

Evolução das emissões dos gases automotivos de veículos do ciclo Otto em Recife (Pernambuco)

Evolution of emissions of automotive gases of vehicles of Otto's cycle in Recife (Brazil)

Alexandre Valença do Nascimento Silva¹, Werônica Meira de Souza¹

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil.

Todos autores contribuíram de forma igualitária

Contato: weronicameira@gmail.com

Palavras-Chave

poluição atmosférica
emissão veicular
centro urbano

RESUMO

Nas grandes metrópoles, os veículos automotivos contribuem de forma significativa com a injeção de gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarbonetos (HC) comprometendo a qualidade do ar atmosférico. Na busca por veículos mais econômicos e com menores níveis de emissão, os fabricantes passaram a investir em tecnologia construindo motores melhores. Este trabalho teve como objetivo avaliar a evolução das emissões dos gases monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarbonetos, por ano dos veículos movidos a gasolina e etanol. Através da análise de emissão em marcha lenta, os veículos com menos idade e/ou com baixa quilometragem emitem menos hidrocarbonetos com redução de aproximadamente 86,8% para baixa rotação e de 82,4% para alta rotação. O monóxido de carbono apresenta redução de aproximadamente 93,9% para baixa rotação e de 87,2% para alta rotação. Mas o dióxido de carbono apresenta a maior taxa de emissão para com crescimento de aproximadamente 154% para baixa rotação e de 120,3% para alta rotação.

Key-word

air pollution
vehicular emission
urban center

ABSTRACTS

In large metropolises, the effect gases contributed significantly with the injection of gases such as Carbon Monoxide (CO), Carbon Dioxide (CO₂) and Hydrocarbons (HC) into an atmospheric air quality. In the search for older vehicles with lower emission levels, manufacturers have started to invest in technology by building better engines. This work aimed to reduce the emission of CO, CO₂ and HC gases from Otto cycle vehicles, as well as the vehicle as a gasoline as an alcohol. Through the emission analysis at idle, the vehicles with the lowest age and / or mileage are less hydrocarbons with a reduction of 86.8% for low speed and 82.4% for high rotation. Carbon Monoxide has a reduction of 93.9% for low speed and 87.2% for high rotation. But Carbon Dioxide has an emission rate with a superior growth rate of 154% for low rotation and 120.3% for high rotation.

Informações do artigo

Recebido: 12 junho, 2019

Aceito: 14 agosto, 2019

Publicado: 30 agosto, 2019

Introdução

Atualmente as grandes concentrações humanas existentes, em sua maior parte nas grandes cidades, utilizam recursos naturais para a manutenção de seu padrão de vida. Como consequência, a geração dos resíduos, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos, são produzidos através de processos necessários para a sobrevivência.

Uma das consequências da geração de resíduos é a poluição atmosférica, esta vem a afetar diretamente a qualidade do ar. Ademais, a poluição atmosférica tem-se constituído numa das mais graves ameaças à qualidade de vida de seus habitantes (SOUZA; AZEVEDO, 200; TELLES, 2011). Esse tipo de poluição consiste na emissão de compostos perigosos ao meio ambiente, por uma série de atividades naturais e/ou antropogênicas, causando efeitos adversos à saúde humana e aos ecossistemas (KAMPA; CASTANAS, 2008). Este tipo de poluição pode ser causado por exemplo via fontes fixas ou móveis, dependendo dos processos que liberam os poluentes no ar.

De acordo com Teixeira (2008) as fontes veiculares têm uma participação acentuada na degradação da qualidade do ar atmosférico, principalmente em grandes centros urbanos.

O aumento das taxas de emissões veiculares contribui para o crescimento das concentrações de Gases do Efeito Estufa (GEE) que é um dos principais problemas ambientais que o mundo enfrenta atualmente.

Os gases dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) são os principais gases gerados por atividades humanas que compõem os GEE.

Os veículos automotores são uma importante fonte de emissão desses gases, tanto diretamente através da emissão de gases pelo escapamento, como por meio das emissões produzidas durante os processos de produção dos combustíveis utilizados pelos veículos (BORSARI, 2009).

Devido a poluição atmosférica problemas relacionados à saúde humana podem emergir: desde leves alergias, doenças cardiorrespiratórias a desenvolvimento de cânceres e acréscimo das taxas de morbidade e mortalidade nas áreas urbanas são exemplos levantados (SALDIVA et al., 1995; BRANCO; WALSH, 2005).

De acordo com Biazzi (2013) o incentivo promovido pelo governo brasileiro no ano de 2012 através da redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), para a compra de carros, visando a melhoria do setor econômico, contribuiu diretamente para um crescimento da frota de automóveis na cidade prejudicando ainda mais a mobilidade urbana e os níveis de emissão. No Nordeste, mais especificadamente na Região Metropolitana do Recife (RMR), observa-se um crescimento industrial, veicular e populacional intenso.

De acordo com o Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros - SUAPE (2016) o desenvolvimento do Complexo Portuário de Suape, que faz parte da Região, nos últimos anos (2007 a 2013) absorveu mais de cem empresas, proporcionando um elevado crescimento industrial na região.

De acordo com o Departamento Estadual de Trânsito de Pernambuco - DETRAN-PE (2018) a frota veicular Recife passou de 452.134 veículos em 2008 para 692.866 veículos em julho de 2018, correspondendo a 240.732 veículos a mais na cidade durante os últimos dez anos, representando um crescimento de 53,2%. O crescimento anual de veículos, bem como o aumento da concentração principalmente nos horários considerados de pico contribui para a injeção de gases tóxicos na

cidade do Recife, podendo estar comprometendo a qualidade do ar desta região.

Na busca por veículos mais econômicos e com menores níveis de emissão, a indústria automotiva passou a projetar motores mais econômicos, de baixa emissão de, aumentando a atratividade e competitividade do setor.

Na queima dos combustíveis automotores em motores observa-se uma grande quantidade de gases emitidos diferentemente da combustão completa que elimina apenas CO₂ e água. Alguns gases são indicadores de uma queima mais eficiente (completa) dos motores e outros gases são indicadores de uma queima incompleta. Os hidrocarbonetos são gases resultantes da combustão incompleta (queima não ideal) e pode ser usado como parâmetro para classificação da qualidade da combustão, uma vez que estes são resultados das partes fracionadas de cadeias longas do combustível que não se oxidaram. Segundo o INMETRO (2017) quanto menor a concentração dos hidrocarbonetos melhor a combustão.

Lacerda et al. (2005) comenta que o escapamento dos veículos à combustão é responsável pela emissão de grandes concentrações de CO. Esse gás resultante da combustão na qual a quantidade de ar é insuficiente para uma queima completa do combustível. Quanto menor a porcentagem de monóxido de carbono melhor é a combustão.

A evolução tecnológica dos motores do Ciclo Otto no processo da mistura ar – combustível, contribuiria com a redução das taxas de emissão dos gases NO_x, CO, HC e material particulado mas aumentaria as taxas para o CO₂, que é o produto final da reação de combustão (HURTADO, 2013; MILHOR, 2002). Os motores de ciclo Otto ainda são os mais utilizados em automóveis mundialmente. Segundo Silveira (2016) as máquinas que utilizam o princípio desse ciclo foram inventadas no século XIX e são compostas por no mínimo um cilindro, embolo ou pistão e diversas peças móveis. Em resumo, o Ciclo Otto mantém quatro tempos que variam na admissão, compressão, explosão e expansão e na descarga e exaustão (SILVEIRA, 2016).

De acordo com Hurtado (2013), aspectos como a evolução histórica dos veículos automotores e sistema de injeção de combustível na câmara de combustão são de fundamental importância, uma vez que o seu aperfeiçoamento é um dos responsáveis pela diminuição de emissões de gases residuais em motores Ciclo Otto e consequentemente dos impactos ambientais devido a estas. A evolução da redução no processo de injeção de combustível, através do desenvolvimento tecnológico, contribui de forma significativa na redução da emissão de todos os poluentes inclusive o dióxido de carbono (MILHOR, 2002; HURTADO, 2013).

De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (2006; 2018) os automóveis com quilometragens elevadas, devido ao desgaste natural das peças do motor, possuem maiores taxas de emissão veicular para os hidrocarbonetos e monóxido de carbono, reduzindo o dióxido de carbono. Caso o desgaste também se manifeste nos dispositivos de injeção de combustível a tendência é de que as emissões de todos os gases aumentem inclusive o dióxido de carbono. Diante a importância de conhecer as emissões de gases em zonas urbanas, suas respectivas consequências na saúde humana e relações terrestres e o aumento do número de automóveis, um dos maiores contribuintes na emissão de gases, este trabalho teve como objetivo analisar a evolução da concentração dos gases monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarbonetos (HC) emitidos por veículos do Ciclo Otto em Recife - PE, utilizando como combustíveis o etanol e a gasolina, por ano do veículo, emitidos diretamente do seu escapamento veicular.

Material e Métodos

Área de estudo

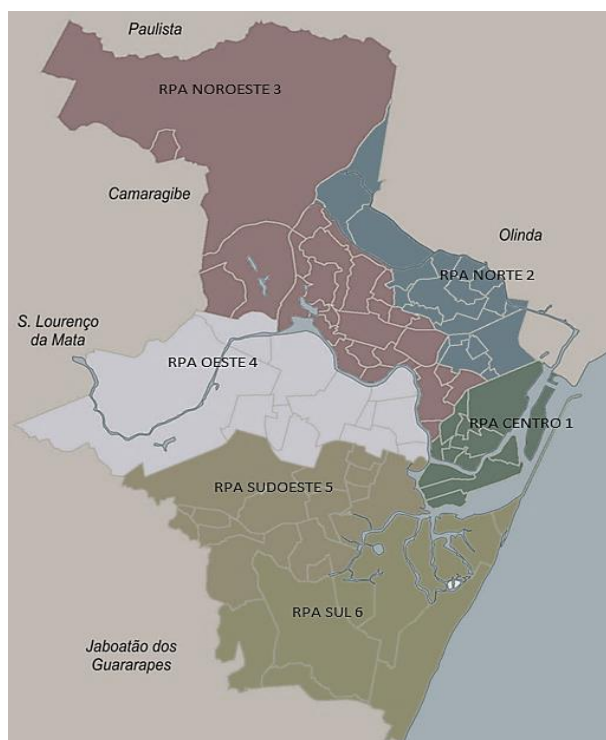
A pesquisa foi conduzida na cidade do Recife, capital do Estado de Pernambuco (Brasil). Recife é sede da Região Metropolitana (RMR), possuindo área de aproximadamente 217 km² e população de 1.599.514 habitantes (PREFEITURA DO RECIFE, 2016). A Cidade divide-se em seis Regiões Político-Administrativas (RPA's) são elas: Centro (RPA1); Norte (RPA 2); Nordeste (RPA 3); Oeste (RPA 4); Sudoeste (RPA 5) e Sul (RPA 6) (Figura 1).

O clima predominante é quente e úmido (KÖPPEN, 1948), com temperaturas elevadas e com chuvas de inverno a outono.

A umidade relativa do ar média (histórica) anual, é 80%, com temperatura média do ar de 25,5 ° C, sendo a temperatura máxima de 29,3°C e a mínima de 22,1°C. A vegetação dominante por consistir em uma cidade litorânea é a Mata Atlântica com elevado nível de antropização.

De acordo com o DETRAN – PE (2018) a frota de veículos em julho de 2018 foi de 692.866, incluindo automóveis, motos, caminhões, ônibus dentre outros. Apenas de automóveis temos 408.249.

Figura 1- Cidade do Recife e suas seis regiões político-administrativas



Fonte: Prefeitura da cidade do Recife (2018).

Dados da frota de veículos

O Departamento Estadual de Trânsito de Pernambuco - DETRAN-PE (2018) forneceu os dados da frota total dos veículos, incluindo automóveis, motos, caminhões, ônibus dentre outros e de apenas automóveis, para a cidade do Recife. Os dados referem-se a frota existente em julho de 2018.

Medição da taxa de emissão veicular

Realizou-se as taxas de emissão veicular medidas direto do escapamento dos automóveis por ano do veículo através do equipamento denominado “Analisador de gases de exaustão de veículos automotores” (AGEVA) da Tecnomotor, fornecido pelo Instituto Federal de Pernambuco, Campus Pesqueira – IFPE Pesqueira. O AGEVA mede os gases CO, CO₂ e HC direto no escapamento do carro através de uma sonda. Utilizou-se o programa de estatística Origin (versão 10.5) para a realização dos gráficos e para análise dos dados obtidos

Utilizando o equipamento AGEVA, obteve-se as taxas das emissões em marcha lenta dos gases hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂) com o veículo funcionando em baixa rotação (900 rpm) e em alta rotação (entre 2500 e 3000 rpm).

Executou-se 10 medições por veículo, totalizando 130 veículos durante o período de um ano e meio, iniciando em julho de 2016 e finalizando em dezembro de 2017. As medições foram realizadas semanalmente em horários diferentes, sendo algumas durante o dia e a mesma quantidade durante a noite. Confrontou-se os resultados das taxas durante o dia e os resultados da noite com o objetivo de elucidar se há a existência de alguma relação da temperatura ambiente com as taxas de emissão.

Utilizou-se automóveis com ano de fabricação pertencentes ao intervalo de 2005 a 2017. Analisou-se dez automóveis por ano de fabricação independente de ser apenas gasolina, etanol ou flex (etanol/gasolina). Os automóveis de gasolina são pertencentes aos anos de 2005 e 2006; dos dez automóveis de 2007 apenas um foi a gasolina e o restante flex. A qualidade dos carros pertencentes aos anos de 2008 a 2017 consistiram no Flex-power. A Figura 2 apresenta registro fotográfico do equipamento sendo utilizado na análise dos gases do escapamento de automóveis.

Figura 2- Registro fotográfico do equipamento sendo utilizado na análise dos gases do escapamento de automóveis



Fonte: O Autor (2019)

Figura 3 – Interface disponível pelo analisador de gases



Fonte: O Autor (2019)

As medidas dos hidrocarbonetos são realizadas em partes por milhão de volume (ppm vol) isto é, uma leitura de 100 ppm vol indica que existem 100 litros (partes) de hidrocarbonetos em um milhão de litros (partes) de gás de exaustão.

As medidas do monóxido de carbono e do dióxido de carbono são dadas em porcentagem de volume (vol %) representando o percentual desses gases em relação ao volume total (v/v). O equipamento apresenta precisão de 1ppm vol para o HC, 0,01 % VOL para CO e 0,1 % vol para o CO₂. O equipamento AGEVA utilizado já estava calibrado nos padrões estipulados pelo fabricante.

Construiu-se gráficos dos valores médios anuais, representando a evolução das emissões em marcha lenta para baixa e alta rotação, dos gases HC, CO e CO₂, por ano de fabricação dos automóveis. Calcularam-se os valores médios anuais com suas respectivas dispersões através do Desvio Padrão (DP). A média \bar{x} e o Desvio Padrão σ foram calculados com as Equações 1 e 2 respectivamente.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{Eq.1})$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde x representa cada valor da amostra e n o tamanho da amostra.

Através do cálculo do DP e intervalo de dispersões obteve-se a média dos valores médios anuais, para cada gás. Analisou-se as variações percentuais dos valores medidos utilizando seus valores médios com Intervalo de Confiança (IC) de 95% (LOPES, 2001).

O Índice de Confiança IC de 95% foi calculado utilizando a Equação 3.

$$IC = 1,96 \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (\text{Eq.3})$$

As medidas supracitadas têm o objetivo de mostrar alguma evolução tecnológica dos automóveis, caso apresentem alguma diminuição das taxas de emissão de HC e CO, e aumento de CO₂, com o passar dos anos.

Investigou-se os resultados relacionando o nível de emissão de acordo com o ano do veículo e com o tempo de utilização do mesmo, mensurado através da quilometragem do automóvel.

Resultados e Discussões

Os resultados das emissões de hidrocarbonetos, monóxido e dióxido de carbono serão apresentados a seguir em separado.

Hidrocarbonetos

A Tabela 1 mostra as concentrações médias de HC para alta e baixa rotação por ano de análise com o respectivo Desvio Padrão, como também a média das médias com o Desvio Padrão e Índice de Confiança.

De acordo com a Tabela 1 os valores médios das emissões na marcha lenta dos hidrocarbonetos em baixa rotação por ano de fabricação apresentaram a média dos valores médios anuais (ano de fabricação) de 58,5 ppm vol com IC de 14,3 ppm vol e DP de 26,3 ppm vol. Observa-se para baixa rotação que os valores médios de emissão por ano de fabricação do automóvel diminuem com o passar do tempo apresentando uma redução percentual de aproximadamente 86,8% considerando veículos dos anos de 2005 a 2017.

Tabela 1 - Emissão de HC para baixa e alta rotação.

Ano	Baixa (ppm vol)		Alta (ppm vol)	
	HC	DP	HC	DP
2005	110,8	17,5	138,6	18
2006	89,8	9,8	113,1	12,6
2007	74,8	10,6	97,2	11
2008	67,6	7,2	88,7	7,6
2009	71,9	5,9	92,8	6,7
2010	71,9	4,2	79,1	8,4
2011	56,4	5,2	71,0	5,3
2012	49,0	6,1	63,6	6,1
2013	47,1	7,5	58,4	6,8
2014	43,4	8,2	54,6	8,3
2015	38,9	7,8	47,4	7,1
2016	24,8	5,2	36,2	5,4
2017	14,6	3,1	24,4	2,8
Média das Médias anuais	58,5	26,3	74,2	31,8
Redução Percentual	-86,8%		-82,4%	
IC- Média das Médias	14,3		17,3	

Para alta rotação (Tabela 1), os valores médios de emissão por ano de fabricação do automóvel também, diminuem com o passar do tempo apresentando uma redução percentual de aproximadamente 82,4% considerando veículos dos anos de 2005 a 2017. A média dos valores médios anuais (ano de fabricação) foi de 74,2 ppm vol com IC de 17,3 ppm vol e DP de 31,8 ppm vol.

Os valores aferidos de hidrocarbonetos em marcha lenta na baixa e na alta rotação estão apresentados nas Figuras 4 e 5. Em uma análise comparativa mediante os veículos do ano de 2005 com veículos do ano de 2017, percebe-se uma redução significativa nas emissões para os HC em relação a média das médias anuais, já que os valores das médias anuais possuem um intervalo de dispersão sem intersecção com o intervalo de dispersão da média das médias anuais.

Figura 4 – Hidrocarbonetos emitidos em marcha lenta na baixa rotação.

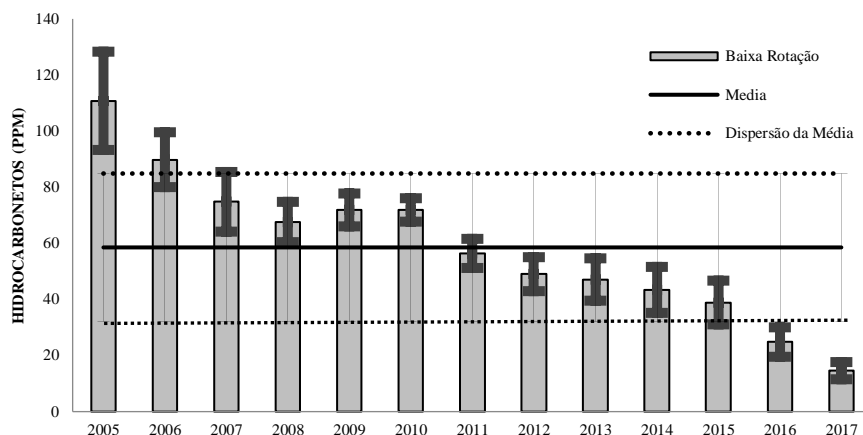
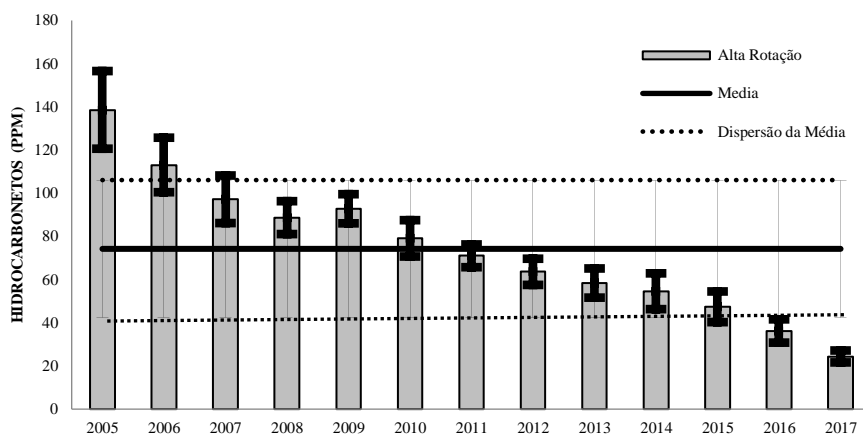


Figura 5 – Hidrocarbonetos emitidos em marcha lenta na alta rotação.



Monóxido de Carbono

Observou-se que para alta rotação, comparando os veículos do ano de 2005 com veículos do ano de 2016 em diante uma redução significativa nas emissões para os HC, uma vez que os valores das médias anuais possuem um intervalo de dispersão sem interseção com o intervalo de dispersão da média das médias anuais.

Comparando baixa rotação com alta rotação, não houve diferença significativa devido à interseção das dispersões das médias das médias anuais. Mas, tanto para baixa rotação como para alta rotação, houve uma redução significativa com o passar dos anos de fabricação.

Através das medidas coletadas por veículo, a combinação de dois fatores mostrou ter grande influência na explicação do porquê de automóveis mais antigos emitirem mais HC: a idade e a quilometragem do veículo. Medidas realizadas em veículos de idade diferente e mesma quilometragem mostraram que os mais antigos poluem mais; por sua vez, medidas realizadas em veículos de mesma idade, mas de quilometragens diferentes mostraram que aqueles que apresentaram maior quilometragem percorrida poluem mais.

De acordo com a CETESB (2012) o desgaste do motor contribui com o aumento das emissões de hidrocarbonetos por prejudicar o processo de combustão, mostrando que este resultado era esperado.

A Tabela 2 mostra as concentrações médias de CO para alta e baixa rotação por ano de análise com o respectivo Desvio Padrão, como também a média das médias com o Desvio Padrão e Índice de Confiança. Na Tabela 2, os valores médios por ano de fabricação apresentaram diminuição percentual de aproximadamente 93,9 % para baixa rotação. A média dos valores médios anuais foi de 2,3 vol % com IC (95%) de 1,0 vol% e DP de 1,8 vol%. Para alta rotação, os valores médios por ano de fabricação apresentaram diminuição percentual de aproximadamente 87,2 %. A média dos valores médios anuais foi de 2,9 vol % com IC (95%) de 1,2 vol% e DP de 2,3 vol % (Tabela II).

As Figuras 6 e 7 auxiliam na visualização através de valores médios das emissões do CO por ano de fabricação com seus intervalos de dispersão, bem como o valor da média das médias anuais com seu intervalo de dispersão, para baixa rotação e alta rotação respectivamente.

Observou-se que, para baixa rotação (Figura 6), a variação os valores médios anuais em relação à média das médias anuais sofreram queda de 2005 a 2006, permanecendo sem variação significativa, já que os intervalos de dispersão das médias anuais possuem interseção com o intervalo da dispersão da média das médias anuais.

Comparando veículos de ano 2005 com veículos de ano 2017, observa-se uma redução significativa.

Semelhante ao que aconteceu para baixa rotação, observou-se na alta rotação (Figura 7) que a variação dos valores médios anuais em relação à média das médias anuais sofreu queda de 2005 a 2006, permanecendo sem variação significativa, uma vez que os intervalos de dispersão das médias anuais possuem intersecção com o intervalo da dispersão da média das médias anuais.

Comparando veículos de ano 2005 com veículos de ano 2017, observa-se também uma redução significativa.

Comparando baixa rotação com alta rotação, não houve diferença significativa entre eles, devido à intersecção das dispersões das médias das médias anuais. Mas, tanto para baixa rotação como para alta rotação, houve uma redução significativa com o passar dos anos de fabricação.

De acordo com o INMETRO (2017) a redução da emissão do monóxido de carbono representa uma melhoria no processo de mistura (combustível mais ar) na câmara de combustão, diminuindo o percentual de combustível em relação à quantidade de oxigênio. Essa redução do monóxido de carbono acarreta num aumento de dióxido de carbono devido à maior quantidade de átomos oxigênio interagindo com átomos de carbono.

Tabela 2 - Emissão de CO para baixa e alta rotação.

Ano	Baixa (Vol %)		Alta (Vol %)	
	CO	DP	CO	DP
2005	7,4	1,7	9,2	1,7
2006	4,3	1,4	6,3	2,0
2007	2,8	0,4	2,8	0,3
2008	2,4	0,4	2,6	0,6
2009	2,5	0,3	3,1	0,3
2010	2,0	0,5	2,6	0,6
2011	1,7	0,3	2,1	0,4
2012	1,4	0,2	1,7	0,3
2013	1,5	0,1	1,8	0,2
2014	1,3	0,1	1,7	0,2
2015	1,2	0,2	1,5	0,3
2016	0,7	0,2	1,3	0,4
2017	0,4	0,0	1,2	0,3
Média das Médias anuais	2,3	1,8	2,9	2,3
Redução Percentual	-93,9%		-87,2	
IC -Média das Médias	1		1,2	

Figura 6 – Monóxido de Carbono emitidos em marcha lenta na baixa rotação.

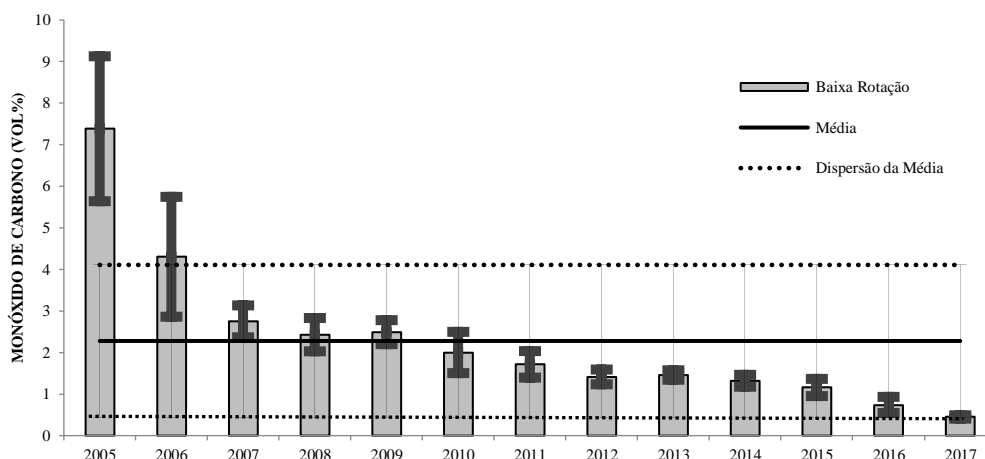
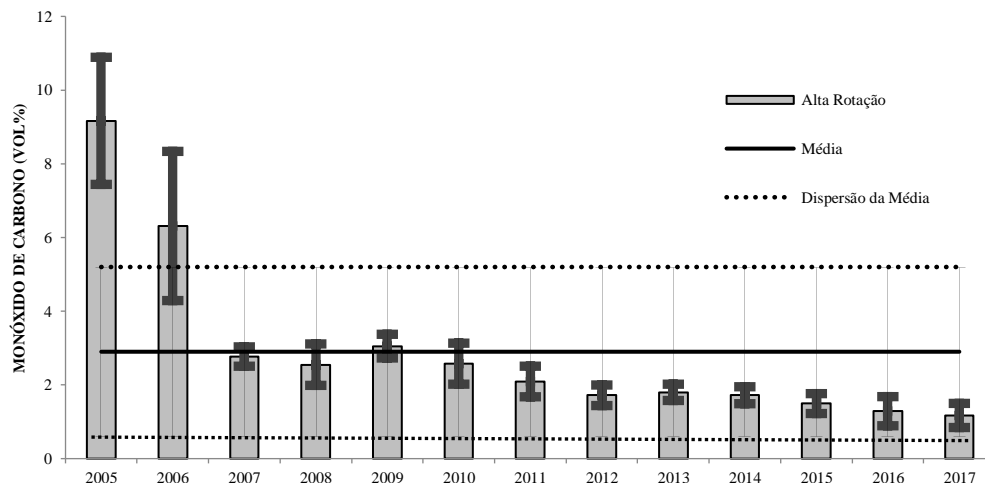


Figura 7 – Monóxido de Carbono emitidos em marcha lenta em alta rotação



Da mesma forma que nos hidrocarbonetos, os resultados para monóxido de carbono mostraram que as grandes concentrações emitidas pelos automóveis mais antigos são resultantes da combinação de dois fatores: a idade do veículo e a quilometragem do veículo, por possuir uma combustão ineficiente (tecnologia ultrapassada) e um desgaste dos componentes do motor respectivamente.

Para o monóxido de carbono, as medidas realizadas em veículos de idade diferentes e mesma quilometragem mostraram que os mais antigos poluem mais.

Nos veículos com mesma idade, mas com quilometragens diferentes os que rodaram mais poluem mais também. Este resultado confirma que o desgaste do motor contribui para o aumento de emissão de Monóxido de Carbono (CETESB, 2012).

Dióxido de Carbono

A Tabela 3 apresenta as concentrações médias de CO₂ para alta e baixa rotação por ano de análise com o respectivo Desvio Padrão, como também a média das médias com o Desvio Padrão e Índice de Confiança.

Na baixa rotação os valores médios por ano de fabricação apresentam crescimento percentual de 154,1 % apresentando o valor mínimo de 5,8 vol % em 2005 e máximo de 15,1 vol % em 2012. A média dos valores médios por ano de fabricação foi de 13,7 vol %, com IC (95%) de 1,5vol % e DP de 2,7 vol % (Tabela 3).

Na alta rotação os valores médios por ano de fabricação apresentam crescimento percentual de 120,3 % apresentando o valor mínimo de 6,4vol % em 2005 e máximo de 15,0 vol % em 2010. A média dos valores médios anuais foi de 13,5 vol %, com IC (95%) de 1,3vol% e DP de 2,4 vol % (Tabela 3).

As Figuras 8 e 9 apresentam os gráficos das concentrações de CO₂ para baixa e alta rotação na marcha lenta, por ano de fabricação com seus intervalos de dispersão, e o valor da média das médias anuais com seu intervalo de dispersão.

Tabela 3 - Emissão de CO₂ para baixa e alta rotação.

Ano	Baixa (Vol %)		Alta(Vol %)	
	CO ₂	DP	CO ₂	DP
2005	5,8	1,2	6,4	1,0
2006	10,7	2,3	10,6	1,6
2007	12,4	1,2	13,8	0,7
2008	14,9	0,7	14,6	0,8
2009	14,8	0,6	14,9	0,8
2010	15,0	0,3	15,0	0,6
2011	14,7	1,6	14,8	1,2
2012	15,1	0,2	14,7	1,0
2013	14,9	0,2	14,4	0,4
2014	14,9	0,2	14,4	0,5
2015	14,8	0,3	14,3	0,4
2016	14,8	0,2	14,2	0,3
2017	14,7	0,3	14,1	0,3
Média das Médias anuais	13,7	2,7	13,5	2,4
Crescimento Percentual	154,1%		120,3%	
IC - Média das Médias	1,5		1,3	

Para baixa rotação (Figura 8), observou-se que as emissões médias anuais em relação à média das médias anuais, sofreram crescimento significativo para veículos de 2005 a 2006, não apresentando variação significativa a partir de 2006, devido ao fato do intervalo de dispersão das médias anuais possuírem intersecção com o intervalo de dispersão da média das médias anuais.

Comparando veículos de ano 2005 com ano 2017, observa-se um crescimento significativo.

Figura 8–Dióxido de Carbono emitidos em marcha lenta na baixa rotação.

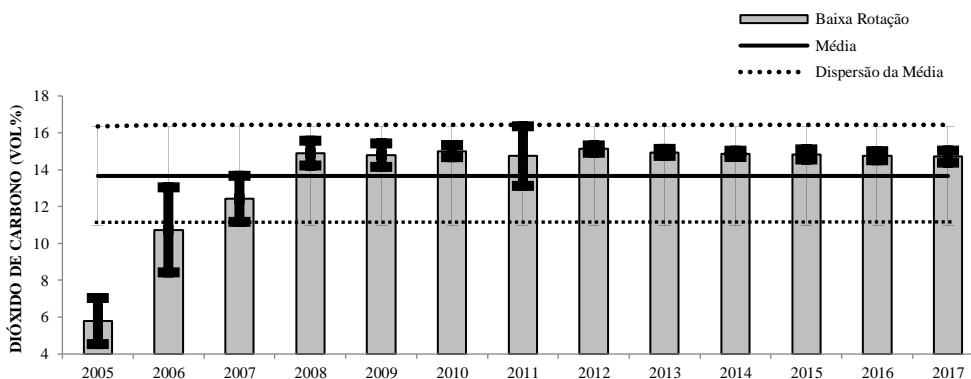
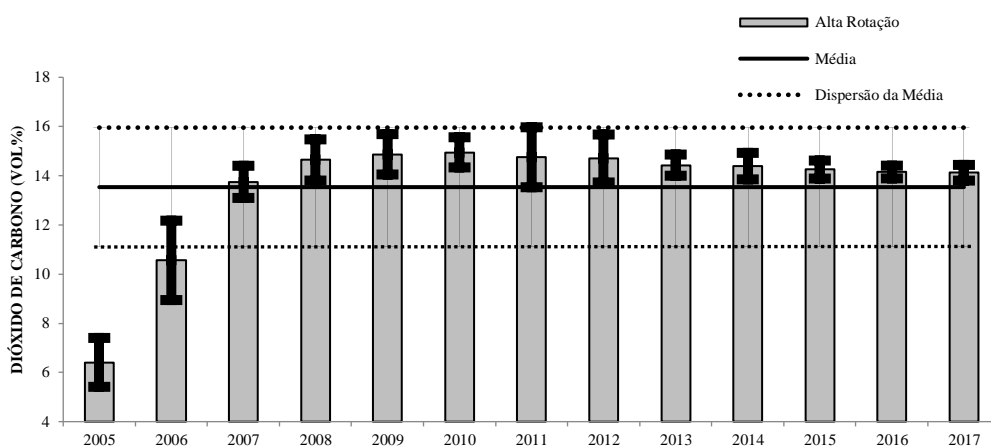


Figura 9—Dióxido de Carbono emitidos em marcha lenta na alta rotação.



Para alta rotação (Figura 9), observou-se que as emissões médias anuais em relação à média das médias anuais, sofreram crescimento significativo para veículos de 2005 a 2006 da mesma forma que em baixa rotação. Não apresenta variação significativa a partir de 2006, devido ao fato do intervalo de dispersão das médias anuais possuírem intersecção com o intervalo de dispersão da média das médias anuais. Comparando veículos de ano 2005 com ano 2017, observou-se um crescimento significativo.

Comparando baixa rotação com alta rotação, não houve diferença significativa entre eles, devido à intersecção das dispersões das médias das médias anuais. Mas, tanto para baixa rotação como para alta rotação, houve um crescimento significativo com o passar dos anos de fabricação dos automóveis.

Prakash et al. (2017) aferiu a concentração de CO₂ de veículos a diesel e do ciclo Otto, e em seu trabalho foi concluído que o CO₂ foi maior para aos veículos mais novos e menor para os veículos antigos. Mesmo sendo um resultado que vai de contra a pesquisa, o aumento da emissão de CO₂ representa uma melhoria no processo de combustão dos veículos, já que esse gás é um produto natural de uma reação estequiométrica (combustão completa).

Desta forma, embasando-se no trabalho de Prakash et al. (2017), nota-se que em relação a idade do automóvel (ano de fabricação), o desenvolvimento tecnológico está contribuindo para a melhoria da queima, reduzindo a emissão de gases tóxicos como os hidrocarbonetos e monóxido de carbono, mas aumentando o dióxido de carbono, emitido naturalmente no processo da combustão. Observou-se que, após crescimento acentuado de 2005 a 2006, houve certa estabilidade.

Os valores médios anuais apresentaram uma pequena queda de CO₂ para alta rotação, com o passar dos anos. Mas não podemos afirmar que essa redução é significativa pois o intervalo de dispersão das medidas anuais possuem intersecção com o intervalo de dispersão da média das médias anuais. Faz-se necessário mais medidas para confirmar uma possível redução. Uma redução na concentração de CO₂ pode representa uma evolução tecnológica na injeção de combustível, já que uma diminuição da quantidade de combustível na câmara de combustão reduz a emissão de CO₂ (MILHOR, 2002; HURTADO, 2013). Em baixas concentrações o Dióxido de Carbono apresenta pequena toxicidade, mas em altas concentrações pode causar diversos problemas a saúde (CARVALHO, 2011).

Em relação à quilometragem percorrida, observou-se que os pequenos desgastes das peças do motor para os veículos de baixa quilometragem contribuem para um melhor

processo de combustão emitindo menos hidrocarboneto e monóxido de carbono e mais dióxido de carbono. Com o crescimento da quilometragem percorrida, as emissões de hidrocarboneto e monóxido de carbono apresentam crescimento, e do dióxido de carbono, redução.

Segundo a CETESB (2018), o aumento do desgaste dos componentes do motor faz com que o processo de combustão não aconteça da forma que deveria gerando outros gases e reduzindo o dióxido de carbono, logo os automóveis mais novos tendem a serem mais econômicos, reduzindo a emissão de todos os componentes inclusive o dióxido de carbono. Para os automóveis analisados a degradação dos componentes do motor acontece num ritmo maior do que o desgaste dos dispositivos de injeção de combustível, pois houve redução de dióxido de carbono. A degradação desses componentes de injeção contribui para um aumento de emissão desse poluente.

Conclusão

As emissões de marcha lenta, para os hidrocarbonetos e monóxido de Carbono, apresentaram uma redução para baixa rotação e para alta rotação. Constatou-se que as medidas de emissão realizadas com automóveis com mesma quilometragem, mas de idades diferentes, também mostraram que os automóveis mais antigos emitem mais hidrocarbonetos e monóxido de carbono. Medidas realizadas nos veículos de mesma idade, mas de quilometragens diferentes, mostraram que os veículos que apresentaram maior quilometragem total percorrida também emitem mais hidrocarbonetos e monóxido de carbono, sendo o principal responsável por esse crescimento o desgaste dos componentes do motor.

Quanto ao dióxido de carbono, os valores médios por ano de fabricação, independentemente de sua quilometragem, para baixa rotação e alta rotação apresentaram um crescimento percentual. Medidas realizadas para o dióxido de carbono com automóveis com mesma quilometragem, mas de idades diferentes mostraram que os automóveis mais novos possuem maior taxa de emissão por apresentarem melhor processo tecnológico. Para os automóveis de mesma idade, mas de quilometragens diferentes, houve um crescimento nas emissões para os veículos com menor quilometragem por possuírem menos desgaste do motor. Era esperado que os valores de emissão por veículo aumentas sem com a melhoria no processo de combustão, já que é um componente que naturalmente é eliminado numa combustão perfeita.

A aparente redução das emissões de dióxido de Carbono apresentada a partir de 2010, por veículo, poderá está associada à redução do consumo de combustível (processo de injeção) através de novas tecnologias que vem sendo desenvolvidas. Mas essa variação não é significativa pois os intervalos de dispersão das médias anuais possuem intersecção com o intervalo de dispersão da média das médias anuais, com muitos dos anos (2007 a 2017) estado contidos no intervalo de dispersão da média das médias anuais.

Os motores do ciclo Otto são máquinas térmicas que naturalmente poluem. O investimento em tecnologia para desenvolvimento de máquinas térmicas melhores é de extrema importância, pois apenas assim, torna-se possível minimizar os níveis de emissão desses componentes. O desenvolvimento em tecnologias automotivas vem sendo incentivados por programas de transparência, como por exemplo, o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV).

Empresas podem aderir ao projeto de forma voluntária nos quais os fabricantes testam os veículos leves movidos a gasolina, etanol ou GNV (de fábrica), por modelo que serão comercializados, declarando ao INMETRO os valores de consumo de cada combustível. Os modelos participantes são, então, comparados de "A" a "E" dentro de suas categorias. Os valores de consumo e a classificação são informados nas páginas eletrônicas do INMETRO e do Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural. (CONPET) e nas etiquetas afixadas opcionalmente nos veículos pelos fabricantes participantes.

Agradecimentos

Agradecemos o Instituto Federal de Pernambuco campus Pesqueira pelo suporte a coleta de dados. Ao Detran – PE pela disponibilidade de dados. A Universidade Federal de Pernambuco e o programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA/PE pelo auxílio a pesquisa.

Referências

BIAZZI, R. **Jornal da Globo. Incentivos fiscais impulsionam recorde de venda de carros em 2012.** Disponível em: < g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2013/01/incentivos-fiscais-impulsionam-recorde-de-venda-de-carros-em-2012.html >. 2013. Acesso em: 20 de out. de 2019.

BORSARI, V. **Caracterização das Emissões de Gases de Efeito Estufa por Veículos Automotores Leves no Estado de São Paulo.** Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

BRANCO, G. M.; WALSH, M. P. **Controle da poluição dos veículos a Diesel. Uma estratégia para o Progresso no Brasil.** Fundação Hewlett, Rio de Janeiro. 2005.

CARVALHO, C. H. R. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros.** Instituto de pesquisa econômica aplicada, Brasília, 2011.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo- 2005.** São Paulo, SP, 2006.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Emissões Veiculares.** São Paulo, SP, 2012.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Emissões Veiculares.** São Paulo, SP, 2018.

DETRAN - PE. **Departamento Estadual de Transito de Pernambuco.** Disponível em:<<http://www.detran.pe.gov.br/>>. Acesso em: 20 de novembro de 2018.

HURTADO, D. K.; SOUZA, A. A. **A evolução do sistema de injeção de combustível em motores ciclo otto: uma análise crítica desde suas implicações no meio ambiente à regulamentação legal no sistema normativo pátrio.** Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM. v.8. 2013. Disponível em:<<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs2.2.2/index.php/revistadireito/article/view/8527#.VHemwzHF8II>>. Acessado em: out. de 2017.

INMETRO - **Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.** 2017. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/>>. Acessado em: jul. de 2018.

KAMPA, M.; CASTANAS, E. E. Human health effects of air pollution. **Environmental Pollution.** Volume 151, Issue 2, January 2008, Pages 362-367

KÖPPEN, W. **The Climates of NortAmerica.R. Handbuch der Klimatologie.** Berlin, 1948.

LACERDA, A.; LEROUX, T.; MORATA, T. Efeitos ototóxicos da exposição ao monóxido de carbono: uma revisão. **Pró-Fono Revista de Atualização Científica.** Barueri (SP), v. 17, n. 3, p. 403-412, set.-dez. 2005.

LOPES, P. A. **Probabilidades e estatísticas.** Rio de Janeiro: Reichmann e Afonso Ed., 2001.

MILHOR, C. E. **Sistema de desenvolvimento para controle eletrônico dos motores de combustão interna ciclo de Otto.** Dissertação de mestrado. São Carlos. 2002.

PRAKASH, J. et al. On-Road Emissions of CO, CO₂ and Nox from Four Wheeler and Emission Estimates for Delhi. **Journal of Environmental Sciences.** Volume 53, Pages 39-47, March 2017

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. Disponível em:<<http://www2.recife.pe.gov.br/a-cidade/conheca-o-recife/>>. 2016. Acesso em: 30 jan. 2018.

SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L.A.A. E BRAGA, A. **Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana.** Faculdade de Medicina da USP. São Paulo, SP, 1995.

SILVEIRA, F.L. **Máquinas térmicas à combustão interna de Otto e de Diesel.** Porto Alegre: Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

SOUZA, W.M., AZEVEDO, P. V. Avaliação de tendências das temperaturas em Recife-PE: Mudanças climáticas ou variabilidade? **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v.6, p.462 - 472, 2009.

SUAPE. **Complexo Industrial Portuário Governados Eraldo Gueiros.** Disponível em: <<http://www.suape.pe.gov.br/news/matLer.php?id=246>>. Acessado em jan 2016.

TEIXEIRA, E. C. et al. Estudo das Emissões de Fontes Móveis na Região Metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil. **Quim. Nova**, Vol. 31, No. 2, 2008. p. 244-248.

TELLES, G. R. et al. **Estimativa dos efeitos da Poluição Atmosférica sobre a Saúde Humana: algumas possibilidades metodológicas e teóricas para a cidade de São Paulo.** Programa de Planejamento de Sistemas Energéticos. 2011.