

## **X-004 – EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS VEICULARES SALVADOR-BA BRASIL: 2009 A 2017**

### **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**

A poluição atmosférica tem sido um dos principais temas de interesse no meio científico, tendo em vista sua implicação na qualidade da saúde humana, dos ecossistemas e dos bens construídos, identificando-se com uma dimensão fundamental na busca do desenvolvimento sustentável. O crescimento desenfreado das cidades, o aumento contínuo da população e a intensa industrialização são fatores que impulsionaram o mundo até o cenário atual. O presente projeto de pesquisa tem como objetivo a elaboração do inventário de emissões veiculares da região de Salvador para o ano de 2017 e sua comparação com os últimos inventários realizados para esta região. Foi empregado o 2º método de cálculo da Agência Europeia do Ambiente (AEA), que utiliza fatores de emissão associados à quilometragem veicular para estimativa da emissão dos poluentes CO, NOx, MP e NMHC. Os resultados obtidos indicaram um total de 39168 toneladas emitidas em 2017, das quais 43% correspondem a emissão de CO, 44% a emissão de NOx, 8% de MP e 5% NMHC. O inventário obtido para a região de Salvador 2017 apresentou semelhança qualitativa com os inventários anteriores, em que os automóveis e caminhões foram às categorias veiculares mais poluidoras. Espera-se que os resultados desta pesquisa sirvam de parâmetro norteador para a gestão da qualidade do ar na cidade e incentivem à realização de novos desenvolvimentos e pesquisas voltados à sua preservação na região estudada.

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

### **INTRODUÇÃO**

O controle da qualidade do ar nas grandes cidades ganhou um importante destaque nos últimos anos em favor da redução das emissões veiculares devido às altas taxas de mortalidade atribuídas à poluição atmosférica nos últimos anos. Observa-se que, mesmo com a diminuição das emissões veiculares nos últimos anos, a poluição atmosférica ainda assim é uma grave ameaça à qualidade de vida (SANTOS, 2015).

De acordo com relatório publicado pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) no ano de 2016, 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, ano de publicação do primeiro estudo. Essa redução pode ser vista também no 2º inventário Nacional de emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários publicado em 2013, que 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.

Dados disponibilizados no site do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) afirmam que no Brasil o número de veículos foi de 94.581.229, em 2017. Para a cidade de Salvador ainda conforme o DENATRAN a frota de automóveis passou de 597039 em 2009 para 871442 em 2017 representando um aumento de 46%.

A poluição veicular tem uma participação acentuada na degradação da qualidade do ar atmosférico, principalmente em grandes centros urbanos. As emissões dos poluentes monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), óxidos de enxofre (SOx), material particulado (MP), hidrocarbonetos não metânicos (NMHC) podem gerar diversos tipos de problemas aos seres humanos (DUTRA, 2015). Drumm (2014) afirma que, no aparelho respiratório, a exposição prolongada a poluentes do ar leva a inflamações que podem destruir o epitélio das vias aéreas. No sistema cardiovascular, estas exposições podem provocar inflamação dos vasos sanguíneos e, conseqüentemente, levar a quadros de arritmia cardíaca.

No estudo efetuado por Miraglia (2014), a autora afirma que nas 29 regiões metropolitanas avaliadas o número de óbitos por ano totalizou 20.050 devido aos níveis de poluição atmosférica. Visto isto, é possível compreender o controle da qualidade do ar como uma ferramenta para a gestão da saúde urbana.

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 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) e avaliação do desempenho de tecnologias e de legislações ambientais (DELUCCHI, 2011).

Conforme visto, o presente projeto de pesquisa tem por objetivo a elaboração do inventário de emissões atmosféricas por fontes veiculares para o ano de 2017 da Região de Salvador e a comparação destes resultados com outros inventários de emissões realizados anteriormente nesta região.

## **OBJETIVO**

Elaboração do inventário de emissões veiculares da região de Salvador para o ano de 2017 e sua comparação com os últimos inventários realizados para esta região.

## **METODOLOGIA**

Segundo dados estimados em 2017 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Salvador conta com 2.953.986 milhões de habitantes sendo a quarta cidade mais populosa do país, localizada na costa Nordeste do país (latitude 12°58'16" S e longitude 38°30'39" W). Sua população está distribuída em uma área peninsular de 361 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).

No inventário do ano de 2017 na cidade de Salvador foram consideradas as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado (MP) e hidrocarbonetos não metânicos (NMHC). A seleção dos poluentes deu-se por estes serem considerados poluentes prioritários da qualidade do ar de acordo com a Resolução CONAMA n. 03 de 28/06/1990 e por estudos realizados em atmosferas urbanas como no trabalho realizado por Dias *et al.* (2016) na região de São Paulo e Ueda (2011) também na região metropolitana de Campinas. No Quadro abaixo são mostradas as categorias veiculares consideradas no inventário.

**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 (2017)

Para estimar as emissões veiculares da frota circulante num determinado ano calendário, foi empregado o 2º método de cálculo da Agência Europeia do Ambiente (AEA), que relaciona a frota de veículos com seu fator de emissão característico e com a quilometragem anual média desenvolvida por esta. A Equação 1 apresenta o método descrito:

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

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;

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

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 (2017), no meio do relatório que quantifica a frota mensalmente. Na construção do projeto o mês considerado foi março/2017 e as tabelas utilizadas para a estratificação da frota foram: ano de fabricação e modelo, tipo e espécie e combustível processado.

Os fatores de emissões utilizados na análise foram obtidos em BRASIL (2014) (Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013: ano-base 2012), os quais correspondem aos ensaios de homologação veicular do PROCONVE. Deve-se destacar que a escolha para extrair os dados deste relatório se deu pelo fato do mesmo ser o mais completo em termos de informações e dados.

Na elaboração do inventário de emissões todos os veículos com ano de fabricação anteriores a 2006 foram considerados pertencentes a uma única categoria tendo seus fatores de emissões estimados através de uma média ponderada pelo número de veículos fabricados a cada ano.

Como os fatores de emissões 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. Conforme recomendado em BRASIL (2014), um incremento médio por acúmulo de rodagem deve ser acrescido a cada 80.000km de uso. No Quadro 2 estão expostos os valores do incremento para cada poluente, ressaltando que não foram empregados fatores de incremento para motocicletas, veículos Diesel e GNV devido à ausência de dados ou estudos validados.

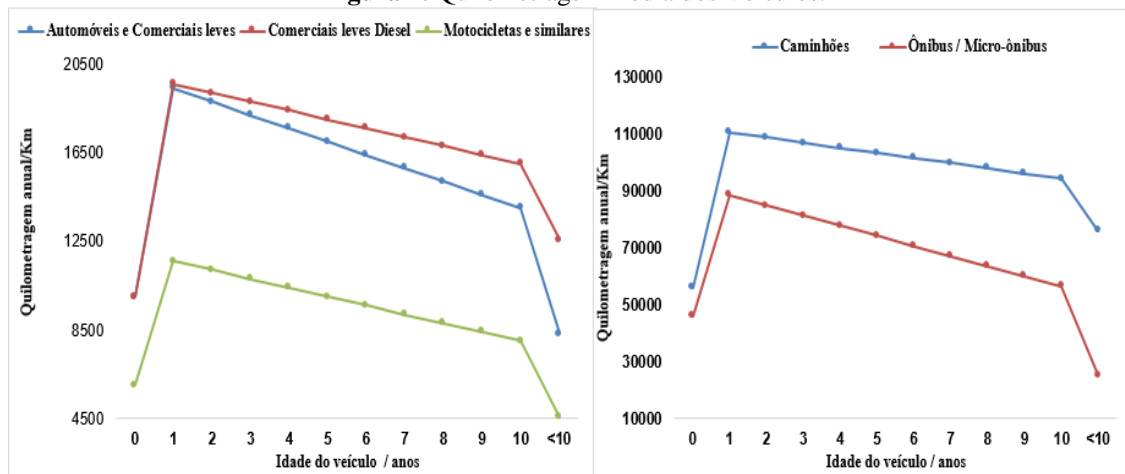
**Quadro 2:** Incremento por acúmulo de rodagem, em g/Km a cada 80.000Km.

Combustível	Poluentes		
	CO	NOx	NMHC
<b>Gasolina C</b>	0,263	0,03	0,023
<b>Etanol hidratado</b>	0,224	0,02	0,024

Fonte: Brasil (2014)

As informações com relação as quilometragens médias dos veículos por cada categoria foram extraídas de Brasil (2014). A quilometragem média rodada dos veículos fabricados antes do ano de 2006 foi estimada a partir de uma média ponderada das quilometragens médias estimadas para cada classe em função do ano de fabricação. As quilometragens médias dos micro-ônibus foram as mesmas dos ônibus urbanos, conforme BRASIL (2014), já para as quilometragens dos caminhões foram consideradas as referentes aos caminhões médios. Na Figura 1, apresentam-se as curvas de quilometragem anual dos veículos em função da sua idade veicular.

**Figura 1:** Quilometragem média dos Veículos.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Brasil (2014).

## RESULTADOS OBTIDOS

O inventário de emissões da cidade de Salvador para o ano de 2017 indicou uma redução nas emissões em relação aos anos anteriores. Esse resultado é apresentado no Quadro 3.

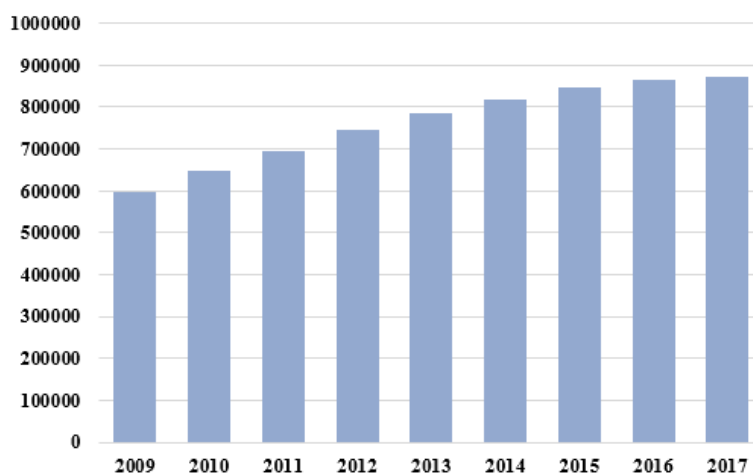
**Quadro 3:** Emissão de poluentes oriundos da frota veicular na cidade de Salvador.

Emissão de Poluente (toneladas /ano)			
CO	NMHC	NOx	MP
1,69E+04	2,17E+03	1,71E+04	3,02E+03

Fonte: Próprio Autor (2017)

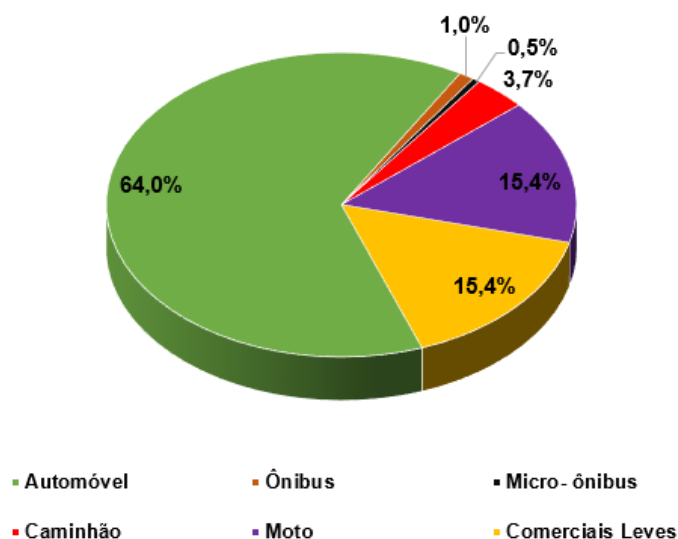
Os resultados apresentados neste projeto mostram que, mesmo com o expressivo aumento da frota circulante, como mostra a Figura 2, as emissões ao longo dos anos reduziram, fato este atribuído à evolução tecnológica induzida pelos programas de controle PROCONVE / PROMOT. Na Figura 3 pode-se observar o percentual de cada categoria veicular na frota licenciada para a cidade de Salvador.

**Figura 2:** Representação da frota de Salvador no período de 2009-2017



Fonte: Adaptado de DENATRAN (2017).

**Figura 3:** Percentual de cada categoria veicular na frota da cidade de Salvador.



Fonte: Adaptado de DENATRAN (2017)

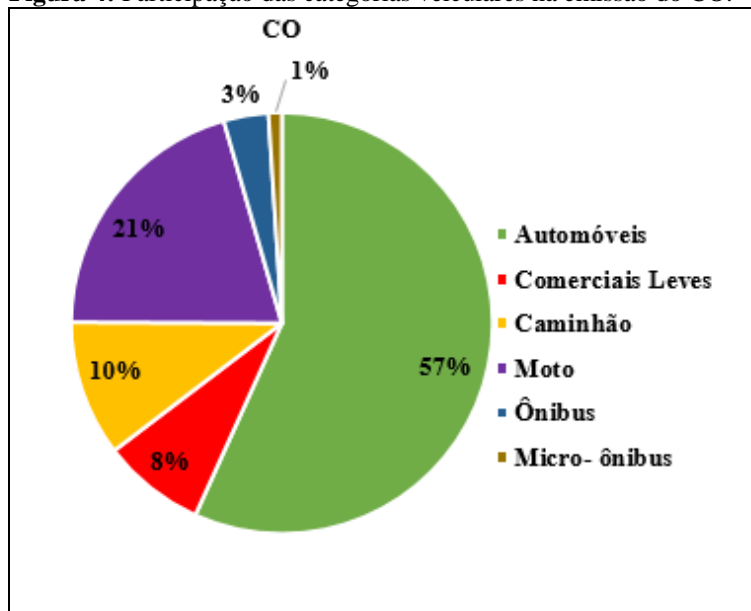
## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os gráficos mostrados nas Figuras 4 ,5 , 6 e 7 apresentam a participação de cada categoria veicular (automóveis, comerciais leves, motocicletas e veículos pesados) na emissão de cada poluente. 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, já para os veículos pesados as maiores contribuições foram observadas nas emissões de NOx e MP. O resultado demonstrou estar em concordância com as características dos motores do tipo diesel, pois estes motores possuem altos fatores de emissão para NOx em função da combustão mais rica em oxigênio e da adição atual de biodiesel no diesel combustível , o que aumenta as emissões de NOx (ALVES,2011).

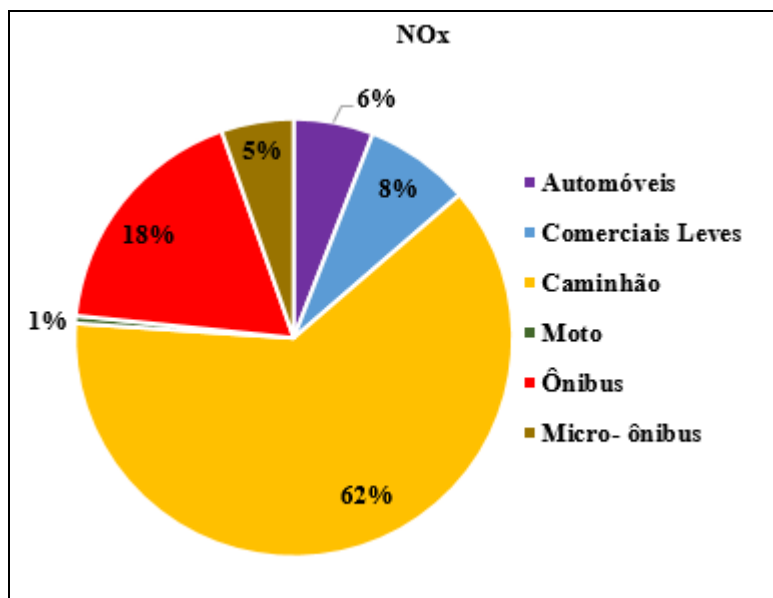
Com relação a maior emissão de MP por veículos pesados podemos relacionar com a quilometragem média rodada uma vez que os veículos pesados rodam cerca de 5 vezes mais que os automóveis pequenos e 9 vezes mais que as motocicletas.

**Figura 4:** Participação das categorias veiculares na emissão do CO.



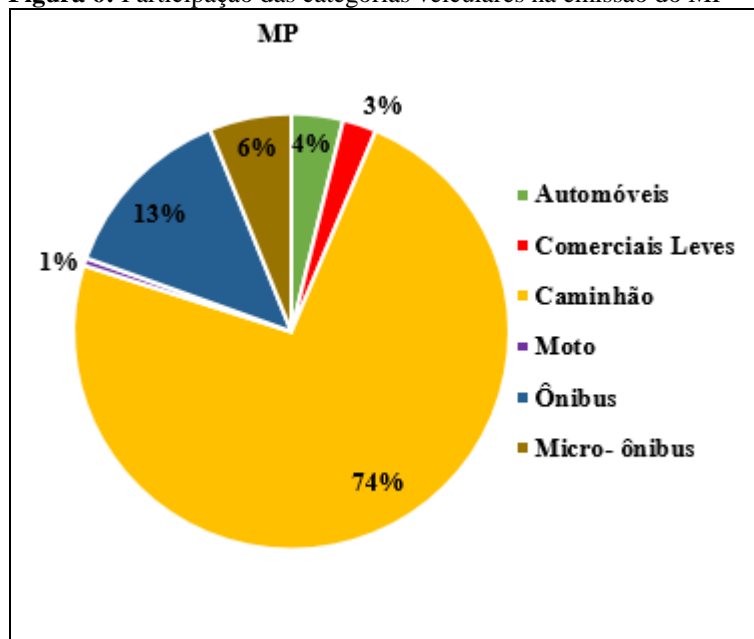
Fonte: Próprio Autor (2017)

**Figura 5:** Participação das categorias veiculares na emissão do NOx.



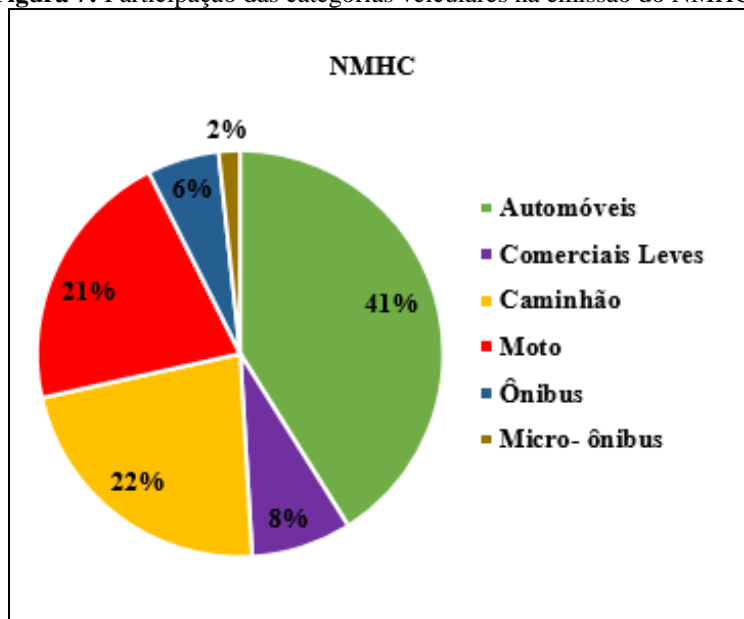
Fonte: Próprio Autor (2017)

**Figura 6:** Participação das categorias veiculares na emissão do MP



Fonte: Próprio Autor (2017)

**Figura 7:** Participação das categorias veiculares na emissão do NMHC.



Fonte: Próprio Autor (2017)

Foi realizada também uma análise das emissões em função da idade veicular e comparadas com os resultados de 2011, em geral 65% da frota da região de Salvador foi fabricada nos últimos 10 anos (em relação ao ano de 2017). Entretanto, como mostra o Quadro 4, a frota mais antiga de veículos contribuiu aproximadamente 54,3% no total das emissões enquanto que a frota fabricada nos últimos 10 anos foi responsável pelo restante (45,7%) destas emissões. Para o ano de 2011 esse valor foi ainda maior chegando a 61% das emissões provenientes dos veículos com mais de 10 anos de uso.

Ainda de acordo com o Quadro 4 é possível perceber o quanto é importante a implementação de programas que estimulem a renovação da frota para a cidade de Salvador, especialmente promovendo a substituição dos caminhões mais antigos.

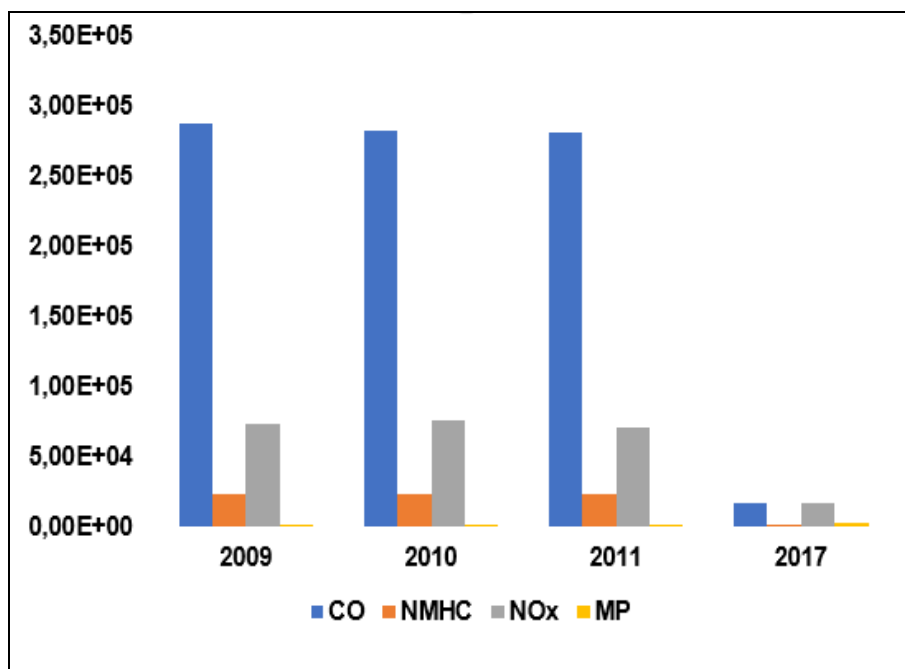
**Quadro 4:** Influência da idade veicular na emissão total.

2017		2011	
0	0,1%	0	2%
Ano-1	2,0%	Ano-1	3%
Ano-2	2,7%	Ano-2	2%
Ano-3	3,3%	Ano-3	3%
Ano-4	4,2%	Ano-4	3%
Ano-5	4,1%	Ano-5	3%
Ano-6	7,3%	Ano-6	2%
Ano-7	6,5%	Ano-7	2%
Ano-8	5,4%	Ano-8	3%
Ano-9	5,9%	Ano-9	5%
Ano-10	4,2%	Ano-10	6%
<Ano-11	54,3%	<Ano-11	61%

Fonte: Próprio Autor (2017)

Os resultados dos últimos inventários de emissões da região de Salvador (2009 a 2017) é apresentado na Figura 8. No qual verificou-se uma redução das emissões de CO, NOx, NMHC, entretanto houve um pequeno aumento para o MP.

**Figura 8:** Evolução das emissões veiculares nos últimos 8 anos (Toneladas)



Fonte: Próprio Autor (2017)



A redução das emissões de CO e NMHC estão associadas a renovação da frota de veículos, pois quanto mais novo o veículo menor será o seu fator de emissão devido a adoção de novas tecnologias empregadas em sua fabricação (DUTRA, 2015). E também devido aos programas de controle de poluição veicular como o PROCONVE e o PROMOT influenciando para a redução das emissões com a utilização de catalisadores e melhorias nos sistemas de alimentação de combustível. A redução da poluição veicular também foi diagnosticada no estado de São Paulo e no Rio de Janeiro publicado pela CETESB (2015) e INEA(2016) respectivamente. Essas reduções também foram alcançadas devido aos programas de controle.

A redução do NOx pode ser justificada pelas novas tecnologias aplicadas aos combustíveis, como exemplo: o ARLA-32 (Agente Redutor Líquido Automotivo) que constitui um agente químico que associado a catalisadores SCR (Redução Catalítica Seletiva) e converte os óxidos de nitrogênio em nitrogênio gasoso, tendo como principal função a redução quimicamente da emissão de óxidos de nitrogênios nos gases de escape dos veículos movidos a diesel (FELTES, 2010).

O aumento nas emissões do MP pode ser justificado pelo fato de os novos inventários estarem levando em consideração 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 atuais. No estudo realizado por Andrade et al. (2017) a concentração do MP no estado de São Paulo aumentou causando assim a morte de aproximadamente 10 mil pessoas por ano e que 17 mil mortes são relacionadas à poluição total. Os autores ainda defendem a implantação de uma frota de ônibus que não seja movida a diesel.

No inventário de emissões realizado por Dias et.al (2015) para a cidade de São Paulo, que considerou o período de estudo 2006 a 2014, também foram encontradas reduções na poluição atmosférica para os poluentes CO, NOx e NMHC, para o poluente CO a redução chegou a 70%, o poluente NMHC reduziu 68% e NOx reduziu 35%, já o MP houve um aumento de 25% em sua emissão no período em estudo.

Ações do governo ao longo do tempo para compreender e atuar sobre a poluição atmosférica urbana também influenciaram para a redução das emissões. Os Programas de Inspeção e Manutenção já são realidade há várias décadas em outros países, onde para um veículo circular legalmente é necessário que este seja submetido a ensaios para avaliar seus fatores de emissão e, caso esteja acima do permitido, este deve passar por posterior manutenção para voltar a trafegar (AGUIAR, 2013). Boa parte dos benefícios do PRONCOVE ainda está por vir, pois depende do sucateamento natural dos veículos e da implementação de programas de inspeção e manutenção dos veículos em uso, sendo prioritária a implantação em todo País de programas de inspeção e manutenção (BRASIL, 2013).

## CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa, realizou-se o inventário de emissões veiculares para a cidade de Salvador considerando a frota licenciada em março de 2017. As emissões veiculares de CO, NMHC, NOx tiveram uma redução na cidade de Salvador, mesmo com o crescimento da frota circulante do ano de 2009 a 2017. Estes resultados podem ser atribuídos às ações e programas do PROCONVE/PROMOT.

Dentre os poluentes inventariados, o óxido de nitrogênio foi o poluente mais emitido pelos veículos pesados (tendo os caminhões como sua principal fonte de emissão), seguido do monóxido de carbono (CO) emitido preponderantemente pelos automóveis.

O resultado do trabalho reforça a necessidade de implementação de um programa de sucateamento da frota por meio de ações que estimulem a renovação, especialmente promovendo a substituição dos caminhões mais antigos para a região de Salvador, pensando também em uma substituição da frota de ônibus a diesel por uma a biodiesel, gás ou quem sabe em uma frota de ônibus movida a energia elétrica, a fim de reduzir também a emissão de material particulado.

Espera-se que os resultados desta pesquisa sirvam de parâmetro norteador para a gestão da qualidade do ar na cidade de Salvador, auxiliando no planejamento e eficácia do monitoramento da qualidade do ar existente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR FILHO, A. M., ALBUQUERQUE, E. L.: Evolução das emissões de poluentes atmosféricos veiculares na Região Metropolitana de Salvador: 2009 a 2011. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia, 2013.
2. 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 24/03/2017.
3. 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.
4. CORRÊA, S. M.; ARBILLA, G.; MARQUES, M.R.C.; OLIVEIRA, K. M.P.G: The impact of BTEX emissions from gas stations into the atmosphere, Atmospheric Pollution Research, v. 3, p. 163-169, 2012.
5. DELUCCHI et al. The health and visibility cost of air pollution: a comparison of estimation Methods. Journal of Environmental Management 64, 139–152, 2011.
6. DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito). Frota fabricada por município. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em 24/03/2017.
7. Dias, C; BALES, M; SILVA, S. A evolução das emissões veiculares no estado de São Paulo com a inclusão das emissões de abastecimento, no período de 2006 a 2014. SIMEA 2015, São Paulo.
8. 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.
9. 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>>.
10. FELTES, S. et al. Inventário das emissões atmosféricas das fontes móveis da Região Metropolitana de Porto Alegre - RMPA / frota diesel/biodiesel. In: XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química. 2010.
11. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>>. Acesso em: 25/03/2017
12. INEA-Instituto Estadual do Ambiente Relatório publicado 2016 disponível em [www.inea.com.br](http://www.inea.com.br)
13. MIRAGLIA, K.; Georges, S.; Gouveia N.. Costs of air pollution in Brazilian metropolitan, Brazil. Ciência & Saúde coletiva , pp. 4141–4147. 2014
14. 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.
15. SANTOS, D. F: Estudo dos compostos BTEX na atmosfera da cidade de Salvador utilizando amostragem passiva. Universidade Federal da Bahia dissertação mestrado, 2015.
16. UEDA, A. C: Estudo de compostos orgânicos voláteis na atmosfera da região metropolitana de Campinas. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Tese de Doutorado, 2010.