

**X-024 - ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS METODOLOGIAS PARA  
REALIZAÇÃO DE INVENTÁRIOS DE EMISSÃO DE GASES POLUENTES  
POR FONTES AUTOMOTORAS: CETESB X MINISTÉRIO DO  
MEIO AMBIENTE**

**Paulo Victor Rocha Brandão**

Graduado em Engenharia Química pela Faculdade Regional da Bahia. Estudante de mestrado pela Universidade Federal da Bahia UFBA.

**Édler Lins de Albuquerque**

Graduado em Engenharia Química pela UFAL (1999), mestrado (2002) e doutorado (2007) em Engenharia Química pela UNICAMP. Tem experiência na área de poluição atmosférica, monitoramento do ar e impactos ambientais da poluição atmosférica. Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia.

**Rosana Lopes Lima Fialho**

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia (1992), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1994) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1998). Atualmente é professora Associada da Universidade Federal da Bahia.

**Endereço:** Rua Aristides Novis, 02 - Universidade Federal da Bahia - Departamento de Engenharia Química - Federação - Salvador - BA - CEP: 40210-630 - Brasil - Tel: (71) 3283-9800 - e-mail: [rochacetrel@hotmail.com](mailto:rochacetrel@hotmail.com).

**RESUMO**

O monitoramento e controle das emissões veiculares são essenciais para o bom gerenciamento da qualidade do ar no meio urbano e devem ser encarados além da questão ambiental, como importantes ferramentas para a garantia da qualidade de vida e da saúde da população. A elaboração de inventários de emissões é fundamental para o processo de gerenciamento da poluição, pois possibilita conhecer as principais fontes poluidoras e sua contribuição para as emissões totais, permitindo que se criem estratégias de mitigação/minimização destas emissões. Os inventários de emissões veiculares são usualmente construídos a partir de fatores de emissão associados a um parâmetro associado ao nível de atividade dos veículos, como por exemplo, o consumo de combustível ou a quilometragem anual média. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo comparar as duas metodologias disponíveis no Brasil (CETESB e MMA) para a elaboração de inventários de emissões de origem veicular, avaliando, como estudo de caso, as emissões veiculares dos poluentes CO (monóxido de carbono), NOx (óxidos de nitrogênio), RCHO (hidrocarbonetos não-metânicos) e MP (material particulado) na cidade de Salvador considerando a frota em março de 2018. Os inventários efetuados por ambas metodologias apresentaram semelhança qualitativa, onde automóveis e caminhões foram às categorias veiculares mais poluidoras. Entretanto, quantitativamente, observou-se uma diferença de 70% na emissão veicular total entre as metodologias, diferenças estas devido principalmente aos fatores de emissão empregados e ao fator de intensidade de uso. Estes resultados devem auxiliar os profissionais da área e o poder público na indicação da metodologia mais adequada para a realização dos inventários veiculares.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inventário de emissões, poluição veicular, Salvador.

**INTRODUÇÃO**

A composição da atmosfera nas áreas urbanas tem-se modificado ao longo dos anos. Isso acontece devido à emissão de diversos compostos na atmosfera, especialmente por fontes antropogênicas, fixas ou móveis (OLIVEIRA, 2016). Estudos conduzidos em municípios brasileiros evidenciaram impactos significativos da poluição do ar na saúde da população em idosos e crianças. As associações mais fortes foram encontradas entre os poluentes SO<sub>2</sub>, MP<sub>10</sub> e CO, especialmente, para doenças respiratórias além de causar também danos à fauna, flora e aos materiais. (DRUMM, 2014)

Dados disponibilizados pelo DENATRAN, permitem concluir que a frota de veículos automotores na cidade de Salvador passou de 597.039 em 2009 para 892.793 em março de 2018, representando um aumento de aproximadamente 34% numa zona urbana com cerca de 690 km<sup>2</sup>, contendo aproximadamente 2,8 milhões de habitantes, consistindo numa das áreas mais populosas do país (IBGE, 2019).

Relatórios publicados pelos órgãos ambientais no Brasil indicam que mesmo com o expressivo aumento da frota houve redução na poluição veicular. O INEA publicou em 2016 que, mesmo com o aumento de 100% da frota de veículos automotores no Estado do Rio de Janeiro, foi alcançada uma redução de 90% no somatório das emissões de gases poluentes por veículos comparativamente a 2004. Redução desta mesma magnitude também foi vista em BRASIL (2014), onde se registrou redução da emissão de poluentes como monóxido de carbono (CO), com queda de 75%, e hidrocarbonetos não-metânicos (NMHC), que caiu 85% no período, quando comparados estes valores com o inventário anterior. Tais resultados refletem os esforços feitos nas últimas décadas em termos do PROCONVE e do PROMOT, os quais incluíam, dentre outras, melhorias no sistema de queima de combustíveis e o uso de catalisadores.

O controle das emissões veiculares é de extrema importância para o bom gerenciamento da qualidade do ar no meio urbano e devem ser encarados além da questão ambiental, como importantes ferramentas para a garantia da qualidade de vida e da saúde da população. A elaboração de inventários de emissões é um passo fundamental em todo o processo de gerenciamento da poluição atmosférica, pois fornece importantes informações para a estruturação do PCPV (Plano de Controle de Poluição Veicular), logo o PCPV obriga a construção dos inventários de emissão anual para cidade de maiores portes e avaliação do desempenho de tecnologias e de legislações ambientais (DELUCCHI, 2011)

Desta forma, conhecer por meio de estimativas como uma cidade do porte de Salvador vem sendo impactada pelas emissões veiculares é fundamental para a gestão do controle da poluição do ar e garantia da saúde da população. A presente pesquisa visou, portanto, empregar diferentes metodologias para elaboração de inventários de emissões de gases poluentes oriundos de fontes automotoras, considerando a cidade de Salvador (em março de 2018) como estudo de caso.

## OBJETIVO

Comparar duas metodologias disponíveis (BRASIL, 2014; CETESB, 2016) para elaboração de inventários de emissões, utilizando-se a frota da Cidade de Salvador-BA, contabilizada em março de 2018, como estudo de caso.

## METODOLOGIA

Para o ano de 2018 foi registrado pelo IBGE que a cidade de Salvador possuía uma população estimada de 2.857.329 milhões de habitantes, ocupando assim o ranking da quarta cidade mais populosa do país (IBGE, 2018), uma área peninsular de 694 km<sup>2</sup> e, devido a esta localização, está caracterizada por um clima tropical quente e úmido, com umidade relativa de 80,8%, temperatura média anual do ar de 25,2°C, velocidade média do vento aproximada de 3,1 ms<sup>-1</sup>, índices pluviométricos superiores a 1000 mm anuais e, na maior parte do ano, uma exposição à radiação solar aproximadamente perpendicular à sua superfície (MOURA *et al.*, 2006).

Para a construção do inventário no ano de 2018 foram consideradas as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado (MP), hidrocarbonetos totais não-metânicos (NMHC) e RCHO (aldeídos ??). A seleção dos poluentes deu-se em função dos dados disponíveis e por estes serem alguns dos considerados poluentes prioritários da qualidade do ar de acordo com a Resolução CONAMA n° 491/2018.

As emissões veiculares da frota circulante num determinado ano calendário, processando um determinado tipo de combustível e com uma determinada intensidade de uso foi estimada através do 2° método de cálculo da Agência Europeia do Ambiente (AEA). A Equação 1 apresenta o método descrito:

$$E_{p,t} = \sum_k \sum_i \sum_c (F_{k,t,c} \times FC_{p,k,t,c} \times K_{ma,k,t}) \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo:

$E_{p,t}$  = Emissão total de um poluente p em um ano t;

$F_{k,t,c}$  = Frota de veículos de uma categoria k, fabricados em um ano t e que processam um combustível c;

$FC_{p,k,t,c}$  = Fator de emissão corrigido de um poluente p, para veículos de uma categoria k, fabricados em um ano t e que processam um combustível c;

$K_{mak,t}$  = Quilometragem média anual desenvolvida por veículos de uma categoria k, fabricados em um ano t.

Vale ressaltar que ambos documentos (BRASIL, 2014 e CETESB, 2016) utilizam esta metodologia para elaborar o inventário de emissão atmosféricas por veículos automotores. Os fatores de emissão utilizados nesta pesquisa foram obtidos nestes documentos.

As estatísticas referentes ao número total de veículos e sua estratificação por categoria veicular, ano de fabricação e tipo de combustível processado, foram obtidas em DENATRAN (2018). Nos cálculos, considerou-se o mês de março/2018 e as tabelas utilizadas para a estratificação da frota foram: ano de fabricação e modelo, tipo e espécie e combustível processado. Para os veículos com ano de fabricação anteriores a 2008 em ambos os inventários foram considerados pertencentes a uma única categoria e seus fatores de emissões foram estimados através de uma média ponderada pelo número de veículos fabricados a cada ano anterior a 2008.

Para a elaboração do inventário de emissão na região de Salvador foram consideradas as categorias: automóvel, ônibus, micro-ônibus, caminhão, moto e comerciais leves como mostra o Quadro 1.

**Quadro 1: Distribuição da frota veicular.**

<b>Categoria</b>	<b>Classificação</b>	<b>Combustível processado</b>
Automóveis	Veículos leves	Gasolina, Álcool, Flex e Gnv.
Comerciais leves		Gasolina, Diesel, Álcool e Flex.
Motocicletas e similares		Gasolina e Flex.
Micro-ônibus	Veículos pesados	Diesel
Ônibus		Diesel
Caminhões		Diesel

**Fonte:** Próprio Autor (2018)

Com a criação do PROCONVE, são realizados ensaios para fins de pesquisa e homologação de veículos desde 1989, deles, são obtidos os fatores de emissão, a CETESB, que os registra e encaminha ao IBAMA nos pareceres de homologação. Assim, os fatores médios de emissão por ano de fabricação, ponderados pelo volume de vendas de cada modelo de automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto novos, são disponibilizados tanto anualmente pela CETESB em seus Relatórios de Emissões Veiculares, quanto no site do IBAMA.

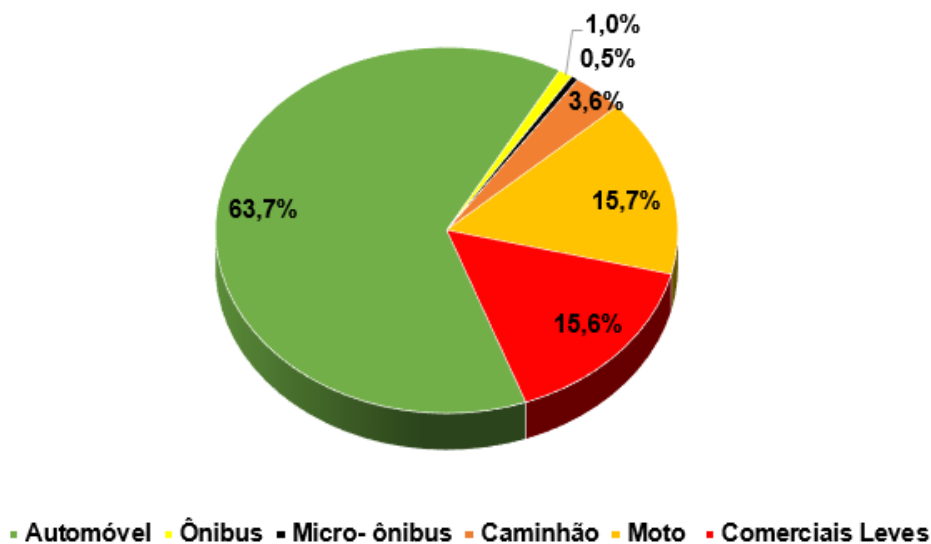
Como os fatores de emissão utilizados são provenientes de ensaios para veículos novos, fez-se necessário sua correção em função da quilometragem média rodada, corrigindo assim os fatores dos poluentes CO, NMHC e NOx dos veículos em ambos os inventários. Os valores de incremento foram extraídos de Brandão et al. (2018), não foram empregados fatores de incremento para motocicletas, veículos Diesel e GNV devido à ausência de dados ou estudos validados.

As intensidades de uso foram separadas para ambos os inventários, pois cada documento-base (BRASIL, 2014; CETESB, 2016) quantifica a intensidade de uso dos veículos de forma diferente,

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, podemos observar o percentual de cada categoria veicular na frota da cidade de Salvador para o ano de 2018. Nota-se que a maior parte da frota de Salvador é constituída de automóveis (63,7%), seguida de motos (15,7%) e veículos comerciais leves (15,6%).

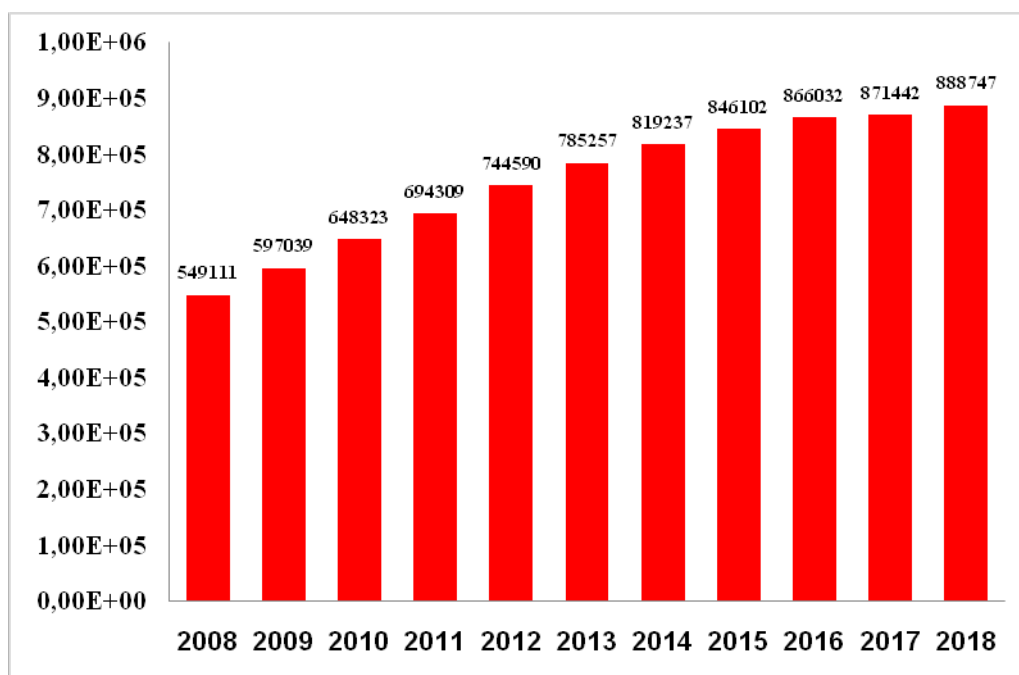
**Figura 1: Percentual de cada categoria veicular na frota da cidade de Salvador**



Fonte: Adaptado de DENATRAN (2018)

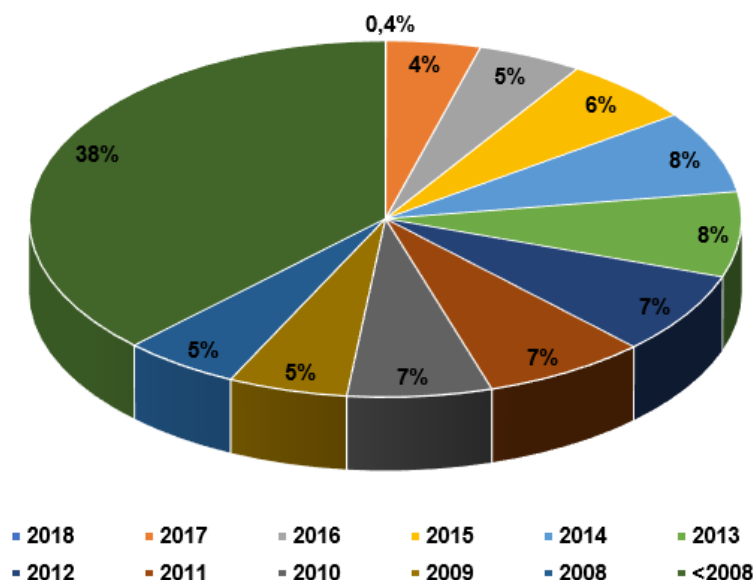
Nas figuras 2 e 3 é possível perceber o acréscimo de veículos nos últimos 10 anos em Salvador e a idade da frota de veículos, respectivamente. Observa-se um aumento maior que 35% para a frota veicular automotora na cidade e uma frota predominantemente caracterizada por veículos mais antigos, com idades maiores que 10 anos.

**Figura 2: Representação da frota de Salvador no período de 2008-2018**



Fonte: Adaptado de DENATRAN (2018).

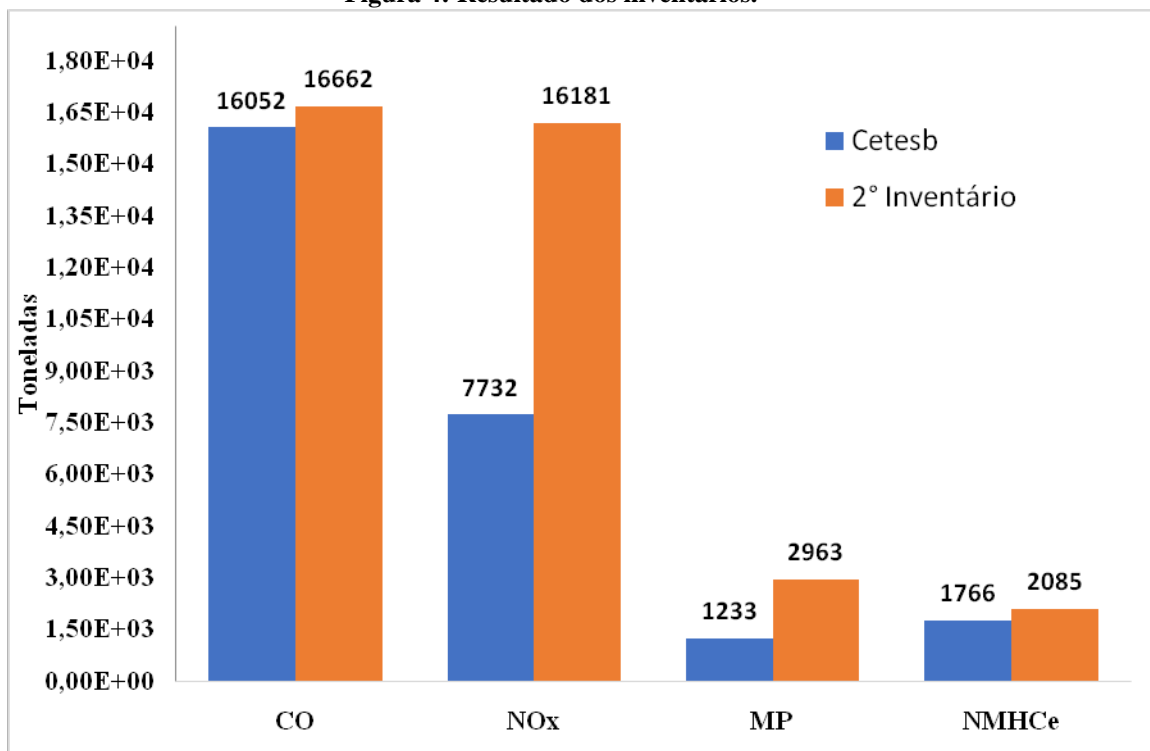
**Figura 3: Idade veicular**



Fonte: Adaptado de DENATRAN (2018).

Os resultados dos inventários obtidos para a cidade de Salvador em março de 2018 são apresentados na Figura 4.

**Figura 4: Resultado dos inventários.**



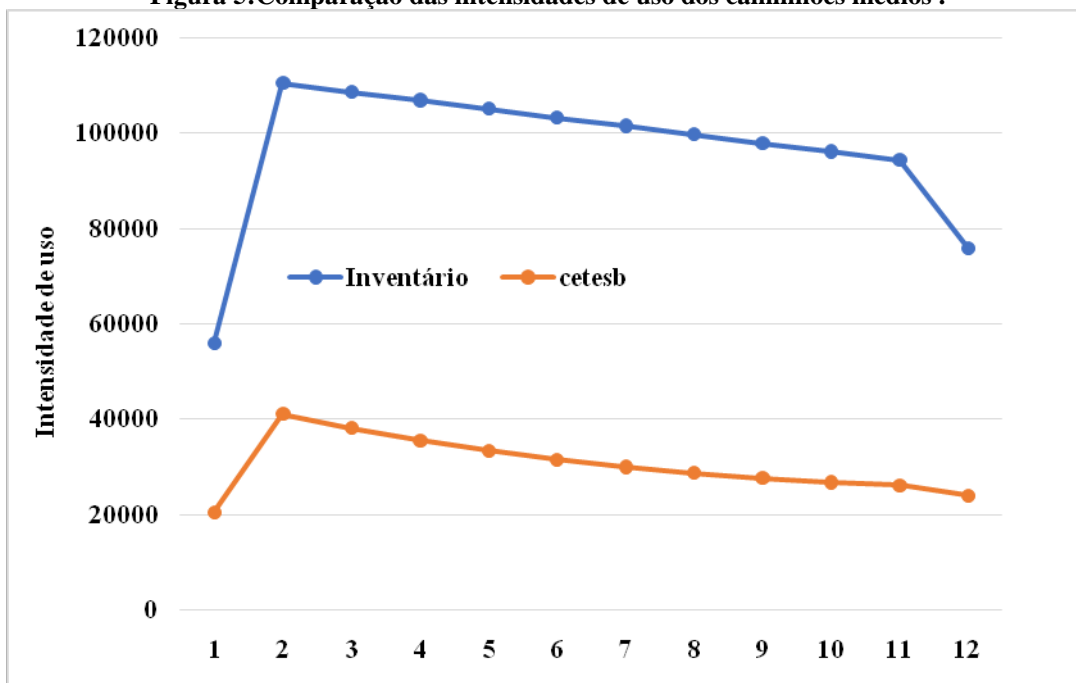
Fonte: Próprio autor. (2018)

Para o RCHO a diferença foi de 7 toneladas para mais quando utilizados os dados da CETESB (2016).

Os resultados apresentados na Figura 4 mostram que, para os poluentes CO, NMHC e RCHO não houve diferença significativa na sua emissão em ambos os inventários para o ano de 2018. Entretanto, para o

poluente NOx a diferença de emissão no inventário construído com os dados da CETESB (2016) é duas vezes menor que o inventário construído a partir dos dados de BRASIL (2014). Com relação ao MP a diferença foi de 13 vezes maior. Um dos fatores que influencia a diferença de emissão observada está nos valores de intensidade de uso (quilometragem média anual) utilizada em cada metodologia, principalmente para os veículos pesados como mostra a Figura 5.

**Figura 5: Comparação das intensidades de uso dos caminhões médios .**



Fonte: Proprio Autor. (2018)

Deve-se salientar também que em CETESB (2016) não se utiliza fatores de desgaste de pneus e pistas para o cálculo das emissões de MP e também não foram estimados a emissão de MP gerados pelas motocicletas devido à ausência dos dados. Estes fatores causaram uma redução no valor da emissão deste poluente.

Na Tabela 1 e 2 podemos observar a participação de cada categoria veicular (automóveis, comerciais leves, motocicletas e veículos pesados) na emissão de cada poluente para ambos os inventários. Como verificado, os automóveis constituem a categoria que mais contribuiu para as emissões de CO e NMHC. As motos foram a segunda classe mais representativa das emissões de CO e NMHC, já para os veículos pesados as maiores contribuições foram para o NOx e MP.

**Tabela 1: Participação de cada categoria veicular na emissão de poluentes a partir dos dados disponíveis em CETESB (2016).**

	CO	NOx	MP	NMHC	RCHO
<b>Automóvel</b>	<b>65,2%</b>	14,2%	2,6%	<b>55,0%</b>	<b>83,4%</b>
<b>Comerciais Leves</b>	13,8%	8,8%	10,7%	12,7%	<b>16,6%</b>
<b>Caminhão</b>	3,0%	<b>39,2%</b>	<b>49,0%</b>	7,3%	
<b>Moto</b>	<b>14,6%</b>	1,7%	-	<b>19,1%</b>	
<b>Ônibus</b>	2,9%	<b>31,8%</b>	<b>34,9%</b>	5,3%	
Micro-ônibus	0,5%	4,3%	2,8%	0,6%	

Fonte: Próprio Autor

**Tabela 2: Participação de cada categoria veicular na emissão de poluentes a partir dos dados disponíveis em BRASIL (2014).**

	CO	NOx	MP	NMHC	RCHO
Automóvel	<b>54,3%</b>	6%	3,8%	<b>39,7%</b>	<b>85,2%</b>
Comerciais Leves	12,0%	8,6%	2,6%	11,1%	<b>14,8%</b>
Caminhão	9,7%	<b>62,8%</b>	<b>74,3%</b>	<b>21,4%</b>	
Moto	<b>20,1%</b>	0,6%	0,6%	<b>21,2%</b>	
Ônibus	3%	<b>16,9%</b>	<b>12,9%</b>	5,1%	
Micro-ônibus	0,9%	5,1%	5,9%	1,5%	

**Fonte:** Próprio Autor

Analisando os resultados fica evidenciado que inventários elaborados com os dados da CETESB tendem a expressar uma menor quantidade de poluição veicular nos resultados, principalmente para os poluentes NOx e o MP, isso se deve ao fato de que os maiores emissores desses poluentes são os veículos pesados e como as metodologias abordam diferentes formas para determinação da intensidade de uso, principalmente para os caminhões, são gerados assim em valores diferentes.

Vale a pena salientar que BRASIL (2014) é um relatório nacional, logo a metodologia aplicada para o cálculo da intensidade de uso difere com a relação a CETESB (2016), pois naquele avalia-se a intensidade de uso média no país, enquanto a CETESB disponibiliza esta mesma informação a partir de medições efetuadas em veículos licenciados somente no Estado de São Paulo, ocasionando assim em valores de intensidade de uso bastante distintos.

A redução no poluente MP no inventário construído com os dados da CETESB também pode ser justificada pelo fato de, em BRASIL (2014), foram consideradas outras fontes de emissão como é o caso do desgaste de pneus e de pistas, o que levou a um aumento em torno de 70% nos fatores de emissão empregados nos cálculos.

Conforme BRASIL (2014) mesmo os fatores de desgaste de pneus e pista se tratam de fatores de emissão europeus, esses podem não refletir a realidade brasileira, tanto no que diz respeito à qualidade da pavimentação, quanto ao material de pneus e freios. Ainda assim, mesmo com as imprecisões destacadas, o aumento dessas emissões, causado pelo aumento da quilometragem percorrida pelos veículos ao longo do tempo, demonstra a importância de fazer tais estimativas como realizado no trabalho.

## CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, realizou-se dois inventários de emissões veiculares para a cidade de Salvador considerando a frota licenciada em março de 2018. A diferença na emissão total do inventário construído com os dados da CETESB é 70 % menor com relação ao inventário construído a partir dos dados disponibilizados no Inventário Nacional Rodoviário de 2013 (BRASIL, 2014).

Em ambos os inventários, os óxidos de nitrogênio foram os poluentes mais emitidos pelos veículos pesados (tendo os caminhões como sua principal fonte de emissão), seguido do monóxido de carbono (CO) emitido preponderantemente pelos automóveis.

É importante destacar que o ideal seria que cada estado/metrópole elaborasse suas medições de quilometragem média anual e determinasse seus próprios fatores de emissão a fim de evitar distorções como as observadas no trabalho, já que nitidamente estes foram os principais fatores que causaram as diferenças obtidas. Como regionalmente, os combustíveis podem apresentar alguma diferença em sua composição, o que leva a emissões diferenciadas, além possuírem vias de tráfego em diferentes condições de conservação, relevo e distâncias diferentes, espera-se que a intensidade de uso e os fatores de emissão sejam diferenciados em cada localidade.

Espera-se que os resultados desta pesquisa sirvam de parâmetro norteador para a comunidade interessada (órgãos ambientais, ONGs, instituições acadêmicas etc), auxiliando na elaboração de inventários de emissões e, portanto, auxiliando no cumprimento das metas do PCPV.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. 1º Inventário Nacional De Emissões Atmosféricas Por Veículos Automotores Rodoviários. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/182/\\_arquivos/emissoes\\_veiculares\\_182.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/182/_arquivos/emissoes_veiculares_182.pdf)>. Acesso em 20/02/2018.
2. CETESB. Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2011, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2012.
3. DELUCCHI et al. The health and visibility cost of air pollution: a comparison of estimation Methods. Journal of Environmental Management 64, 139–152, 2011.
4. DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito). Frota fabricada por município. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em 20/02/2018.
5. E.E.A (European Environment Agency). EmeP/Eea Air Pollutant Emission Inventory Guidebook – 2017. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>>.
6. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>>. Acesso em: 20/10/2018
7. INEA-Instituto Estadual do Ambiente Relatório publicado 2016 disponível em [www.inea.com.br](http://www.inea.com.br)
8. MOURA, T.; NERY, J.; ANDRADE, T.; KATZSCHNER, L. Mapeando as condições de conforto térmico em Salvador. Revista de Urbanismo e Arquitetura, Vol. 7, No 1, p.44-49, 2006.
9. DRUMM, F. C. et. al. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas, Rio Grande do Sul. V. 18 n., p. 66-78. Abril 2014.