Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbge

Monitoramento e quimiometria da emissão de monóxido de carbono veicular no município de Campo Mourão/PR

Jonas Raul Balbinoti ¹, Thaisa Carvalho Volpe Balbinoti ², José Hilton Bernardino de Araújo ³

¹ Engenheiro Ambiental, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; Bolsista CAPES. jonasrbalbinoti@gmail.com. ² Engenheira de Alimentos, Mestre em Engenharia de Alimentos e Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; Bolsista CAPES. thaisavolpe@gmail.com (autor correspondente). ³ Doutor em Engenharia Química, Professor Titular da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. jaraujo@utfpr.edu.br.

Artigo submetido em 19/01/2017 e aceite em 02/04/2017

RESUMO

A emissão de monóxido de carbono contribui de forma significativa para a poluição do ar e, consequentemente, para a saúde da população. O principal elemento que favorece o aumento da concentração deste poluente atmosférico no meio ambiente são os veículos automotores. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi analisar e monitorar a qualidade do ar em quatro áreas distintas no município de Campo Mourão/PR, de acordo com a legislação vigente, através das emissões de monóxido de carbono de origem veicular. Durante doze dias, diferentes regiões da cidade foram rastreadas quanto ao número de veículos, bem como a concentração da emissão de monóxido de carbono no ar a partir de 2160 detecções. O número de automóveis leves e motocicletas apresentaram a maior representação do volume determinado. A qualidade do ar no município, para todos os pontos de análise, esteve em condição irregular em algum momento do dia, chegando a alcançar 140 ppm de CO, colocando em risco a saúde humana e o meio ambiente. A partir da quimiometria, a análise de componentes principais (PCA) ilustrou a dispersão dos parâmetros avaliados com 73.74% de variância. A PCA concluiu que o aumento da concentração de CO ocorreu devido ao aumento de veículos pesados e não do número total de veículos. Palavras-chave: Poluição Ambiental; Emissões Atmosféricas; Poluentes; Veículos; Análise de Componentes Principais.

Monitoring and chemometrics of vehicle carbon monoxide emission in the municipality of Campo Mourão / PR

ABSTRACT

The emission of carbon monoxide contributes significantly to pollution of the air and consequently for the health of population. The main element that favors the increase of the concentration this pollutant in the environment is the motor vehicles. Thus, the objective of this work was to analyze and to monitor the quality of the air in four distinct areas in the municipality of Campo Mourão/PR, in accordance with current legislation, through of emissions of carbon monoxide from vehicular source. For twelve days, different parts of the city were traced as far as the number of vehicles, as well as the concentration of carbon monoxide in the air from 2160 detections. The number of light cars and motorcycles presented the largest representation of the given volume. The air quality in the city, for all points of analysis, was in irregular condition at some point during the day, reaching 140 ppm of CO, endangering human health and the environment. From chemometrics, principal component analysis (PCA) illustrated the dispersion of the parameters evaluated with 73.74% of variance. The PCA has concluded that the increased concentration of CO was due to the increase in heavy vehicles and not the total number of vehicles.

Keywords: Environmental Pollution; Atmospheric Emissions; Pollutants; Vehicles; Principal component analysis.

Introdução

Segundo Farhi et al. (2014), a exposição de curto e longo prazo ao ar poluído está diretamente associada a riscos à saúde, como bronquite crônica, doenças respiratórias, câncer de pulmão e

malformações congênitas. Entre os maiores contribuintes para a poluição do ar, as emissões dos veículos apresentam impacto significativo, principalmente em regiões metropolitanas, nas

quais a indústria automobilística se torna cada vez maior (Cui et al., 2015).

Em razão do impacto das emissões de origem veicular ocasionarem mudanças climáticas (Uherek et al., 2010), bem como prejudicarem a saúde da população (Pope et al., 2002), pesquisadores se dedicam a minimizar tais efeitos por meio de novas tecnologias. Zhu et al. (2017) relataram que as emissões de veículos na China foi reduzida de 1,13 g/km (China I, hidrocarboneto (HC) + NOx) para 0,10 g/km (China V, HC) através de melhorias substanciais na tecnologia dos motores. Além de Zhu e colaboradores, ao longo das últimas décadas, inúmeros trabalhos foram publicados com ênfase na avaliação, no melhoramento e na análise das emissões de veículos (Nakashima et al., 2010; Chen et al., 2011, Wang et al., 2013, Wang et al., 2015 e Yinhu et al., 2016), o que torna evidente a importância desta linha de pesquisa na busca de novas soluções, no alerta de condições irregulares e nas consequências para a vida dos cidadãos.

Dentre os principais poluentes emitidos via veículos automotores, o monóxido de carbono (CO) se destaca devido sua concentração e impacto na saúde. De acordo com Lacerda et al. (2005), os veículos são responsáveis por aproximadamente 75% de todo o CO (de fonte artificial) liberado no mundo. O composto CO é considerado um poluente altamente tóxico para a população, visto que apresenta alta afinidade pela hemoglobina, o que contribui para a redução da capacidade do sangue transportar oxigênio (Cançado et al., 2006). As consequências dessa intoxicação podem resultar em efeitos como: insônia, cefaleia, fadiga, diminuição da capacidade física, tonturas, vertigens, náuseas, vômitos, distúrbios visuais, alterações auditivas, doenças respiratórias, anorexia, síndrome de Parkinson, isquemia cardíaca, cardiopatias e arteriosclerose (Bakony et al., 2004; Lacerda et al., 2005; Fleig et al., 2016).

A fim de regulamentar e controlar os poluentes emitidos na atmosfera, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução nº 03 de junho de 1990, na esfera federal, dispõe sobre os padrões de qualidade do ar. Em conformidade com o exposto nesta resolução, consideram-se padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente (Brasil, 1990).

Com relação ao CO, o CONAMA estabelece os seguintes padrões de qualidade: para o padrão primário (concentração do poluente que, ultrapassada, poderá afetar a saúde da população)

foi instituído, para 8 horas, concentração média de 10.000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (9 ppm); por sua vez, para o padrão secundário (concentração abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso) foi designado, para 1 hora, concentração média de 40.000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (35 ppm) (Brasil, 1990).

Por motivo da contribuição negativa dos poluentes dos automóveis - em específico o CO - para a saúde humana e para a qualidade do meio ambiente, é de grande interesse estimar as emissões de tal poluente, a fim de fornecer dados básicos para estudos futuros sobre o impacto das emissões na saúde, na qualidade do ar, nas mudanças climáticas e também para o desenvolvimento efetivo de medidas de mitigação. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo monitorar a emissão do poluente atmosférico CO no município de Campo Mourão/PR, de modo a averiguar a correlação entre a quantidade de veículos com os níveis de emissão por intermédio da análise quimiométrica.

Materiais e métodos

Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido na cidade de Campo Mourão/PR, sendo selecionados quatro pontos distintos na área urbana do município, conforme demonstrado na Figura 1. O critério de seleção dos pontos foi baseado nas principais interseções localizadas no município.

Procedimentos metodológicos

As aferições foram efetuadas três vezes ao dia, durante 3 dias em cada ponto, de segunda à sexta, entre 07h00 e 08h00 horas, 12h00 e 13h00 horas, e 17h00 e 18h00, entre junho/julho, totalizando 12 dias de experimento. O critério para os dias de coleta foi ausência de chuva.

Nos locais de monitoramento, foi realizada a contagem dos veículos transeuntes, assim como a avaliação da emissão de CO. Os veículos identificados nos locais foram classificados em leves (automóveis e utilitários de pequeno porte), médios (utilitários, caminhonetes cabine simples e dupla, veículos SUV - *Sport Utility Vehicles*), pesados (ônibus, caminhões e bitrens) e motocicletas. Para este estudo, veículos estacionados não foram considerados.

Para detecção e quantificação da concentração do gás poluente (CO), foi utilizado detector de gás portátil (Gas Alert/MAX XT II/BW Technologies), que possibilitou a determinação momentânea de CO (ppm) nos locais de estudo. O monitoramento ocorreu a cada minuto, somando 180 minutos para cada condição de horário ao final do estudo.

O equipamento ficou posicionado criteriosamente sempre no mesmo local de cada

ponto de coleta, com 1,5 m de distância do solo, Figura 2.

Figura 1. Identificação de Campo Mourão no estado do Paraná, bem como as coordenadas dos pontos (1, 2, 3 e 4) monitorados na cidade.

Figura 2. Representação do procedimento de obtenção dos dados.

A concentração de CO obtida ao longo deste estudo foi confrontada com o padrão de qualidade do ar disposto na Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990.

Análise estatística

As informações obtidas foram tratadas por intermédio da estatística descritiva no *software* Origin 8.0 (Originlab/Inglaterra), empregando os testes da ANOVA (Análise de Variância) e Tukey, ambos com 95% de confiança. Os dados igualmente foram discutidos por análise quimiométrica, mediante técnica PCA (Análise de Componentes Principais ou Principal Component Analysis). A matriz de dados foi processada utilizando o

pacote PLSToolbox 3.0[®] em ambiente Matlab 7.0.1[®] (Mathworks), com pré-processamento de autoescalamento.

Resultados e discussão

Identificação e fluxo dos veículos

Ao longo do estudo foram registrados 52,055 veículos, subdivididos em veículos leves (automóveis de passeio), médios (camionetes e utilitários esportivos), pesados (ônibus, caminhões) e motocicletas, Figura 3. Os veículos da categoria leve foram os mais observados durante todo o projeto (62,47% da amostragem), enquanto que os veículos pesados foram os de menor frequência (6,54%). Na Figura 4 é possível identificar durante os 12 dias, independentemente do horário, que os veículos leves foram predominantes, com média de aproximadamente 901 veículos por hora. Os automóveis de passeio ocuparam de forma significativa as ruas das cidades, devido ao elevado número de automóveis particulares.

Figura 3. Porcentagem dos veículos leves, médios, pesados e motocicletas contabilizados no estudo.

O teste da ANOVA foi aplicado a fim de verificar se houve diferença significativa entre as médias obtidas entre os horários avaliados

1

Figura 4. Número de veículos monitorados por hora durante doze dias de coleta.

Qualidade do ar

A qualidade do ar foi avaliada mediante 2,160 detecções, das quais a soma maioria esteve com concentrações regulares de CO, entre 0 a 10 ppm, Figura 5. Entretanto, houve 66 irregularidades, o que equivale a 3,05% do total dos

durante os 12 dias. O valor de F encontrado foi menor que o valor do $F_{\text{crítico}}$, o que permite concluir que não houve diferença significativa para o número de veículos encontrados nos 3 horários estabelecidos no estudo. Todavia, houve diferença entre as categorias dos veículos ao nível de 95% de confiança, o que admite que o número de veículos por qualificação se diferencia, independentemente do horário de monitoramento. O teste de Tukey ($p \leq 0,05$) identificou que o número de motocicletas e o número de veículos leves se diferem entre si e dos demais subgrupos; porém, o número de veículos médios e pesados não apresentaram distinção entre eles quanto ao número de automotores identificados. Desta forma, a cidade de Campo Mourão/PR apresenta, ao longo do dia, alto número de veículos leves, seguido de motocicletas, veículos médios e pesados, sendo os dois últimos na mesma proporção.

dados obtidos. As irregularidades estiveram presentes em todos os pontos ao longo do município. No ponto 1, por exemplo, dentre as detecções realizadas no local, 14 estiveram acima do permitido pela legislação (35 ppm), sendo que 3 pontos foram observados entre 7h00 - 8h00 e

17h00 - 18h00, respectivamente, enquanto que no horário entre 12h00 e 13h00, 8 detecções foram irregulares. A alta concentração de CO entre 12h00 e 13h00, em relação aos demais horários alcançados no ponto 1, ocorreu devido ao elevado tráfego de veículos pesados neste momento do dia, visto que o ponto de coleta era localizado no acesso à cidade.

No ponto 2, localizado no centro da cidade, todas as detecções irregulares (18) aconteceram entre 7h00 e 8h00 (Figura 5), resultado da aglomeração de carros leves e motocicletas que transitaram no local. Por sua vez, o Ponto 3, igualmente monitorado no centro da cidade, apresentou apenas 4 irregularidades, todas entre

17h00 e 18h00, relacionado, possivelmente, ao término do horário comercial.

No Ponto 4 a qualidade do ar apresentou os piores índices de concentrações de CO, Figura 5. Dentre os horários de estudo no local, apenas no da manhã (7h00 as 8h00) não ocorreram irregularidades. Contudo, entre 12h00 e 13h00, e entre 17h00 e 18h00, foram registrados 11 e 19 detecções inapropriadas, respectivamente. De acordo com o observado no local, tais resultados estão diretamente relacionados com a movimentação e o alto tráfego de veículos pesados nesta região da cidade, uma vez que a mesma situa na saída do município.

Figura 5. Concentração de Monóxido de Carbono detectada nos distintos pontos de coleta. I, II e III designa o número de dias que cada ponto foi monitorado em 3 horários diferentes, totalizando 180 minutos para cada condição e 12 dias de experimento.

O teste da ANOVA confirmou, ao nível de 95% de confiança, que houve diferença entre os horários de monitoramento para os 4 pontos selecionados ao longo da cidade, ou seja, detecções feitas entre as 7h00 e 8h00, 12h00 e 13h00, e 17h00 e 18h00 são distintas entre os locais de coleta. Contudo, o teste de Tukey identificou semelhanças entre os pontos 1 e 4, e 2 e 3 para os testes feitos entre 12h00 e 13h00. Este resultado indica que, neste horário e somente nesta condição, os pontos mencionados foram equivalentes quanto à emissão de CO. A justificativa deste comportamento pode ser devido aos pontos 1 e 4 estarem localizados em regiões de acesso/saída à cidade, enquanto 2 e 3

estão situados no centro do município, e consequentemente apresentaram dinâmica semelhante para o mesmo momento.

Vale destacar que, apesar das irregularidades observadas neste estudo serem, em quantidade, inferiores ao número de detecções feitas em condição regular (Figura 5), a legislação adverte que altas concentrações de CO são prejudiciais. Desse modo, concentrações inaceitáveis de CO ocorreram na cidade, possivelmente, devido à presença de neblina no horário das 7h00 às 8h00, baixa movimentação do ar (vento), temperatura no local e presença de veículos em condições precárias, como . Assim

sendo, independentemente do número de detecções irregulares, a qualidade do ar do município apresentou, nos locais e durante o estudo, em algum momento do dia, condições hostis - o que colocou em risco à saúde humana e o meio ambiente.

Wang et al. (2016) detectaram que as reduções de poluentes de origem veicular, na China, foram obtidas em função da melhoria da qualidade dos combustíveis, das tecnologias de controle de emissões e aplicação de rigorosas normas para emissões. Ueda e Tomaz (2011) afirmam que, para que haja melhor qualidade do ar em regiões com circulação de veículos, é necessário: implantação de programas de inspeção

e manutenção periódica dos veículos - principalmente nos veículos antigos; incremento na tecnologia de veículos novos; maior qualidade no transporte público.

Quimiometria dos dados

A análise de componentes principais (PCA), Figura 6, foi utilizada neste estudo com o objetivo de visualizar a estrutura dos dados obtidos (número de veículos e concentração de CO), a fim de encontrar similaridades entre as condições monitoradas, ou seja, uma relação entre veículos e concentração de CO para todas as condições avaliadas (horário e ponto de coleta).

Figura 6. Análise de componentes principais na distribuição de loadings (A) e scores (B). Legenda: Na Figura A, 1(motocicletas), 2(veículos leves), 3(veículos médios), 4 (veículos pesados) e 5 (concentração de CO). Na figura B, 1 ao 9 (dados referentes ao ponto 1), 10 ao 18 (dados referentes ao ponto 2), 19 ao 27 (dados referentes ao ponto 3), 28 ao 36 (dados referentes ao ponto 4).

A partir da técnica PCA foi possível ilustrar a dispersão dos parâmetros avaliados neste estudo em relação às duas primeiras componentes principais que representaram 73,74% da variância dos dados. A primeira componente principal (PC 1) segue na direção da variação, máxima possível, existente no conjunto de dados; já a segunda componente (PC 2) é ortogonal a primeira, a qual representa a segunda maior variância. Foi observado, como identifica a Figura 6, que a PC 1, com 47,70% da variância, segmenta todos os monitoramentos realizados no ponto 1 e 4 no quadrante positivo e negativo, respectivamente. O parâmetro que causou a distinção entre o ponto 4 em relação ao 1 foi a concentração de CO (5); ou seja, detecções de CO no ponto 4 foram sempre maiores que as observadas no ponto 1. Contudo, a diferença principal entre o ponto 1, em comparação com o 4, foi o número de veículos serem maior. Assim sendo, neste estudo, não houve relação entre

o número total de veículos com a concentração de CO, isto é, maior número de veículos não configura maior concentração de CO, o que permite concluir que a detecção de CO esteve relacionada com outros fatores como, possivelmente, a integridade dos veículos e condições atmosféricas.

Quando estudado a PC 2 (variância de 26,04%), não há mais a separação entre análises feitas no ponto 1 e 4, mas sim a separação dessas amostras (localizadas no quadrante positivo) da grande maioria das realizadas nos pontos 2 e 3. Este resultado indica que, devido a menor concentração de CO e a menor presença de veículos pesados nos pontos 2 e 3, houve separação destes quanto aos locais 1 e 4. Desta forma, o aumento da concentração de CO esteve relacionado com o aumento de veículos pesados; consequentemente, os pontos de coleta no centro da cidade (2 e 3) – locais que apresentam restrições para o tráfego desses automóveis -, oferecem maior qualidade do

ar quando comparado com os locais de fluxo contínuo de ônibus, caminhões e bitrens.

Conclusões

A quantidade total de veículos em circulação não é proporcional à concentração de CO na atmosfera, mas sim, em razão do aumento de veículos pesados. As regiões que apresentaram maiores detecções de CO foram as situadas na entrada e saída do município, onde houve maior circulação de ônibus, caminhões e bitrens. Além da concentração de CO estar relacionada com o aumento de veículos pesados, possivelmente as condições climáticas e conservação dos veículos também interferiu neste cenário. Assim sendo, torna-se fundamental uma melhor fiscalização de veículos antigos, bem como dos que apresentam condições precárias de conservação.

Agradecimentos

À Fundação Araucária pelo fomento da bolsa PIBIC durante a graduação. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo, nível mestrado. À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão-Pr, pela infraestrutura.

Referências

- Bakony, S.M.C., Danni-Oliveira, I.M., Martins, L.C., 2004. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Revista de Saúde Pública* [online] 38. Disponível: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102004000500012. Acesso: 02 dez. 2016.
- BRASIL, 1990. Resolução Conama nº 003, de 28 de junho.
- Cançado, J.E.D., Braga, A.L.F., Pereira, L.A.A., Arbex, M.A., Saldiva, P.H.N., Santos, U.P.S., 2006. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. *Jornal Brasileiro de Pneumologia* [online] 32. Disponível: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-37132006000800003. Acesso: 02 dez. 2016.
- Chen, R.H., Chiang, L.B., Chen, C.N., Lin, T.H., 2011. Cold-start emissions of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuel. *Applied Thermal Engineering* [online] 31. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431111000305>. Acesso: 02 dez. 2016.
- Cui, H., Chen, W., Dai, W., Liu, H., Wang, X., He, K., 2015. Source apportionment of PM_{2.5} in Guangzhou combining observation data analysis and chemical transport model simulation. *Atmospheric Environment* [online] 116. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231015301953>. Acesso: 02 dez. 2016.
- Farhi, A., Boyko, V., Almagor, J., Benenson, I., Segre, E., Rudich, Y., Stern, E., Lerner-Geva, L., 2014. The possible association between exposure to air pollution and the risk for congenital malformations. *Environmental Research* [online] 135. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935114002904>. Acesso: 02 dez. 2016.
- Fleig, T.C.M., Kunzler, A.L., Portz, C., Back, G.D., Schneiders, P. de B., Martin, E.A.S., Silva, A.L.G., 2016. Avaliação dos níveis de monóxido de carbono em funcionários de um hospital geral. *Revista de Epidemiologia e Controle de Infecção* [online] 6. Disponível: <http://online.unisc.br/seer/index.php/epidemiologia/article/view/8042>. Acesso: 02 dez. 2016.
- Lacerda, A., Leroux, T., Morata, T., 2005. Efeitos ototóxicos da exposição ao monóxido de carbono: uma revisão. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica* [online] 17. Disponível: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-56872005000300014. Acesso: 02 dez. 2016.
- Nakashima, Y., Kamei, N., Kobayashi, S., Kajii, Y., 2010. Total OH reactivity and VOC analyses for gasoline vehicular exhaust with a chassis dynamometer. *Atmospheric Environment* [online] 44. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231009009376>. Acesso: 02 dez. 2016.
- Pope, I.C., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G.D., 2002. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* [online] 287. Disponível: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11879110>. Acesso: 02 dez. 2016.
- Ueda, A.C., Tomaz, E., 2011. Inventário de emissão de fontes veiculares da região metropolitana de campinas, São Paulo. *Química Nova* [online] 34. Disponível: http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=4523. Acesso: 02 dez. 2016.
- Uherek, E., Halenka, T., Borken-Kleefeld, J., Balkanski, Y., Berntsen, T., Borrego, C., Gauss, M., Hoor, P., Juda-Rezler, K., Lelieveld, J., Melas, D., Rypdal, K., Schmid, S., 2010. Transport impacts on atmosphere and climate: Land transport. *Atmospheric Environment* [online] 44. Disponível:

- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231010000099>. Acesso: 02 dez. 2016.
- Wang, G., Cheng, S., Lang, J., Li, S., g Tian, L., 2016. On-board measurements of gaseous pollutant emission characteristics under real driving conditions from light-duty diesel vehicles in Chinese cities. *Journal of Environmental Sciences* [online] 46. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074216000267>. Acesso: 02 dez. 2016.
- Wang, X., Ge, Y., Liu, L., Peng, Z., Hao, L., Yin, H., Ding, Y., Wang, J., 2015. Evaluation on toxic reduction and fuel economy of a gasoline direct injection- (GDI-) powered passenger car fueled with methanol–gasoline blends with various substitution ratios. *Applied Energy* [online] 157. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915009496>. Acesso: 02 dez. 2016.
- Wang, J., Jin, L., Gao, J., Shi, J., Zhao, Y., Liu, S., Jin, T., 2013. Investigation of speciated VOC in gasoline vehicular exhaust under ECE and EUDC test cycles. *Science of The Total Environment* [online] 15. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969712016014>. Acesso: 02 dez. 2016.
- Yinhui, W., Rong, Z., Yanhong, Q., Jianfei, P., Mengren, L., Jianrong, L., Yusheng, W., Min, H., Shijin, S., 2016. The impact of fuel compositions on the particulate emissions of direct injection gasoline engine. *Fuel* [online] 166. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236115011692>. Acesso: 02 dez. 2016.
- Zhu, R., Hu, J., Bao, X., He, L., Lai, Y., Zu, L., Li, Y., Su, S., 2017. Investigation of tailpipe and evaporative emissions from China IV and Tier 2 passenger vehicles with different gasolines. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [online] 50. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920916302176>. Acesso: 02 dez. 2016.