

A INFLUÊNCIA DA RENOVAÇÃO DA FROTA DE VEÍCULOS NA QUALIDADE DO AR NA REGIÃO CENTRAL DE CURITIBA

THE INFLUENCE OF RENEWAL'S VEHICLE FLEET ON AIR QUALITY IN CURITIBA

Edson Escuciatto

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Gestão Ambiental pela Universidade Positivo (UP) – Curitiba (PR), Brasil.

Maurício Dzedzic

Graduado em Engenharia Civil pela UFPR. Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela UFPR. Doutor em Civil Engineering, Fluid Mechanics and Hydraulics pela University of Toronto.

Eliane Carvalho de Vasconcelos

Química pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Mestre em Ciência pela Universidade de São Paulo (USP). Doutora em Ciências pela USP – São Paulo (SP), Brasil.

Endereço para correspondência:

Eliane Carvalho de Vasconcelos – Rua Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza, 5.300 – CIC – Curitiba (PR), Brasil – E-mail: evasconcelos@up.edu.br

RESUMO

Os veículos são a principal fonte dos poluentes atmosféricos nos centros urbanos. As tecnologias mais importantes para a redução dos poluentes em veículos automotores foram o controle eletrônico da injeção de combustíveis e a utilização de catalisador no sistema de exaustão dos veículos. O objetivo deste trabalho foi avaliar se a renovação da frota de veículos alterou a qualidade do ar em Curitiba. Foi realizado o levantamento do histórico das concentrações dos poluentes do ar, no período de 2003 a 2014, e do histórico da frota de veículos de Curitiba – com base em dados do Departamento de Trânsito do Paraná (DETRAN-PR). Verificou-se um aumento de 65% no número de veículos, que não resultou no aumento da concentração dos poluentes. As concentrações de poluentes apresentaram queda ao longo do período avaliado. Conclui-se que a renovação da frota proporcionou uma melhoria na qualidade do ar em Curitiba.

Palavras-chave: emissões veiculares; poluentes atmosféricos; índices de poluição do ar.

ABSTRACT

Vehicles are the main source of air pollutants in urban centers. The most important technologies for the reduction of vehicle pollutants have been the electronic control of fuel injection and the use of catalytic converters in the exhaust system of vehicles. The goal of this work was to evaluate if the renewal of the vehicle fleet altered the air quality in Curitiba. A survey of historical concentrations of air pollutants was performed for the period of 2003 to 2014. It was also carried out the survey of the history of the fleet of vehicles in Curitiba, based on data from the transit department of Paraná (DETRAN-PR). There was a 65% increase in the number of vehicles, which did not result in an increase in the concentration of pollutants. The values of air pollutant concentrations show a decrease over the surveyed period. The conclusion is that the renewal of the fleet provided an improvement of the air quality in Curitiba.

Keywords: vehicle emissions; air pollutants; air pollution indexes.

INTRODUÇÃO

A emissão de poluentes atmosféricos em grandes centros está relacionada à frota veicular que circula pelas vias, e a idade dos veículos é um fator determinante para a qualidade do ar (KUHNS *et al.*, 2004; KRECL *et al.*, 2015). Isso porque conduções com maior desgaste de peças e com tecnologias ultrapassadas podem contribuir com até 34% da emissão total de CO, NO e hidrocarbonetos em uma cidade (GUO *et al.*, 2006).

Além dos automóveis, as motocicletas possuem um papel importante nas emissões atmosféricas. Em estudo sobre motocicletas de Taiwan, Tsai *et al.* (2000) investigaram as emissões de CO, NO_x, hidrocarbonetos totais (TCH) e compostos orgânicos voláteis (VOCs). As medições foram realizadas em motocicletas classificadas de acordo com: tipo do motor (de 2 e 4 tempos); uso (novas e usadas, entre 30.000 km e 40.000 km); e catalisador (com ou sem). Os autores observaram que as motocicletas com motores de 2 tempos emitiram maiores quantidades de poluentes que as de 4 tempos, e que a instalação de catalisadores naquelas com motores 2 tempos as torna menos poluentes que as motocicletas com motores 4 tempos sem catalisador. Carvalho (2011) também destaca a importância crescente das motocicletas nos estudos sobre emissões de poluentes, visto que elas passaram de um papel secundário a um dos principais atores no cenário nacional de emissões veiculares: sua frota vem crescendo bem mais rapidamente que a de automóveis.

Com o objetivo de diminuir as emissões veiculares no Brasil, foram estabelecidas metas de modernização para automóveis, veículos a diesel e motocicletas. O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), criado em 1986, estabeleceu limites máximos de emissões, em fases sucessivas cada vez mais rigorosas. O PROCONVE passou por seis fases para veículos leves, L1 a L6, nos anos de 1990, 1992, 1997, 2007, 2009 e 2014, respectivamente. Já alcançou resultados expressivos: reduzindo a emissão de CO por veículo de 54 g/km, em 1986, para 0,3 g/km, em 2000 (LA ROVERE *et al.*, 2002). As fases L4 e L6 tiveram o objetivo de reduzir as quantidades de hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio. Para isso, foram necessárias inovações tecnológicas, como a otimização da geometria da câmara de combustão, os bicos injetores, as bombas de injeção e o controle eletrônico da injeção (IBAMA, 2011).

Nos Estados Unidos, a *Environmental Protection Agency* (EPA) é responsável por estipular os limites para emissões veiculares, sendo que o estado da Califórnia foi o primeiro a estabelecer limites severos a esses poluentes. Comparando-se os limites de emissões exigidos pelo PROCONVE com a norma americana *Tier*, pode-se verificar a correlação entre a fase L-4 e a *Tier I*. A fase L-7, que será implementada em 2017, foi baseada na norma *Tier II*, dos Estados Unidos (LINKE, 2009).

A norma europeia (Euro) também possui correlação com as fases do PROCONVE: fase P-3 e Euro I, fase P-4 e Euro II, fase P-5 e Euro III, fase P-6 (não foi implementada) e Euro IV, fase P-7 e Euro V (MASSAGARDI, 2014). O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) determinou os limites das emissões de veículos pesados, com a introdução da fase P-1 do PROCONVE, em 1990, e, subsequentemente, as fases P-2, em 1996, P-3, em 2000, P-4, em 2002, P-5, em 2006, P-6, em 2009, e P-7, em 2012 (IBAMA, 2011).

Na China, o Ministério de Proteção ao Meio Ambiente e a Administração de Padronizações são os responsáveis pelas normas de emissões de poluentes, e a norma China 6a utilizada atualmente é equivalente à Euro VI. A Rússia segue a norma Euro V, também seguida pela Índia. A Coreia do Sul segue uma norma equivalente à norma EURO IV (DIESELNET, 2016).

No Brasil, foi criado, em 2002, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT), a fim de complementar o PROCONVE. O PROMOT já passou por três fases, M1 a M3, nos anos de 2003, 2005 e 2009, respectivamente (IBAMA, 2011). A fase M1 foi marcada pela proibição de motocicletas com motores de 2 tempos, os quais são muito poluentes, visto que queimam óleo com combustível.

Conforme aponta Milhor (2002), o sistema de injeção eletrônica tem a função de dosar corretamente a quantidade de combustível em função das condições de operação do motor. O coeficiente de ar corresponde à relação entre a massa de ar efetivamente admitida para a combustão, a massa de ar correspondente à mistura estequiométrica para combustão e a massa teórica em função das características do combustível. A melhor relação entre ar e combustível proporciona uma queima mais eficiente dentro da câmara de combustão, dan-

do maior eficiência ao motor e resultando em menor emissão de poluentes. O sistema de injeção eletrônica é formado por uma central digital (UCE), na qual é carregado um programa que inclui tabelas desenvolvidas para cada tipo de motor. Essas tabelas ditam o funcionamento dos atuadores conforme os sinais recebidos dos sensores. Os sensores existentes em um sistema de injeção eletrônica são: o sensor de pressão do coletor de admissão (MAP), que indica a pressão do ar; o sensor mássico, que mede a massa de ar que está sendo admitida pelo motor; o sensor da posição da borboleta de aceleração, responsável por informar se a borboleta está totalmente aberta ou totalmente fechada (plena carga ou em marcha lenta); o sensor de temperatura do ar; o sensor de temperatura do sistema de arrefecimento, o qual informa a temperatura do motor; o sensor de rotação do motor, que, além de informar a rotação, também indica o ponto de ignição para que ocorra a faísca da vela de ignição dentro da câmara de combustão; a sonda Lambda, que mede o excesso de oxigênio do sistema

de exaustão; e o sensor KS, que indica quando o motor entra em ressonância.

A evolução tecnológica dos catalisadores e o seu impacto na qualidade do ar têm logrado êxito em responder às exigências de emissões de poluentes cada vez menores impostas a automóveis (RANGEL, 2003). O catalisador de três vias típico é constituído por uma colmeia de um óxido refratário e estabilizadores (ZrO_2 , MgO , CaO , SnO , Y_2O_3 , TiO_2 , ZnO , B_2O_3 , P_2O_5 , SnO_2 , Bi_2O_3 , SiO_2), promotores de óxidos alcalinos (Li_2O , Na_2O , K_2O , Cs_2O) e Rh. O CO e os hidrocarbonetos, passando por essa colmeia, oxidam-se, formando CO_2 e H_2O . Os óxidos de nitrogênio sofrem redução, formando o N_2 . O SO_2 é reduzido a S (material indesejável, que se incrusta ao material refratário, diminuindo sua eficiência).

O objetivo deste trabalho foi avaliar se a renovação da frota de veículos alterou a qualidade do ar em Curitiba, devido às novas tecnologias usadas nos veículos, comparando as evoluções da frota e das concentrações de poluentes do ar.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada consistiu no levantamento de documentação sobre o histórico da frota de veículos de

Curitiba e dos indicadores de poluição do ar da cidade, seguido de análise dos dados, sua comparação e correlação.

Levantamento da frota de Curitiba

As fontes utilizadas para levantar o histórico da frota veicular de Curitiba foram os Anuários Estatísticos elaborados pelo DETRAN-PR (2015), autarquia do Poder Executivo que fiscaliza o trânsito de veículos terrestres no Estado do Paraná. Foram utilizados os dados dos anuários de 2003 a 2014, nos quais são apresentadas as quantidades de veículos existentes em diversas cidades do Paraná. Os dados dos veículos são apresentados por categoria (automóveis, ônibus, motocicletas, etc.), por tipo de combustível e por data de fabricação.

Os veículos foram separados em automóveis, motocicletas e veículos movidos a diesel, por representarem 95% da frota de Curitiba (DETRAN-PR, 2015). Veículos como tratores e máquinas agrícolas foram deixados de fora, por não apresentarem circulação pela cidade.

Os dados referentes à quantidade de automóveis por ano foram classificados pela data de fabrica-

ção: até 1997, chamados de ultrapassados, e a partir de 1998, considerados modernos. Essa divisão foi realizada tendo em vista a evolução das fases do PROCONVE, em que a maior redução de poluentes emitidos se deu com a implantação da fase L3, em 1997, para os veículos fabricados a partir de 1998 (IBAMA, 2011).

As motocicletas foram divididas em fabricadas até 2002, chamadas de ultrapassadas, e fabricadas a partir de 2003, classificadas como modernas. Essa divisão se deve à implantação da fase M1 do PROMOT, com a proibição de fabricação de motocicletas com motor de 2 tempos no Brasil (IBAMA, 2011).

Na categoria de veículos com motor a diesel estão ônibus, caminhonetes, vans e utilitários. Os veículos a diesel também foram divididos pela data de fabricação, sendo que os produzidos até 1999 foram considerados ultrapassados e aqueles fabricados a partir de 2000 fo-

ram considerados modernos, pois em 2000 foi implantada a fase P3 do PROCONVE, que culminou em maior redução de emissão de poluentes dos veículos pesados (IBAMA, 2011).

Levantamento do histórico de poluição do ar

O histórico de poluição do ar foi determinado a partir dos Relatórios de Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Curitiba, elaborados pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP, 2015), entidade autárquica vinculada à Secretária de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Paraná. O presente estudo utilizou os dados da Estação Ouvidor Pardinho (PAR), por sua localização, entre as estações disponíveis, por representar a maior concentração de veículos circulantes e por monitorar o maior número de poluentes emitidos, totalizando sete

Posteriormente, os dados dos automóveis, das motocicletas e dos veículos a diesel foram agrupados, permanecendo a divisão entre veículos ultrapassados e modernos, para mostrar a evolução da frota como um todo.

parâmetros — SO_2 , O_3 , NO, NO_2 , CO, particulados totais sólidos (PTS) e particulados inaláveis (PI) (IAP, 2013).

A Estação Ouvidor Pardinho está localizada a 2 km do centro da cidade, próxima aos corredores de ligação das regiões sudeste, sul e sudoeste ao centro da cidade, em uma área de grande tráfego de ônibus e veículos. A estação PAR entrou em operação em agosto de 2002 e possui equipamentos capazes de fazer medições instantâneas e transmitir os dados a uma central (IAP, 2013); o envio de dados é feito com frequência horária.

Relação número de veículos versus concentração dos poluentes

No presente trabalho foram analisados os dados das concentrações de poluentes da PAR entre 2003 e 2014 (IAP, 2015).

Os dados pesquisados referentes à frota de veículos de Curitiba, coletados do DETRAN-PR (2015), foram divididos em três grupos: automóveis, motocicletas e veículos a diesel.

Cada um desses grupos foi dividido em veículos modernos e ultrapassados, conforme suas classificações nas fases do PROCONVE e do PROMOT.

Realizou-se também análise que unificou os grupos de automóveis, motocicletas e veículos a diesel, dividindo-se a frota total simplesmente em veículos modernos e veículos ultrapassados. Os totais de veículos modernos e ultrapassados foram comparados às concentrações dos poluentes (CO , PI, PTS, NO_2 , SO_2 e O_3) utilizando o coeficiente de correlação de Pearson.

Para investigar se as concentrações de poluentes analisadas têm relação com o tráfego de veículos, os dados da estação PAR do ano de 2014 foram comparados com os dados de outra estação, localizada nos arredores da

cidade, em região conhecida como “Cidade Industrial de Curitiba” (CIC). Foram analisados somente os poluentes em ambas as estações de monitoramento.

Para melhor compreender a evolução da qualidade do ar em Curitiba no período estudado, foi usado o método aplicado por Bagiński (2015), que propõe um índice de qualidade do ar de tráfego (TAQI), Equação 1, sobretudo em áreas urbanas com alto índice demográfico.

$$TAQI = EtR \cdot Ywc \quad (1)$$

Em que:

EtR = equivalente de poluentes emitidos;

Ywc = fator relativo para cânions urbanos.

A partir dos valores de nocividade das concentrações de emissões, e de fatores adicionais que dependem da topografia local, obtém-se o TAQI, que corresponde a cinco possíveis categorias de qualidade do ar (CAQs), variando de 1 (muito bom) a 5 (perigoso).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A frota de automóveis de Curitiba cresceu 65% no período; e a frota de automóveis modernos, que era 41,76%

da frota total de automóveis em 2001, passou a 73,91% em 2014.

A frota de motocicletas cresceu 139% no período estudado. Em termos quantitativos, a frota de motocicletas ultrapassadas reduziu de 44.797 para 34.802 unidades, uma diminuição de 22,3%. A frota de motocicletas modernas, que representava 12,66% em 2003, alcançou 71,66% da frota total em 2014.

Com a modernização da frota de motocicletas, espera-se que a contribuição desses veículos para a poluição do ar seja menor (TSAI *et al.*, 2000; CHIANG *et al.*, 2014; ADAK *et al.*, 2016).

A frota de veículos a diesel aumentou 66% no período, e, do total, a frota de veículos modernos a diesel passou de 22%, em 2003, para 66%, em 2014.

A Figura 1 mostra a evolução da frota, agrupando-se todos os veículos, divididos em ultrapassados e modernos, considerando as fases do PROCONVE. A frota de veículos cresceu 70,57% no período. Do total de veículos, os considerados modernos passaram de 38,17%, em 2003, para 73,14%, em 2014, indicando que houve renovação da frota de veículos em Curitiba, conforme relatado pelo Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2011), e modernização, devido ao sucateamento dos veículos considerados ultrapassados.

A Figura 2 mostra que as concentrações de poluentes apresentaram pouca variação no período estudado,

mesmo com o grande fluxo de veículos nessa região: média de um automóvel a cada 1,71 s e um ônibus a cada 24 s. Segundo Souza, Silva e Silva (2013), os automóveis são os principais responsáveis pela emissão de CO, enquanto os ônibus contribuem para o aumento das emissões de NO₂ (RIBAS *et al.*, 2016). Analisando as tendências das linhas da Figura 2, fica evidente que, com exceção do ozônio, os demais poluentes apresentam a linha de tendência com coeficiente angular negativo, portanto em redução ao longo do tempo, corroborando o estudo realizado por Gioda *et al.* (2016), que verificaram redução dos índices de poluição da cidade do Rio de Janeiro nos últimos 50 anos.

Na Figura 3 é observada a correlação entre a evolução da frota de veículos modernos e a concentração dos poluentes no ar entre 2003 e 2014. Com exceção do ozônio, as concentrações dos demais poluentes diminuem com o aumento da frota de veículos modernos. Comportamento semelhante também foi observado por Milhor (2002), que ressalta a importância da injeção eletrônica dos novos modelos, resultando na menor emissão de poluentes, assim como no trabalho apresentado por Rangel (2003), que aborda a importância do uso de catalisadores para a redução da emissão de gases tóxicos, principalmente o NO₂. Os poluentes CO e carbono (particulados inaláveis em forma de fuligem) apresentam

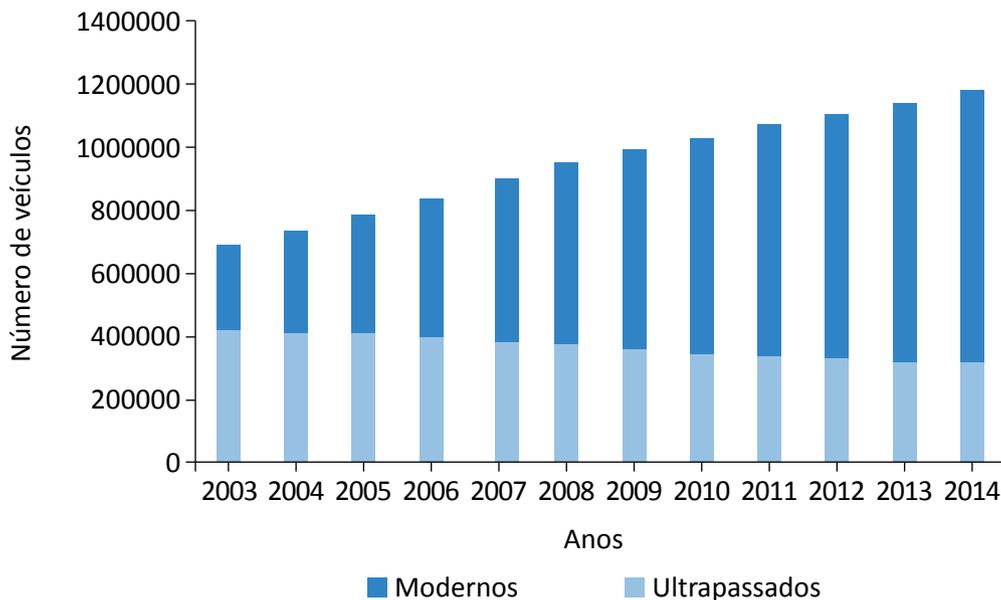


Figura 1 – Evolução da frota total de veículos em Curitiba entre 2003 e 2014.

maior redução de concentração no ar com o aumento da frota de automóveis modernos, com coeficientes de correlação de Pearson de $-0,9060$ e $-0,8220$, respectivamente, pois o sistema de injeção eletrônica permite a combustão completa, evitando a emissão desses gases. Por outro lado, os poluentes PTS e O_3 apresentam pouca correlação com a alteração da frota de automóveis modernos, $-0,0973$ e $0,0811$, respectivamente, provavelmente devido à influência da poeira ambiente e das condições climáticas.

Na Figura 4 pode-se observar que o ozônio não sofre influência da circulação de veículos, mas sim da radiação solar, tendo maior concentração no período das 11h00 às 17h00. Os particulados PTS e PI, com o CO e o NO_2 , apresentam picos pela manhã, entre 07h00 e 10h00, e no período das 17h00 às 22h00, horário de maior fluxo de veículos. Esses picos corroboram o observado por Gioda *et al.* (2016), em estudo realizado no Rio de Janeiro, onde também foram verificados picos de poluentes nos horários de grande tráfego de veículos; também Krecl *et al.* (2015), em estudo realizado em Estocolmo, identificaram picos de aumento de concentração de poluentes coincidindo com o aumento do número de veículos no trânsito. É possível verificar que a concentração de SO_2 sofre um acúmulo nas primeiras horas do dia até as 17h00 e posteriormente sofre redução até as 24h00, provavelmente devido à interação

entre a radiação e o calor acumulado no final do dia. Esse efeito merece ser avaliado com mais profundidade em estudos futuros.

Para avaliar se o comportamento das concentrações de poluentes monitorados pela estação Ouvidor Pardiniho tem relação exclusiva com o tráfego de veículos, foram comparados os valores de NO_2 , CO, PTS e PI com os valores obtidos na estação CIC (poluentes monitorados em ambas as estações). A estação CIC fica próximo à cidade de Araucária, e no estudo realizado por Barbon e Gomes (2010), sobre a poluição do ar naquela região, as emissões veiculares foram desconsideradas, por representarem menos de 1% das emissões totais locais diante das emissões das indústrias da região. Verificou-se que na estação CIC, além de os picos de concentração de poluentes coincidirem com os picos de maior tráfego de veículos, entre 5h00 e 10h00 pela manhã e entre 17h00 e 21h00 à tarde, os índices de CO, PTS e PI ficaram elevados devido à influência da poluição gerada pelas indústrias localizadas nessa região. Outro ponto a ser observado é a maior concentração de NO_2 na região da Estação Ouvidor Pardiniho, que se deve, segundo Ribas *et al.* (2016) e Souza, Silva e Silva (2013), ao maior tráfego de ônibus (veículos movidos a diesel e que produzem como principal poluente o NO_2). Concluiu-se, assim, que a estação PAR é a mais representativa da poluição automotiva na região em estudo.

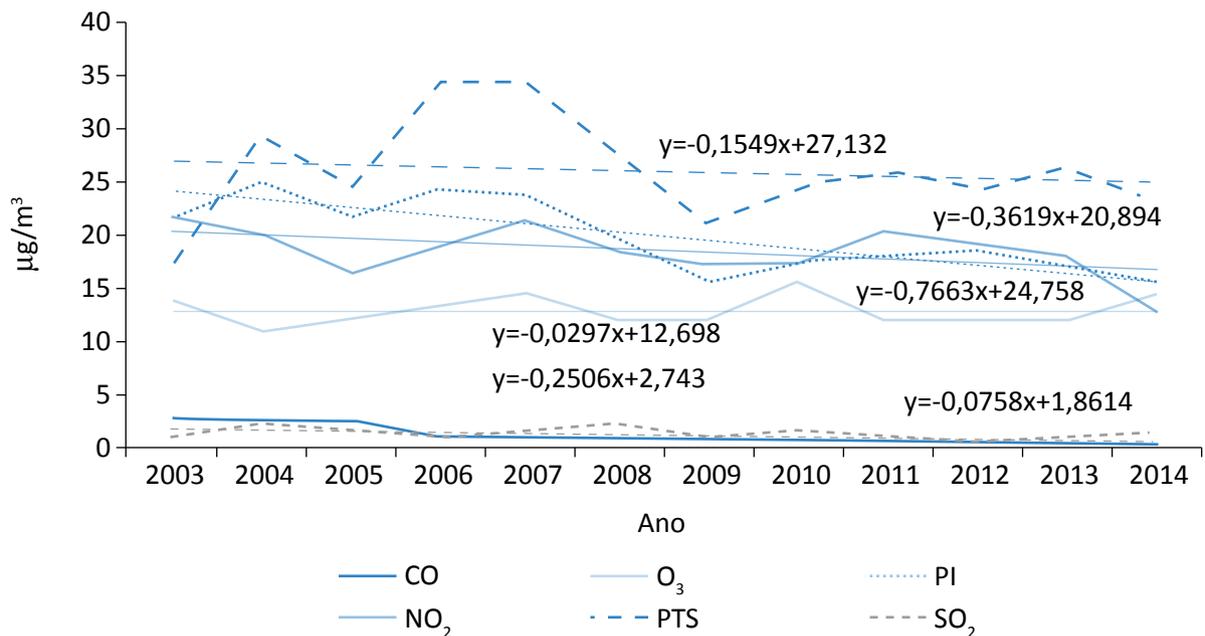


Figura 2 – Médias anuais da concentração de poluentes em Curitiba, entre 2003 e 2014, Estação Ouvidor Pardiniho.

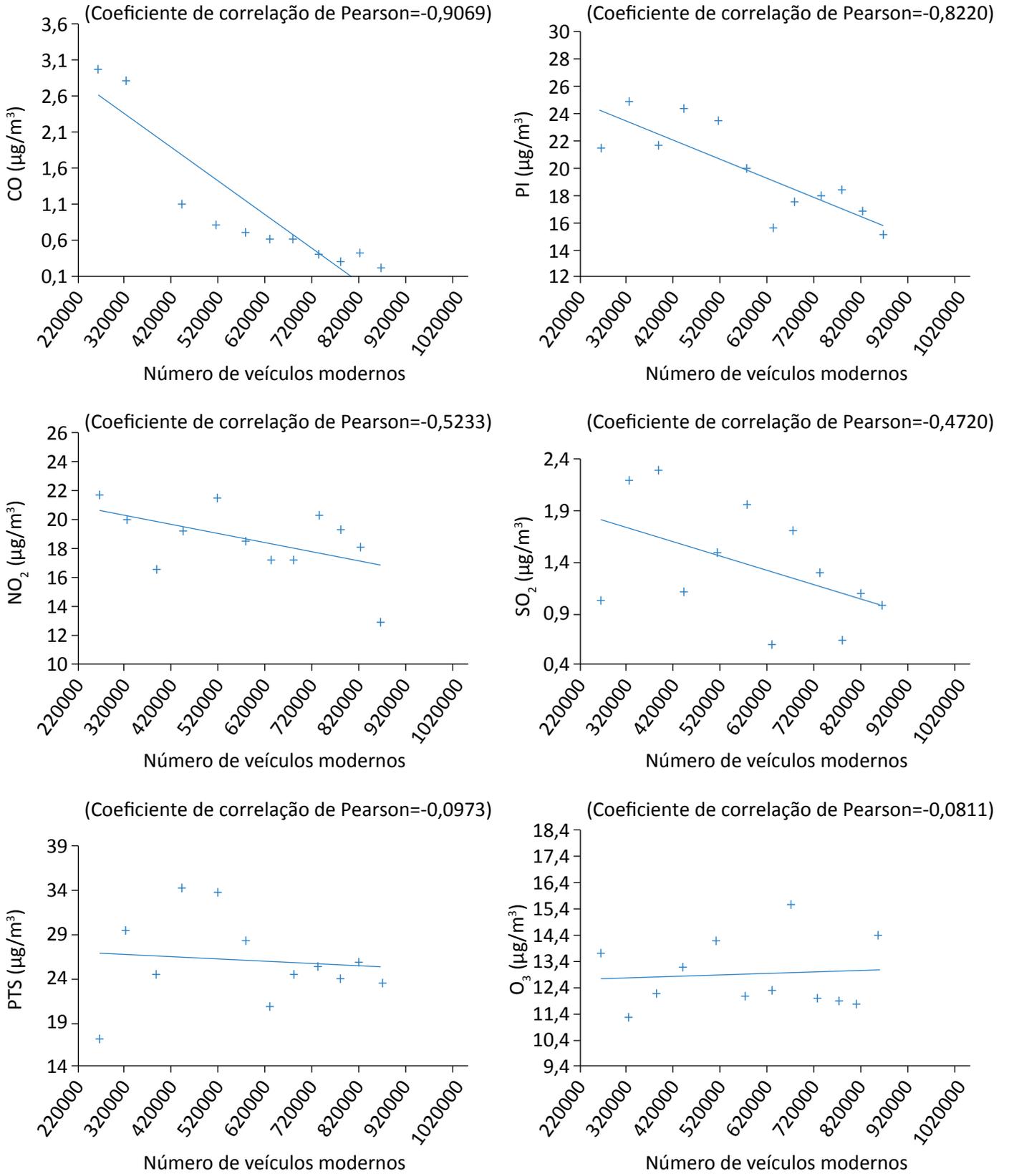
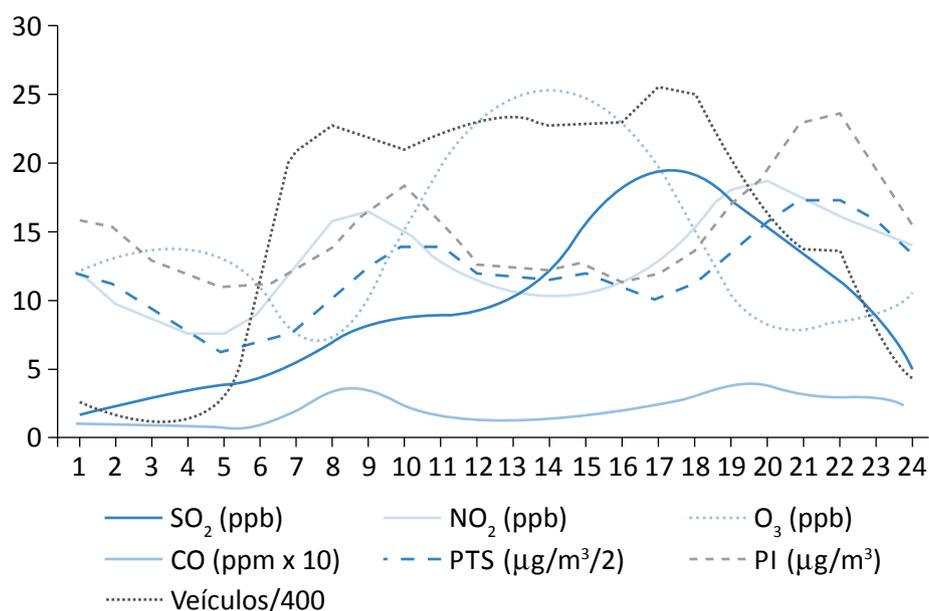


Figura 3 – Correlação entre a frota de veículos modernos e as concentrações de poluentes, em Curitiba, entre 2003 e 2014.

As iniciativas legislativas de exigência de índices de emissão progressivamente menores se revelam importantes e eficazes, orientando, estimulando e complementando o desenvolvimento tecnológico dos motores dos veículos.

Utilizando-se a metodologia proposta por Bagiński (2015), os dados obtidos do IAP entre 2003 e 2014 e as considerações apresentadas anteriormente durante a visita à Praça Ouvidor Pardini, obteve-se o resultado da evolução do E_{tr} e, posteriormente, do TAQI (Tabela 1).

Esse autor propõe valores de nocividade para os poluentes componentes de emissões veiculares, porém os coeficientes de nocividade não têm relação com os coeficientes de toxicidade. Os coeficientes de nocividade dos poluentes emitidos levam em consideração sua influência nos seres humanos, sua interação com outros componentes do ambiente, seu tempo de vida na atmosfera, os processos físico-químicos que os envolvem e os impactos de substâncias secundárias formadas por eles. Para o cálculo



Fonte: IAP (2015) e SETRAN (2015).

Figura 4 – Médias horárias da concentração de poluentes e veículos em Curitiba em 2014.

Tabela 1 – Evolução das categorias de qualidade do ar de Curitiba.

	Ki	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
CO ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	0,13	2,97	2,8	2,5	1,1	0,8	0,7	0,6	0,6	0,4	0,3	0,4	0,2
NO ₂ ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	5,6	21,7	20	16,6	19,2	21,4	18,6	17,2	17,2	20,3	19,3	18,1	12,9
SO ₂ ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	1	1,025	2,2	2,3	1,1	1,5	1,97	0,6	1,7	1,3	0,6	1,1	1,0
PI ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	9,1	21,5	24,9	21,7	24,3	23,5	19,9	15,6	17,5	18,03	18,4	16,9	15,1
E_{tr}	–	318,6	341,2	293,1	329,9	335,3	287,3	239,0	257,3	279,1	276,2	256,3	210,7
TAQI	–	655,6	702,1	603,1	678,9	690,0	591,3	491,8	529,6	574,4	568,4	527,5	433,6
CAQ	–	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

PI: particulado inalável; E_{tr} : equivalente de poluentes emitidos; TAQI: índice de qualidade do ar de tráfego; CAQ: categoria de qualidade do ar.

do TAQI, é necessário conhecer o equivalente de poluentes emitidos, obtido a partir do coeficiente de nocividade de um determinado poluente, e a quantidade total de emissões desse poluente (BAGIÉNSKI, 2015).

Segundo as considerações de Bagiénski (2015), os resultados para as CAQs listadas na Tabela 1 indicam que, de 2003 a 2014, a CAQ da região central de Curitiba, a mais influenciada pelo tráfego de veículos, recebeu a classificação “muito bom”. Isso significa que Curitiba

apresenta concentrações de poluição compatíveis com cidades europeias e corrobora a publicação apresentada pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2016), que informa que Curitiba é uma cidade com níveis de poluição do ar mais baixos que os de muitas outras cidades em crescimento. Embora o presente estudo tenha avaliado apenas os valores de uma estação de monitoramento, esse resultado indica que, na área avaliada, o aumento de circulação dos veículos não exerceu pressão negativa sobre os parâmetros de qualidade do ar.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para caracterizar a frota de veículos de Curitiba, e sua análise discriminando os veículos ultrapassados e modernos, permitem concluir que houve renovação da frota de veículos em Curitiba.

Tal renovação influenciou a concentração de diversos poluentes analisados, especialmente o NO_2 , o PI e o CO, visto que suas concentrações apresentaram coeficientes de correlação fortes com a fração moderna da frota. A análise das concentrações de poluentes demonstrou que elas sofreram leve redução ao longo do período estudado, com exceção do ozônio, que apre-

sentou crescimento. A evolução das tecnologias que implicam em redução de emissões veiculares, como de controle eletrônico de injeção, de catalisadores e de novos combustíveis menos poluentes, comprova-se relevante para a redução efetiva das concentrações atmosféricas de poluentes.

Apesar de Curitiba ser uma cidade arborizada, com diversos parques, a renovação da frota de veículos influenciou positivamente na qualidade do ar. Mesmo com a frota total aumentando no período da pesquisa, o índice de qualidade do ar se manteve estável.

REFERÊNCIAS

- ADAK, P.; SAHU, R.; ELUMALAI, S. P.; BARCELO, D. Development of emission factors for motorcycles and shared autorickshaws using real-world driving cycle for a typical Indian city. *Science of the Total Environment*, v. 544, p. 299-308, 2016.
- BAGIÉNSKI, Z. Traffic air quality index. *Science of the Total Environment*, Holanda, v. 505, p. 606-614, 2015.
- BARBON, A. & GOMES, J. Simulação das emissões atmosféricas sobre o município de Araucária com uso do modelo AERMOD. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Brasil, v. 15, p. 129-140, 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *1ª Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários*. Brasil: Estação das Artes, 2011.
- CARVALHO, C. *Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros*. Brasília: IPEA, 2011.
- CHIANG, H.-L.; HUANG, P.-H.; LAI, Y.-M.; LEE, T.-Y. Comparison of the regulated air pollutant emission characteristics of real-world driving cycle and ECE cycle for motorcycles. *Atmospheric Environment*, v. 87, p. 1-9, 2014.
- DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO PARANÁ – DETRANPR. *Anuários estatísticos*. Disponível em: <<http://www.detrان.pr.gov.br/>>. Acesso em: jun. 2015.
- DIESELNET. *Emission standards*. Disponível em: <<https://www.dieselnet.com/standards/>>. Acesso em: set. 2016.

- GIODA, A.; VENTURA, L.; RAMOS, M.; SILVA, M. Half century monitoring air pollution in a megacity: a case study of Rio de Janeiro. *Water Air Soil Pollution*, Suíça, v. 227, 2016.
- GUO, H.; ZHANG, Q.; SHI, Y.; WANG, D.; DING, S.; YAN, S. Characterization of on-road CO, HC and NO emissions for petrol vehicle fleet in China city. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, China, v. 7, p. 532-541, 2006.
- INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ – IAP. *Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba ano de 2012*. Brasil, 2013.
- INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ – IAP. *Relatórios anuais*. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/>>. Acesso em: jul. 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. *Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE/Promot/Ibama*. 3ª ed. Brasil: Ibama/Diqua, 2011.
- KRECL, P.; TARGINO, A.; JOHANSSON, C.; STRÖM, J. Characterisation and source apportionment of submicron particle number size distributions in a busy street canyon. *Aerosol and Air Quality Research*, Taiwan, v. 15, p. 220-233, 2015.
- KUHNS, H.; MAZZOLENI, C.; MOOSMÜLLER, H.; DJORDJW, N.; KEISLAR, R.; BARBER, P.; LIC, Z.; ETYMEZIAN, V.; WATSON, J. Remote sensing of PM, NO, CO and HC emission factors for on-road gasoline and diesel engine vehicles in Las Vegas, NV. *Science of the Total Environment*, Estados Unidos da América, v. 322, p. 123-137, 2004.
- LA ROVERE, E.L.; MENDES, F.E.; SZWARCFITER, L.; MATTOS, L.B.R.; SZWARC, A. Avaliação do Proconve - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores. Relatório de pesquisa elaborado pelo Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente para o Ministério do Meio Ambiente. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002.
- LINKE, R. O PROCONVE L6 e esboços para o L7. In: SEMINÁRIO TENDÊNCIAS E O FUTURO DAS EMISSÕES VEICULARES: IMPACTO NA SAÚDE, LEGISLAÇÃO E TECNOLOGIA, São Paulo, 2009. *Apresentação...* Brasil, 2009.
- MASSAGARDI, M. *Proposta metodológica para compensação as emissões de metano não queimado em motores de ignição por compressão do tipo duplo combustível a diesel e gás natural veicular*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Mestrado Profissional em Gestão Ambiental da Universidade Positivo, Brasil, 2014.
- MILHOR, C. *Sistema de desenvolvimento para controle eletrônico dos motores de combustão interna ciclo Otto*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- RANGEL, M. Impacto dos catalisadores automotivos no controle da qualidade do ar. *Química Nova*, Brasil, v. 26, n. 2, p. 265-277, 2003.
- RIBAS, W. F.; BILOTTA, P.; JANISSEK, P. R.; CARVALHO FILHO, M. A. S.; PENTEADO NETO, R. A. Influência do combustível (diesel e biodiesel) e das características da frota de veículos do transporte coletivo de Curitiba nas emissões de NOx. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Brasil, v. 21, p. 437-445, 2016.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE TRÂNSITO – SETRAN. *Relatório de fluxo de veículos de setembro de 2015*. Brasil, 2015.
- SOUZA, C.; SILVA, S.; SILVA, M. Inventory of conventional air pollutants emissions from road transportation for the state of Rio de Janeiro. *Energy Policy*, Holanda, v. 53, p. 125-135, 2013.
- TAI, J.; HSU, Y.; WENG, H.; LIN, W.; JENG, F. Air pollutant emission factors from new and in-use motorcycles. *Atmospheric Environment*, Holanda, v. 34, n. 28, p. 4747-4754, 2000.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. WHO releases country estimates on air pollution exposure and health impact – new interactive maps highlight areas within countries that exceed WHO air quality limits, 2016. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/air-pollution-estimates/en/>>. Acesso em: 29 set. 2016.