em ação do MPF, Justiça condena estado de Santa Catarina a elaborar o Plano de Controle de Poluição Veicular. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/sc/sala-de-imprensa/noticias-sc/em-acao-do-mpf-justica-condena-o-estado-de-santa-catarina-a-elaborar-o-plano-de-controle-de-poluicao-veicular>>.

PARRISH, David D. Critical evaluation of US on-road vehicle emission inventories. *Atmospheric Environment*, v. 40, n. 13, p. 2288-2300, 2006.

PINTO, Fatima Cristina Vaz; DOS SANTOS, Robson Nogueira. Potenciais de redução de emissões de dióxido de carbono no setor de transportes: um estudo de caso da ligação hidroviária Rio-Niterói. *Engevista*, v. 6, n. 3, 2010.

REQUIA, W. J.; KOUTRAKIS, P.; ROIG, H. L.; ADAMS, M. D.; SANTOS, C. M. Association between vehicular emissions and cardiorespiratory disease risk in Brazil and its variation by spatial clustering of socio-economic factors. *Environmental Research*, v. 150, p. 452–460, out. 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935116302614>>.

SPITZLEY, David V. et al. Life cycle optimization of ownership costs and emissions reduction in US vehicle retirement decisions, 2005?. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 10, n. 2, p. 161-175, 2005.

TEIXEIRA, Elba Calesso; FELTES, Sabrina; SANTANA, Eduardo Rodrigo Ramos de. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. *Química Nova*, v. 31, n. 2, p. 244-248, 2008.

TROMBETTI, Marco et al. Spatial inter-comparison of Top-down emission inventories in European urban areas. *Atmospheric Environment*, v. 173, p. 142-156, 2018.

TUIA, Devis et al. Evaluation of a simplified top-down model for the spatial assessment of hot traffic emissions in mid-sized cities. *Atmospheric Environment*, v. 41, n. 17, p. 3658-3671, 2007.

UEDA, Ana Cláudia; TOMAZ, Edson. Inventário de emissão de fontes veiculares da região metropolitana de campinas, São Paulo. Quim Nova, v. 34, n. 9, p. 1496-500, 2011.

UNEP. United Nations Environment Programme. Year Book 2014: Emerging Issues in Our Global Environment, 2014. Disponível em: <<http://apps.unep.org/repository/publication-type/unep-year-book>>. Acesso em: 27 mai. 2018

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Introduction to stationary point source emission inventory development. 2001.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Terms of Environment: Glossary, abbreviations, and Acronyms. 2009a. Disponível em: <http://ofmpub.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/glossariesandkeywordlists/search.do>. Acesso em: 22 de maio de 2018.

VENKATRAM, A.; ISAKOV, V.; SEILA, R.; BALDAUF, R. Modeling the impacts of traffic emissions on air toxics concentrations near roadways. Atmospheric Environment, v. 43, n. 20, p. 3191– 3199, 2009.

VORMITTAG, E. M. P. A. DE A. et al. Monitoramento da qualidade do ar no Brasil. Instituto Saúde e Sustentabilidade, p. 99, 2014.

WANG, Haikun et al. A bottom-up methodology to estimate vehicle emissions for the Beijing urban area. Science of the total environment, v. 407, n. 6, p. 1947-1953, 2009.

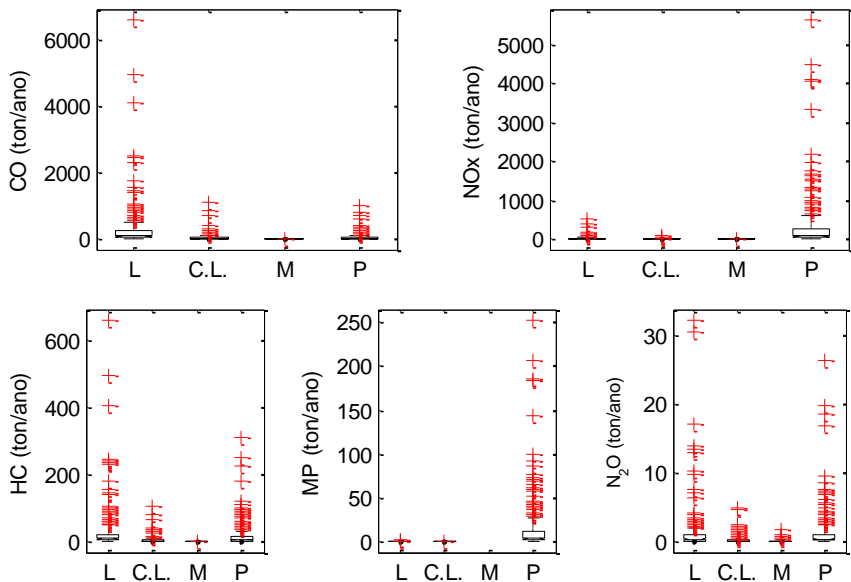
WHO. Air Quality Guidelines: Global Update 2005WHO. [s.l.: s.n.].

YANG, X. F.; LIU, H.; MAN, H. Y.; HE, K. B. Characterization of road freight transportation and its impact on the national emission inventory in China. Atmos. Chem. Phys., v. 15, n. 4, p. 2105–2118, fev. 2015.

9 APÊNDICES

9.1 ESTIMATIVAS DE EMISSÃO

Figura 16: Estimativa de emissão dos poluentes CO, NO_x, HC, MP e N₂O das categorias de veículos leves (L), comerciais leves (C.L.), motos (M) e pesados (P) para cada municípios de SC.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

9.2 RANKING DOS MUNICÍPIOS POLUIDORES DE ACORDO COM A CATEGORIA PARA CADA POLUENTE

Tabela 20: Ranking dos municípios poluidores de acordo com a categoria para emissão de CO.

Poluente	L	C.L.	M	P	TOTAL
CO	Joinville	Joinville	Joinville	Chapecó	Joinville
	Florianópolis	Florianópolis	Florianópolis	Guaramirim	Florianópolis
	Blumenau	Blumenau	Blumenau	Jaraguá do sul	Blumenau
	Lages	Chapecó	São José	Joinville	Chapecó
	Chapecó	Lages	Itajaí	Itajaí	Itajaí
	São José	São José	Chapecó	Tubarão	Lages
	Criciúma	Itajaí	Palhoça	Xanxerê	Criciúma
	Itajaí	Criciúma	Criciúma	Lages	São José
	Palhoça	Palhoça	Balneário Camboriú	Rio do sul	Jaraguá do sul
	Jaraguá do sul	Jaraguá do sul	Jaraguá do sul	Íçara	Palhoça

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 21: Ranking dos municípios poluidores de acordo com a categoria para emissão de HC.

Poluente	L	C.L.	M	P	TOTAL
HC	Joinville	Joinville	Joinville	Chapecó	Joinville
	Florianópolis	Florianópolis	Florianópolis	Guaramirim	Florianópolis
	Blumenau	Blumenau	Blumenau	Jaraguá do sul	Chapecó
	Chapecó	Chapecó	São José	Joinville	Blumenau
	Lages	Lages	Itajaí	Itajaí	Itajaí
	São José	São José	Chapecó	Tubarão	Jaraguá do sul
	Itajaí	Itajaí	Palhoça	Xanxerê	Lages
	Criciúma	Criciúma	Criciúma	Lages	Criciúma
	Palhoça	Palhoça	Balneário Camboriú	Rio do sul	São José
	Jaraguá do sul	Jaraguá do sul	Jaraguá do sul	Íçara	Guaramirim

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 22: Ranking dos municípios poluidores de acordo com a categoria para emissão de HC.

Poluente	L	C.L.	M	P	TOTAL
NOx	Joinville	Joinville	Joinville	Chapecó	Chapecó
	Florianópolis	Florianópolis	Florianópolis	Guaramirim	Joinville
	Blumenau	Blumenau	Blumenau	Jaraguá do sul	Guaramirim
	Chapecó	Chapecó	Chapecó	Joinville	Jaraguá do sul
	São José	Itajaí	Itajaí	Itajaí	Itajaí
	Itajaí	São José	São José	Tubarão	Tubarão
	Lages	Lages	Lages	Xanxerê	Xanxerê
	Criciúma	Criciúma	Criciúma	Lages	Lages
	Palhoça	Palhoça	Palhoça	Rio do sul	Palhoça
	Jaraguá do sul	Jaraguá do Sul	Jaraguá do Sul	Içara	Rio do sul

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 23: Ranking dos municípios poluidores de acordo com a categoria para emissão de MP.

Poluente	L	C.L.	M	P	TOTAL
MP	Joinville	Joinville		Chapecó	Chapecó
	Florianópolis	Florianópolis		Guaramirim	Guaramirim
	Blumenau	Chapecó		Joinville	Joinville
	São José	Itajaí		Jaraguá do sul	Jaraguá do sul
	Itajaí	Blumenau		Itajaí	Itajaí
	Chapecó	Jaraguá do sul		Tubarão	Tubarão
	Criciúma	São José		Xanxerê	Xanxerê
	Palhoça	Guaramirim		Lages	Lages
	Balneário Camboriú	Criciúma		Rio do sul	Rio do sul
	Lages	Palhoça		Içara	Içara

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 24: Ranking dos municípios poluidores de acordo com a categoria para emissão de N₂O.

Poluente	L	C.L.	M	P	TOTAL
N ₂ O	Joinville	Joinville	Florianópolis	Chapecó	Joinville
	Florianópolis	Florianópolis	Joinville	Guaramirim	Chapecó
	Blumenau	Blumenau	Blumenau	Joinville	Florianópolis
	São José	São José	São José	Jaraguá do sul	Itajaí
	Itajaí	Itajaí	Itajaí	Itajaí	Jaraguá do sul
	Chapecó	Chapecó	Chapecó	Tubarão	Blumenau
	Balneário Camboriú	Balneário Camboriú	Balneário Camboriú	Xanxerê	Guaramirim
	Criciúma	Criciúma	Criciúma	Palhoça	São José
	Palhoça	Palhoça	Palhoça	Rio do sul	Palhoça
	Jaraguá do sul	Jaraguá do sul	Jaraguá do sul	Concórdia	Criciúma

Fonte: Elaborado pelo Autor.

