

Gases de escapamento e a comparação de ecoeficiência entre os meios de transporte mais utilizados na cidade de Macaé-RJ

Exhaust gases and the eco-efficiency comparison between the most used means of transportation in Macaé, RJ

Diego Tudesco Moreira Rocha*

Cristine Nunes Ferreira**

Resumo

Ao longo dos últimos anos, a cidade de Macaé vem sofrendo um grande impacto no trânsito urbano devido ao crescimento no número de automóveis. Entre dezembro de 2010 e junho de 2011, por exemplo, houve um crescimento de 1.974 automóveis (DETRAN-RJ, 2011). Devido à indústria do petróleo instalada na cidade, o crescimento populacional, entre o ano 1970 e o ano 2010, por exemplo, foi de 159.507 habitantes (IBGE, 2012; TERRA e RESSIGUIER, 2011). Com a crescente demanda por transportes de passageiros, além do aumento no número de automóveis, o número de ônibus também registrou praticamente uma duplicação na frota entre os anos de 2008 e 2011 (MELO, 2008; SITMACAE, 2011). Este estudo aborda a comparação entre as emissões de poluentes atmosféricos de automóveis e ônibus, os quais são os mais utilizados pela população da referida cidade. Apesar do aumento no número de automóveis, o dos ônibus apresenta um melhor custo-benefício, devido ao fator passageiro-polvente-quilômetro rodado.

Palavras-chave: Passageiros. Transportes. Poluentes atmosféricos.

Abstract

For the last few years, the city of Macaé has been suffering an impact on urban traffic due to increasing in number of vehicles. Between December 2010 and June 2011, for example, there was an increase of 1,974 cars (DETRAN-RJ, 2011). The oil industry caused a population growth of 159,507 inhabitants in the city between 1970 and 2010 (IBGE, 2012; TERRA e RESSIGUIER, 2011). With the increase in passenger transport

* Engenheiro Civil da Fundação Departamento de Estradas de Rodagem do estado do Rio de Janeiro, DER/RJ. Mestrando em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Brasil; E-mail: lordiego@ig.com.br.

** Doutora em Física pelo Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas; Professora do Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, IF Fluminense, Brasil. E-mail: crisnfer@ifff.edu.br.

demand, besides the increase in number of cars, the quantity of buses also registered a duplication of fleet between 2008 and 2011 (MELO, 2008; SIT, 2011). This study approaches a comparison between air pollutant emissions from cars and buses, the most commonly used transportation in Macaé. Despite an increase in number of cars, buses present a better cost-benefit because of pollutant per passenger-kilometer factor.

Key words: Passengers. Transportation. Air pollutants.

Introdução

O setor de transportes é responsável por 1,3 bilhão de toneladas de dióxido de carbono. Além disso, representa 60% das emissões de monóxido de carbono, 42% das emissões de óxidos de nitrogênio e 40% das emissões de hidrocarbonetos (DAVID, 2009). Os impactos desses poluentes atmosféricos são significativos, visto que influem diretamente na saúde humana (BRAGA, 2009). Os veículos terrestres contribuem dia a dia para a degradação dos sistemas respiratório e circulatório, por exemplo. Para minimizar esses impactos, foram adotadas medidas como o Padrão Europeu de Emissões – EURO – e o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE. Neste estudo, o primeiro é aplicado aos ônibus e o segundo é aplicado aos automóveis.

A capacidade de transporte de passageiros, entre os anos de 2008 e 2012, variou significativamente no caso dos automóveis. No período citado, o número subiu de 38.633, em janeiro de 2008, para 51.652, em janeiro de 2012 (DETRAN-RJ, 2012). Mesmo com tal variação, o acréscimo na frota de ônibus no mesmo período fez com que a capacidade de transporte do meio coletivo, considerando os poluentes atmosféricos emitidos por quilômetro rodado, fosse mais eficiente em relação aos automóveis.

Metodologia

Área de estudo

A área abordada compreende o município de Macaé, com 1.216,845 km², localizada na região norte do Estado do Rio de Janeiro com uma população de 206.728 habitantes (IBGE, 2012). A cidade de Macaé vem sofrendo, nas últimas décadas, grandes impactos em diversas áreas, como habitação, transportes e segurança, por exemplo. Com a instalação de uma das unidades da Petrobras no bairro Imbetiba, a indústria do petróleo atua na cidade desde a década de 70, influenciando substancialmente na logística local.

A partir da instalação de uma das unidades da Petrobras no bairro Imbetiba na década de 70, a indústria do petróleo tem influenciado a logística local significativamente,

com o trânsito de automóveis e carretas, por exemplo, aumentando gradativamente desde então. As adições anuais no trânsito de cargas pesadas e nos veículos de pequeno e médio porte, por exemplo, fizeram com que a capacidade de circulação urbana sofresse uma redução gradativa, chegando ao registro dos engarrafamentos, comuns em cidades de médio e grande porte (OPAS, 2010). Entre os anos de 2001 e 2012, por exemplo, o número de automóveis passou de 21.514, em janeiro de 2001, para 51.652, em janeiro de 2012, aumentando em veículos (DETRAN-RJ, 2012).

Materiais e Método

Os materiais utilizados durante a presente pesquisa foram livros técnicos citados, computador e máquina calculadora. A metodologia está alicerçada em específico levantamento bibliográfico, realizado entre os anos de 2009 e 2012, quando foram executados cálculos e reunidas informações técnicas. O acesso a informações do DETRAN-RJ, IBGE e SITMACAE, por meio da internet, foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa.

Resultados preliminares

Em cinco anos, o número de ônibus urbanos passou de 97 para 209 veículos. Considerando uma capacidade unitária média de 37 passageiros, tem-se que a capacidade adicional transportada é de 4.144 passageiros (MELO, 2008; SITMACAE, 2011). No mesmo período, o número de automóveis passou de 38.633 (jan./2008) para 51.652 (jan./2012). Como a capacidade unitária média é de quatro passageiros, e trabalha-se apenas com veículos movidos a gasolina devido ao PROCONVE, tem-se que a capacidade transportada adicional é de 44.140 passageiros (DETRAN-RJ, 2011).

Caberia verificar o fato de que é comum os automóveis transportarem passageiros abaixo da sua capacidade nominal, enquanto os ônibus, ao contrário, costumam transportar número muito superior nos horários de maior fluxo. Tal fato, porém, não foi considerado nos cálculos presentes neste estudo.

Janeiro de 2008																				
Município	Auto	Moto	MotN	Cicl	Tric	Quad	Onib	MON	CamE	CamA	CamI	CamT	TraR	TraE	TraM	Rebo	Semi	Side	Util	Total
MACAE	38.633	11.541	2.437	10	114	ND	751	562	2.192	4.465	2.458	434	36	2	19	831	510	7	113	65.115

Figura 1: Frota por tipo de veículo em Macaé - janeiro de 2008

Fonte: DETRAN-RJ, 2012

Janeiro de 2012																				
Município	Auto	Moto	MotN	Cicl	Tric	Quad	Onib	MOñi	CamE	CamA	CamI	CamT	TraR	TraE	TraM	Rebo	Semi	Side	Util	Total
MACAE	51.652	17.562	3.689	17	99	ND	909	750	4.404	4.466	2.781	714	48	2	19	1.161	852	7	495	89.627

Figura 2: Frota por tipo de veículo em Macaé - janeiro de 2012

Fonte: DETRAN-RJ, 2012

O total de automóveis movidos a gasolina, em janeiro de 2008, era de 31.274; já em janeiro de 2012, tem-se 42.309, ou seja, aproximadamente 26,08% de aumento.

Janeiro de 2008																		
Município	Alc	Gas	Die	Gge	Met	EFI	EFE	GGmv	AGmv	DGmv	AGnv	GGnv	DGnv	Gnv	AlGa	AGGnv	Nm	Total
MACAE	4.173	40.515	5.857	ND	4	ND	ND	ND	ND	ND	297	6.208	1	ND	5.859	854	1.347	65.115

Figura 3: Frota por combustível em Macaé - janeiro de 2008

Fonte: DETRAN-RJ, 2012

Janeiro de 2012																		
Município	Alc	Gas	Die	Gge	Met	EFI	EFE	GGmv	AGmv	DGmv	AGnv	GGnv	DGnv	Gnv	AlGa	AGGnv	Nm	Total
MACAE	3.996	46.914	7.312	ND	4	ND	ND	ND	ND	ND	367	6.996	ND	ND	20.039	1.980	2.019	89.627

Figura 4: Frota por combustível em Macaé - janeiro de 2012

Fonte: DETRAN-RJ, 2012

A combustão proporcionada pelos automóveis tem como resultado a maior parcela de poluentes atmosféricos nas cidades, proveniente do tráfego dos mesmos (OPAS, 2010). O método implementado para reduzir tais emissões é a legislação de padrões de emissões, conhecida como Padrão Europeu de Emissões (EURO) e definida pelas Diretivas da União Europeia. Abaixo, a Tabela 1 descreve as emissões máximas permitidas para os ônibus:

Tabela 1: Limites de emissões de gases de escape para motores Diesel

Padrão	Período	CO (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	HC (g/kWh)	PM (g/kWh)
EURO 0	1988-1992	12,3	15,8	2,6	–
EURO I	1992-1995	4,9	9,0	1,23	0,40
EURO II	1995-1999	4,0	7,0	1,1	0,15
EURO III	1999-2005	2,1	5,0	0,66	0,1
EURO IV	2005-2008	1,5	3,5	0,46	0,02
EURO V	2008-2012	1,5	2,0	0,46	0,02

Fonte: WIKIPEDIA, 2011; Ladeira, 2010

No Brasil, similares ao Padrão Europeu de Emissões, utiliza-se para controle das emissões de poluentes atmosféricos emitidos por veículos automotores as Resoluções CONAMA n° 315 e n° 18, as quais dispõem sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE. Segue-se um trecho do artigo 4 da Resolução CONAMA n° 315/2002, que descreve as emissões máximas permitidas por quilômetro para os automóveis:

- Monóxido de carbono (CO): 2,0 g/km;
- Hidrocarbonetos não metano (NMHC): 0,05 g/km;
- Óxidos de nitrogênio (NOx) para motores do ciclo Otto: 0,12 g/km;
- Aldeídos (HCO), somente para motores ciclo Otto (exceto gás natural): 0,02 g/km.

A rodagem média diária dos ônibus urbanos é de 1.500 quilômetros (SITMACAE, 2011). Os intervalos das paradas de operação foram 11, considerando os esforços realizados pelos operadores. A eficiência aproximada para o ônibus é de 0,45 kWh/vehicle-km. Então, calcula-se:

$$\mathbf{PE3} = [(\mathbf{v}) \times (\mathbf{e}) \times (\mathbf{q}) \times (\mathbf{pE3})] / (\mathbf{n}) \quad (1)$$

Onde:

v = veículos;

n = número de usuários transportados;

e = eficiência aproximada;

q = quilometragem diária;

pE3 = poluente considerado pela norma EURO;

PE3 = resultado do poluente calculado, em g/passageiro-dia.

A rodagem média diária para os automóveis é de 47,58 quilômetros, obtida através de anúncios de veículos usados de Macaé-RJ, nos sites icarros.com.br (Renault Logan 2008/2008 - 70.242 km, Chevrolet Meriva 2004/2005 - 82.000 km), autosbr.com (Fiat Palio Weekend Adventure 2004 - 162.763 km, Fiat Palio Fire 2005 - 58.000 km) e carros.trovit.com.br (Fiesta sedan 2007/2008 - 43.000 km, Focus Guia Hatch 2009 - 50.800 km). Então, calcula-se:

$$\mathbf{PRC} = [(\mathbf{v}) \times (\mathbf{q}) \times (\mathbf{pRC})] / (\mathbf{n}) \quad (2)$$

Onde:

v = veículos;

n = número de usuários transportados;

q = quilometragem diária;

pRC = poluente considerado pela Resolução CONAMA;

PRC = resultado do poluente calculado, em g/passageiro-dia.

Fazendo os cálculos de comparação, os quais consideram as emissões máximas de poluentes atmosféricos de automóveis e ônibus, a partir das equações 1 e 2, seguem os resultados na Tabela 2 (unidade g/dia):

Tabela 2: Carga de emissões de poluentes atmosféricos entre automóveis e ônibus

Veículo \ Poluente	CO	NO _x	HC	MP	HCO
Automóveis (c)	4.026.124,44	241.567,47	100.653,11	–	40.261,24
Ônibus (o)	211.612,50	493.762,50	64.894,50	2.821,50	–
Diferença (c – o)	3.814.511,94	-252.195,03	35.758,61	-2.821,50	40.261,24

Fonte: elaboração do autor, 2012

Considerando as capacidades de transporte e as emissões máximas de poluentes atmosféricos de automóveis e ônibus, a partir das equações 1 e 2, seguem os resultados na Tabela 3 (unidade g/passageiro-dia):

Tabela 3: Comparativo da carga de emissões entre automóveis e ônibus por passageiro transportado

Veículo \ Poluente	CO	NO _x	HC	MP	HCO
Automóveis (c)	1.006.531,11	60.391,87	25.163,28	–	10.065,31
Ônibus (o)	5.719,26	13.344,93	1.753,91	76,26	–
Diferença (c – o)	1.000.811,85	47.046,94	23.409,37	-76,26	10.065,31

Fonte: elaboração do autor, 2012

As diferenças observadas nas Tabelas 2 e 3 demonstram a eficiência do modal coletivo. As emissões diárias relativas ao monóxido de carbono são as mais significativas. Apesar de os ônibus serem uns dos maiores emissores de NO_x e MP, a carga de emissões automotivas é aproximadamente 15 vezes superior à carga emitida pelos ônibus. Os aldeídos emitidos pelo modal individual, juntamente com óxidos de nitrogênio, PAN e ozônio, resultam no chamado *smog* fotoquímico (BRAGA, 2005).

A eficiência em passageiro-poluente-quilômetro de cada um dos modais segue na Tabela 4 (unidade g/passageiro-dia/km):

Tabela 4: Comparativo da eficiência entre automóveis e ônibus em poluente por passageiro por quilômetro rodado

Veículo \ Poluente	CO	NO _x	HC	MP	HCO
Automóveis (c)	21.154,50	1.269,27	528,86	–	211,55
Ônibus (o)	8,47	19,77	2,60	0,11	–
Diferença (c – o)	21.146,03	1.249,50	526,26	-0,11	211,55

Fonte: elaboração do autor, 2012

A cada quilômetro, os automóveis emitem 2.498 vezes mais monóxido de carbono, 64 vezes mais óxidos de nitrogênio e 203 vezes mais hidrocarbonetos que os ônibus. A necessidade do desenvolvimento dos modais públicos, em detrimento dos individuais à base de combustíveis fósseis, é uma realidade comprovada (ASSIS, 2001).

Conclusões

Em pouco mais que uma década, o número de automóveis passou de 21.514 para 51.652 unidades, ou seja, houve um aumento de aproximadamente 140%. Somente no período entre os anos de 2008 e 2012, responsável por 60% do referido aumento, a carga de poluentes atmosféricos emitida pelos automóveis representa pouco menos da metade do total de 12 anos analisados, o que demonstra que dentro desse intervalo de tempo houve um aumento significativo no tráfego e nas emissões para a atmosfera. No mesmo período, os ônibus urbanos passaram de 97 para 209 unidades, aumentando em 115%, representando a carga de poluentes atmosféricos emitida pouco mais do que o dobro do que se emitia em 2008.

Comparando os dois modais, entre os anos de 2008 e 2012, os automóveis foram responsáveis por um aumento aproximado de 35% na carga emitida de monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos; em contrapartida aos 115% por parte dos ônibus, além de 35% na carga de aldeídos, em contrapartida aos 115% de carga de material particulado emitida pelos ônibus. Apesar da aparente diferença de 80% a mais para os ônibus, a carga total adicional emitida pelos automóveis foi de 1.149.849,20 g/dia, enquanto que para os ônibus foi de 414.288 g/dia, ou seja, aproximadamente três vezes mais.

A concentração de poluentes atmosféricos, ao longo dos últimos anos, vem afetando a saúde humana. O contato direto com gases como o monóxido de carbono e os óxidos de nitrogênio é extremamente prejudicial, pois pode causar carboxi-hemoglobina no sangue e complicações nos pulmões, por exemplo. A continuidade nas adições que se tem observado afetará ainda mais aparelhos do corpo humano, como o circulatório e o respiratório (BRAGA, 2009). A fim de minimizar tais efeitos, o Padrão Europeu de Emissões (EURO) é constantemente revisado, estimulando a evolução dos motores a combustíveis fósseis com a finalidade de reduzir as emissões de cada poluente abrangido pela norma.

No Brasil, a evolução do Padrão Europeu de Emissões é acompanhada pelo PROCONVE. A EURO 0 corresponde a Fase II (P2) do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores, por exemplo. As metas mais recentes são a EURO V e a Fase VII (P7), respectivamente (LADEIRA, 2010). A maior rigidez nas emissões gera benefícios tanto para a sociedade, quanto para o setor de transportes, que, conseqüentemente, colabora com a diminuição nas concentrações de gases em escala global. O monóxido de carbono emitido, por exemplo, tende a reagir com o oxigênio, formando assim o dióxido de carbono (CO₂). Este último, em altas concentrações, contribui com o desequilíbrio no efeito estufa. As periódicas reduções de sua emissão aplicadas na EURO nos últimos 24 anos representam hoje aproximadamente 88% menos do que se emitia entre as décadas de 80 e 90, o que sem dúvida é uma evolução

expressiva que contribui com a sustentabilidade.

A renovação de boa parte da frota de veículos terrestres ou a adequação dos motores da mesma é uma necessidade constante, a fim de acompanhar o processo evolutivo da EURO e do PROCONVE. Para que as reduções determinadas sejam alcançadas, tais ações têm suma importância. A eficiência energética veicular gera ecoeficiência. Para atingir tal objetivo, o desenvolvimento tecnológico de motores a diesel, por exemplo, incorpora filtros DPF (retentores de material particulado), Sistema SCR (catalizadores de redução seletiva) e ARLA 32 (injetores de ureia como agente redutor de líquido automotivo). Assim, são utilizados sistemas de pós-tratamento em vez da atual injeção eletrônica de alta pressão. Completa o pós-tratamento a utilização do diesel S10/S50 com biodiesel B5, com menor teor de enxofre que os utilizados em larga escala (LADEIRA, 2010). A eficiência observada nos ônibus, superior a dos automóveis, pode melhorar ainda mais com a adoção de tecnologias como a citada anteriormente. A ecoeficiência dos modais públicos e sua ampla propagação pode fazer com que a sociedade passe a priorizá-los, em detrimento dos modais individuais, como o automóvel (ASSIS, 2001).

Referências

ASSIS, J. C. Brasil21: uma nova ética para o desenvolvimento. Rio de Janeiro: CREA-RJ, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6601/01: Veículos Rodoviários Automotores Leves - Determinação de Hidrocarbonetos, Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrogênio e Dióxido de Carbono no Gás de Escapamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ARAIÍNDIA. Standards for Petrol: Diesel Engined Vehicles. Disponível em: <https://www.araiindia.com/CMVR_TAP_Documents/Part-15/Part-15_Chapter03.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2010.

BRAGA, B. et al. Introdução à Engenharia Ambiental. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana. Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/cidades/paper_saldiva.pdf>. Acesso em: 28 set. 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de

Análise de Situação em Saúde. Mortalidade por Acidentes de Transporte Terrestre no Brasil. Brasília: Ministério da Saúde, 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA Nº 315. Brasília: MMA, 2002.

DAVID, E. G. O Futuro das Estradas de Ferro no Brasil. Niterói: PORTIFOLIUM S.D.P. VISUAL, 2009.

DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Estatísticas de Veículos. Disponível em: <http://www.detran.rj.gov.br/_estatisticas.veiculos/02.asp>. Acesso em: 23 fev. 2012.

DIESELNET. European Stationary Cycle. Disponível em: <<http://www.dieselnets.com/standards/cycles/esc.html>>. Acesso em: 27 dez. 2010.

DIESELNET. European Load Response. Disponível em: <<http://www.dieselnets.com/standards/cycles/elr.html>>. Acesso em: 27 dez. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE Cidades@ Macaé-RJ. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 23 fev. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. PROCONVE/PROMOT. Série Diretrizes Gestão Ambiental. Brasília: MMA, 2004. (Coleção Meio Ambiente; v. 1).

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. PROCONVE/PROMOT. Série Diretrizes Gestão Ambiental. Brasília: MMA, 2004. (Coleção Meio Ambiente; v. 2).

LADEIRA, V. A Fase P-7 do PROCONVE e os seus Impactos no Setor de Transporte. Rio de Janeiro: CNT, 2010.

MELO, R. L. C. Diagnóstico de sistema integrado de transportes de passageiros com uso de sistema de informação geográfica: o caso da cidade de Macaé-RJ, Brasil. Mendoza: CIFOT, 2008.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE. Pela Defesa do Transporte Público Seguro e Saudável: Maior Participação da Saúde em uma Estrutura Multisetorial. Washington: OPAS, 2010.

SITMACAE. Inovação a serviço do transporte. Disponível em: <<http://www.sitmacae.com.br/noticias.html>>. Acesso em: 2 set. 2011.

TERRA, D. C. T.; RESSIGUIER, J. H. Impactos sociais, ambientais e urbanos das atividades petrolíferas: o caso de Macaé. Disponível em: <http://www.uff.br/macaeimpecto/OFCINAMACAE/pdf/22_DeniseTerra.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2012.

WIKIPÉDIA. European Emission Standards. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards>. Acesso em: 17 maio 2011.

WIKIPÉDIA. Fuel Efficiency in Transportation. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_efficiency_in_transportation>. Acesso em: 21 maio 2011.