

## **X-008 - PRIMEIRO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES EVAPORATIVAS NO ESTADO DE SANTA CATARINA**

**Audrey Luiza Almeida Gonçalves<sup>(1)</sup>**

Graduanda de Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Mobilidade acadêmica na Universidade Federal de Santa Catarina (2017-2018).

**Thiago Vieira Vasques<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestrando em Engenharia Ambiental na UFSC.

**Leonardo Hoinaski<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental (UFSC). Doutor em Engenharia Ambiental (UFSC). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** CEFET-MG, Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental - Avenida Amazonas, 5263 – Nova Suíssa - Belo Horizonte - MG - CEP: 30421-169 - Brasil - Tel: (31) 3243-4822 - E-mail: [audreysag@gmail.com](mailto:audreysag@gmail.com)

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Laboratório de Controle da Qualidade do Ar – LCQAr. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rua Delfino Conti - Trindade - Florianópolis - SC - CEP: 88.040-970 - Brasil – Telefone: (48) 3721 – 4993. Email: [leonardo.hoinaski@ufsc.br](mailto:leonardo.hoinaski@ufsc.br)

### **RESUMO**

As emissões veiculares são uma das principais fontes de poluição atmosférica de origem antrópica em áreas urbanas. No estado de Santa Catarina, os veículos são os principais meios de transporte, seja para uso particular ou para escoamento da produção com o transporte de cargas. O estado catarinense possui a maior frota por habitante do Brasil. A expansão do setor tem evidenciado certa preocupação à saúde pública devido a grande quantidade de emissão de poluentes. As emissões de um veículo automotor podem ocorrer pelo escapamento (emissões diretas) ou por natureza evaporativa do combustível. Dentre os principais poluentes emitidos de maneira evaporativa estão os Hidrocarbonetos Não Metano (NMHC), representados como Compostos Orgânicos Voláteis (COV), potenciais causadores de efeito estufa e doenças respiratórias. Para estabelecer estratégias eficientes de redução da poluição do ar, devem-se conhecer as taxas de emissões dos poluentes através de inventários. O objetivo do trabalho é, portanto, estimar as emissões evaporativas provenientes dos veículos automotores do estado de Santa Catarina. A metodologia aplicada é uma adaptação da metodologia de equacionamento das emissões evaporativas da CETESB (2016), que leva em consideração a quantidade de veículos de cada categoria, o número de dias no qual o fator de emissão foi aplicado e a média diária de emissões diurna, perdas em movimento e repouso com o motor quente e frio do veículo para confecção de um inventário. Os resultados demonstraram a emissão de 4.003 toneladas de COV por ano no estado de Santa Catarina, sendo o município de Joinville o maior emissor, seguido de Blumenau e Florianópolis. Comparando as regiões metropolitanas da Grande Florianópolis em Santa Catarina em relação às de Ribeirão Preto, Sorocaba e Vale do Paraíba e Litoral Norte em São Paulo, observou-se que, mesmo com um maior aporte de carros, a região da Grande Florianópolis emitiu menos, o que sugere uma idade da frota mais nova.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inventário, Poluição Atmosférica, Emissões Veiculares, Emissões Evaporativas.

### **INTRODUÇÃO**

Segundo CETESB (2016), a emissão de fontes veiculares é uma das principais fontes de poluição atmosférica de origem antrópica em áreas urbanas. Com o crescimento populacional, mudança do modo de vida e subsequente desenvolvimento das tecnologias de transporte e da produção industrial, o consumo de combustíveis fósseis no setor automobilístico cresceu exponencialmente, trazendo à tona problemas de poluição atmosférica em larga escala.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2018), as crescentes taxas de urbanização, a deficiência de políticas públicas de transporte em massa, e mesmo os incentivos à produção e consumo de combustível no país têm implicado em um aumento expressivo da motorização individual, evidenciando cenários de forte expansão nesses segmentos do transporte de passageiros e de consequente, preocupação à saúde pública.

Em Santa Catarina, os veículos são os principais meios de transporte, seja para uso particular ou para escoamento da produção com o transporte de cargas. Além disso, o estado possui a maior frota por habitante do Brasil, para cada um mil moradores do estado, há 690 veículos nas ruas, representando uma média de 1 veículo para cada 1,4 habitante (IBGE, 2016).

As emissões de um veículo automotor podem ocorrer pelo escapamento (emissões diretas) ou por natureza evaporativa do combustível, seja durante o uso ou no repouso do veículo (ANTT, 2011). A proporção de emissão varia conforme as condições climáticas e intensidade de uso dos veículos, durante as grandes extensões de congestionamento em horários de pico, como também pela redução da velocidade média do trânsito nos corredores de tráfego.

Dentre os principais poluentes emitidos de maneira evaporativa são os Hidrocarbonetos Não Metano (NMHC). Os veículos são responsáveis pela emissão de 72% NMHC na atmosfera (SILVA et al., 2016). Os Hidrocarbonetos não metano, representados como Compostos Orgânicos Voláteis (COV) são precursores na formação do ozônio troposférico e apresentam potencial causador de efeito estufa (MMA, 2018). Além disso, estão associados à problemas respiratórios e cancerígenos em função da sua alta toxicidade (ALMEIDA, 2007).

Para estabelecer estratégias eficientes de redução da poluição do ar, deve-se conhecer a magnitude das emissões dos poluentes. Porém, as fontes móveis se movimentam no espaço e variam as suas emissões com o tempo, desafiando, dessa forma, seu controle e fiscalização. Assim, as emissões veiculares podem ser estimadas por ferramentas consolidadas, utilizando modelos matemáticos consistentes, os quais podem ser agregados em forma de inventário para auxílio na tomada de decisões.

Para confecção de inventários de emissões evaporativas, são considerados os dados da emissão de gases obtidos por meio de ensaios fechados com automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto, que, no entanto, não consideram variáveis importantes como o número de viagens diárias, a temperatura ambiente e a emissão do veículo em andamento. Por este motivo, adota-se uma metodologia baseada no Guia Europeu para Inventário de Emissões – *Emission Inventory Guidebook* (EMEP/EEA, 2016), que contempla a modelagem de dados com os fatores de emissão três fases de emissão dos veículos (perdas em movimento, repouso com o motor quente e repouso com motor frio do veículo), o número de dias ao qual o fator de emissão foi aplicado e a quantidade de veículos inventariados. A elaboração do inventário do presente trabalho segue a metodologia base e adapta os dados para a realidade do Estado de Santa Catarina conforme sugere o Guia Europeu.

Este trabalho faz parte do projeto "AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS EMISSÕES VEICULARES, QUEIMADAS, INDUSTRIAIS E NATURAIS NA QUALIDADE DO AR EM SANTA CATARINA" contemplado no Edital de Demanda Espontânea da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), segundo o termo de outorga 2018TR499. O projeto conta com o apoio da Diretoria de Mudanças Climáticas (DMUC) da Secretaria do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) do Estado de Santa Catarina.

## **OBJETIVO**

O presente estudo tem o objetivo de fazer a estimativa dos valores de emissões evaporativas no Estado de Santa Catarina.

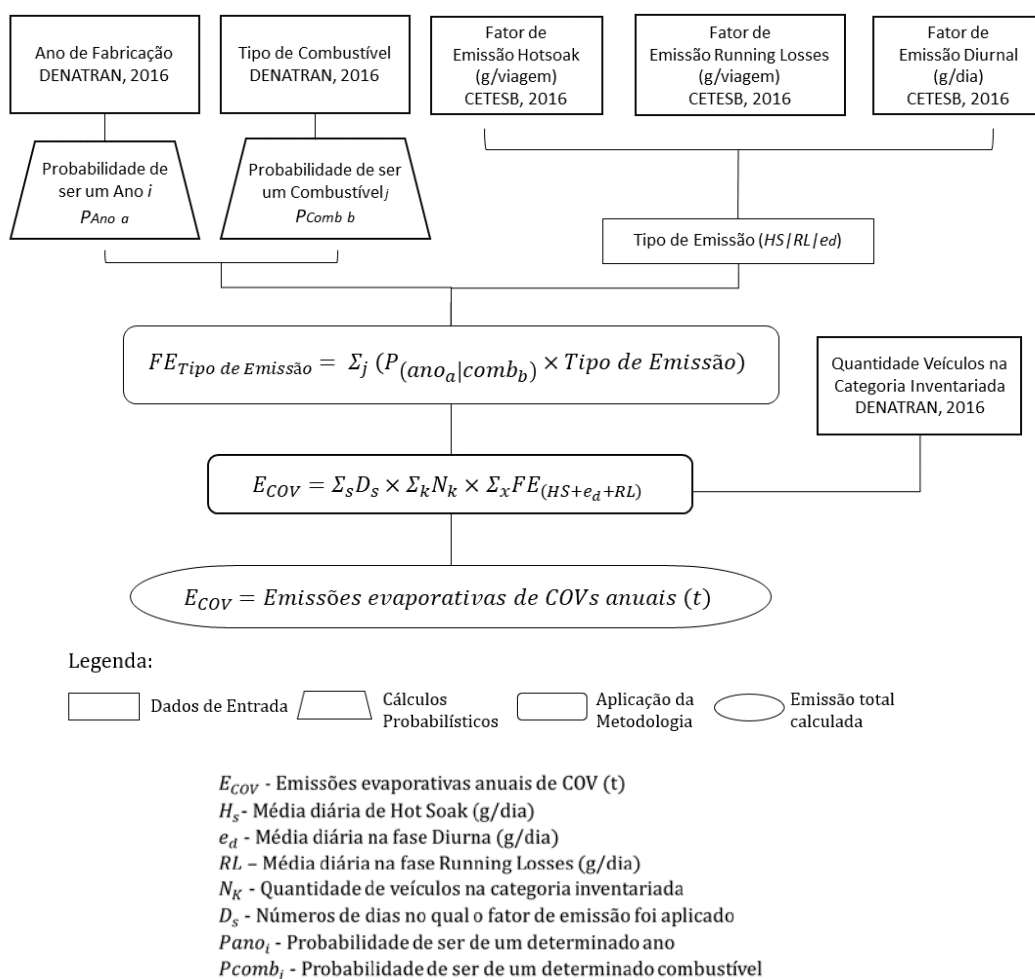
## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Como dados de entrada, o modelo utilizou-se o número de viagens diárias disponibilizados pelo Sistema de Informações da Mobilidade Urbana de 2011 da Agência Nacional de Transportes Públicos (ANTP, 2011),

quantidade de veículos, ano de fabricação, tipo de combustível disponibilizado pelo DENATRAN (2016), e fatores de emissão evaporativas disponibilizados pela CETESB (2016).

As emissões evaporativas se dividem em três tipos de emissão: fase *diurnal*, *hot soak* e *running losses*. Segundo CETESB (2016), a fase *diurnal* é referente à emissão do vapor de combustível em consequência da exposição ao sol com o carro frio, a fase *hot soak* referente à quantificação da emissão de vapor de combustível devido ao aquecimento do motor após o uso, e a fase *running losses* referente à emissão evaporativa do veículo em funcionamento.

A estimativa realizada é descrita no fluxograma da Figura 1, no qual representa os dados de entrada e suas respectivas fontes, bem como a metodologia adaptada do Relatório de Emissões Veiculares da CETESB do ano de 2016 para o cálculo de estimativa de emissões evaporativas de COVs anuais em toneladas.



**Figura 1: Fluxograma do método de modelagem das Emissões Evaporativas do Estado de Santa Catarina.**

Para se ajustar à metodologia sugerida pela CETESB (2016), realizou-se um estudo para o município de Florianópolis para uma primeira análise e, uma vez finalizada, ajustou-se esse modelo para o estado de Santa Catarina, onde foi possível quantificar as emissões de cada município e fazer um ranking dos que mais emitem COV por ano.

Os dados de Fator de Emissão (FE) disponibilizados pela CETESB possuem valores apenas para veículos fabricados entre os anos de 1989 a 2016. A partir do ano de 2003 houve a implementação de veículos com tecnologia *flex-fuel*. Essas peculiaridades foram consideradas, e para isso foi necessário fazer o cálculo probabilístico de um veículo ser de um determinado ano e utilizar um determinado combustível.

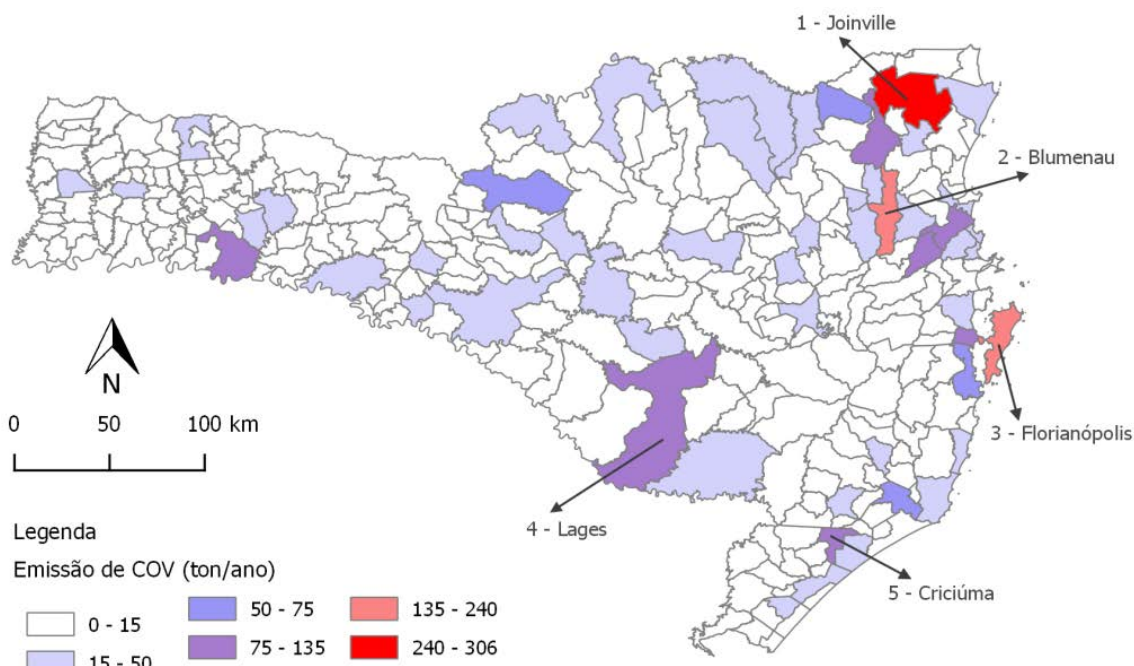
A somatória dos dados multiplicados ao tipo de emissão proporcionou a elaboração do fator de emissão de cada tipo de emissão. Por fim, o cálculo das emissões evaporativas se fez pelo somatório do número de dias no qual o fator de emissão deve ser aplicado ( $D_s$ ), multiplicado pelo somatório da quantidade de veículos na categoria inventariada ( $N_k$ ) e dos fatores de emissão de cada fase ( $FE$ ).

É importante ressaltar que não foram consideradas as emissões evaporativas por abastecimento, como também apenas veículos do Ciclo Otto (leves, comerciais leves) foram quantificados. Além disso, foi necessário adequar os dados de acordo com as características e condições locais, como prevê o método “Tier 2” do Guia Europeu para Inventário de Emissões (EMEP/EEA, 2016). A faixa de temperatura utilizada para o inventário foi de 20° a 35° para todos os municípios. Foi necessária a conversão nas unidades em grama por viagem para grama por dia dos valores das fases *running losses* e *hot soak*. Para isso, utilizou-se dos dados de números de viagem por dia estabelecidos pela ANTP (2011).

## RESULTADOS

As cidades mais populosas do estado, com mais de cem mil habitantes, representam apenas 5% dos municípios, e ocupam somente 8% do território estadual. Nestes municípios estão concentrados 45% da população e 46% da frota total de veículos (IBGE, 2016). Além disso, as cidades mais urbanizadas e industrializadas possuem uma maior frota de veículos do ciclo Otto e do ciclo Diesel.

A partir da estimativa realizada, presume-se que aproximadamente 81% dos municípios catarinenses possuem uma emissão de até 15 ton/ano de COV. Os municípios que possuem maior emissão evaporativa por veículos no Estado de Santa Catarina são respectivamente: Joinville, Blumenau, Florianópolis, Lages e Criciúma. O valor máximo emitido no estado é de 306 toneladas de NMHC evaporativo por ano, como mostra a Figura 2.



**Figura 2: Espacialização das Emissões de COV nos municípios do estado de Santa Catarina.**

Em comparação ao Relatório de Emissões Veiculares de 2016 da CETESB, descrito na Tabela 1, o Estado de São Paulo devido ao grande adensamento populacional e do crescimento da frota de veículos possui uma maior emissão de NMHC evaporativo, aproximadamente cinco vezes mais do Estado de Santa Catarina.

**Tabela 1: Relação Emissão de COVs por veículos e por área dos estados de Santa Catarina e São Paulo.**

	Frota	Emissão de COVs (t)	Emissão (tCOV/Veículo )	Emissão (tCOV/Área )
Estado de São Paulo (2016)	15.295.196	19.635	0,00128	0.07910
Estado de Santa Catarina (2016)	4.772.160	4.003	0,00083	0.04194

As proporções entre ambos estados são semelhantes, considerando-se as emissões por veículos e área, o que mostra certa consistência ao modelo de metodologia da CETESB. Os veículos em São Paulo emitem cerca de 54% a mais que os de Santa Catarina. Em relação à emissão pela área territorial, o estado de São Paulo emite 88% a mais que Santa Catarina.

Comparando as Regiões Metropolitanas de São Paulo (RMSP)(CETESB, 2016), Campinas (RMC)(CETESB, 2016), Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVP) (CETESB, 2016), Sorocaba (RMSO)(CETESB, 2016), Ribeirão Preto (RMRP)(CETESB, 2016), Baixada Santista (RMBS)(CETESB, 2016) em relação à Região Metropolitana da Grande Florianópolis (RMGF), que considera os municípios Águas Mornas, Antônio Carlos, Biguaçu, Florianópolis, Palhoça, Santo Amaro da Imperatriz, São José, São Pedro de Alcântara e Governador Celso Ramos, juntamente aos da área de expansão metropolitana Alfredo Wagner, Angelina, Anitápolis, Canelinha, Garopaba, Leoberto Leal, Major Gercino, Nova Trento, Paulo Lopes, Rancho Queimado, São Bonifácio, São João Batista e Tijucas, nota-se que, mesmo com uma frota maior, a emissão de poluentes é bem inferior a regiões que possuem frotas semelhantes, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2: Frotas e Emissões de COV entre as Regiões Metropolitanas de São Paulo (RMSP), Campinas (RMC), Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVP), Sorocaba (RMSO), Ribeirão Preto (RMRP), Baixada Santista (RMBS) em relação à Região Metropolitana da Grande Florianópolis (RGF) e da Região Metropolitana da Grande Florianópolis em Santa Catarina.**

Região	Nº de Municípios	Área (km <sup>2</sup> )	Frota (Veículos)	COV (t/ano)	Emissão (tCOV/Veículo )	Emissão (tCOV/ km <sup>2</sup> )
RMSP (2016)	39	7.946,9	7.316.193	8.751	1,20 x 10 <sup>-3</sup>	1,101
RMC (2016)	20	3.791,8	1.236.227	1.559	1,26 x 10 <sup>-3</sup>	0,411
RMVP (2016)	39	16.100,0	755.115	1.076	1,42 x 10 <sup>-3</sup>	0,067
RMSO (2016)	27	11.611,5	709.789	1.048	1,48 x 10 <sup>-3</sup>	0,090
RMRP (2016)	34	14.788,2	587.972	915	1,56 x 10 <sup>-3</sup>	0,062
RMBS (2016)	9	2.420,5	505.487	499	9,87 x 10 <sup>-4</sup>	0,206
RMGF (2016)	22	7.465,7	782.766	517	6,60 x 10 <sup>-4</sup>	0,069

Além disso, vê-se que a Região Metropolitana de São Paulo possui uma maior emissão de NMHC que o estado catarinense. Por mais que o estado de Santa Catarina possua a maior quantidade de veículos per capita do Brasil, a emissão evaporativa do estado não supera a emissão em relação à referência utilizada.



## DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos, é possível afirmar que a taxa média de emissão evaporativa do Estado de Santa Catarina é menor do que a do Estado de São Paulo. Comparando-se a emissão da Grande Florianópolis em relação às demais Regiões Metropolitanas do estado de São Paulo, foi possível observar que, mesmo com um maior aporte de carros, a região emitiu uma menor quantidade de NMHC, o que sugere que a idade da frota pode ser mais nova. Além disso, as diferenças metodológicas podem resultar em valores distintos.

No estado de Santa Catarina, os municípios que mais emitiram NMHC possuem as maiores frotas de veículos do ciclo Otto. Os municípios catarinenses apresentam uma emissão média de 15 ton/ano NMHC. Desta forma, verifica-se que a emissão do estado de SC é inferior a de SP, pois seus municípios possuem características rurais e pouco urbanizados em sua maioria.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo permitiu a elaboração do Inventário de Emissões Evaporativas de Santa Catarina. O estado apresenta uma das maiores frotas de veículos do país e diante dessa problemática, quando comparado com o estudo realizado pela CETESB no estado de São Paulo, a proporção de veículos e de emissões mostra que o estado catarinense possui uma representatividade nessas emissões, emitindo, por ano, 4.003 toneladas de COV.

Ao se comparar a região Metropolitana da Grande Florianópolis com as demais regiões de São Paulo, nota-se que, mesmo com maior frota que algumas regiões de São Paulo, a Grande Florianópolis emite menos, o que sugere que a idade da frota dessa região seja menor.

Dentro do que tange o Estado de Santa Catarina, o estudo aponta que os municípios que mais emitem poluentes evaporativos são Joinville, Blumenau, Florianópolis, Lages e Criciúma.

Recomenda-se fazer o estudo entre as categorias que mais emitem, para além da elaboração de inventários de abastecimento, que também emitem os poluentes NMHCs.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) pela concessão de auxílio financeiro para participação no 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, J. (São Paulo). UNICAMP. COVs: os pouco estudados vilões das emissões veiculares. 2007. UNICAMP. Disponível em: <[http://www.labjor.unicamp.br/midiaciencia/article.php3?id\\_article=431](http://www.labjor.unicamp.br/midiaciencia/article.php3?id_article=431)>. Acesso em: 05 out. 2018.
2. ANTT. AGENCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES –. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: Relatório final. Brasília. 2011. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/inventarionacional20110209.pdf>. > Acesso em: 05 out. 2018.
3. ANTP. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. Sistema de Informações da Mobilidade Urbana: Relatório Geral (2011). Disponível em: [http://files-server.antp.org.br/\\_5dotSystem/userFiles/simob/relat%C3%B3rio%20geral%202011.pdf](http://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/userFiles/simob/relat%C3%B3rio%20geral%202011.pdf). > Acesso em: 05 out. 2018.
4. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Qualidade do ar no Estado de São Paulo. Série relatórios. 2016. Acesso em: 05 out. 2018.
5. 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 set. 2018.
6. EEA. EUROPEAN UNION. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. (Org.). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016: Technical guidance to prepare national emission inventories. 21. ed. European Union: Lrtap, 2016. 28 p. (21). Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>>. Acesso em: 16 ago. 2018.

7. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Brasil em síntese: Santa Catarina. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/panorama>. > Acesso em: 05 out. 2018.
8. MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Poluentes Atmosféricos. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos> > Acesso em: 05 out. 2018. SILVA, K., & ALONSO, M., & OLIVEIRA, L. (2016). Análise das Emissões Atmosféricas de Fontes Móveis para a cidade Pelotas – RS. Ciência e Natura, 38, 347-353. Disponível em: <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=467547689057>. Acesso em: 05 out. 2018.