



Análise temporal da qualidade do ar em Londrina, PR

Temporal analysis of the urban air quality in the city of Londrina

Hugo Salvador Guidugli*, Patricia Abad Krecl†

RESUMO

Este estudo focou na variação temporal das concentrações de material particulado total em suspensão (PTS), material particulado com diâmetro menor a 10 μm (PM_{10}), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO_2) e ozônio (O_3) medidas no centro de Londrina em 2016-2018. Também, com ajuda do pacote *Openair* da linguagem de programação R, foram identificadas as possíveis fontes de emissão considerando a velocidade e direção do vento. Em média, as concentrações de PTS, PM_{10} e NO_x apresentaram dois picos horários (manhã e fim de tarde) e foram maiores nos dias de semana que no fim de semana. O O_3 registrou um máximo às 14h e com maiores valores no domingo. Os valores máximos ocorreram em setembro para PTS, PM_{10} e O_3 , e no inverno para o NO_x . O SO_2 apresentou pouca variação horária, semanal e sazonal. Altas concentrações dos particulados foram vinculadas com uma fonte industrial ao sul da cidade; já uma fonte ao noroeste, fora do município de Londrina, contribui com elevados valores de SO_2 . Altas concentrações de NO_x e O_3 foram associadas com trânsito local e transporte regional de fumaça oriunda de queimadas, respectivamente. Esses resultados deveriam ser considerados para controlar e fiscalizar a poluição atmosférica em Londrina.

Palavras-chave: poluição do ar, material particulado, óxidos de nitrogênio, ozônio, transporte regional

ABSTRACT

This study focused on the temporal variation of the concentrations of total suspended particles (TSP), particulate matter with a diameter smaller than 10 μm (PM_{10}), nitrogen oxides (NO_x), sulfur dioxide (SO_2) and ozone (O_3) measured in the city center of Londrina in 2016-2018. Besides, possible emission sources were identified considering wind speed and direction with the *Openair* R package. On average, concentrations of TSP, PM_{10} and NO_x presented two hourly peaks (morning and late afternoon) and were higher on weekdays than on weekends. O_3 recorded a maximum value at 2 pm and showed highest values on Sundays. The maximum values occurred in September for TSP, PM_{10} and O_3 , whereas NO_x showed the highest levels in wintertime. SO_2 showed little hourly, weekly and seasonal variations. High concentrations of particulates were linked to an industrial source south of the city; a source to the northwest, outside the municipality of Londrina, contributed with high SO_2 values. High concentrations of NO_x and O_3 were associated with local transit and regional transport of smoke from biomass fires, respectively. These results should be considered to reduce and control the atmospheric pollution in Londrina.

Keywords: air pollution, particulate matter, nitrogen oxides, ozone, regional transport

*Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil; hugoguidugli@alunos.utfpr.edu.br

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana; patriciak@utfpr.edu.br



1 INTRODUÇÃO

A degradação da qualidade do ar não é mais exclusividade das grandes metrópoles, já que cidades de porte médio podem também apresentar qualidade do ar ruim ao longo do ano. Os veículos motorizados contribuem substancialmente para as concentrações atmosféricas de material particulado com diâmetro menor que $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) e óxidos de nitrogênio (NO_x) (OKE et al., 2017). Os NO_x (compostos por óxido nítrico NO e dióxido de nitrogênio NO_2) são precursores de poluentes secundários nocivos, como ozônio (O_3) e partículas finas, e desempenham um papel importante na deposição ácida e eutrofização (EPA, 1999). Além disso, o NO_2 está claramente associado a efeitos adversos à saúde para exposições de curto prazo (MILLS et al., 2015).

A queima ilegal de resíduos sólidos urbanos é coadjuvante do trânsito veicular na poluição atmosférica e corriqueira em países em desenvolvimento (KRECL et al., 2021). Há ainda a queima de biomassa a céu aberto em grande escala, com emissão de partículas e gases que podem ser transportadas regionalmente (TARGINO et al., 2019). As principais fontes de emissão do dióxido de enxofre (SO_2) são os processos de combustão incompleta de combustíveis fósseis que contenham enxofre –principalmente carvão e óleos pesados– em usinas termoeletricas e instalações industriais (OKE et al., 2017).

Como identificar a fonte principal de cada poluente e os parâmetros que influenciam negativamente na qualidade do ar? O objetivo do estudo é determinar a concentração desses poluentes na cidade de Londrina, em relação às suas variações horárias, diárias, semanais e sazonais, considerando os principais parâmetros meteorológicos, a fim avaliar a qualidade do ar e identificar possíveis fontes das concentrações de cada um deles.

2 MÉTODO

Londrina está localizada no norte do estado do Paraná ($23^{\circ}19'S$, $51^{\circ}08'W$; altitude 610 m), onde residem 575.377 habitantes. A região tem clima subtropical úmido Cfa (classificação de Köppen), com temperatura média de $21,6^{\circ}\text{C}$, precipitação acumulada média anual de 1583 mm. O tráfego veicular é responsável por 78% das emissões de NO_x e 99% das emissões de CO , enquanto as indústrias emitem 67% do material particulado (GRAUER, 2013).

Foram analisadas as concentrações horárias de PM_{10} , partículas totais em suspensão (PTS), SO_2 , O_3 e NO_x (NO_2 e NO) medidas no centro da cidade pelo Instituto Água e Terra (IAT), e velocidade (WS) e direção (WD) do vento do aeroporto de Londrina (<https://mesonet.agron.iastate.edu/>). O período de estudo foi de 09/11/2016 até 03/05/2018, já que datas posteriores apresentaram muita perda de dados na estação IAT.

Os dados foram compilados e analisados para identificar medições inválidas. O pacote *Openair* da linguagem R de programação científica (CARSLAW; ROPKINS, 2012) foi utilizado para analisar o ciclo médio horário, diário e mensal dos poluentes (função *timeVariation*) e a correlação entre todas as variáveis (função *corPlot*). Para cada poluente, foram identificadas as possíveis fontes com a função *Conditional Bivariate Probability Function* (CPF) aplicada para todos os quartis de concentração e considerando o vento.

3 RESULTADOS

3.1 Variação Temporal e Correlação Linear

A tabela 1 resume a estatística das concentrações horárias dos poluentes para todo o período de estudo. Krecl et al. (2019) relataram concentrações medidas no centro de Londrina (Rua Sergipe com Rua Mato Grosso) no verão de 2016 que foram em média 1,5 (NO_2) e 2,4 (NO_x) vezes superiores às medidas na estação



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

do IAT nos verões 2017-2018. As diferenças podem ser explicadas pela maior emissão de NO_x na Rua Sergipe, dado o alto volume de trânsito de ônibus a diesel (11%). Já as concentrações de O₃ foram 14% menores na Rua Sergipe para o mesmo período, devido ao maior teor de NO que consome parte do O₃ formado no local.

Tabela 1 – descrição estatística das concentrações dos poluentes

Estatístico	PTS [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]	NO _x [ppb]	NO ₂ [ppb]	NO [ppb]	O ₃ [ppb]	SO ₂ [ppb]
P5	10,3	3,7	2,5	2,0	0,2	6,0	1,8
P25	19,3	8,1	5,4	4,1	0,9	14,1	3,2
P50	28,7	13,0	10,2	7,0	2,8	19,9	4,1
P75	42,0	20,3	16,9	10,7	6,0	27,7	5,4
P95	75,6	38,8	35,1	20,5	16,9	41,0	9,0
Média	35,7	16,7	14,3	9,0	5,3	21,8	5,2

Fonte: autoria própria (2021).

As médias da concentração de PTS foram cerca de 50% maiores que as de PM₁₀, o que é justificado por este ser uma parcela de PTS. Os padrões horários de PM₁₀ e PTS apresentaram picos altos (média de 24 e 48 µg/m³) após às 18h e valores baixos (mínimo de 8 e 24 µg/m³) durante as madrugadas (figura 1). Os meses mais chuvosos (de novembro a março) apresentaram concentrações menores que os meses mais secos, especialmente setembro quando foram atingidos os máximos mensais (45 e 82 µg/m³). Nos finais de semana, foram observadas concentrações médias menores que nos dias de semana.

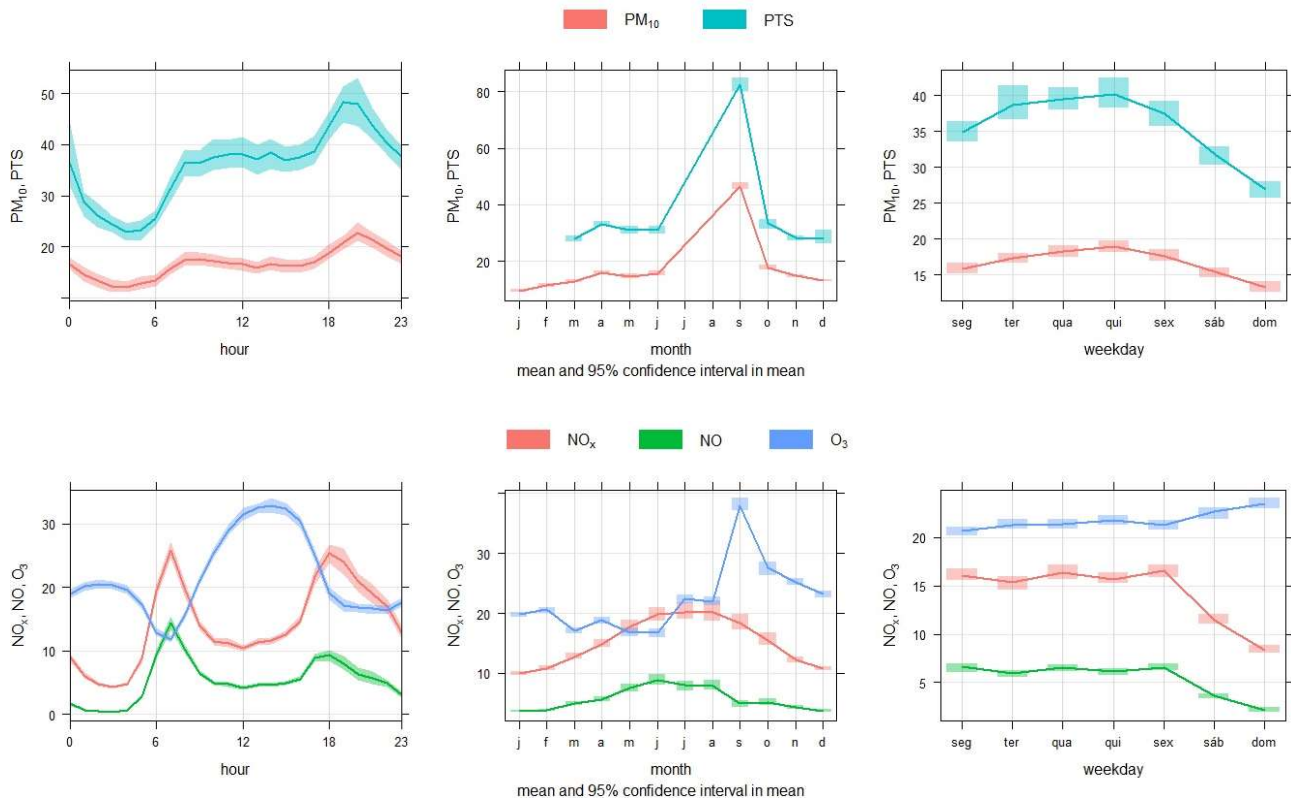
No caso do NO_x e NO, existem dois picos de concentração (8 e 18h) que coincidem com os horários de maior trânsito (figura 1). Nos finais de semana, há uma clara redução das concentrações, especialmente aos domingos (redução de 44%) devido à diminuição do trânsito veicular. Por fim, existe um padrão sazonal das concentrações de NO_x e NO com maiores valores no inverno (junho-agosto, figura 1). O comportamento do O₃ segue um padrão diferente dos outros poluentes, com baixos valores nos horários de pico de trânsito e aumentando entre esses horários (figura 1). Isto pode ser explicado porque a formação do O₃ depende da disponibilidade de NO_x e compostos orgânicos voláteis reativos, além de uma alta taxa de incidência de radiação solar (OKE et al, 2017). As médias diárias nos finais de semana foram maiores que nos dias da semana devido ao “efeito fim de semana do ozônio” (KRECL et al., 2019), quando as menores concentrações de NO e maior relação NO₂/NO_x permitem a formação e acumulação de O₃ mais cedo nesses dias. O maior valor médio mensal foi observado em setembro, quando a qualidade do ar é afetada pelas plumas de fumaça provenientes de queimadas na Amazônia e no Cerrado (TARGINO et al., 2019).

O SO₂ apresentou pouca variação nas concentrações horárias (leve pico no final de tarde, atingindo 7,0 ppb) e menores valores na madrugada (4,5 ppb). A média mensal foi menor (4,5 ppb) entre janeiro e junho com um pico (6,5 ppb) em setembro e dezembro.

A análise de correlação temporal mostrou que as concentrações de NO_x e O₃ estão anticorrelacionadas (coeficiente de correlação R=-0,36), assim como a temperatura e umidade relativa do ar (R=-0,66). Observou-se alta correlação entre PTS e PM₁₀ (R=0,86), devido ao último representar uma fração das PTS, e entre NO e NO_x (R=0,93), já que o NO é uma fração importante do NO_x. A correlação entre os materiais particulados e NO_x é moderada (R=0,39-0,40), relacionando esses poluentes às combustões incompletas de combustíveis fósseis (OKE et al., 2017), mas também sugerindo outras fontes de poluição que não são compartilhadas.



Figura 1 – Variação temporal das concentrações de PM₁₀, PTS, NO_x, NO e O₃



Fonte: autoria própria (2021).

3.2 Identificação de Fontes de Poluição

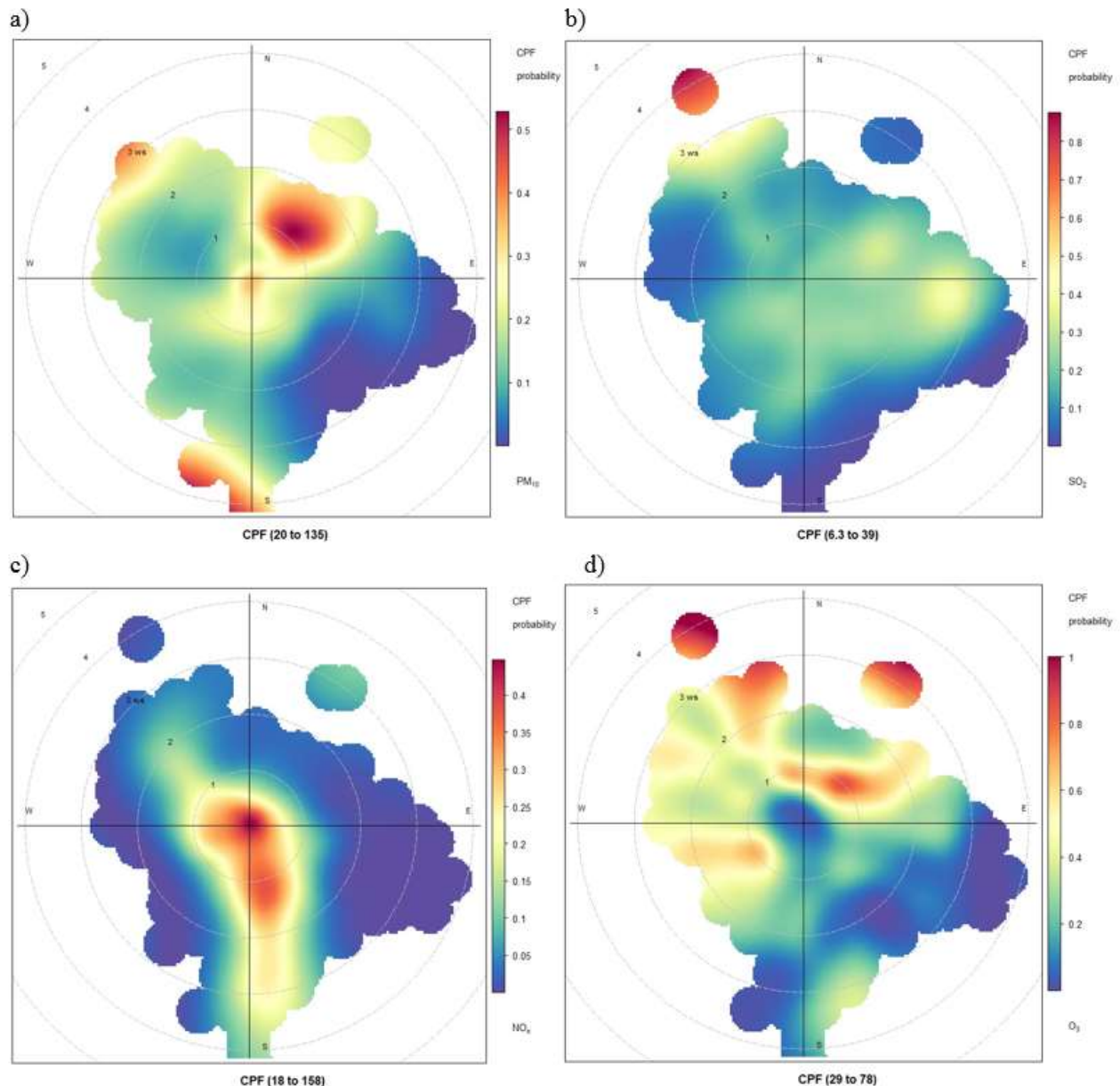
A função CPF retorna a probabilidade de ter uma fonte de um determinado poluente, apontando as direções das quais vinham os poluentes em relação à origem, que se trata da estação do IAT. A figura 2a mostra que existe moderada probabilidade (50%) que uma fonte de emissão, que contribui com as concentrações altas de PM₁₀ (entre 20 e 135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), esteja localizada ao nordeste da estação do IAT para WS entre 1 e 2 m/s, e outra ao sul para WS superiores a 3 m/s. Essas emissões poderiam estar vinculadas com um empreendimento dentro do Parque das Indústrias Leves na zona leste de Londrina e uma indústria de fabricação de alimento para animais no sul da cidade (CHARRES, 2019), respectivamente. As mesmas possíveis fontes foram identificadas para PTS (não mostrado).

Existe 30% de chance de ter uma fonte de emissão de SO₂ ao noroeste da estação, contribuindo com concentrações baixas (até 3,2 ppb) para WS entre 1 e 3 m/s, que poderia ser atribuído a várias indústrias que queimam óleo combustível (CHARRES, 2019). Há alta chance (maior que 80%) de ter uma fonte que contribui com altas concentrações de SO₂ (6,3 a 39,0 ppb) para WS superior a 3,5 m/s (figura 2b). É possível que a fonte esteja localizada em outro município dado o alto valor de WS.

Há probabilidade de até 45% de que as altas concentrações de NO_x (18 a 158 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sejam oriundas de emissões veiculares em ruas centrais, ao sul da estação. As maiores concentrações de NO também coincidiram com a direção sul, porém com chances ainda maiores (55-60%). Probabilidades menores que 30% para vento intenso (WS > 4 m/s) na direção sul, podem ser oriundas do trânsito em grandes vias, inclusive a rodovia estadual PR-445 (figura 2c). O comportamento semelhante entre NO e NO_x pode ser explicado pela alta correlação entre essas substâncias, como comentado anteriormente.

A figura 2d mostra chance alta (70-90%) de transporte regional de O_3 contribuindo com altos valores (29 a 78 ppb) para ventos fortes (até 4 m/s). Neste caso, assim como visto em Krecl et al. (2016), é provável que a fonte seja a região metropolitana de São Paulo, situada a leste de Londrina, e a queima de biomassa na Amazônia e/ou Cerrado.

Figura 2 – CPF para as concentrações altas (4º quartil) de PM_{10} (a), SO_2 (b), NO_x (c) e O_3 (d)



Fonte: autoria própria (2021).

4 CONCLUSÃO

As atividades antrópicas, especialmente o transporte rodoviário, contribuíram com altas concentrações dos poluentes primários observadas nos horários de maior trânsito, especialmente nos dias de semana. A redução



das atividades industriais e trânsito no fim de semana resultaram em menores níveis de poluição, reforçando a forte influência que exercem na qualidade do ar.

A proximidade com uma fonte de um dado poluente influencia diretamente a qualidade do ar do local em questão, assim como a relação entre a fonte e a direção predominante do vento também é determinante na influência que este pode ter em relação às concentrações dos poluentes. Além disso, foi observada uma sazonalidade na concentração dos poluentes atmosféricos devido à variação das condições meteorológicas, e também das fontes de emissão (por exemplo, maior ocorrência de queimadas na primavera no Brasil). No caso do O₃, devido ao transporte entre municípios – e também transfronteiriço – através dos ventos e às longas distâncias que pode atingir, indica que a política de controle e redução das queimadas deve ser abordada com uma visão regional, envolvendo tanto o âmbito legal quanto o educacional.

Os resultados deste estudo deveriam ser levados em conta para estabelecer políticas de controle e fiscalização da poluição atmosférica em Londrina, além de incentivar o aumento das redes de monitoramento da qualidade do ar.

5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela cessão de bolsa de iniciação científica, e ao IAT pelo fornecimento dos dados de poluição.

REFERÊNCIAS

- CARSLAW, D. C.; ROPKINS, K. Openair - An R package for air quality data analysis. **Environmental Modelling and Software**, v. 27–28, p. 52–61, 2012.
- CHARRES, I. **Inventário de emissões atmosféricas de MP_{2,5} e BC oriundas da combustão em Londrina, Paraná**, 2019. Londrina, PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4905>>. .
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Nitrogen oxides (NO_x), why and how they are controlled. **Epa-456/F-99-006R**, v. 800, n. November, p. 48, 1999. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/catc1/dir1/fnoxdoc.pdf>>. .
- GRAUER, A. **Inventário Estadual de Emissões Atmosféricas de Poluentes (MP, CO, NO_x, SO_x) e Proposta para Revisão e Ampliação da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar do Estado do Paraná**. Curitiba/PR, 2013.
- KRECL, P.; DE LIMA, C. H.; DAL BOSCO, T. C.; et al. Open waste burning causes fast and sharp changes in particulate concentrations in peripheral neighborhoods. **Science of the Total Environment**, v. 765, n. November, p. 48, 2021. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/catc1/dir1/fnoxdoc.pdf>>. .
- KRECL, P.; TARGINO, A. C.; KETZEL, M.; CIPOLI, Y. A.; CHARRES, I. Potential to reduce the concentrations of short-lived climate pollutants in traffic environments: A case study in a medium-sized city in Brazil. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 69, p. 51–65, 2019.
- KRECL, P.; TARGINO, A. C.; WIESE, L.; KETZEL, M.; DE PAULA CORRÊA, M. Screening of short-lived climate pollutants in a street canyon in a mid-sized city in Brazil. **Atmospheric Pollution Research**, v. 7, n. 6, p. 1022–1036, 2016.
- MILLS, I. C.; ATKINSON, R. W.; KANG, S.; WALTON, H.; ANDERSON, H. R. Quantitative systematic review of the associations between short-term exposure to nitrogen dioxide and mortality and hospital admissions. **BMJ Open**, 2015.
- OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. Air Pollution. **Urban Climates**. p.294–331, 2017. Cambridge: Cambridge University Press. Disponível em: <<http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9781139016476A073>>. Acesso em: 12/8/2021.
- TARGINO, A. C.; HARRISON, R. M.; KRECL, P.; et al. Surface ozone climatology of South Eastern Brazil and the impact of biomass burning events. **Journal of Environmental Management**, v. 252, 2019.