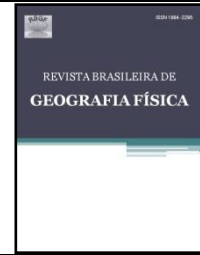




ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Estudo estatístico de alguns poluentes fotoquímicos na Região Metropolitana de Salvador/BA

Ronabson Cardoso Fernandes¹, Tiago de Azevêdo Ferreira², Eduardo Cabral Silva³, Henderson Silva Wanderley⁴, André Luiz de Carvalho⁵

¹ Prof.Dr. Substituto pelo Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas, DCAC, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário – Lagoa Nova, CEP:59.078-970, Natal, Rio Grande do Norte, ronabson@hotmail.com (autor correspondente); ²Engenheiro Ambiental, Cetrel, Salvador/BA, Brasil, Tiago.Ferreira@cetrel.com.br; ³Doutorando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife–PE, Brasil, edcs.cabral@gmail.com; ⁴ Professor Dr. Departamento de Ciências Ambientais, Instituto de Floresta, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, CEP 23897-000, Seropédica, Rio de Janeiro, henderson@ufrj.br . ⁵Dr. Bolsista PNPd, Centro de Ciências Agrárias (CECA/UFAL), Universidade Federal de Alagoas , Maceió/AL,Brasil, del.andre2@hotmail.com .

Artigo recebido em 09/11/2017 e aceito em 24/07/2018

RESUMO

A poluição do ar é um dos grandes problemas das grandes cidades e a região Metropolitana de Salvador/BA não é diferente. Deste modo, o objetivo desse estudo foi analisar o comportamento de poluentes atmosféricos para a Região Metropolitana de Salvador/BA. O monitoramento das concentrações de ozônio troposférico (O₃) e óxidos nitrogenados (NO, NO₂ e NO_x) foram provenientes da estação Rio Vermelho, Salvador/BA, na qual os dados foram coletados constantemente com frequência de 15 minutos, no período de 01 de agosto a 30 de setembro 2013. Utilizaram-se para medição dos parâmetros químicos um analisador de ozônio troposférico, O342M (Absorção UV) e um analisador de óxidos nitrogenados, AC32M (NO-NO₂, quimiluminescência). Todos esses equipamentos foram calibrados com um gás zero e um gás spam de concentração conhecida. Os resultados mostraram que as concentrações de O₃ durante a semana foram, em média, inferiores aos dias de fim de semana e, comportamento inverso a estes foram encontrados com NO_x, NO, NO₂. Constatou-se ainda que durante o período noturno as concentrações de O₃ e dos óxidos nitrogenados tiveram as maiores e as menores concentrações, respectivamente. Em relação aos dias de semana, as maiores concentrações de O₃, em média, foram obtidas na sexta-feira e terça-feira para NO₂. Portanto, essa pesquisa mostrou um perfil das concentrações de alguns poluentes fotoquímicos para Região Metropolitana de Salvador/BA sendo essas informações importantes para diversos setores da sociedade.

Palavras-chave: poluição atmosférica, veículos, saúde humana

Statistical study of some photochemical pollutants in the Metropolitan Region of Salvador/BA

ABSTRACT

Air pollution is a of the major problems of large cities and the metropolitan region of Salvador / BA is no different. Thus, the objective of this study was to analyze the behavior of atmospheric pollutants for the Metropolitan Region of Salvador / BA. The concentrations of tropospheric ozone (O₃) and nitrogen oxides (NO, NO₂ and NO_x) from the Rio Vermelho station in Salvador / Bahia were monitored, in which data were collected constantly with a frequency of 15 minutes in the period of August 1 to 30 September 2013. A tropospheric ozone analyzer, O₃42M (UV Absorption) and a nitrogen oxides analyzer, AC32M (NO-NO₂, chemiluminescence) were used to measure the chemical parameters. All of these equipment were calibrated with a zero gas and a spam gas of known concentration. The results showed that the concentrations of O₃ during the week were, on average, lower than the days of the weekend and, conversely, they were found with NO_x, NO, NO₂. It was also observed that during the night period the concentrations of O₃ and nitrogen oxides had the highest and lowest concentrations, respectively. Regarding the weekdays, the highest concentrations of O₃, on average, were obtained on Friday and Tuesday for NO₂. Therefore, this research showed a profile of the concentrations of some photochemical pollutants for the Metropolitan Region of Salvador / BA and this information is important for several sectors of society. Keywords: air pollution, vehicles, human health.

Introdução

As principais fontes de poluição do ar na Região Metropolitana de Salvador/BA são de

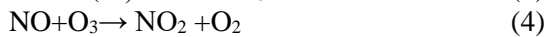
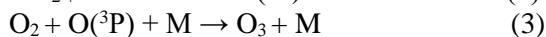
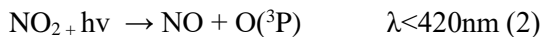
origem veicular e industrial, que lançam milhares de toneladas de poluentes para a atmosfera por ano.

Poluentes como monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂) e dióxido de nitrogênio (NO₂) são alguns poluentes primários encontrados na atmosfera da capital baiana. Esses poluentes primários são emitidos diretamente para atmosfera por diversas fontes móveis e fixas, que reagem na presença da radiação solar formando os poluentes secundários como ozônio troposférico (O₃).

O óxido nítrico (NO) encontrado na zona urbana é um dos subprodutos da combustão incompleta dos combustíveis fósseis. Na atmosfera, o NO oxida-se e convertendo-se em NO₂ (1).



Esses gases supramencionados, na presença da radiação solar, ativam as reações fotoquímicas e, com a fotólise do NO₂ (2), propicia a liberação de átomos de oxigênio e NO, contribuindo assim para a formação do O₃ (3), sendo M, correspondente a moléculas (N₂ ou O₂). A equação (4) mostra a reação reversa.



A mistura de grande quantidade de óxidos nitrogenados, Compostos Orgânicos Voláteis (COV) na troposfera, contribui para a formação do aerossol Peroxi Acetil Nitrato (CH₃C(O)OONO₂), abreviado como PAN (Stephens, 1969). Em Londres/Inglaterra, no ano de 1952, o smog fotoquímico levou a óbito cerca de 4.000 pessoas em 4 dias, resultado da interação da estabilidade atmosférica pela inversão térmica e, emissão contínua de contaminantes atmosféricos pelas indústrias e veículos (Baird, 1998; Jacob, 2000).

A emissão dos óxidos nitrogenados pelos veículos automotores e seus efeitos sobre a saúde humana têm sido estudados por vários autores (Chaney et al., 1981; Schelsinger et al., 1990; McKee e Rodrigues, 1993; Gisele et al., 1997; Kuriyama, Moreira e Silva, 1997; Nóbrega, 2013). Após a inalação do NO₂ pela população, essa substância é dissolvida nos tecidos vivos e, seu acúmulo nos brônquios é responsável por lesões nos pulmões e alterações no sistema imunológico (Rubstein et al., 1991; Kuriyama, Moreira e Silva, 1997). Foi observado que a exposição de crianças ao NO₂, em baixas concentrações, tem agravado os sintomas de asma (Chauhan et al., 2003). Além disso, o aumento da poluição do ar tem aumento de 4,5% nas consultas por doenças respiratórias de crianças (Bakonyi et al., 2004).

No meio ambiente, o transporte da poluição atmosférica para outras regiões é responsável pelo aumento da acidez do solo das florestas e regiões agrícolas, por deposição líquida e sólida causando a degradação e esterilização do solo, alteração do pH, redução de produção na agricultura, acidificação de lagos e extermínio de árvores e florestas (Ashenden e Bell, 1989; Yamulki et al., 1997; Driscoll, et al., 1998; Grodzinska-Jurczaka e Szareklukaszewskab, 1999). O acréscimo da acidez da precipitação pluvial devido a poluição atmosférica tem impacto negativo no concreto e metais (Dolske et al. 1991, Okochi et al., 2000; Xie et al., 2004).

Miraglia e Gouveia (2014) estudaram o impacto econômico da poluição do ar e o custo das mortes prematuras no Brasil utilizando-se a metodologia DALY (Disability Adjusted Life Years). Os resultados mostraram que as mortes prematuras associadas a poluição tem um custo de US\$ 1,7 bilhão anualmente. As autoras relatam a necessidade de prioridades do governo a fim de reduzir o impacto nocivo da poluição do ar na saúde humana.

Portanto, o objetivo desse estudo foi analisar o comportamento das concentrações de alguns poluentes atmosféricos como o de ozônio troposférico (O₃), óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂) para a Região Metropolitana de Salvador/BA.

Material e métodos

Área de estudo

A estação de monitoramento da qualidade do ar de Rio Vermelho localiza-se na Região Metropolitana de Salvador/BA. Essa área de estudo encontra-se na zona urbana de Salvador/BA, com elevado fluxo de veículos e densamente povoado. Esse município possui uma população estimada em 2.953.986 habitantes (IBGE, 2017).

Tratamentos dos dados

O monitoramento das concentrações de O₃, NO, NO₂ e NO_x, na estação Rio Vermelho, foram coletadas constantemente, com frequência de 15 minutos, no período de 01 de agosto a 30 de setembro 2013. Esse monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana de Salvador foi realizado pela CETREL S/A.

Utilizaram-se para medição dos parâmetros químicos um analisador de ozônio troposférico, O342M (Absorção UV) e um analisador de óxidos nitrogenados, AC32M (NO-NO₂, quimiluminescência). Esses equipamentos são calibrados constantemente com um gás zero e

um gás spam de concentração conhecida. Tais equipamentos estão interligados a rede de monitoramento via TCP/IP, que centralizam os dados das estações, em uma central, e divulgando para a população a qualidade do ar momentaneamente.

Simultaneamente à coleta dos parâmetros químicos, coletaram-se parâmetros físicos como a temperatura (Tar) e umidade relativa do ar (UR) e, velocidade e direção do vento.

A relação estatística como correlação de Pearson, densidade de probabilidade Kernel, médias e a elaboração das figuras foram realizadas com auxílio de um software livre como o Programa R(R, 2014), versão 3.1.3, e package *openair*

(Carslaw e Ropkins, 2012; Carslaw e Ropkins, 2016).

Resultados e discussão

A distribuição das séries temporais medidas durante o intervalo de estudo dos parâmetros químicos em análise (O₃, NO, NO₂ e NO_x), assim como os físicos (temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento) medidos na atmosfera são apresentadas na Figura 1.

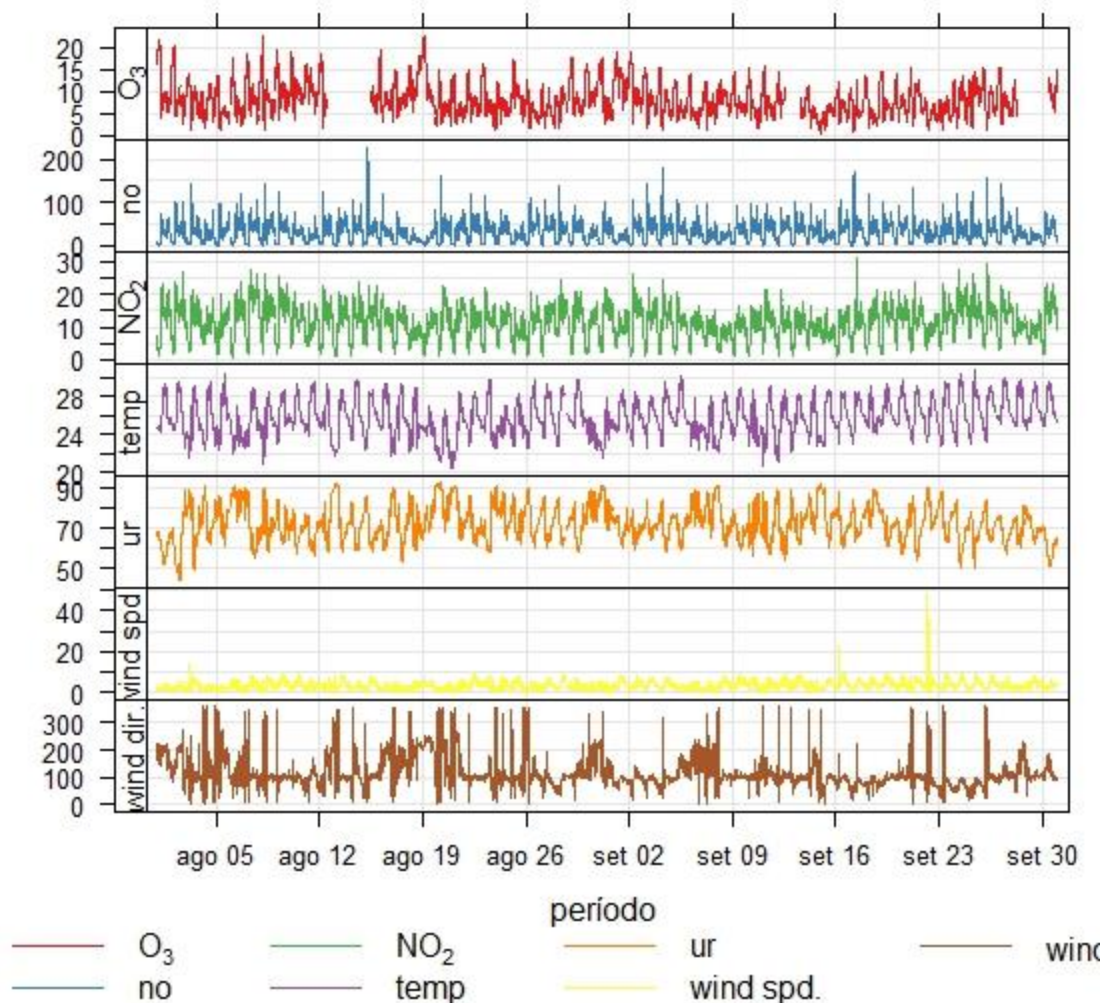


Figura 1. Séries temporais das variáveis em estudo para a estação de monitoramento de qualidade do ar, de Rio Vermelho, em Salvador, Bahia.

As maiores concentrações de O₃ foram obtidas com menores concentrações de NO₂ e NO_x, com valores inferiores a 5ppb e 25ppb, respectivamente (Figura 02a), nas condições de UR e Temp de 70% e 26°C, respectivamente. Também foi observado em menores concentrações com Tar

próximo de 28°C e UR de 62% (Figura 2b). Além disso, as máximas concentrações de O₃ foram obtidas com intensidade e predominância do vento de 2,5m/s a 5,5m/s e 100°, respectivamente (Figura 2c).

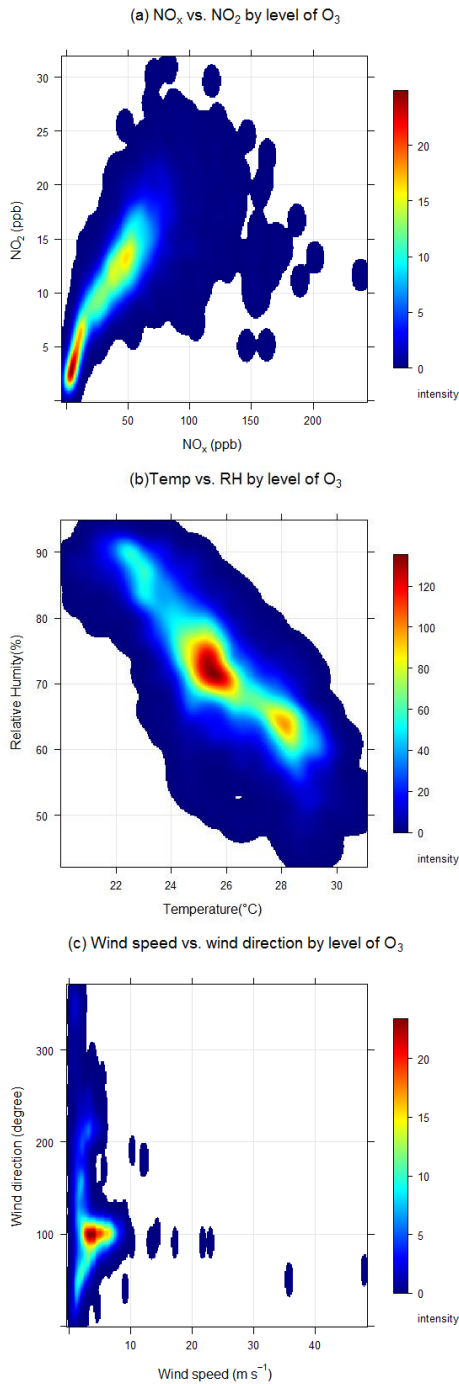


Figura 2. ScatterPlot da função de densidade de probabilidade Kernel.

Na Figura 3, observa-se o comportamento inverso do O_3 e NO_2 , em que, nota-se o processo de

formação e destruição do O_3 pode ser constatada. Percebeu-se que ao amanhecer, o O_3 formou-se depois do decréscimo do NO_2 . No período noturno, por volta das 19h, as concentrações de O_3 (NO_2) teve aumento (redução) de 6ppb ($\approx 14\text{ppb}$) para 13ppb (4ppb). Sabe-se que o comportamento do NO_x , NO e NO_2 é atenuado pelo tráfego de veículos e provoca oscilações na concentração do O_3 (Fernandes et al., 2007; Fernandes, 2010).

Os dois principais picos na concentração de NO_2 nos horários de 8h e 18h deve-se a intensificação do fluxo de veículos na Av. Rio Vermelho. Comportamento similar foi encontrado por Fernandes et al. (2007) e Fernandes (2010) em Maceió/AL.

Esperava-se redução de O_3 durante o período noturno devido ao processo de fotodissociação de formação inibida pela ausência de radiação UV. Contudo, o resultado mostrou-se inverso, sendo neste turno, obtidas as maiores concentrações. Uma das causas para esse perfil deve-se à advecção (transporte) e a deposição do O_3 , justificando-se esse acréscimo.

O decréscimo de NO e NO_2 no período noturno deve-se a desintensificação do fluxo veicular, nesse local, e ao equilíbrio químico na atmosfera. No período noturno, o sumidouro do NO e NO_2 ocorre na formação do pentóxido de dinitrogênio ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_5$) e do ácido nítrico ($\text{NO}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HNO}_3$) (Dentener e Crutzen, 1993; Matsumoto et al., 2006; Fernandes et al., 2007; Fernandes, 2010). Sendo importante no processo de regeneração do O_3 .

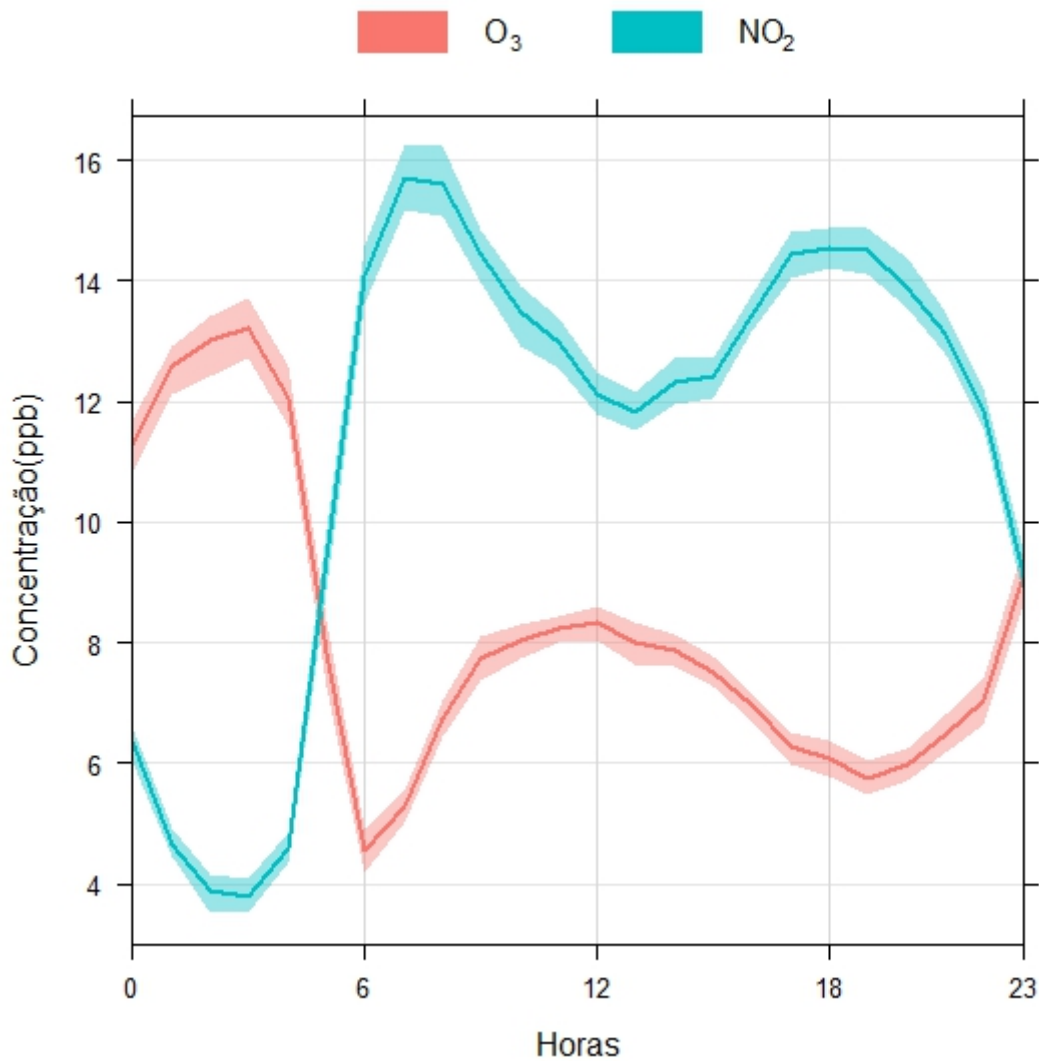


Figura 3. Concentração média horária de O₃ e NO₂, para a estação Rio Vermelho, Salvador/BA, com nível de significância de $\alpha=5\%$.

Percebeu-se que os picos do O₃ e NO₂ são intensificados durante a semana, obtendo os maiores picos na quarta-feira e quinta-feira durante a madrugada (Figura 4). Observou-se que diariamente existem 2 picos principais, das 6h e 18h para NO₂ e, 3h e 12h para o O₃. No período

noturno o O₃ apresentou concentrações superiores ao diurno.

Os NO_x tem ciclo semanal, com o nível máximo que ocorre durante a semana e o nível mínimo nos fins de semana e especialmente depois no domingo à noite e de manhã cedo na segunda-feira. Este padrão pode ser responsável pela maior concentração de O₃ nos fins de semana (Wang et al., 2014).

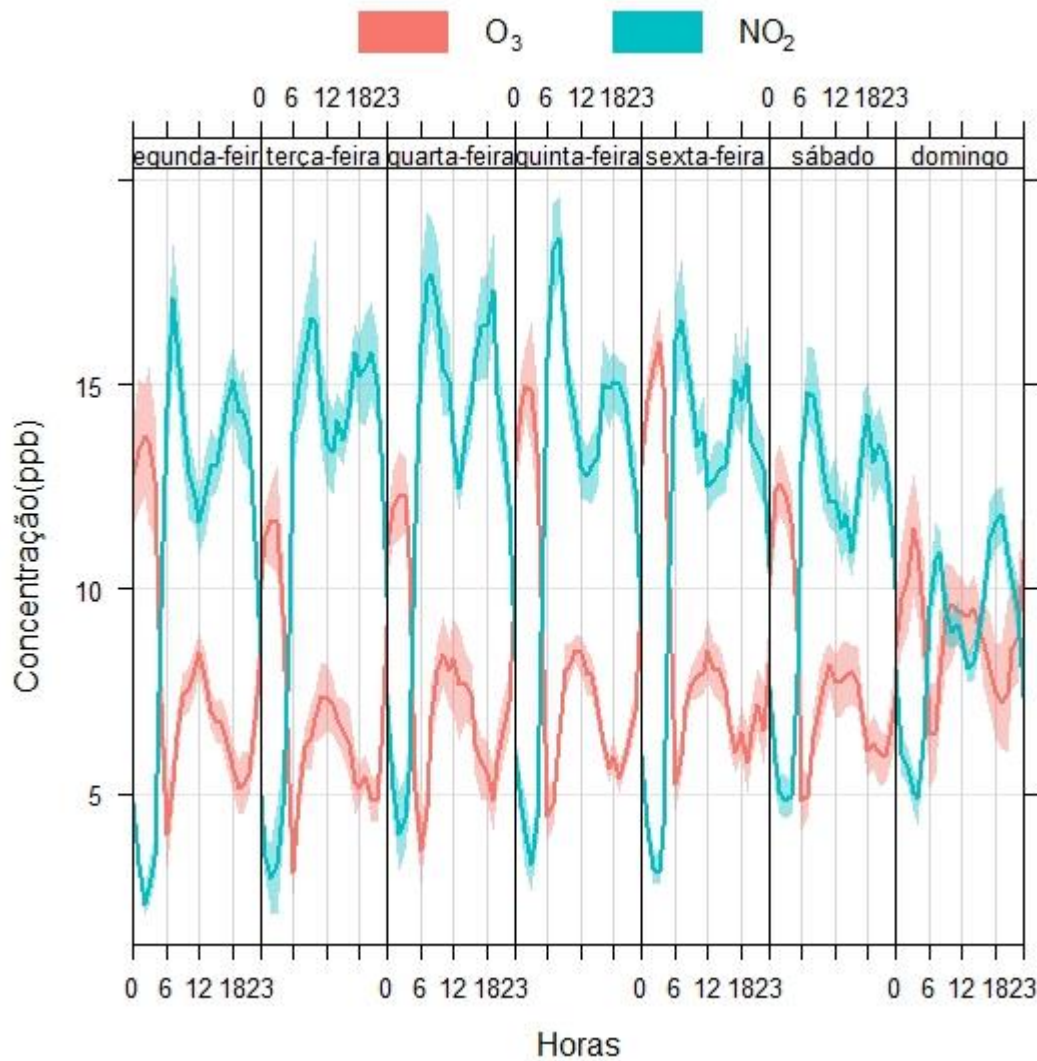


Figura 4. Concentração média de O₃ e NO₂, por dia de semana, para a estação Rio Vermelho,

A intensificação do fluxo de veículos durante a semana provocou aumento nas concentrações de NO₂ na segunda-feira (11,5 ppb) e quarta-feira (12,5ppb), decrescendo gradativamente até alcançar o mínimo da semana no domingo (9 ppb). O O₃ tem incremento a partir de terça-feira até os domingos (Figura 5). Conseqüentemente, o acúmulo dos seus precursores durante a semana refletiu positivamente nas concentrações de O₃.

Estudos mostram que as concentrações de O₃ nos fins de semana são frequentemente superiores às observadas durante a semana (Jiménez et al., 2005 ; Sadanaga et al., 2008; Makra et al., 2010, Pudasainee et al.,2010; Wang et al 2014). Deve-se a redução do tráfego de veículos nos fins de semana levando a redução de 22% das

emissões de NO_x e apenas uma ligeira alteração das emissões de VOC (Jiménez et al., 2005). A redução de emissão dos precursores de O₃ reduz a competição química na atmosfera, propiciando reações mais efetivas na formação do O₃. Segundo Wang et al. (2014), a diminuição dos VOC e baixas concentrações de NO_x no fim de semana pode levar a uma maior proporção de VOC/NO_x, aumentando a eficiência da produção de O₃. Durante a semana, O₃ é fortemente controlado pela emissão de seus precursores, reagindo com NO, CO, VOC e NMHCs (Makra et al., 2010; Pudasainee et al.,2010).

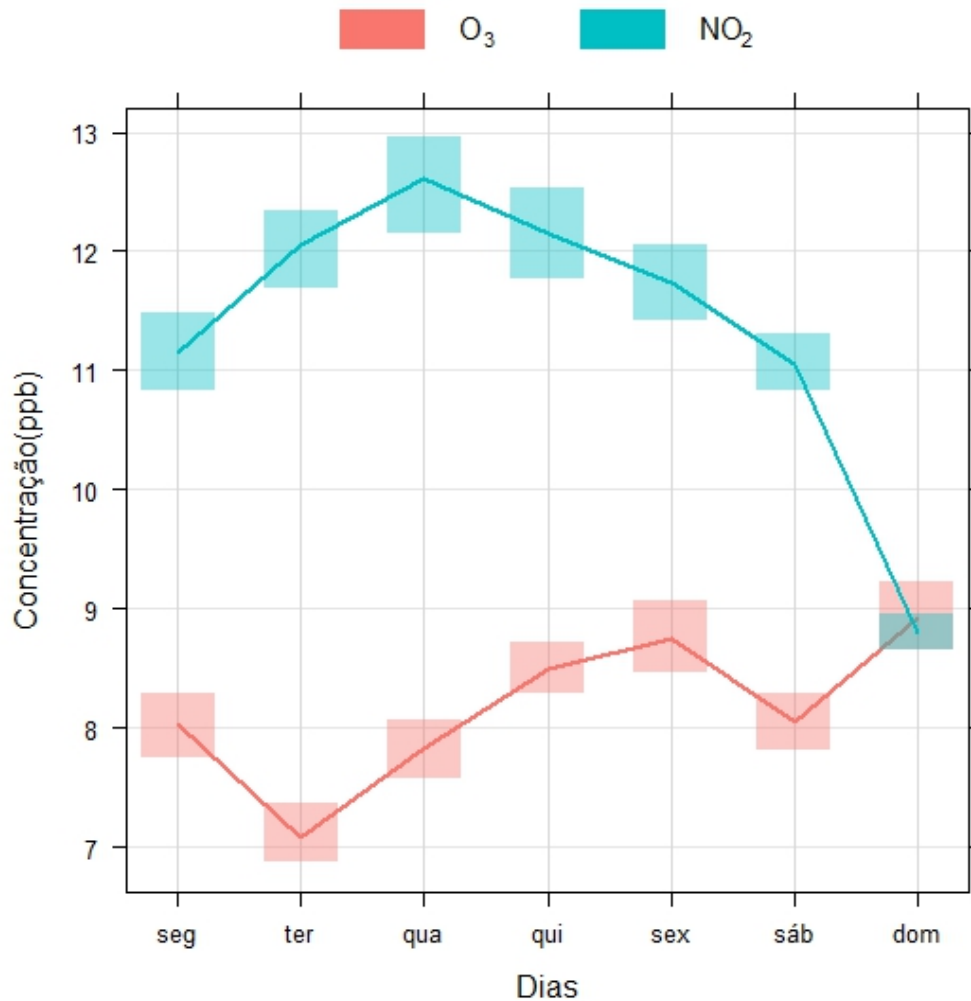


Figura 5. Concentração média de O₃ e NO₂, por dia de semana, para a estação Rio Vermelho, Salvador/BA, com nível de significância de 5%.

Durante o período diurno, as maiores concentrações de O₃ no percentil p90-95%, situaram na direção de SW (sudoeste) com concentrações de 10 a 15ppb. Constatou-se que as concentrações de O₃ no período diurno foram inferiores ao período noturno, com média de ≈5ppb e noturno ≈10ppb, respectivamente (Figura 6). As maiores concentrações O₃ situaram entre a direção do vento Sul-Oeste com ≈10ppb a 15ppb e ≈15ppb a 20ppb. Em relação ao NO₂, as concentrações no período diurno foram superiores ao período noturno. Suas concentrações foram constantes entre NE a W com média de 10 a 15ppb. Nota-se que entre a direção W e N ocorreram maiores oscilações média superior a 15ppb e concentração instantânea superior a 20ppb.

As máximas concentrações de O₃ ocorreram no mês de agosto, principalmente, nos dias 1/08 (21,8ppb às 03:45), 8/08 (22,5ppb às 03:45) e 19/08 (22,7ppb às 03:15), conseqüentemente, foram obtidos baixos valores de NO₂ com 1,48ppb, 1,96ppb e 0,91 ppb, respectivamente. Levando ao consumo de NO₂. Nos respectivos dias e horários, a velocidade do vento foi de 7,2m/s, 18,7m/s e 20,5 m/s, respectivamente (Figura 7).

Contudo, as mínimas concentrações de O₃ ocorreram em setembro, período de maior velocidade do vento, contribuindo para a dispersão dos seus precursores e, conseqüentemente, reduzindo suas concentrações. No mês de agosto, teve comportamento inverso ao mês de setembro, onde as máximas concentrações de O₃ foram obtidas com consumo de NO₂ e baixa velocidade do vento.

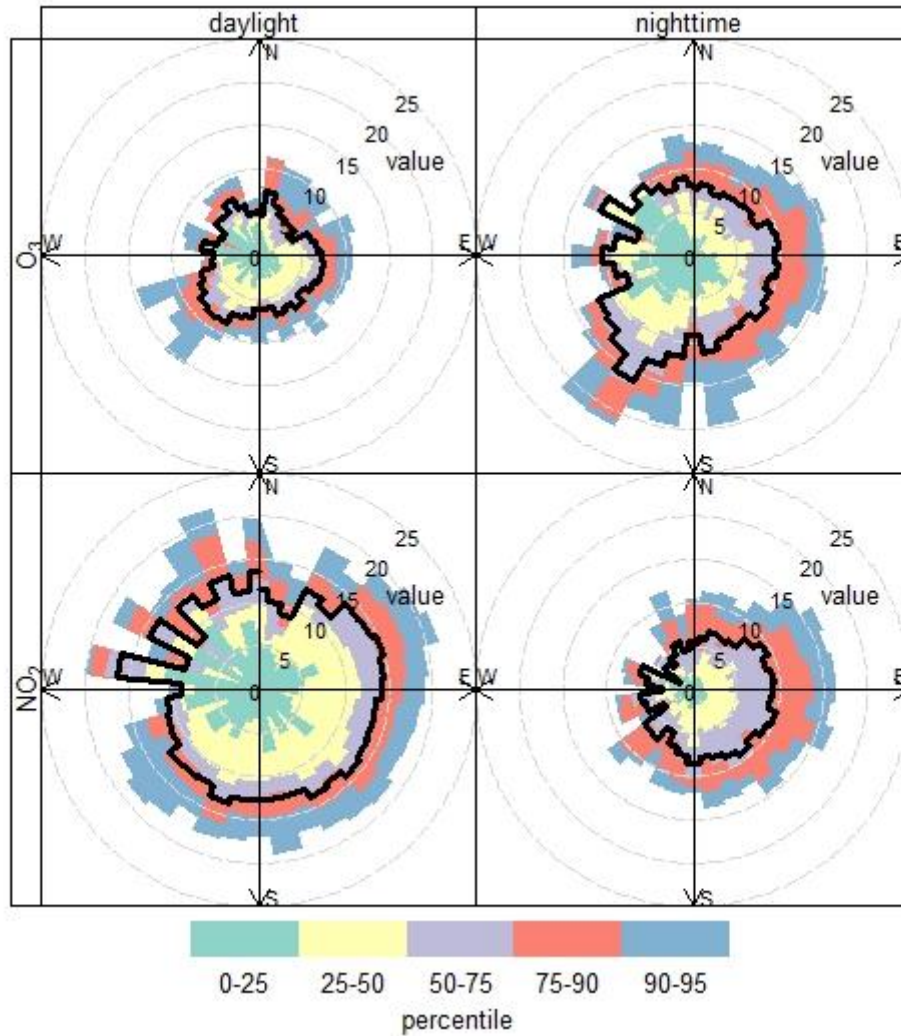


Figura 6. Distribuição percentil das concentrações de O₃ e NO₂, por período diurno e noturno, por dia de semana, para a estação Rio Vermelho, Salvador/BA. Nível de significância de 5%. A linha preta representa a média.

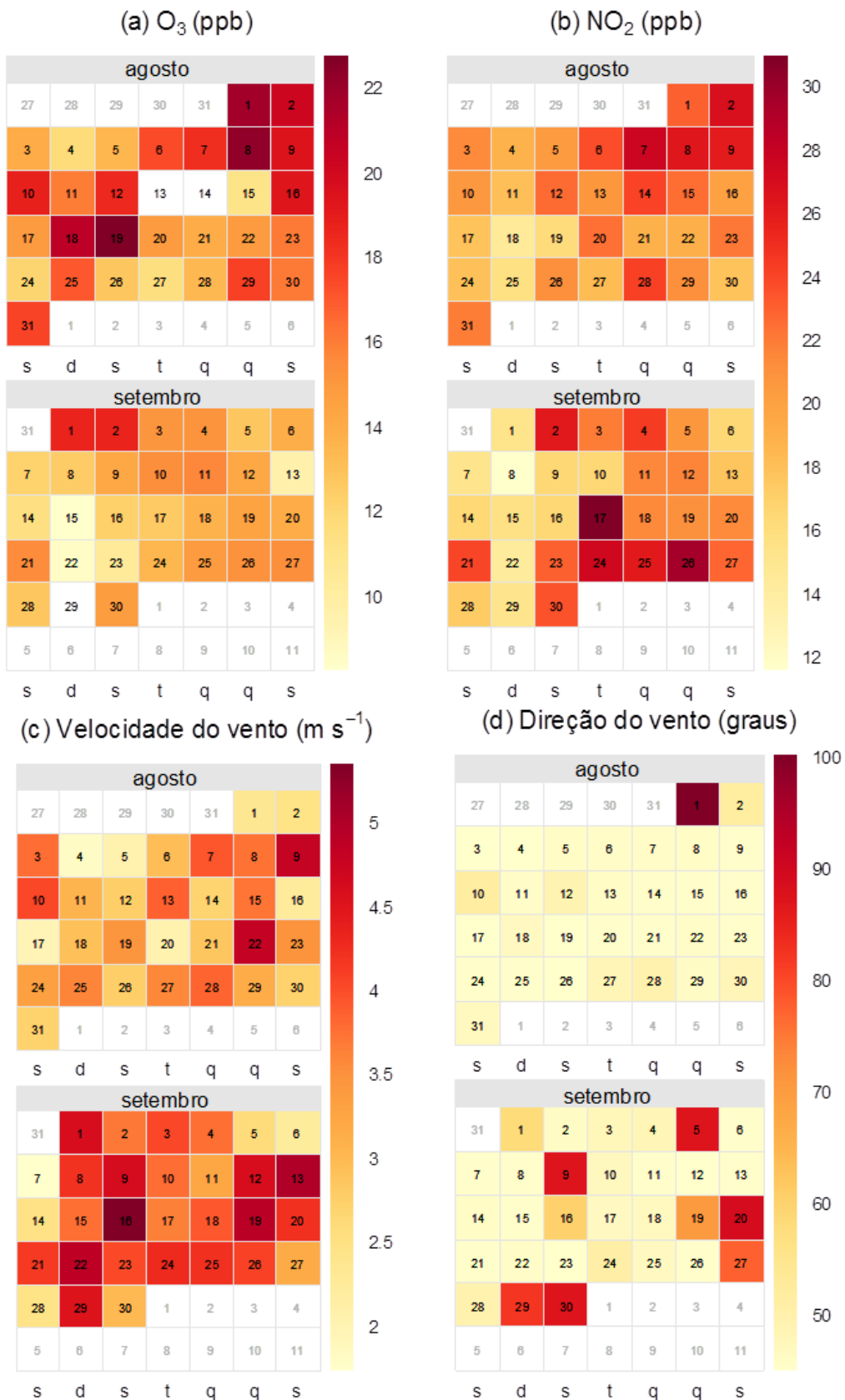


Figura 7. Calendário com as máximas concentrações observadas (a) O₃, (b) NO₂, (c) média diária da velocidade do vento e (d) máxima direção do vento.

Investigando a relação entre o O₃, NO, NO₂, Tar e UR, por turno, verificou-se que NO e o NO₂, no período noturno, tiveram as melhores correlações com -0,68 e -0,71, respectivamente (Tabela 1). O O₃ apresentou correlação positiva com a temperatura durante o período diurno com +0,25. E, durante a semana, a melhor correlação do O₃ com os seus precursores foram obtidos na

quinta-feira apresentando correlações de -0,77 (NO), -0,74(NO₂), nas condições de Tar (-0,31) e UR (+0,11). Essa relação positiva do O₃ com a Tar e negativamente com NO e NO₂ deve-se atuação da energia solar, especificamente a radiação UV, que ajuda na sua formação levando ao sumidouro do NO e NO₂.

Tabela 1. Correlação de Pearson entre O₃ segundo n (número de dados), NO, NO₂, Tar e UR, com nível de significância de $\alpha=5\%$.

Turno/Dias	n	NO	NO ₂	Tar	UR
Diurno	2894	-0,62	-0,26	0,25	-0,39
Noturno	2235	-0,68	-0,71	-0,11	-0,19
Segunda-feira	762	-0,68	-0,61	-0,22	-0,11
Terça-feira	658	-0,71	-0,61	-0,05	-0,02
Quarta-feira	632	-0,69	-0,52	-0,08	-0,08
Quinta-feira	749	-0,77	-0,74	-0,31	0,11
Sexta-feira	787	-0,74	-0,76	-0,13	-0,07
Sábado	786	-0,65	-0,56	-0,06	-0,15
Domingo	755	-0,53	-0,36	0,02	-0,38

Conclusão

Os resultados mostraram que as concentrações de O₃ durante a semana foram inferiores em relação aos dias de semana. Esse comportamento foi inverso quando avaliado com o seus precursores (NO, NO₂, NO_x), devido à emissão veicular. Constatou-se ainda que durante o período noturno ocorreram as maiores e menores concentrações de O₃ e óxidos nitrogenados, respectivamente. As maiores concentrações de O₃ e NO₂ foram obtidas na sexta-feira e terça-feira, respectivamente.

Com isso, é de extrema importância a continuidade dessa pesquisa, comparando-se sazonalmente e anualmente o comportamento desses poluentes na RMS. Isso será importante para a população e gestores públicos devido as reações adversas que esses poluentes causam na saúde humana e meio ambiente.

Agradecimentos

À empresa CETREL S/A por ter cedido gentilmente os dados da qualidade do ar da estação Souza, L. S. B.; Moura, M. S. B.; Sediya, G.C.; Silva, T.G. F.

Rio Vermelho, Salvador/BA, utilizados nesta pesquisa.

Referências

- Ashenden, T. W.; Bell, S. A., 1989. Growth responses of three legume species exposed to simulated acid rain. *Environmental Pollution*. 62 (1), pp. 21-29.
- Baird, C., 1998. *Environmental Chemistry*. 2ª edição, New York, W.H. Freeman and Company.
- Bakonyi, S.M.C., Danni-Oliveira, I.M., Martins, L.C., Braga, A.L.F.. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Rev. Saúde Pública*, 38(5): 695-700, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89102004000500012>.
- Carslaw, D. C., Ropkins, K., 2012. openair - an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software*, Volume 27-28, 52-61.
- Carslaw, D. C., Ropkins, K., 2016. _openair: Open-source tools for the analysis of air pollution data_. R package version 1.8-2, <URL: <http://CRAN.R-project.org/package=openair>>.

- Chauhan, A. J., Inskip, H. M., Linaker, C. H., Smith, S., Schreiber, J., Johnston, S. L., Holgate, S. T., 2003. Personal exposure to nitrogen dioxide (NO₂) and the severity of virus-induced asthma in children. *The Lancet*, 361(9373), 1939-1944.
- Dentener, F. J., Crutzen, P. J., 1993. Reaction of N₂O₅ on tropospheric aerosols: Impact on the global distributions of NO_x, O₃, and OH. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 98(D4), 7149-7163. DOI: 10.1029/92JD02979.
- Dolske, D.A., Meakin, J.D., 1991. Acid deposition impacts on historic bronze and marble statuary and monuments. *Materials Performance*, 30, pp. 53–57, 1991.
- Driscoll, C. T., Postek, K. M., Mateti, D., Sequeira, K., Aber, J. D., Kretser, W. J., Raynal, D. J., 1998. The response of lake water in the Adirondack region of New York to changes in acidic deposition. *Environmental Science & Policy*, 1(3), 185-198.
- Fernandes, R.C, Nascimento Filho, M.F., Silva, M.M.R. 2007. Análise das concentrações de NO_x, NO, NO₂, O₃ no centro urbano de Maceió, AL. *Revista Ciência & Natura*, v. especial, 229-231.
- Fernandes, R. C. 2010. Concentrações dos óxidos nitrogenados NO_x (NO+NO₂) na região metropolitana de Maceió-AL, em função de parâmetros meteorológicos.
- Grodzińska-Jurczaka, M.U., Szarek-Łukaszewskab, G. Evaluation of SO₂ and NO₂-related degradation of coniferous forest stands in Poland. *The Science of the Total Environment*, 241. pp. 1-15.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Acesso: 26 de agosto de 2017. <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/salvador/panorama>>
- Jiménez, P., Parra, R., Gasso, S., Baldasano, J. M., 2005. Modeling the ozone weekend effect in very complex terrains: a case study in the Northeastern Iberian Peninsula. *Atmospheric environment*, 39(3), 429-444. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.09.065>
- Kuriyama, G. S., Moreira, J. C., Silva, C. R. S., 1997. Exposição ocupacional ao dióxido de nitrogênio (NO₂) em policiais de trânsito na cidade do Rio de Janeiro. *Cad. Saúde Públ.*, Rio de Janeiro, 13(4), pp. 677-683, out-dez.
- Makra, L., Mayer, H., Mika, J., Sánta, T., Holst, J., 2010. Variations of traffic related air pollution on different time scales in Szeged, Hungary and Freiburg, Germany. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(1), 85-94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2010.03.005>
- Matsumoto, J., Imagawa, K., Imai, H., Kosugi, N., Ideguchi, M., Kato, S., Kajii, Y., 2006. Nocturnal sink of NO_x via NO₃ and N₂O₅ in the outflow from a source area in Japan. *Atmospheric Environment*, 40(33), 6294-6302. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.05.045>
- Nóbrega, L.A., 2013. Modelagem da influência de poluentes atmosféricos veiculares e fatores meteorológicos em afecções respiratórias. João Pessoa/PB. 2013. 119f. Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Brasil.
- Okochi, H., Kameda, H., Hasegawa, S. I., Saito, N., Kubota, K., & Igawa, M., 2000. Deterioration of concrete structures by acid deposition—an assessment of the role of rainwater on deterioration by laboratory and field exposure experiments using mortar specimens. *Atmospheric Environment*, 34(18), 2937-2945.
- Rubstein, I., Reiss, T. F.; Bigby, B. G., Stites, D. P., Boushey, H. A., 1991. Effects of 0,60 ppm nitrogen dioxide on circulating and bronchoalveolar lavage lymphocyte phenotypes in health subjects. *Environmental Research*, 55:18-30.
- Pudasainee, D., Sapkota, B., Bhatnagar, A., Kim, S. H., Seo, Y. C., 2010. Influence of weekdays, weekends and bandhas on surface ozone in Kathmandu valley. *Atmospheric research*, 95(2), 150-156. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.09.007>
- Sadanaga, Y., Shibata, S., Hamana, M., Takenaka, N., Bandow, H., 2008. Weekday/weekend difference of ozone and its precursors in urban areas of Japan, focusing on nitrogen oxides and hydrocarbons. *Atmospheric Environment*, 42(19), 4708-4723. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.01.036>
- Stephens, E.R., 1969. The formation, reactions and properties of peroxyacyl nitrates (PANs) in photochemical air pollution. *Advances in Environmental Sciences and Technology* 1, 119–146.
- Xie, S., Qi, L., Zhou, D., 2004. Investigation of the effects of acid rain on the deterioration of cement concrete using accelerated tests established in laboratory. *Atmospheric Environment*, 38(27), 4457-4466.
- Wang, Y. H., Hu, B., Ji, D. S., Liu, Z. R., Tang, G. Q., Xin, J. Y., Zhang, H. X., Song, T., Wang, L. L., Gao, W. K., Wang, X. K., Wang, Y. S., 2014. Ozone weekend effects in the Beijing–Tianjin–Hebei metropolitan area, China. *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 2419-2429, doi:10.5194/acp-14-2419-2014.