

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

Janaina Casado Rodrigues da Silva

**Poluição atmosférica na cidade de São Paulo: interferência do
isolamento social devido a pandemia da COVID-19**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2020

Janaina Casado Rodrigues da Silva

Poluição atmosférica na cidade de São Paulo: interferência do isolamento social devido a pandemia da COVID-19

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Kátia Valéria Marques Cardoso Prates

Coorientadora: Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro

**LONDRINA
2020**



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Poluição atmosférica na cidade de São Paulo: interferência do isolamento social devido a pandemia da COVID-19

por

Janaina Casado Rodrigues da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 3 de dezembro de 2020 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dra. Leila Droprinchinski Martins
(UTFPR)

Prof. Dr. Aulus Roberto Romao Bineli
(UTFPR)

Profa. Dra. Kátia Valéria Marques Cardoso Prates
(UTFPR)
Orientadora

Prof. Dr. Orlando de Carvalho Junior

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela graça da vida, por todo o amor e cuidado durante toda minha vida.

A Virgem Maria, mãe de Deus, por tua intercessão junto a Deus.

Ao meu Anjo da Guarda, por zelar dia e noite, por mim.

A minha mãe e a minha família, que sempre estiveram ao meu lado.

A minha orientadora Profa. Dra. Kátia Valéria Marques Cardoso Prates, que me acompanha desde a iniciação científica, por toda a dedicação e o conhecimento compartilhado, pela paciência e auxílio durante esta trajetória.

A minha coorientadora Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro, por toda a dedicação, sempre disponível em compartilhar todo seu conhecimento.

Agradeço aos professores que compuseram a banca, Prof. Dra. Leila Droprinchinski Martins e Prof. Dr. Aulus Roberto Romao Bineli, pelas contribuições e pela atenção dedicada a este trabalho.

Aos meus amigos de todas as horas Isabele, Flávia, Maria Cristina, Johvanny, Thiago, Vitória, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências, e em especial a Maria Clara, Iara e a Carol pelo apoio e auxílio na realização desse TCC.

Enfim, a todos que de alguma forma estiveram presentes e me ajudaram durante a graduação.

“Que a tua vida não seja uma vida estéril. Sê útil. Deixa rastro.”

São Josemaria Escrivá

SILVA, Janaina Casado Rodrigues da. **Poluição atmosférica na cidade de São Paulo: interferência do isolamento social devido a pandemia da COVID-19.** 2020. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2020.

RESUMO

A restrição da circulação de pessoas durante a pandemia da COVID – 19 foi responsável pela melhora da qualidade do ar em diversas cidades em todo o mundo. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações na qualidade do ar no município de São Paulo – Brasil, durante a restrição de circulação de pessoas implementado para promover o isolamento social no período da quarentena da COVID-19. Os dados de mobilidade no período da pandemia foram coletados no Relatório de mobilidade do Google. Foram utilizadas duas estações de monitoramento da qualidade do ar da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) (Marginal Tietê e Congonhas), para a análise da concentração dos poluentes monóxido de carbono (CO), monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂), material particulado (MP_{2,5} e MP₁₀), já os parâmetros meteorológicos temperatura, umidade relativa do ar e precipitação foram obtidos na estação Mirante do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a análise foi realizada no período de fevereiro a maio nos anos de 2018, 2019 e 2020. Uma análise descritiva, utilizando o boxplot e a correlação de Pearson, foi realizada para observar a variação da concentração dos poluentes e das variáveis meteorológicas. Posteriormente foi aplicado o teste de distribuição Shapiro – Wilk que indicou que os dados não seguem uma distribuição normal. Em seguida foi aplicado o teste Mann – Whitney-Wilcoxon (não paramétrico). A temperatura, em 2019, foi a maior entre os anos analisados, já a menor precipitação no mês de março, pode ter influenciado no tempo de permanência dos poluentes na atmosfera nesse período. O teste Mann-kendall realizado considerando os três anos em sequência indicou tendência de redução na concentração dos poluentes, indicando que os períodos de maior distanciamento social no mês de março e abril de 2020, influenciou diretamente na concentração na poluição na cidade de São Paulo. Assim os dados indicaram uma tendência de redução nas concentrações dos poluentes atmosféricos analisados devido a implementação de medidas da restrição de pessoas devido a pandemia da COVID-19.

Palavras-chave: Poluentes atmosféricos, parâmetros meteorológicos, emissões atmosféricas.

SILVA, Janaina Casado Rodrigues da. **Air pollution in the city of São Paulo: interference from social isolation due to the COVID-19 pandemic.** 2020. 48 f. Senior Thesis (Environmental Engineering) – Federal University of Technology - Parana, Londrina, 2020.

ABSTRACT

The restriction of movement of people during the COVID - 19 pandemic was responsible for improving air quality in several cities around the world. Thus, this study aimed to assess changes in air quality in the municipality of São Paulo - Brazil, during the restriction of movement of people implemented to promote social isolation during the quarantine period of COVID-19. Mobility data during the pandemic period was collected in the Google Mobility Report. Two air quality monitoring stations from Companhia de Tecnologia e Ambiental Saneamento (CETESB) (Marginal Tietê and Congonhas) were used to analyze the concentration of pollutants carbon monoxide (CO), nitrogen monoxide (NO), carbon dioxide nitrogen (NO₂), particulate material (MP_{2.5} and MP₁₀), since the meteorological parameters temperature, relative humidity and precipitation were obtained at the Mirante station of the National Institute of Meteorology (INMET), the analysis was carried out in February to May in the years 2018, 2019 and 2020. A descriptive analysis, using the boxplot and Pearson's correlation, was performed to observe the variation in the concentration of pollutants and meteorological variables. Subsequently, the Shapiro - Wilk distribution test was applied, which indicated that the data do not follow a normal distribution. Then the Mann - Whitney-Wilcoxon test (non-parametric) was applied. The temperature, in 2019, was the highest among the years analyzed, since the lowest precipitation in the month of March, may have influenced the time that pollutants remain in the atmosphere during this period. The Mann-kendall test carried out considering the three years in a row indicated a downward trend in the concentration of pollutants, indicating that the periods of greatest social distance in the month of March and April 2020, directly influenced the concentration of pollution in the city of São Paulo. Thus, the data indicated a downward trend in the concentrations of the air pollutants analyzed due to the implementation of measures to restrict people due to the COVID-19 pandemic.

Key-words: Air pollutants, meteorological parameters, air emissions.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1- DEPOSIÇÃO DAS PARTÍCULAS NO SISTEMA RESPIRATÓRIO | 17 |
| FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE COLETA DOS DADOS NA CIDADE DE SÃO PAULO..... | 21 |
| FIGURA 3 - BOXPLOT DO ÍNDICE DA MOBILIDADE DA CIDADE DE SÃO PAULO (DADOS: GOOGLE)..... | 24 |
| FIGURA 4 - CONCENTRAÇÃO DE CO REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO MARGINAL TIETE: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020 | 26 |
| FIGURA 5 - CONCENTRAÇÃO DE CO REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO CONGONHAS (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020 | 27 |
| FIGURA 6 -CONCENTRAÇÃO DE NO REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO MARGINAL TIETE: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020. | 28 |
| FIGURA 7 - CONCENTRAÇÃO DE NO REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO CONGONHAS: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020 | 29 |
| FIGURA 8 -CONCENTRAÇÃO DE NO ₂ REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO MARGINAL TIETE: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020. | 30 |
| FIGURA 9 -CONCENTRAÇÃO DE NO ₂ REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO CONGONHAS: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020. | 31 |
| FIGURA 10 - CONCENTRAÇÃO DE MP _{2,5} REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO MARGINAL TIETE: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020 | 32 |
| FIGURA 11 - CONCENTRAÇÃO DE MP _{2,5} REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO CONGONHAS: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020. | 33 |
| FIGURA 12 - CONCENTRAÇÃO DE MP ₁₀ REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO CONGONHAS: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020. | 34 |
| FIGURA 13 - CONCENTRAÇÃO DE MP ₁₀ REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO CONGONHAS: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020. | 35 |
| FIGURA 14 - CONCENTRAÇÃO DE CO REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO MARGINAL TIETE: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020; E NA ESTAÇÃO CONGONHAS (D) 2018, (E) 2019 E (F) 2020..... | 37 |
| FIGURA 15 - CONCENTRAÇÃO DE NO REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO MARGINAL TIETE: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020; ESTAÇÃO CONGONHAS (D) 2018, (E) 2019 E (F) 2020 | 38 |
| FIGURA 16 - CONCENTRAÇÃO DE NO ₂ REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO MARGINAL TIETE: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020; ESTAÇÃO CONGONHAS (D) 2018, (E) 2019 E (F) 2020 | 39 |
| FIGURA 17 - CONCENTRAÇÃO DE MP _{2,5} REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO MARGINAL TIETE: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020; ESTAÇÃO CONGONHAS (D) 2018, (E) 2019 E (F) 2020 | 40 |
| FIGURA 18 - CONCENTRAÇÃO DE MP ₁₀ REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO MARGINAL TIETE: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020; ESTAÇÃO CONGONHAS (D) 2018, (E) 2019 E (F) 2020 | 41 |
| FIGURA 19 – DADOS DE TEMPERATURA (°C) MONITORADOS NA CIDADE DE SÃO PAULO DE NOS PERÍODOS DE FEVEREIRO A MAIO: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020 | 43 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 20 – DADOS DE UMIDADE RELATIVA (%) E PRECIPITAÇÃO ACUMULADA (MM) MONITORADOS NA CIDADE DE SÃO PAULO NOS PERÍODOS DE FEVEREIRO A MAIO: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020 | 43 |
| FIGURA 21 - CORRELAÇÃO DE PEARSON REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO A MAIO NA ESTAÇÃO MARGINAL TIETE: (A) 2018, (B) 2019 E (C) 2020; E NA ESTAÇÃO CONGONHAS (D) 2018, (E) 2019 E (F) 2020 | 45 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| QUADRO 1 - RESULTADOS DO TESTE MANN WHITNEY-WILCOXON DA ESTAÇÃO MARGINAL TIETÊ _____ | 46 |
| QUADRO 2 - RESULTADOS DO TESTE MANN WHITNEY-WILCOXON DA ESTAÇÃO CONGONHAS _____ | 47 |
| QUADRO 3 - RESULTADOS DO TESTE MANN WHITNEY-WILCOXON DOS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS _____ | 47 |
| QUADRO 4 - TESTE MANN KENDALL DA ESTAÇÃO MARGINAL TIETÊ NOS ANOS DE 2018, 2019 E 2020 ANALISADOS EM SEQUENCIA _____ | 48 |
| QUADRO 5 -TESTE MANN KENDALL DA ESTAÇÃO CONGONHAS NOS ANOS DE 2018, 2019 E 2020 ANALISADOS EM SEQUENCIA _____ | 48 |
| QUADRO 6 - RESULTADOS DO TESTE DE NORMALIDADE SHAPIRO-WILK DA ESTAÇÃO MARGINAL TIETE _____ | 54 |
| QUADRO 7 - RESULTADOS DO TESTE DE NORMALIDADE SHAPIRO-WILK DA ESTAÇÃO CONGONHAS _____ | 54 |
| QUADRO 8 - RESULTADOS DO TESTE DE NORMALIDADE SHAPIRO-WILK _____ | 55 |
| QUADRO 9 -RESULTADOS DO TESTE MANN KENDALL NA ESTAÇÃO MARGINAL TIETE _____ | 56 |
| QUADRO 10 -RESULTADOS DO TESTE MANN KENDALL NA ESTAÇÃO CONGONHAS _____ | 56 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental

CO – Monóxido de Carbono

MP – Material Particulado

NO – Monóxido de Nitrogênio

NO₂ – Dióxido de Nitrogênio

T – Temperatura

UR – Umidade Relativa do Ar

P – Precipitação

OMS – Organização Mundial da Saúde

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 OBJETIVOS | 14 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 14 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 14 |
| 3 REFERÊNCIAL TEÓRICO | 15 |
| 3.1 Poluição atmosférica | 15 |
| 3.1.1 Poluentes atmosféricos | 16 |
| 3.2 Distanciamento social | 18 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS | 20 |
| 4.1 Caracterização da área de estudo | 20 |
| 4.2 Parâmetros analisados..... | 22 |
| 4.3 Análise exploratória | 22 |
| 4.4 Análise estatística | 23 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 24 |
| 5.1 Distanciamento social | 24 |
| 5.2 Análise exploratória | 25 |
| 5.3 Variáveis meteorológicas | 43 |
| 5.3 Análise estatística | 46 |
| 6 CONCLUSÃO | 51 |
| 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 52 |
| ANEXO 1..... | 54 |
| ANEXO 2..... | 56 |

1 INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou, no dia 11 de março de 2020 que a doença COVID-19, causada pelo vírus SARS-CoV-2, como pandemia (WHO, 2020). No dia 24 de março de 2020, o bloqueio parcial da circulação de pessoas foi implementado pelo governo do Estado de São Paulo (São Paulo, 2020), paralisando comércios, suspendendo aulas, gerando um distanciamento da população para controle da pandemia. Somente os serviços essenciais de saúde e alimentação foram mantidos (MARTIN; MARTIN, 2020b).

Com a implantação do bloqueio parcial, na Cidade de São Paulo, o isolamento social variou de 55% (24 de março), atingindo 59% (05 de abril). Pesquisas recentes relataram melhorias na qualidade do ar associadas as medidas de isolamento social e diminuição do trânsito de veículos (NAKADA; URBAN, 2020; SÃO PAULO, 2020b). Imagens de satélite demonstraram uma nítida queda na poluição do ar em diversos países que adotaram medidas contra a transmissão do vírus (HE; PAN; TANAKA, 2020).

Uma das principais causas de doenças e mortes é a poluição atmosférica, os altos índices de poluição tornam o risco de doenças cardíacas, câncer de pulmão e doenças respiratórias mais suscetíveis a atingir as pessoas que moram em grandes cidades, as quais apresentam uma alta concentração de poluentes. Sendo assim os níveis de poluição atmosférica influencia diretamente na qualidade do ar de cada localidade, determinando o grau e a extensão dos efeitos na saúde da população local (MARTIN; MARTIN, 2020b).

A distribuição e intensidade das emissões de poluentes atmosféricos de origem veicular e industrial, afeta diretamente a qualidade do ar. As emissões veiculares desempenham um papel importante nos níveis de poluição do ar dos grandes centros urbanos, de forma que as emissões industriais afetam significativamente a qualidade do ar em regiões específicas (CETESB, 2018).

Grandes cidades possuem centenas de quilômetros de vias com grande fluxo de tráfego nas áreas urbanas, o que pode gerar impacto na qualidade do ar. A megacidade de São Paulo - SP sofre com a grande influência na qualidade do ar pelo fluxo intenso de veículos (BRUNI; DIAS; SANTOS, 2017).

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar os impactos na qualidade do ar na cidade de São Paulo – Brasil, durante o período da restrição de

circulação de pessoas implementado para promover o distanciamento social no período da quarentena da COVID-19.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as alterações na qualidade do ar na cidade de São Paulo – Brasil, durante a restrição de circulação de pessoas implementada para promover o isolamento social no período de quarentena da COVID-19.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as alterações nas concentrações dos poluentes CO, NO, NO₂, MP_{2,5} e MP₁₀ e parâmetros meteorológicos (temperatura, umidade relativa e precipitação) no período de fevereiro a maio referente aos anos 2018, 2019 e 2020.
- Investigar a variabilidade da qualidade do ar nos meses de março e abril de 2020, onde ocorreu o maior índice de isolamento social da quarentena da COVID – 19.
- Identificar tendências nas concentrações dos poluentes para o período estudado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3. 1 Poluição Atmosférica

Segundo a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 491/2018, de 19 de novembro de 2018,

Qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade (BRASIL, 2018).

Sendo adotada em todo o Brasil, essa Resolução estabelece os padrões e métodos para avaliação da qualidade do ar, podendo os estados possuírem legislação própria com padrões mais rígidos, como no Estado de São Paulo, em que o Decreto nº 59.113, de 23/04/2013, estabeleceu novos padrões de qualidade do ar do Estado de São Paulo, baseando-se nas diretrizes da OMS (BRUNI; DIAS; SANTOS, 2017).

A poluição do ar tem sido agravada pelo crescimento da quantidade de automóveis e motocicletas circulando nos centros urbanos, além dos modelos de transporte que utilizam ônibus convencional movido a diesel como principal modal para o transporte público (BRUNI; DIAS; SANTOS, 2017;DOS SANTOS *et al.*, 2019).

De uma maneira geral, os poluentes, gerados nos processos de combustão (direta ou indiretamente), que causam uma maior preocupação nas regiões urbanas são as partículas inaláveis (MP_{2,5} e MP₁₀), advindos de fontes moveis e do setor industrial e agrícola (BRUNI; DIAS; SANTOS, 2017).

Desde a década de 70, o Estado de São Paulo mantém sob administração da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) redes de monitoramento da qualidade do ar, possibilitando medições em diferentes escalas. O estado possui características diferentes nas suas localidades necessitando assim de diversas formas de monitoramento e controle da poluição. A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), em especial na Cidade de São Paulo, apresenta uma grande degradação da qualidade do ar, devido as grandes emissões provenientes dos veículos automotores leves e pesados, além das emissões em processos industriais (CETESB, 2014).

3. 1. 1 Poluentes atmosféricos

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados como primários, que são emitidos diretamente pelas fontes de emissão, e secundários formados na atmosfera por reações químicas entre poluentes e constituintes da atmosfera. De maneira geral, alguns poluentes são ditos como indicadores mais abrangentes da qualidade do ar, sendo composto por monóxido de carbono, material particulado, dióxido de nitrogênio e ozônio. A escolha desses parâmetros como indicadores de qualidade do ar está ligada a ocorrência de efeitos adversos à saúde e ao meio ambiente (CETESB, 2014).

As fontes emissoras de poluentes são diversas e numerosas, sendo antrópicas, aquelas decorrentes das atividades humanas como emissões veiculares, indústrias e aviões, entre outros, ou naturais provenientes dos fenômenos da natureza, como emissões da vegetação oceanos, erupções vulcânicas e processos biológicos (NÓBREGA, 2013).

Em relação as fontes antrópicas, pode-se classificar em:

- Fontes fixas: Indústrias sendo as fontes mais significativas e maior potencial poluidor, além de usinas termoelétricas, que utilizam carvão, óleo combustível ou gás, bem como os incineradores de resíduos, com elevado potencial poluidor.

- Fontes móveis: Meios de transporte, como veículos automotores, trens aviões e embarcações marítimas, os veículos de destacam nas cidades como uma das principais fontes poluidoras (NÓBREGA, 2013).

Um importante indicador de poluição atmosférica é a rede viária e seu fluxo de veículos, uma vez que as fontes móveis são as principais emissoras de poluentes atmosféricos em áreas urbanas. Com a distância das vias e do volume do tráfego é possível medir a concentração de poluentes atmosféricos (HABERMANN; MEDEIROS; GOUVEIAI, 2011).

Todos os tipos de veículos automotores emitem poluentes que comprometem a qualidade do ar, entretanto o tipo de combustível utilizado influencia na maior ou menor concentração de diversos poluentes, que exercem efeitos adversos a saúde de diferentes formas (HABERMANN; MEDEIROS; GOUVEIAI, 2011).

A grande quantidade de veículos também é responsável pela emissão de monóxido de carbono (CO), monóxido de Nitrogênio (NO), Dióxido de Nitrogênio

(NO₂), hidrocarbonetos, óxidos de enxofre e material particulado (MP). O CO, que é um gás incolor, inodoro e insípido. As fontes principais de emissão são os processos de combustão incompleta em automóveis e motocicletas (CETESB, 2017).

O NO é emitido principalmente por veículos automotores, sob a ação de luz solar se transforma em NO₂ que tem papel importante na formação de oxidantes fotoquímicos como o ozônio. Dependendo das concentrações, o NO₂ causa prejuízos à saúde (CETESB, 2020a).

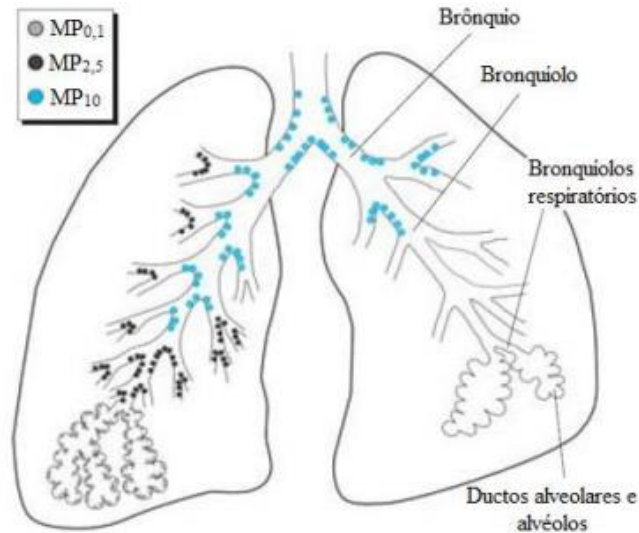
O Dióxido de Nitrogênio (NO₂) é um gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Podendo levar à formação de ácido nítrico, nitratos (os quais contribuem para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos. Possuindo como principais fonte os processos de combustão envolvendo veículos automotivos e processos industriais (CETESB, 2019b).

O material particulado (MP) são partículas suspensas no ar, de material sólido ou líquido, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça e fuligem, que podem permanecer no ar e percorrer longas distâncias. As fontes principais de emissão são os processos de combustão (industrial e veículos automotores) e aerossol secundário (formado na atmosfera) como sulfato e nitrato (CETESB, 2019). Os efeitos ao meio ambiente dos MP_{2,5} e MP₁₀ são danos a vegetação, deterioração da visibilidade contaminação do solo e da água (CETESB, 2017).

O MP pode ser dividido em partículas finas, com diâmetro inferior a 2,5 µm (MP_{2,5}) (Figura 1) e partículas inaláveis, com diâmetro inferior a 10 µm (MP₁₀) (CETESB, 2019a).

Nas partículas inaláveis finas, as ultrafinas (< 0,01µm) podem permanecer na atmosfera de minutos a horas, podendo ser removidos pela chuva e percorrem até dezenas de Km, já as partículas finas (0,1 – 2,5 µm) ficando na atmosfera de dias a semanas, sendo removidos na formação da chuva em nuvens e deposição seca, podendo percorrer centenas a milhares de Km. As partículas inaláveis permanecem de minutos a horas na atmosfera, sendo removidos por deposição seca ou úmida e percorrendo até dezenas de km ou centenas a milhares de km em tempestades de areia (NÓBREGA, 2013).

Figura 1- Deposição das partículas no sistema respiratório



Fonte: Cormier et al (2006); adaptado por Wikuats (2020).

As condições meteorológicas também influenciam a qualidade do ar (BRUNI; DIAS; SANTOS, 2017). As variáveis meteorológicas como temperatura, umidade relativa, velocidade e direção dos ventos associados a níveis topográficos e precipitação influenciam na dispersão e transporte de poluentes (MARTIN; MARTIN, 2020b).

Os maiores valores de umidade relativa do ar e precipitação favorecem a diminuição na concentração em massa do material particulado grosso, devido a deposição úmida dos poluentes, enquanto elevados valores de temperatura causam o aumento da concentração em massa do MP entre 2,5 e 10 μm de diâmetro, principalmente pela ressuspensão do solo (Beal, 2015).

3.2 Distanciamento social

A COVID -19 teve o primeiro caso registrado em 31 de dezembro de 2019, porém as autoridades chinesas rastreiam casos desde de novembro. Essa doença é transmitida entre pessoas facilmente por um contato em um raio de 1,5 m, através de gotículas, emitidas por uma pessoa doente por tosse ou espirro, além de superfícies contaminadas e sua permanência no ar (LOLLI *et al.*, 2020). Pela grande facilidade de propagação do vírus é necessário o distanciamento da população para uma contenção do aumento do número de casos.

Nos meses iniciais de 2020, um período de isolamento social se iniciou com a pandemia do novo coronavírus, com a redução do fluxo de automóveis, fechamento do comércio, interrupção das aulas presenciais e redução das atividades industriais (SAN MARTIN; SAN MARTIN, 2020a).

Como a cidade de São Paulo, sendo uma grande cidade possui quilômetros de vias com intenso fluxo de tráfego nas áreas urbanas, que podem gerar impacto na qualidade do ar nas microescalas da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). (BRUNI; DIAS; SANTOS, 2017). Correlacionar as concentrações dos poluentes atmosféricos com o índice de distanciamento social é importante para avaliar se eles estão potencialmente relacionados com as atividades humanas (FREITAS *et al.*, 2020). Em um estudo na Itália as concentrações de poluentes atmosféricos foram relacionados ao agravamento e a transmissão da COVID- 19 (LOLLI *et al.*, 2020).

As concentrações dos poluentes atmosféricos sofreram um aumento com o aumento da mobilidade da população após algumas semanas desde o início da quarentena. A diminuição de atividades industriais e a restrição da circulação de pessoas influenciou diretamente a concentração dos poluentes (FREITAS *et al.*, 2020).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

As concentrações de monóxido de carbono (CO), monóxido de nitrogênio (NO) e Dióxido de Nitrogênio (NO₂), material particulado com diâmetro inferior a 2,5 µm (MP_{2,5}) e material particulado com diâmetro inferior a 10 µm (MP₁₀), monitorados em duas estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB (Marginal Tiete e Congonhas) foram analisadas para avaliar a influência da restrição de pessoas durante a pandemia do COVID-19. Os valores de Temperatura (T, °C), Umidade Relativa (UR, %) e precipitação (P, mm) da estação Mirante do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), também foram considerados na análise.

A análise exploratória dos dados coletados foi realizada com a utilização do boxplot como um recurso gráfico para análise inicial dos poluentes atmosféricos, do índice de isolamento e do índice de mobilidade, seguido da correlação de Pearson. Em seguida uma análise de similaridade entre as estações e anos estudados foi realizada, primeiramente com a aplicação do teste de normalidade, que avalia a amostra (referência) e a partir desse resultado utilizou-se o teste de Mann-Whitney, para estabelecer se há diferença entre os anos de 2018 e 2019, anos de referência para as concentrações de poluentes e o ano de 2020, ano com o evento de isolamento social.

4.1 Caracterização da área de estudo

Localizado na Região Sudeste do Brasil, o Estado de São Paulo é composto por 645 municípios, com uma população de 45.919.049 habitantes e uma frota de 29.057.749 veículos. A capital, São Paulo, e a maior cidade da América Latina com uma população de 12.252.023 habitantes, e uma taxa de urbanização de 99,1% (IBGE,2019).

A área de estudo está situada na região de influência de duas estações automáticas da CETESB de monitoramento da qualidade do ar (Marginal Tiete e Congonhas) e uma estação do INMET (Mirante de Santana) (Figura 1) na Cidade de São Paulo (IBGE,2020).

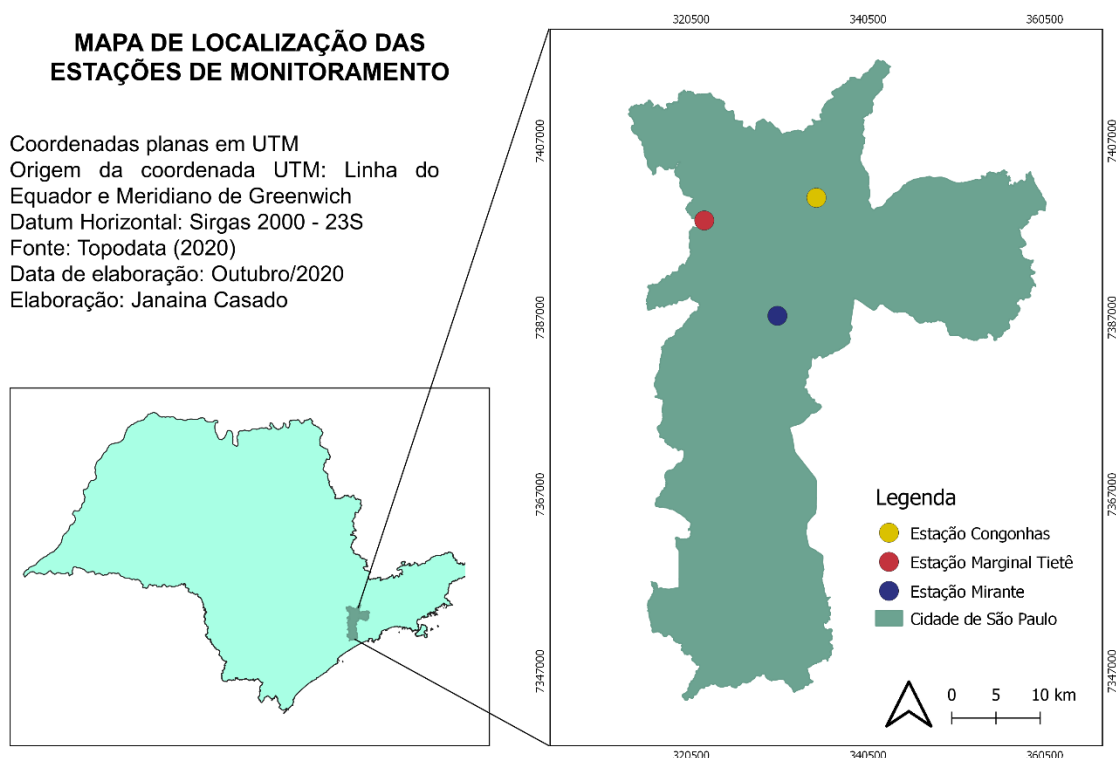
A estação Marginal Tietê – Ponte dos Remédios está localizada na Av. Embaixador Macedo Soares, 12.889, Centro de Treinamento da Polícia Militar, VI

Ribeiro de Barros, São Paulo. A via mais próxima da estação está a 13 metros. Essa via é afetada diretamente pelo tráfego de veículos leves e pesados, impactando diretamente nos valores monitorados na estação (CETESB, 2014). A estação foi escolhida por estar localizada próximo as vias de intenso tráfego de veículos.

A estação Congonhas está localizada numa região comercial e residencial, a estação Congonhas está instalada no pátio da Escola Municipal Professor João Carlos da Silva Borges. A estação está localizada próximo a 2 Avenidas com um intenso tráfego de veículos e a aproximadamente a 400 metros do Aeroporto São Paulo (Congonhas) (CETESB, 2004).

A estação Mirante de Santana localizada no Bairro Jardim, sendo a principal estação do estado, é composta por vários sensores isolados registrando continuamente os parâmetros meteorológicos como temperatura, umidade relativa, precipitação, entre outros, os dados são anotados por um funcionário em um determinado intervalo e enviado a um centro coletor (COUTO FALCÃO; AGUIAR, 2020).

Figura 2 - Localização das estações de coleta dos dados na Cidade de São Paulo.



4.2 Parâmetros analisados

Os dados das médias horárias de CO, MP_{2,5}, MP₁₀, NO, NO₂, foram obtidos na estação Marginal Tiete e Congonhas da CETESB. Os valores de Temperatura (T, °C), Umidade Relativa (UR, %) e precipitação pluvial (P, mm) foram obtidos junto a estação Mirante no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para análise de precipitação foi somado os valores do mês para se obter a precipitação acumulada.

Para cada estação, dados horários no período de fevereiro a maio referente aos anos 2018, 2019 e 2020, foram utilizados para calcular os níveis de cada poluente antes e durante a restrição de circulação de pessoas.

As concentrações de MP_{2,5} e MP₁₀ foram determinadas nas estações de monitoramento pelo método da atenuação mássica da Radiação Beta (CETESB, 2014). O método de determinação do monóxido de carbono utilizado é o infravermelho não dispersivo.

Os valores de distanciamento social foram obtidos no relatório de mobilidade da comunidade do Google que apresenta as tendências de deslocamento ao longo do tempo, em diferentes regiões e locais, como varejo e lazer, mercados e farmácia, locais de trabalho, parques, áreas residenciais e estações de transporte público. O mês de fevereiro foi utilizado como os valores de referência para a comparação dos valores (GOOGLE, 2020). Os valores dos locais citados anteriormente foram somados para se obter o valor do índice de mobilidade da cidade de São Paulo em cada dia.

A análise foi realizada no modo temporal para as duas estações de Monitoramento da Qualidade do Ar, com o objetivo de comparar as concentrações de CO, NO, NO₂, MP_{2,5} e MP₁₀ e as condições meteorológicas do ano de 2018, 2019 em relação ao ano de 2020.

4.3 Análise exploratória

A análise exploratória foi realizada com a elaboração de gráficos de concentração por hora, dos poluentes CO, NO, NO₂, MP_{2,5} e MP₁₀, onde os valores horários no período de fevereiro a maio nos três anos foram utilizados para uma análise inicial das concentrações.

A análise gráfica de boxplot, foi realizada para as concentrações de CO, NO, NO₂, MP_{2,5}, MP₁₀, T, UR e P, compondo um recurso específico para detectar tendências (VALLADARESS NETO *et al.*, 2017), além da utilização do gráfico de médias diárias que possibilitou a análise de como os parâmetros se apresentaram durante os dias da semana, além de apresentar o comportamento horário durante o período analisado. Além dessas análises foi utilizada a correlação de Pearson, realizada no software r, para avaliar as concentrações de CO, NO, NO₂, MP_{2,5} e MP₁₀, além dos dados meteorológicos (Equação 1).

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo ρ o coeficiente de correlação de Pearson, x_i e y_i são os valores de ambas as variáveis a serem analisadas e \bar{x} e \bar{y} são as médias aritméticas das mesmas variáveis. Variando de -1 (quando apresenta maior correlação negativa) à 1 (quando apresenta maior correlação positiva). Para $\rho = -1$, à medida que x cresce, y decresce e para $\rho = 1$ conforme x cresce, y também aumenta (SHIMAKURA, 2006).

4.4 Análise estatística

Foi realizado o teste estatístico de normalidade Shapiro-Wilk, quando $p > 0,05$ a hipótese nula é aceita e os dados são considerados distribuídos normalmente, porém se o valor for menor ou igual ao nível de significância, $p < 0,05$, deve-se rejeitar a hipótese nula e considerar que os dados não seguem distribuição normal.

Se normal foi aplicado a análise T-student (paramétrico) e se não normal foi aplicado a análise Mann-Whitney (não paramétrico). Na análise Mann-Whitney, foi realizado o teste analisando se houve diferença, do ano de 2018 em relação ao ano de 2019 e do ano de 2019 em relação ao ano de 2020, o p valor determina se a diferença entre as medianas da amostra é estatisticamente significativa. O p valor mostra a significância. Se o valor de p for menor ou igual ao nível de significância (0,05), pode-se afirmar que a diferenças entre as medianas da amostra é estatisticamente significativa.

Após essa análise foi aplicada o teste Mann-kendall, que é uma análise de tendência temporal, primeiramente foi analisado os dados nos três anos separadamente no período de fevereiro a maio, após essa análise foi aplicado o teste

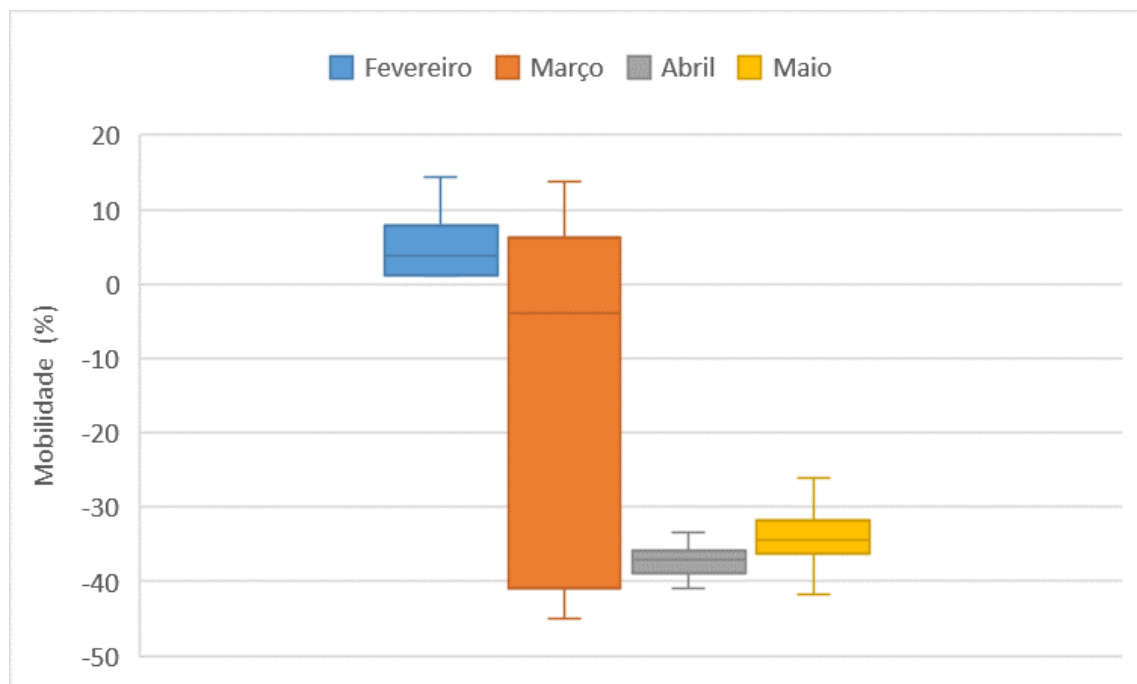
nos três anos em sequência para se observar se os dados tem uma tendência de aumento ou redução , que gera valores de p-valor e (tau) que indicam a presença ou não de tendências monoatômicas e seu sentido positivo ou negativo para analisar a tendência de aumento ou diminuição. O nível de significância considerado foi de 5% (SAMET; WOODWARD, 2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Distanciamento social

As medidas de restrição de pessoas adotadas durante a pandemia da COVID – 19, possibilitou uma série de estudos realizada para avaliar como essas medidas influenciaram na qualidade do ar de grandes centros urbanos. A Figura 3 apresenta os valores de índice de mobilidade do período de fevereiro a maio no ano de 2020.

Figura 3 - Boxplot do índice da mobilidade da Cidade de São Paulo (Dados: Google)



Fonte: Autoria própria, 2020.

O índice de mobilidade apresentou uma variabilidade grande no mês de março, tendo sua mediana negativa, os meses de abril e maio apresentaram todos os valores negativos, com uma baixa variabilidade, indicando que nesse período analisado a

movimentação da população permaneceu inferior ao mês de fevereiro, que foi utilizado como referência de mobilidade no período sem distanciamento social.

As medidas da restrição da movimentação de pessoas afetaram diferentemente cada região, o maior impacto encontrado ocorreu em grandes cidades, cidades ricas e industrializadas. Cidades que apresentam maior população e renda, foram muito afetadas já que possuem uma alta taxa de atividade econômica (HE; PAN; TANAKA, 2020).

5.2 Análise exploratória

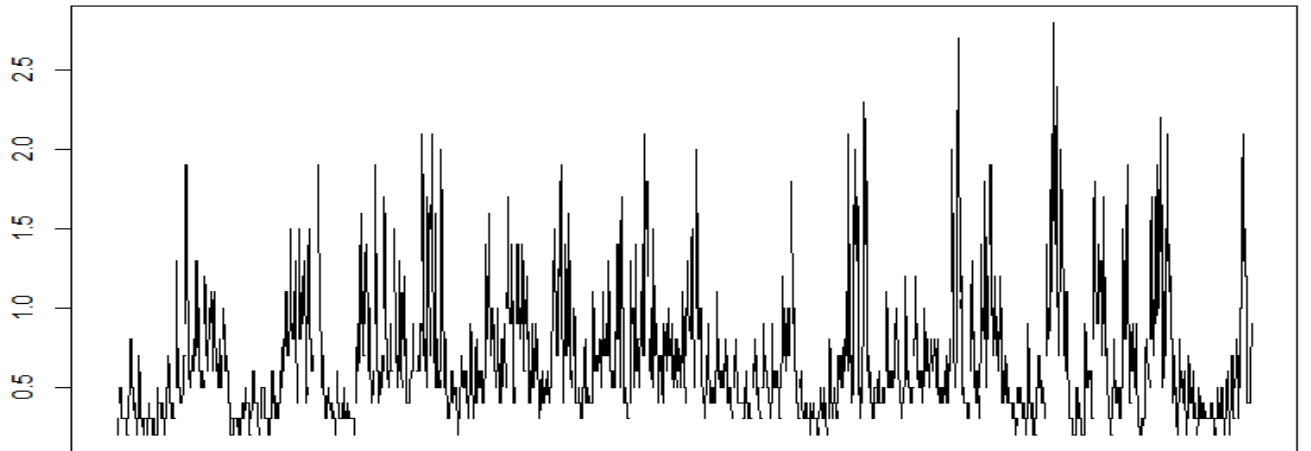
As Figuras 4 e 5 mostram uma redução das concentrações de CO, nas duas estações, ao final do mês de março e começo de abril no ano de 2020, período onde foi registrado os maiores valores de isolamento social.

A Figura 6 mostra que o NO, na estação Marginal Tietê em 2020, apresentou uma redução em suas concentrações no mês de abril em relação aos anos anteriores. Na Figura 7 as concentrações de NO, em 2020, desde o início de fevereiro apresentou concentrações inferiores a 2018 e 2019, permanecendo assim até o mês de abril.

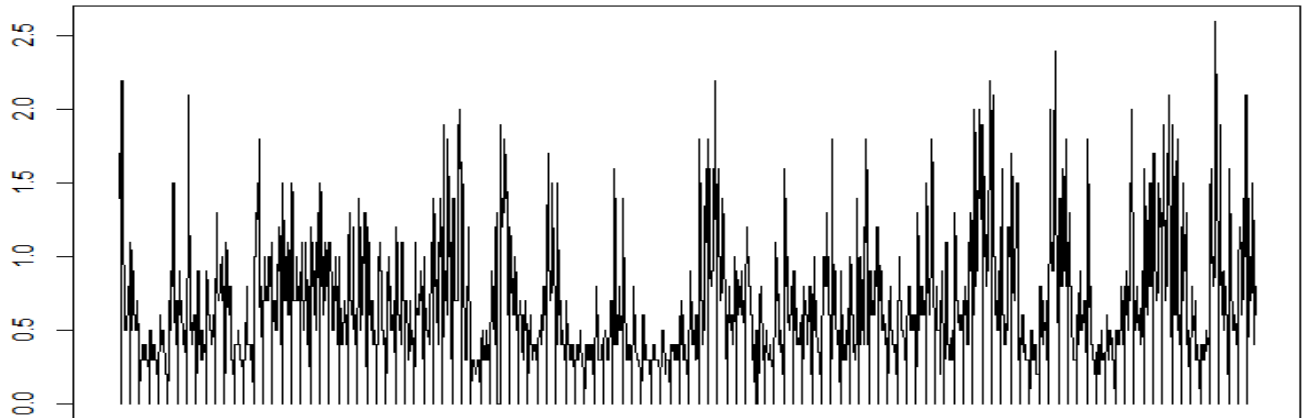
A Figura 8 apresentou vários dias, em 2019 e 2020, onde não foi registrado os dados na estação marginal Tiete, estando indicados como zero. Os valores de NO₂ (Figura 8 e 9), nas duas estações apresentaram redução em suas concentrações em março e abril em 2020.

Na Figura 10 e 11 o material particulado não sofreu grandes alterações no ano 2020 em relação aos anos anteriores.

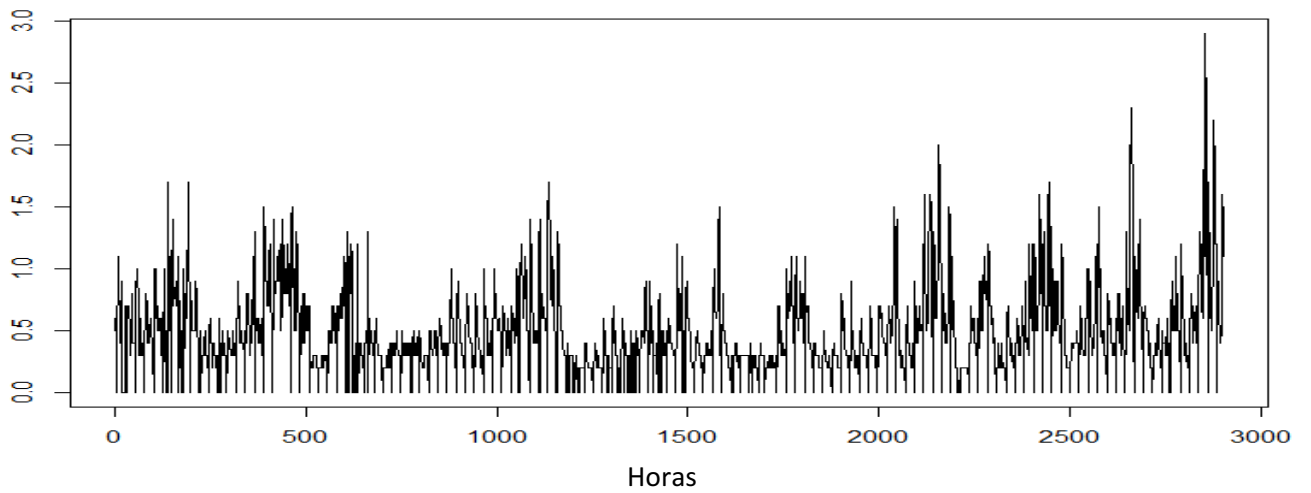
Figura 4 - Concentração de CO referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Marginal Tiete: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020



(a)

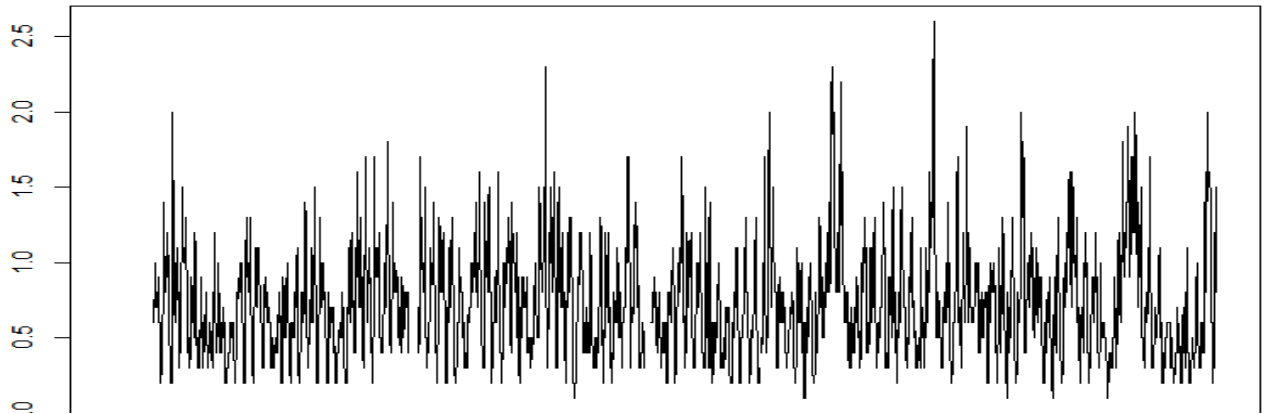


(b)

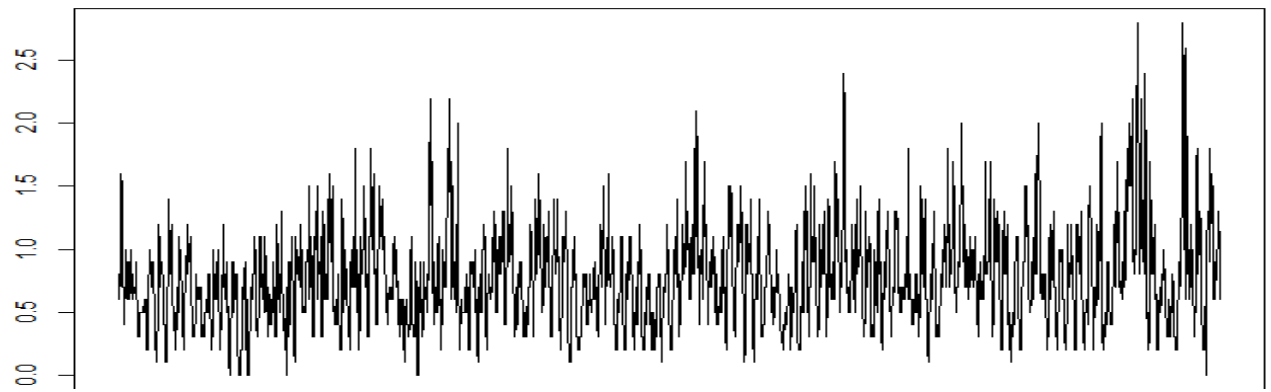


(c)

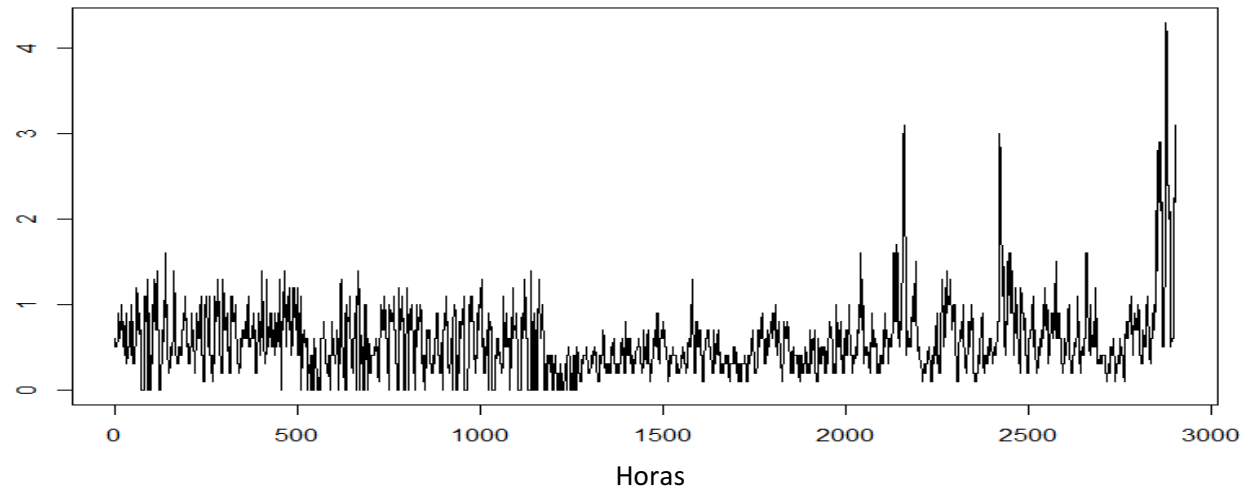
Figura 5 - Concentração de CO referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Congonhas (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020



(a)



(b)



(c)

Figura 6 -Concentração de NO referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Marginal Tiete: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020.

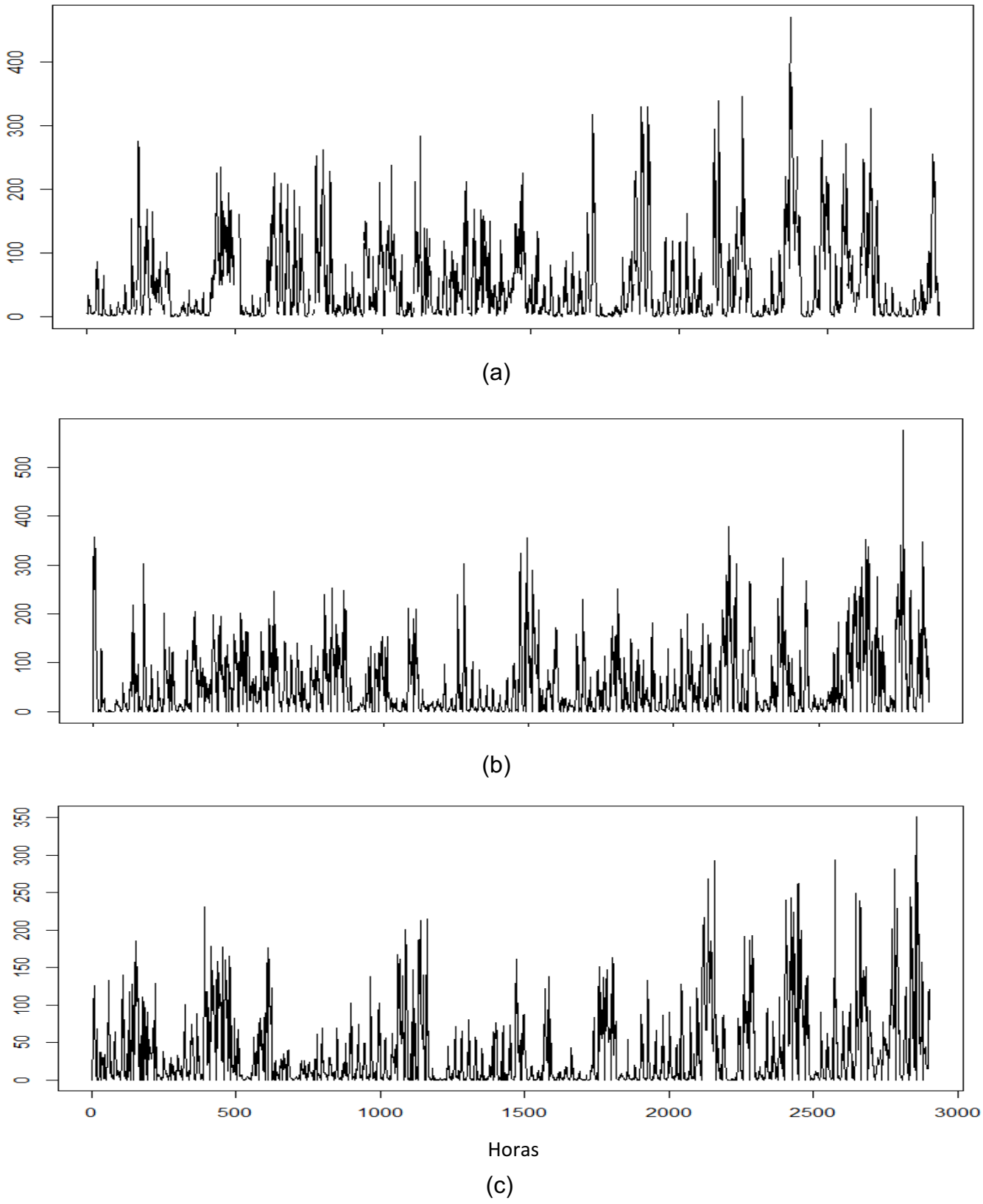
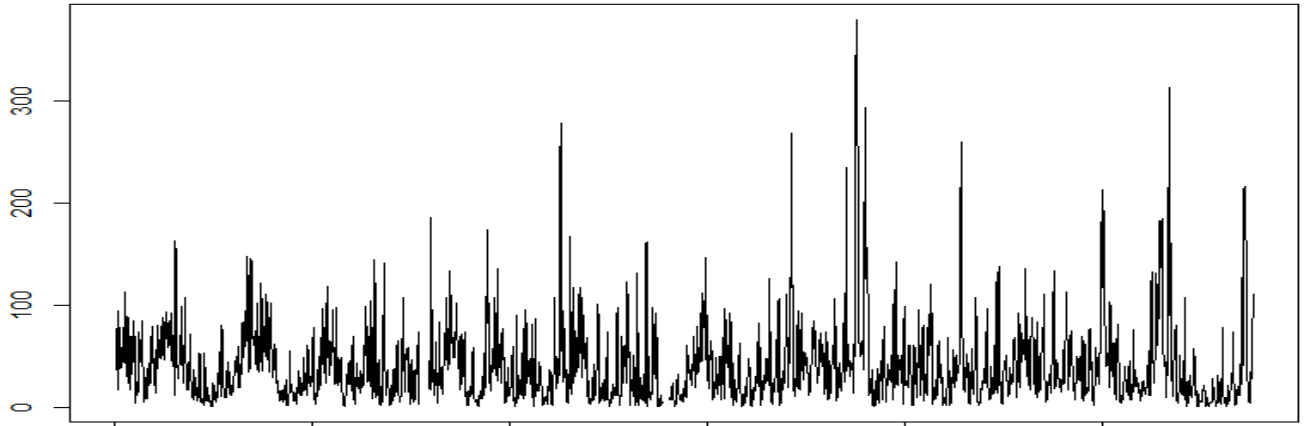
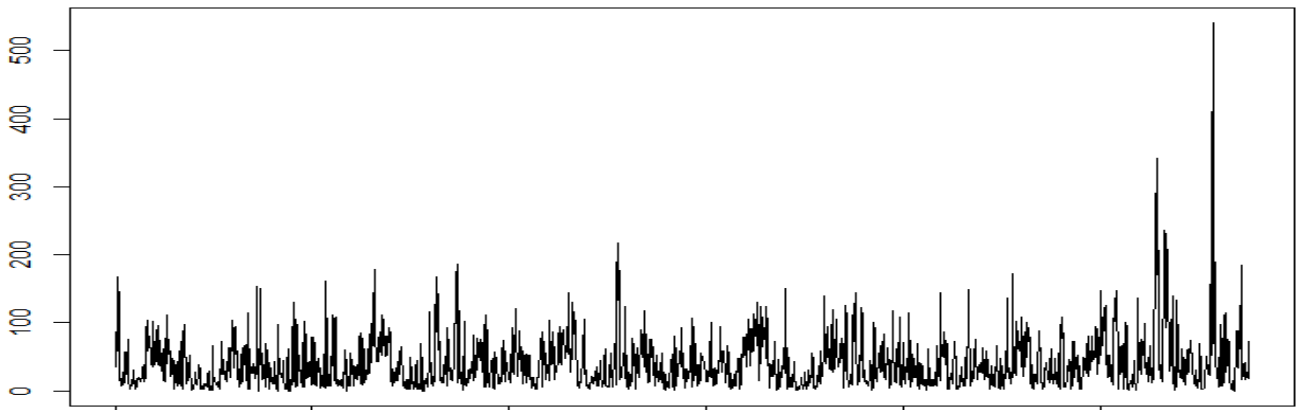


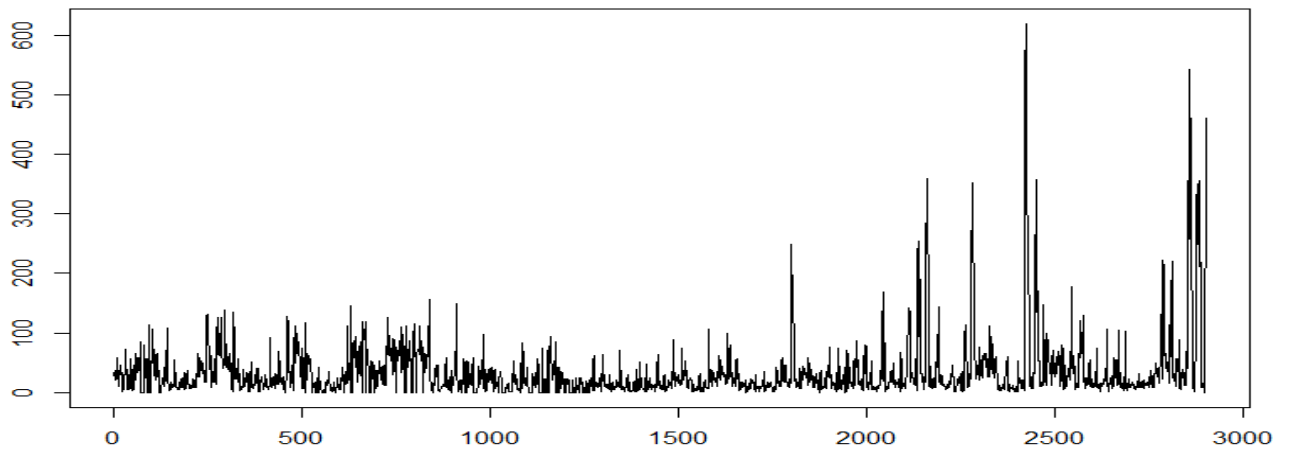
Figura 7 - Concentração de NO referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Congonhas: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020



(a)



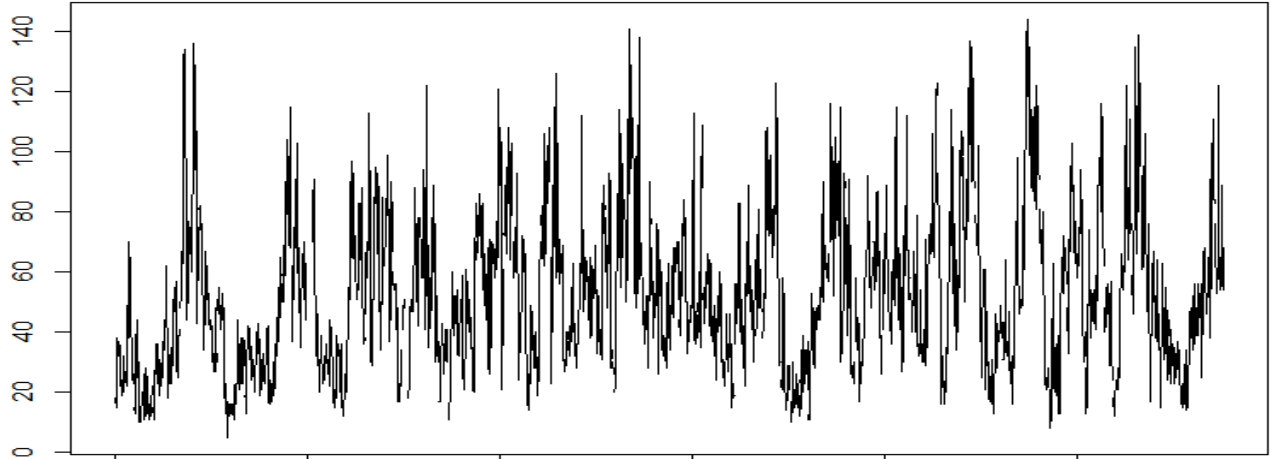
(b)



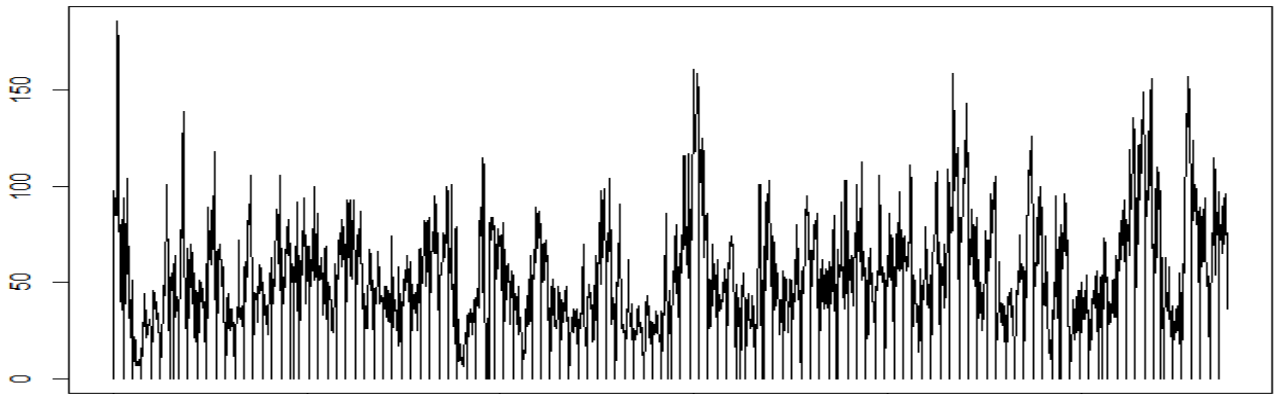
Horas

(c)

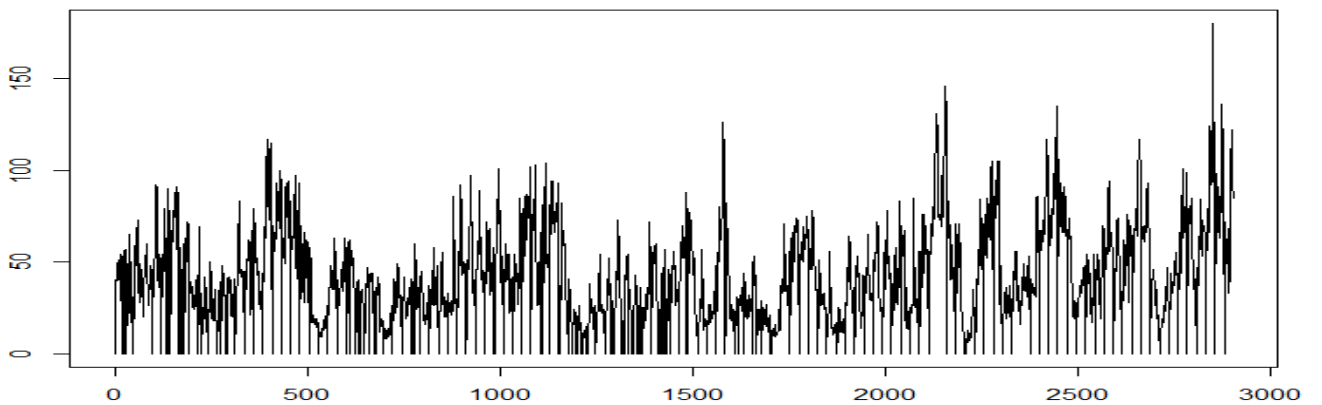
Figura 8 -Concentração de NO₂ referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Marginal Tiete: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020.



(a)



(b)



(c)

Horas

Figura 9 -Concentração de NO₂ referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Congonhas: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020.

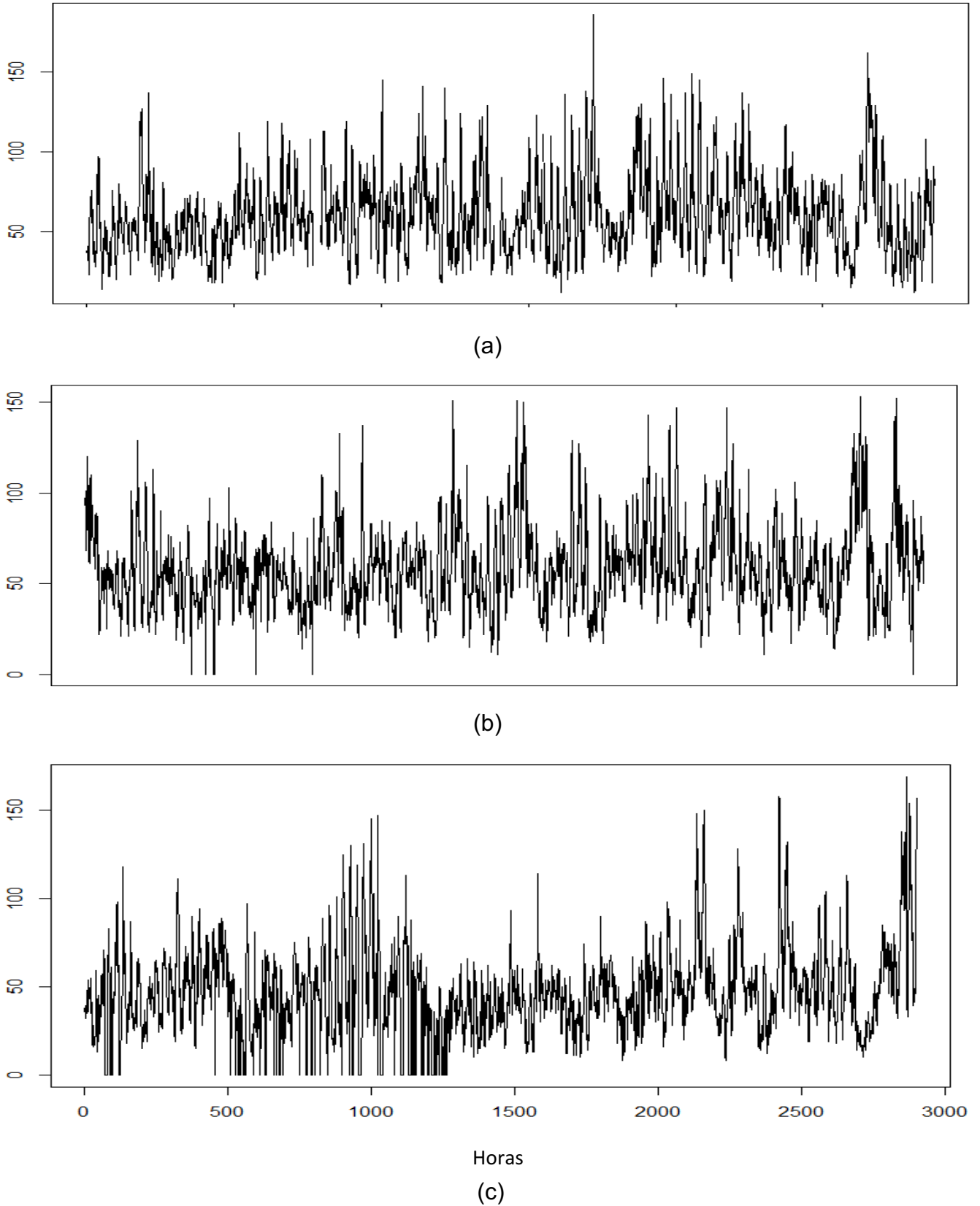
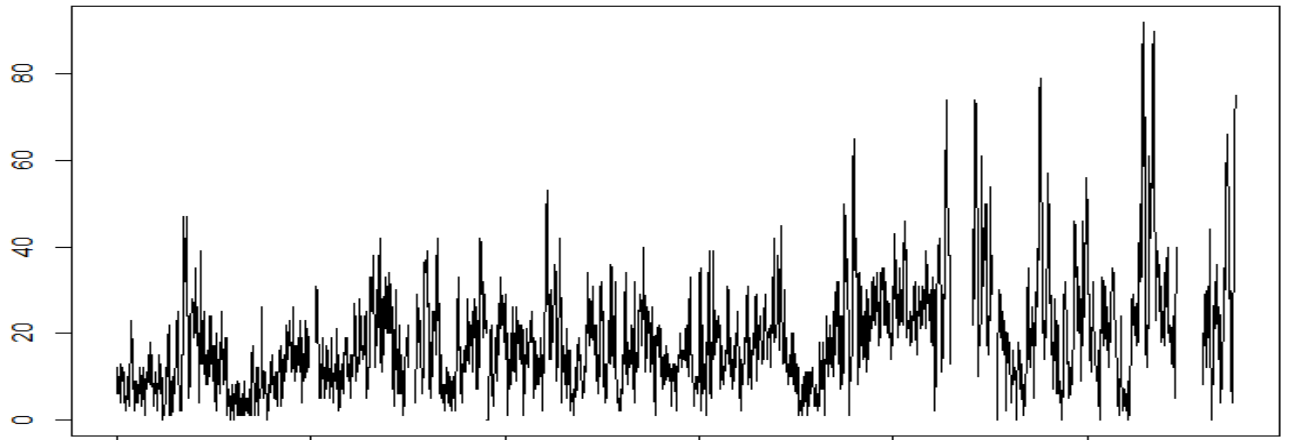
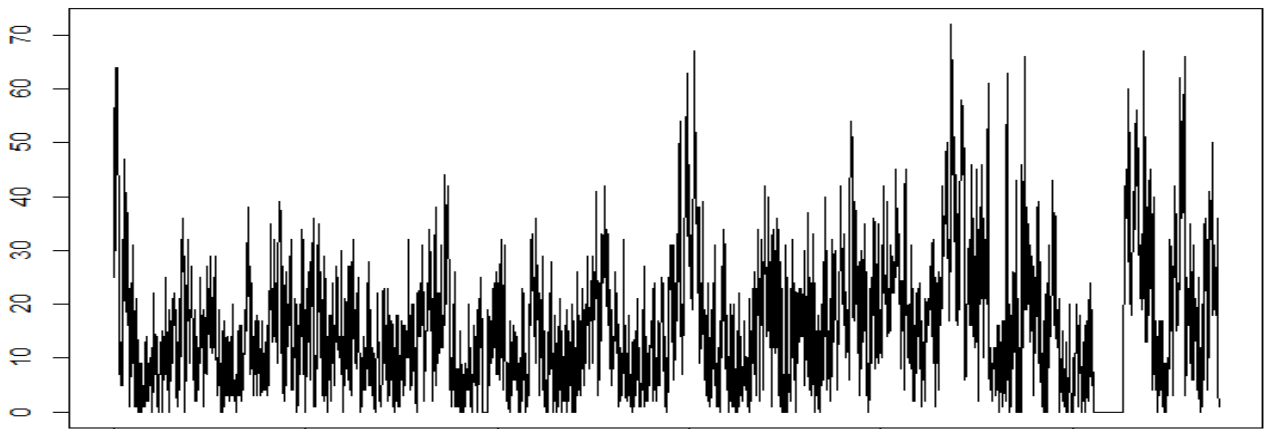


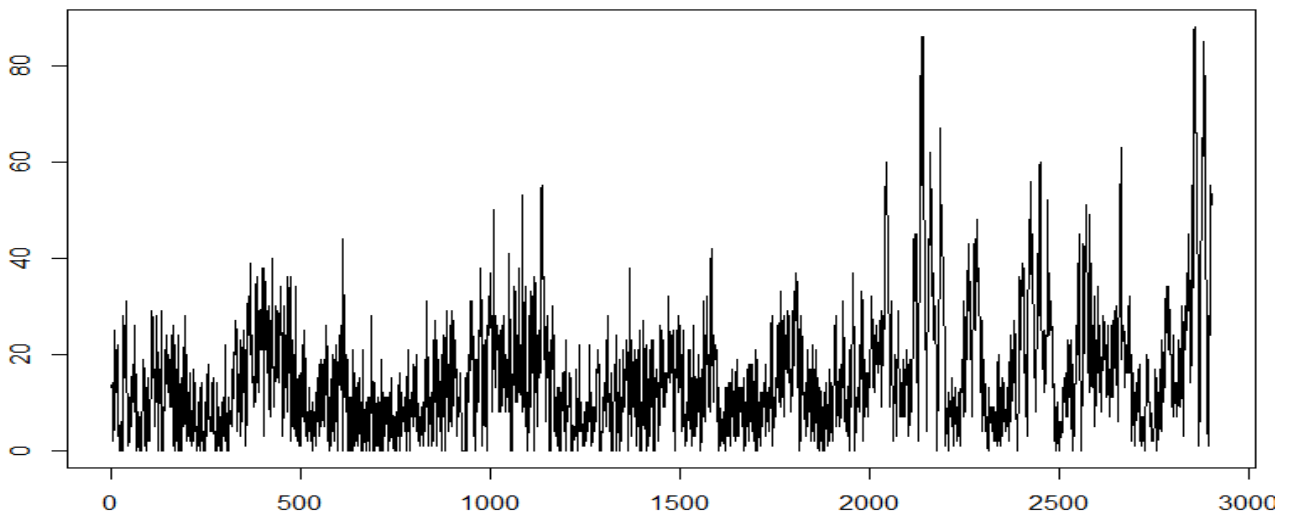
Figura 10 - Concentração de $MP_{2,5}$ referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Marginal Tiete: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020



(a)



(b)



Horas

(c)

Figura 11 - Concentração de $MP_{2,5}$ referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Congonhas: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020.

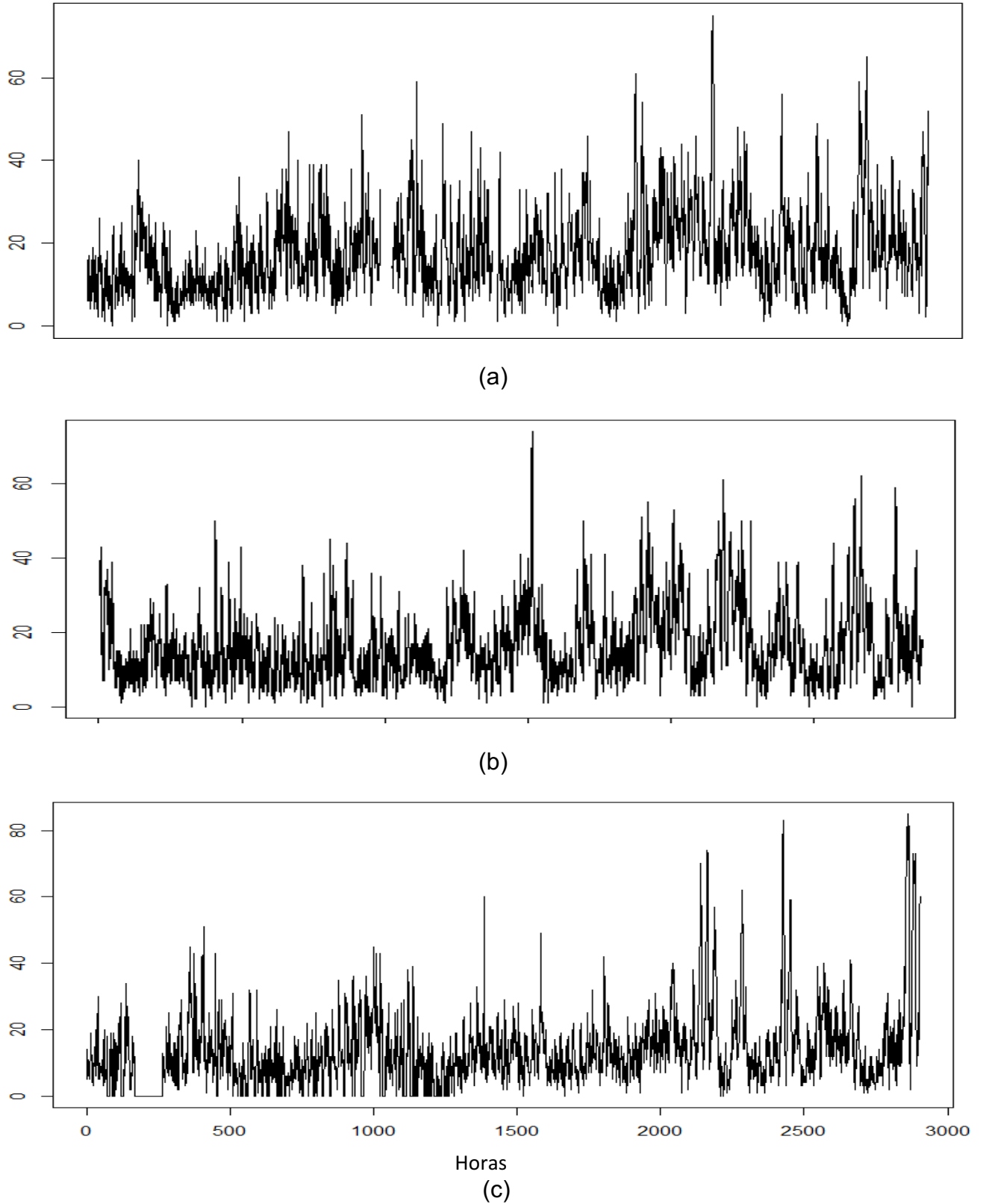


Figura 12 - Concentração de MP_{10} referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Marginal Tiete: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020.

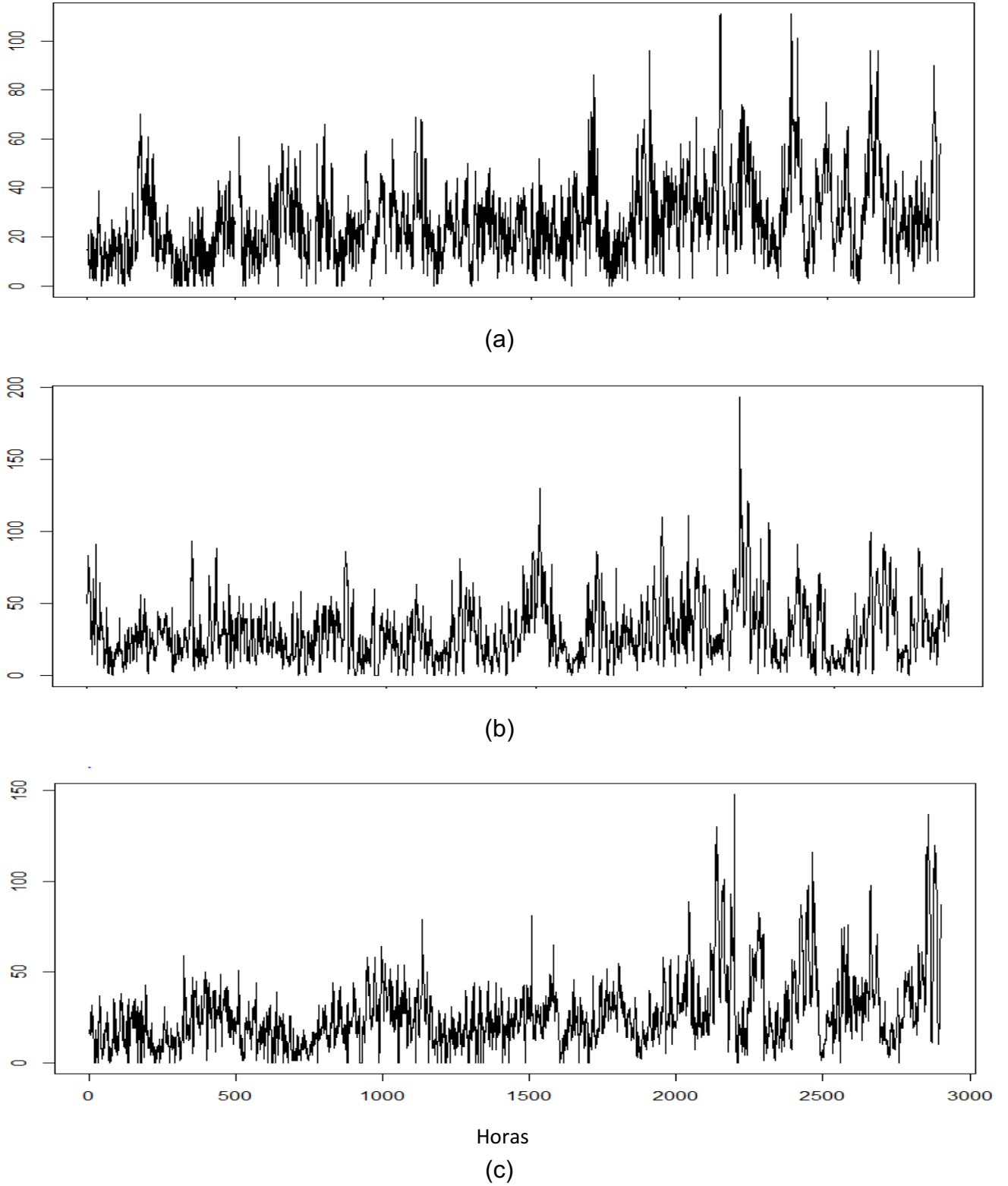
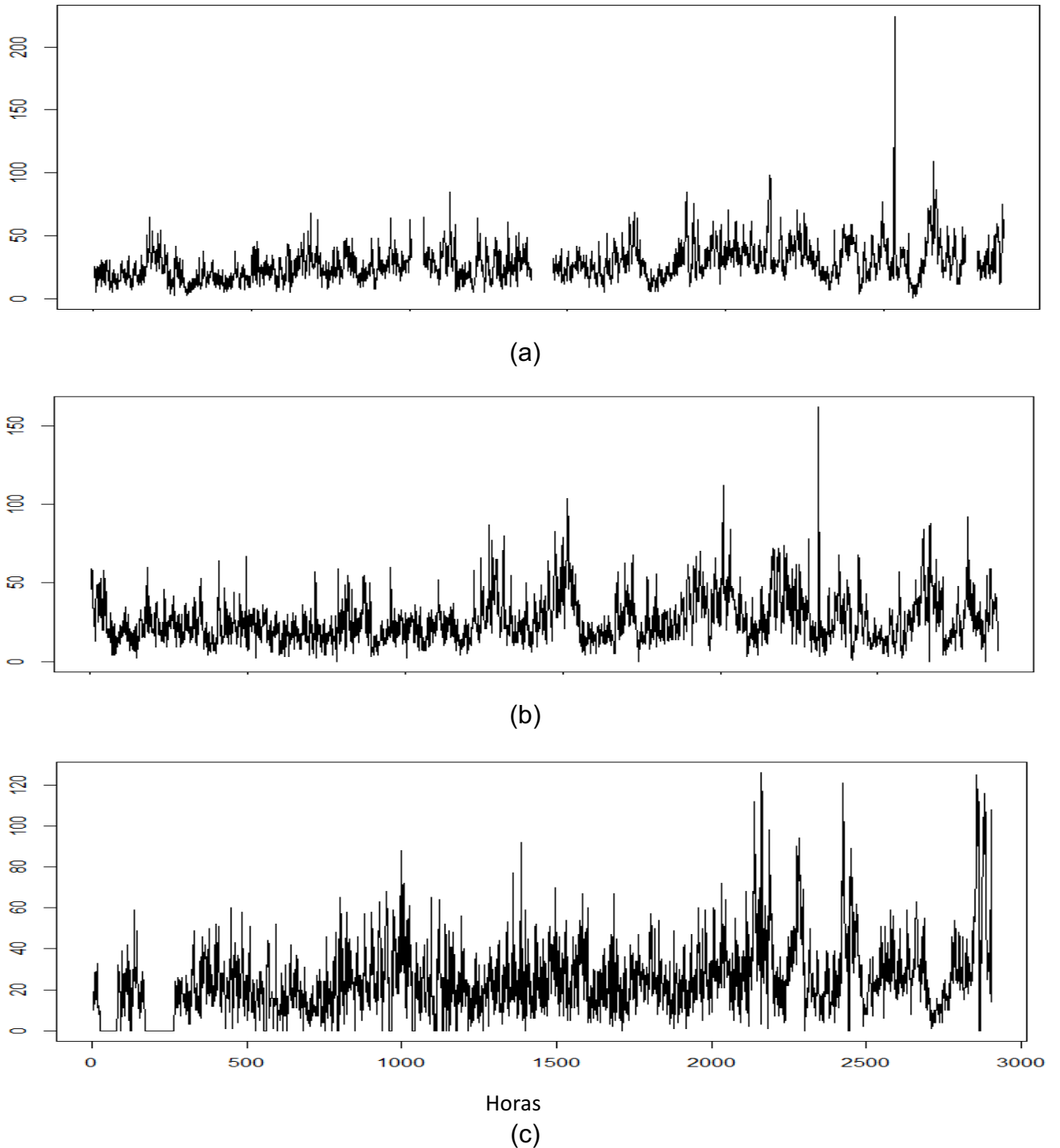


Figura 13 - Concentração de MP_{10} referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Congonhas: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020.



Na análise gráfica de Boxplot, pode-se observar que as maiores diferenças no ano de 2020, em relação aos anos anteriores foram nos poluentes NO e NO_2 , que obtiveram medianas inferiores nesse ano, já o CO e o material particulado apresentaram uma redução pequena (Figura 14, 15 e 16).

Na estação Marginal Tiete as concentrações de CO e NO apresentaram uma maior variação entres os meses nas concentrações nos três anos analisados, enquanto a estação Congonhas apresentou dados mais uniformes no mesmo período, excetuando o ano de 2020 que apresentou diferença na concentração.

Os meses de março e abril do ano de 2020 apresentaram uma concentração de CO, inferior aos anos anteriores, na estação Marginal Tiete os dados tiveram uma variação pequena. A estação Congonhas os menores valores foram em abril de 2020, devido a drástica redução dos voos nesse mês devido ao fechamento de fronteiras dentro e fora do país.

Em relação ao NO, na Estação Marginal o ano de 2020 apresentou medianas inferiores somente em relação ao ano de 2019, nos meses de fevereiro, março, abril e maio, tendo as respectivas medianas 25, 9, 10 e 41 ppb, enquanto o ano anterior apresentou as seguintes medianas 45, 22, 30,5 ppb e 59 ppb. Na estação Congonhas os meses citados acima, no ano de 2020 também apresentaram concentrações inferiores aos anos anteriores, obtendo as seguintes medianas 18,17 e 25 ppb, em março, abril e maio.

O NO₂ na Marginal Tiete no ano de 2020 apresentou medianas inferiores nos 4 meses analisados em relação ano anterior, os valores encontrados em 2020 foram 43, 35, 27 e 52 µg/m³, enquanto em 2019 as medianas foram 51, 42,42 e 61 µg/m³, Já na estação Congonhas o ano de 2020 apresentou valores de mediana inferiores aos anos anteriores nos meses analisados, a maior diferença foi entre o ano de 2018 que obteve os seguintes valores 51, 61, 59 e 59 µg/m³, enquanto o ano de 2020 apresentou 11, 10, 8 e 8µg/m³.

O aeroporto de Congonhas sofreu uma redução de até 98,68% dos voos durante a pandemia, do dia 1° a 20 de abril de 2020, foram somente 126 voos, enquanto no ano de 2019 no mesmo período, foram 9.489 voos (G1, 2020). Observe-se que os valores das concentrações de NO e NO₂, no mês de abril estão menores que os outros meses e em relação a estação Marginal Tietê, isso pode ser relacionado a drástica redução nas atividades do aeroporto e da movimentação no entorno ocasionada pelo mesmo.

Figura 14 - Concentração de CO referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Marginal Tiete: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020; e na Estação Congonhas (d) 2018, (e) 2019 e (f) 2020.

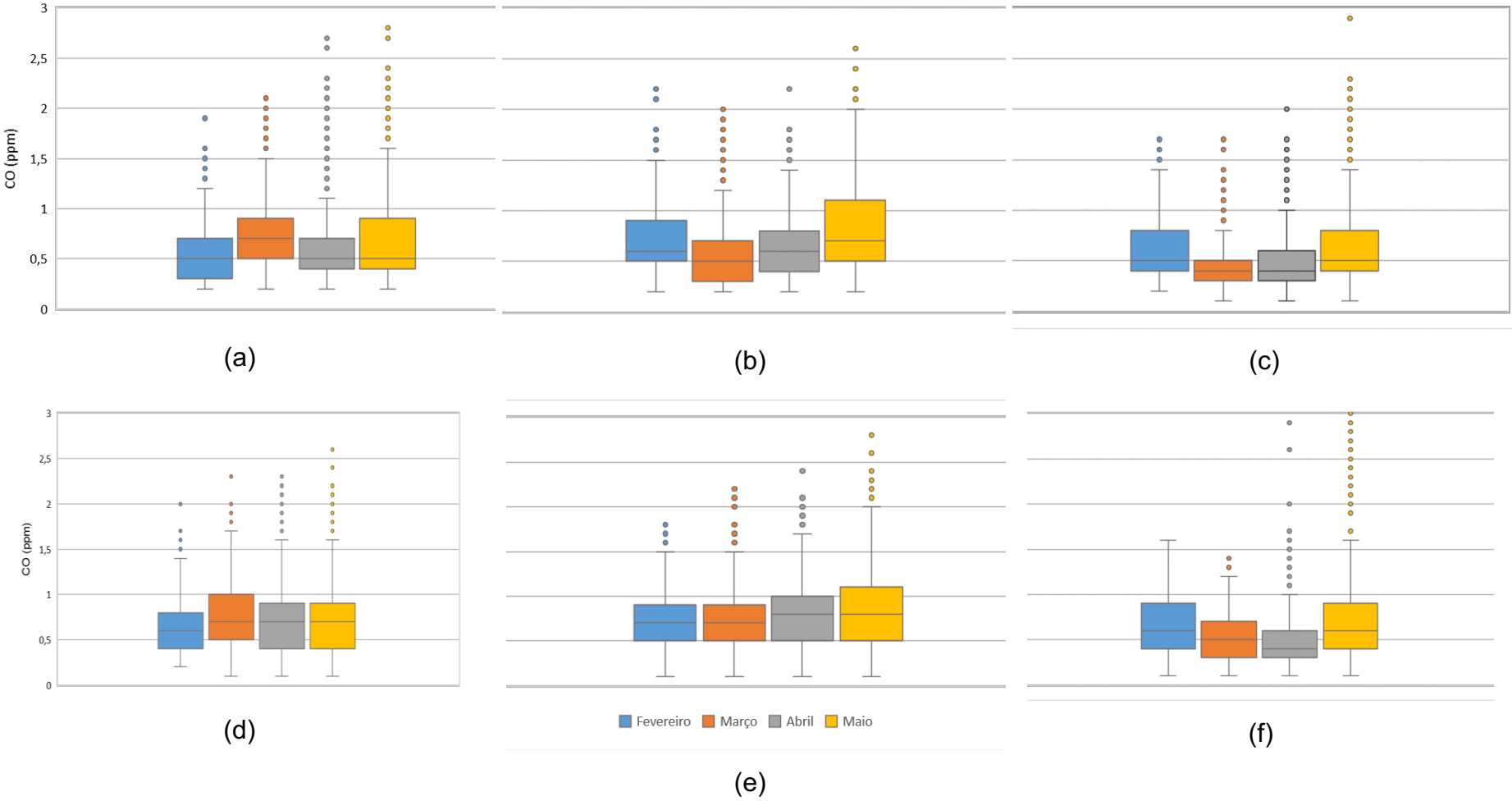


Figura 15 - Concentração de NO referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Marginal Tiete: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020; Estação Congonhas (d) 2018, (e) 2019 e (f) 2020

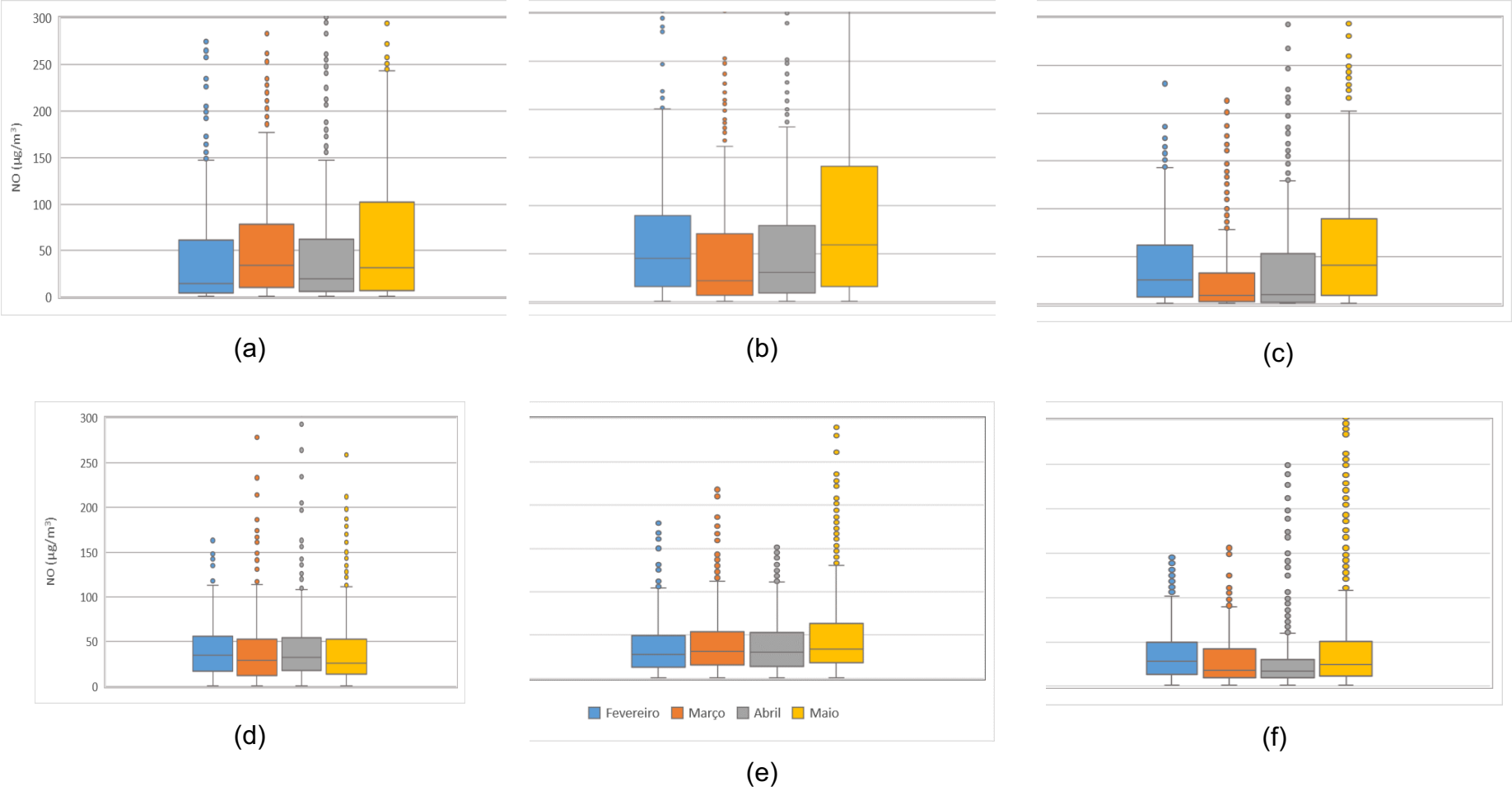


Figura 16 - Concentração de NO₂ referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Marginal Tiete: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020; Estação Congonhas (d) 2018, (e) 2019 e (f) 2020

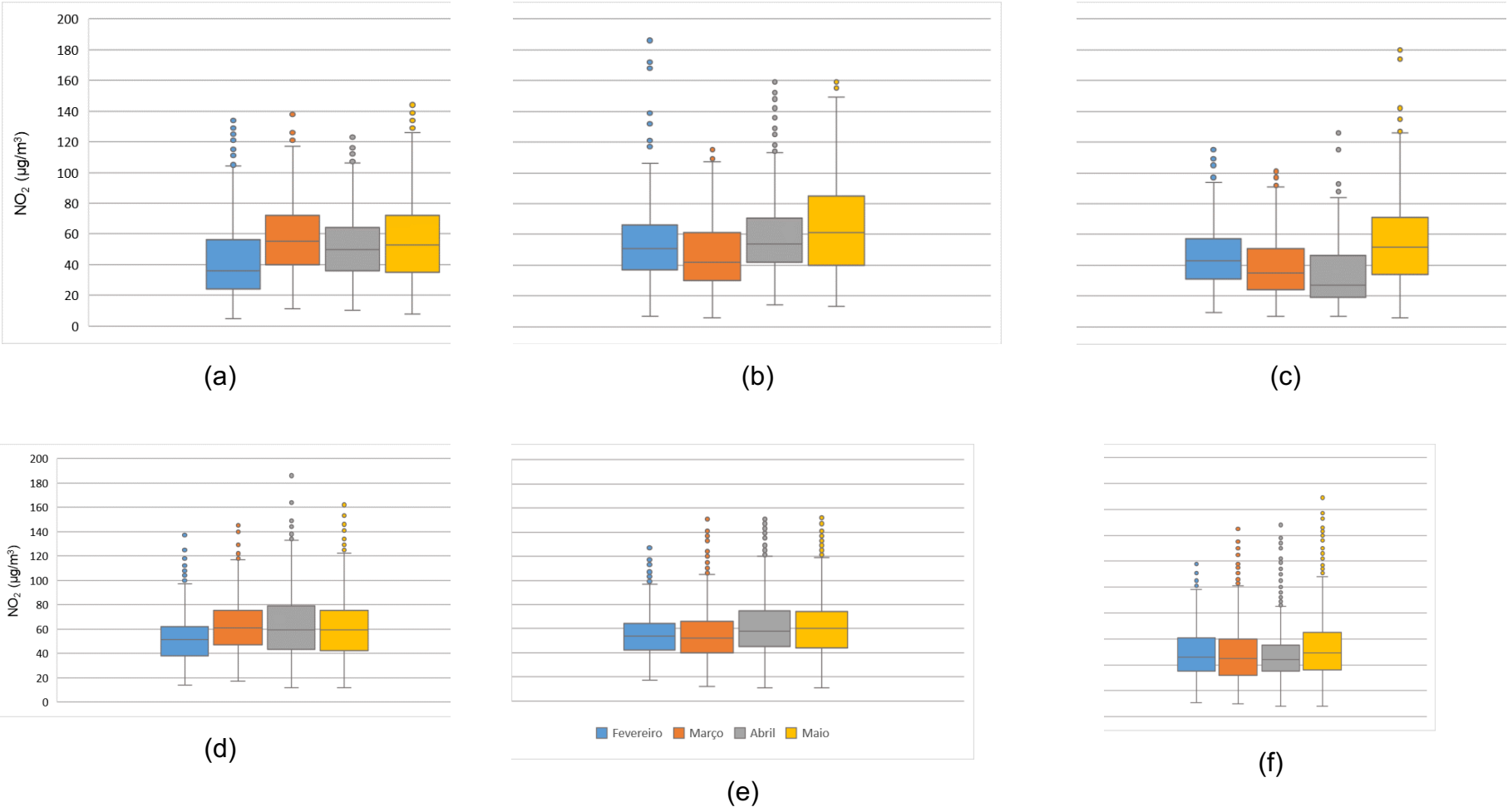


Figura 17 - Concentração de MP_{2,5} referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Marginal Tiete: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020; Estação Congonhas (d) 2018, (e) 2019 e (f) 2020

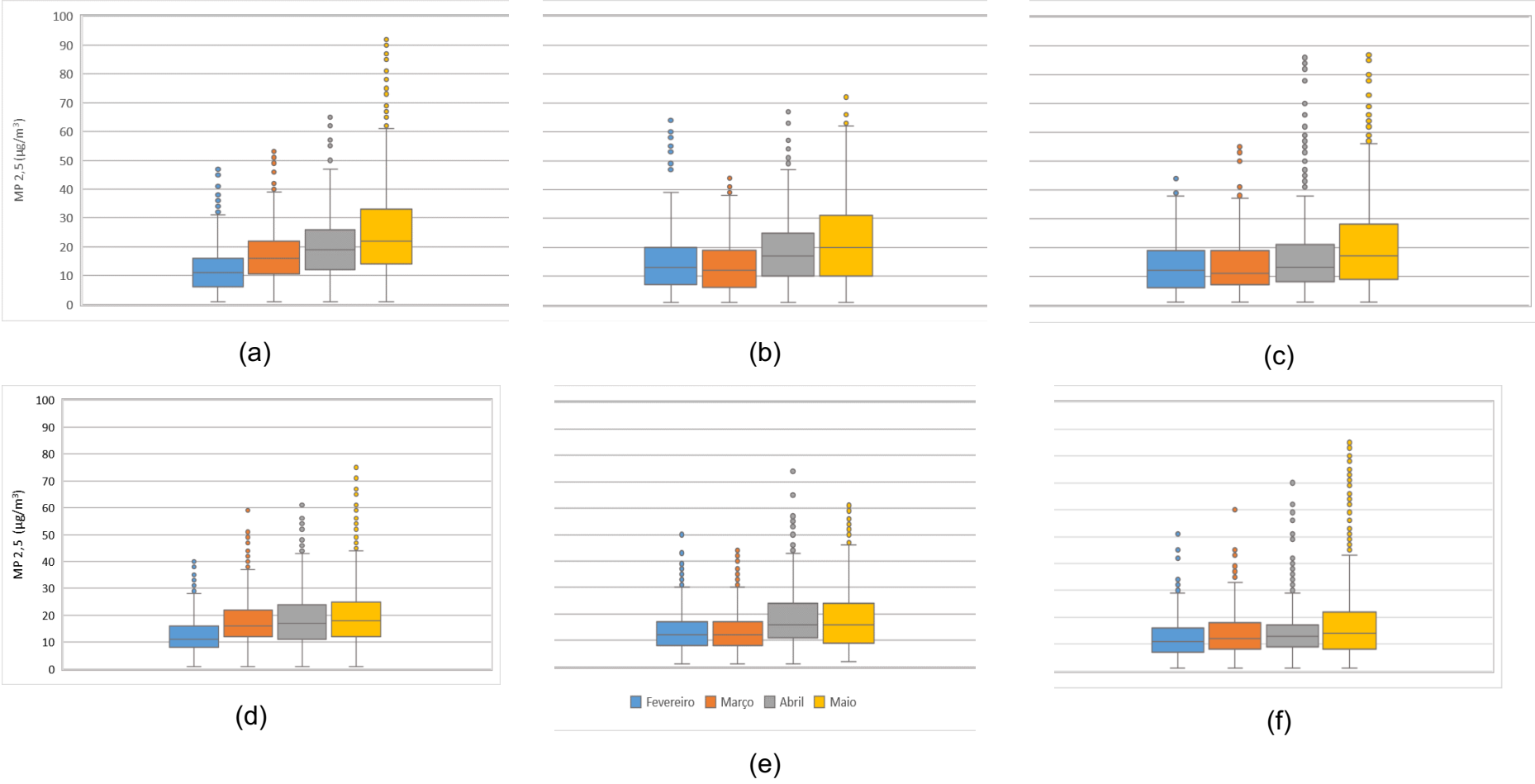
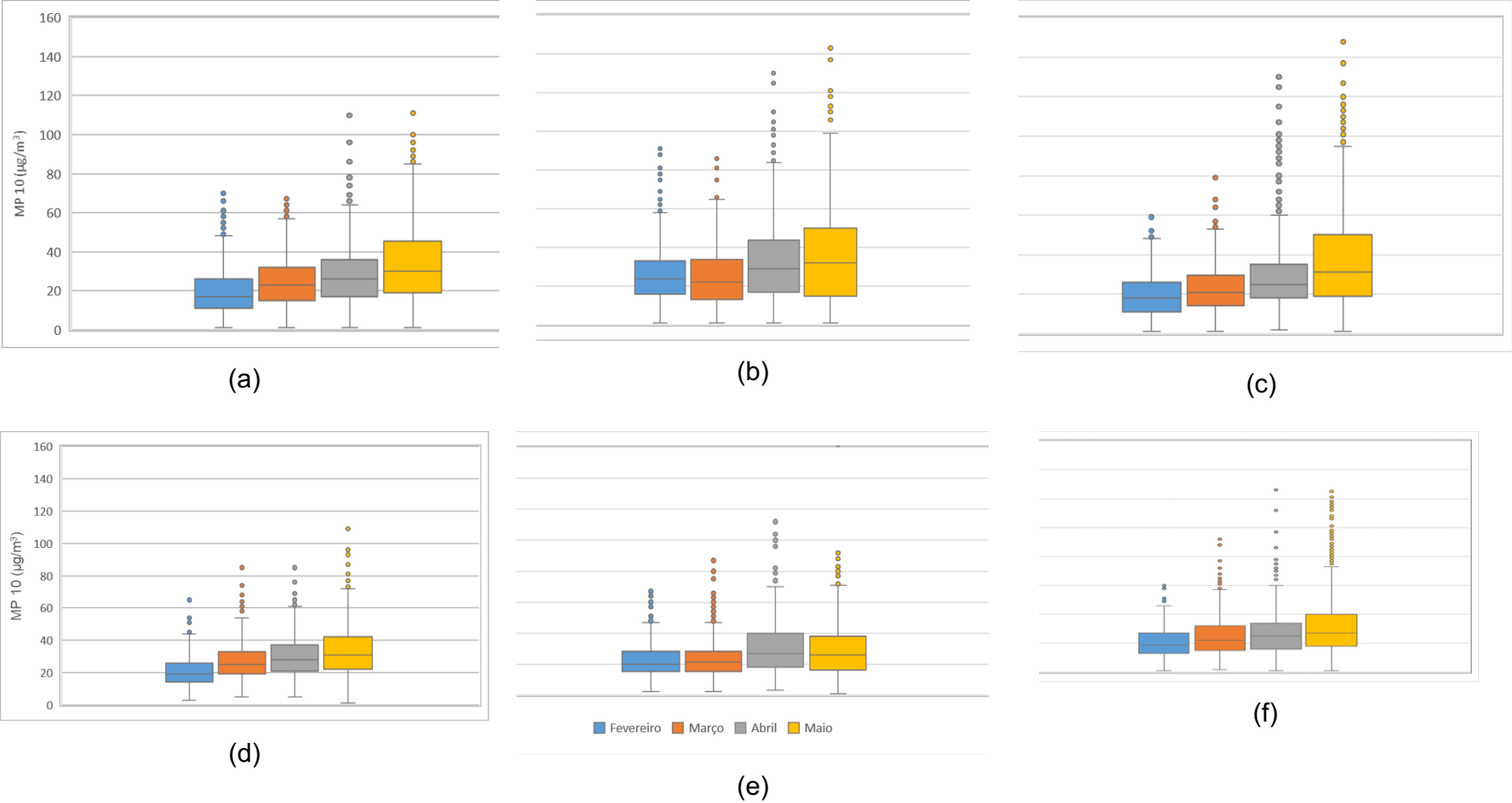


Figura 18 - Concentração de MP₁₀ referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Marginal Tiete: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020; Estação Congonhas (d) 2018, (e) 2019 e (f) 2020



Observa-se que nas Figura 17 e Figura 18 que o perfil do material particulado, $MP_{2,5}$ e MP_{10} , nas duas estações os valores em 2020 tiveram uma redução em relação aos anos anteriores. A mediana no mês de março no ano de 2020 na Marginal Tiete apresentou o menor valor em comparação com os dois anos anteriores e em relação a estação Congonhas. As concentrações de material particulado sofreram uma redução menor quando comparado aos outros poluentes analisados devido possuírem diversas fontes de emissão.

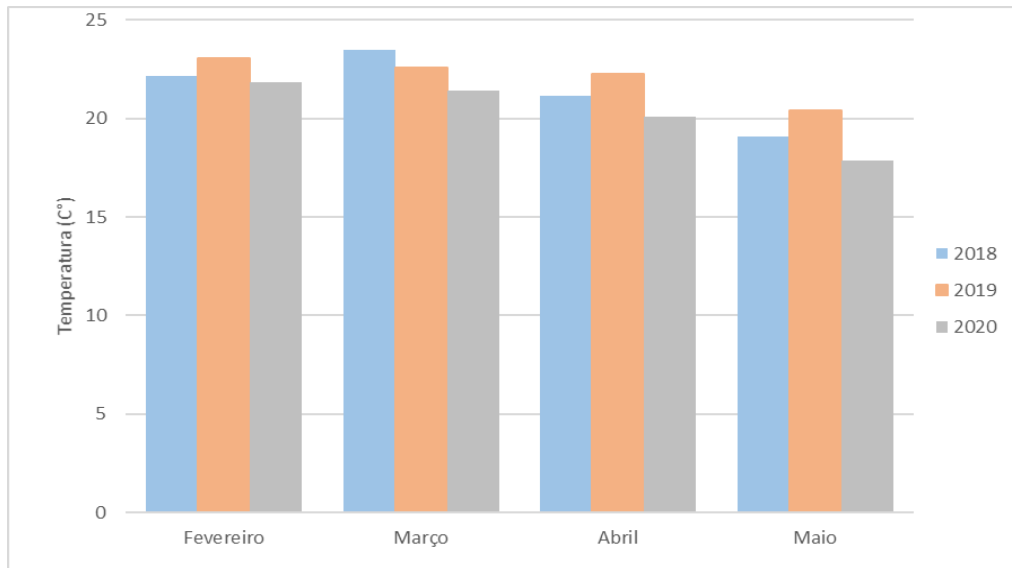
Em um estudo realizado na China a qualidade do ar apresentou melhoras após o distanciamento social ser implementado, o $MP_{2,5}$ apresentou uma redução de 25% (HE; PAN; TANAKA, 2020). O estudo em Wuhan na China, apresentou uma diminuição das concentrações de NO_2 , $MP_{2,5}$ e MP_{10} devido a pandemia da COVID - 19 (JI; CHANG, 2020). A melhoria na qualidade do ar pode levar a benefícios substanciais para a saúde (HE; PAN; TANAKA, 2020).

Na estação Congonhas o MP, no mês de abril estão menores que os outros meses e em relação a estação Marginal Tietê, isso pode ser relacionado a drástica redução nas atividades do aeroporto e da movimentação no entorno ocasionada pelo mesmo.

5.3 Variáveis meteorológicas

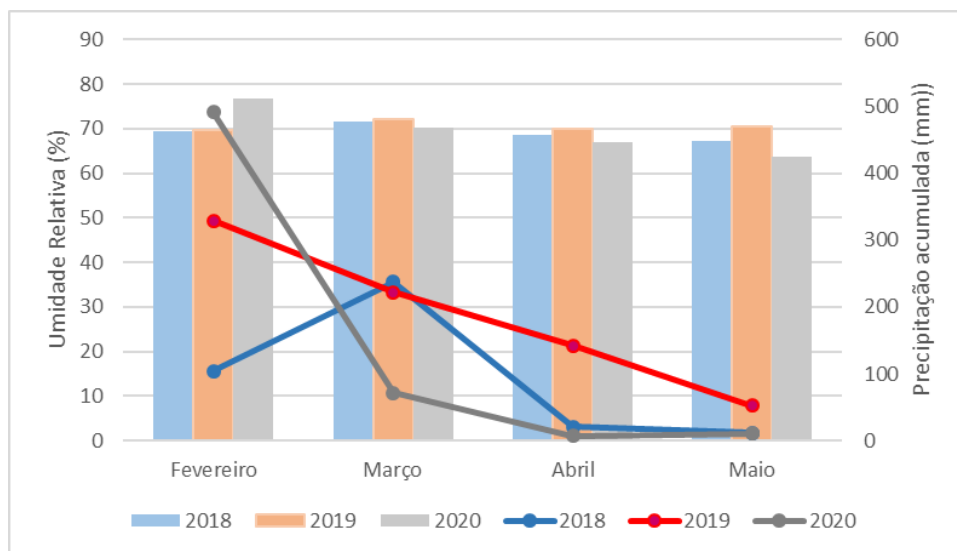
A Figura 19 apresenta os dados da temperatura e a Figura 20 apresenta os valores de Umidade Relativa e Precipitação, na Cidade de São Paulo no período analisado.

Figura 19 – Dados de Temperatura (°C) monitorados na Cidade de São Paulo de nos períodos de fevereiro a maio: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020



Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 20 – Dados de Umidade Relativa (%) e precipitação acumulada (mm) monitorados na Cidade de São Paulo nos períodos de fevereiro a maio: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020



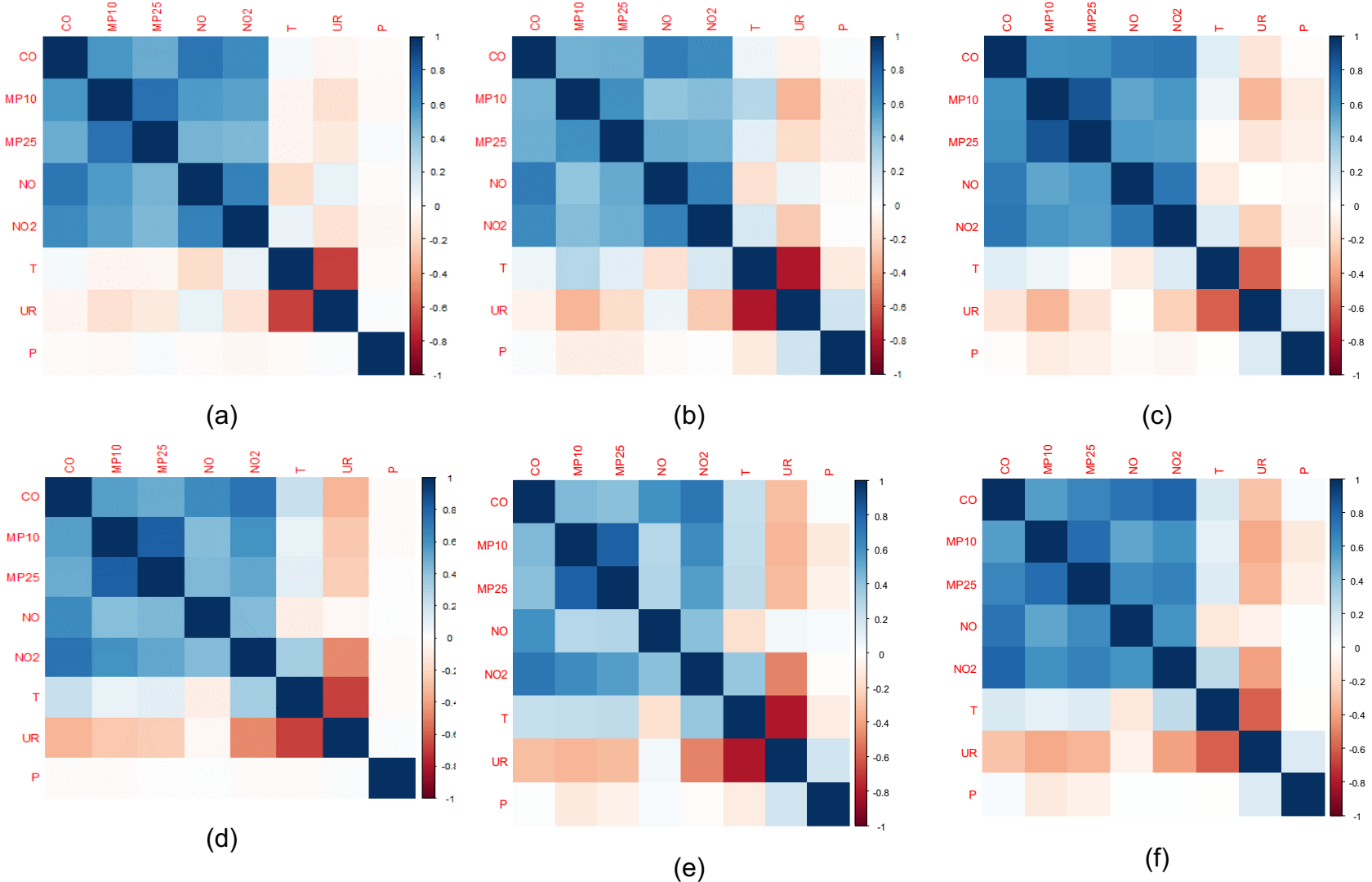
Fonte: Autoria própria, 2020.

O ano de 2019 apresentou os maiores valores de temperatura de até 35,6° C, em relação a 2018 e 2020, enquanto o ano de 2020 apresentou os menores valores, favorecendo o aumento nas concentrações em massa de MP, no período analisado. Além de interferir na concentração dos poluentes, um estudo realizado apontou que as temperaturas mais baixas podem favorecer a evolução da pandemia (CAMPOS; CYSNE; MADUREIRA, 2020).

A precipitação em fevereiro de 2020 foi maior que nos anos anteriores, entretanto no mês de março desse ano foi inferior, favorecendo a diminuição na concentração em massa de MP nesse período. As concentrações dos poluentes em fevereiro foram afetadas pela precipitação e o mês de março com os menores valores de precipitação, podendo aumentar o tempo de permanência dos poluentes na atmosfera, pela chuva reduzida nesse período.

A Figura 21 apresenta a correlação de Pearson realizada considerando os poluentes e as variáveis meteorológicas estudadas.

Figura 21 - Correlação de Pearson referentes aos meses de fevereiro a maio na Estação Marginal Tiete: (a) 2018, (b) 2019 e (c) 2020; e na Estação Congonhas (d) 2018, (e) 2019 e (f) 2020



Nas duas estações, CO em comparação a NO, NO₂, MP_{2,5} e MP₁₀, e NO em relação a CO, NO₂, MP_{2,5} e MP₁₀, e NO₂ em relação a CO, NO, MP_{2,5} e MP₁₀, e o MP em relação a CO, NO e NO₂, apresentaram uma correlação positiva, com pequenas variações nos valores. A precipitação em relação a CO, NO, NO₂, MP_{2,5} e MP₁₀, no ano 2018 não apresentou correlação.

Nos três anos analisados a correlação de Pearson, na estação Congonhas o CO, MP_{2,5}, MP₁₀ em relação a UR, as correlações foram negativas. Enquanto NO₂ não apresentou correlação com a UR.

Nos anos de 2018, 2019 e 2020 apresentaram uma forte correlação negativa entre temperatura e umidade relativa, nas duas estações. A estação Marginal Tiete, nos anos de 2019 e 2020, apresentou uma correlação de -0,4 entre MP₁₀ e UR, enquanto a correlação de UR e NO₂ foi de - 0,2.

Em relação da precipitação com MP_{2,5} e MP₁₀, nas duas estações, nos anos de 2019 e 2020 a correlação foi negativa. Entre os poluentes a correlação foi positiva, em ambas estações e nos três anos em análise. Nos anos de 2019 e 2020, nas duas estações a precipitação tiveram uma correlação positiva.

5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O teste de distribuição Shapiro – Wilk indicou, em todas as variáveis analisadas, que o valor de p valor foi menor 0,05 (Anexo 1), sendo estatisticamente significativo, ou seja, os dados não seguem uma distribuição normal, sendo assim foi aplicado o teste Mann – Whitney-Wilcoxon (não paramétrico) (Quadro 1, 2 e 3).

Quadro 1 - Resultados do teste Mann Whitney-Wilcoxon da estação Marginal Tietê

| | 2018 – 2019 | | 2019 – 2020 | |
|-------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | Teste | P-valor | Teste | P-valor |
| CO | 3870909 | 0.2166 | 5362140 | 2.2e-16 |
| NO | 3616203 | 4.662e-07 | 5045686 | 2.2e-16 |
| NO₂ | 3835798 | 0.1585 | 5172934 | 2.2e-16 |
| MP_{2,5} | 4441213 | 2.2e-16 | 3619395 | 2.2e-16 |
| MP₁₀ | 3807601 | 1.047e-05 | 4545635 | 9.942e-09 |

Quadro 2 - Resultados do teste Mann Whitney-Wilcoxon da estação Congonhas

| | 2018 - 2019 | | 2019 – 2020 | |
|-------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | Teste | P-valor | Teste | P-valor |
| CO | 3630161 | 2.2e-16 | 5596681 | 2.2e-16 |
| NO | 4076682 | 0.2637 | 5036707 | 2.2e-16 |
| NO₂ | 4180094 | 0.6022 | 5405073 | 2.2e-16 |
| MP_{2,5} | 4449254 | 1.669e-06 | 4899731 | 2.2e-16 |
| MP₁₀ | 4323510 | 0.005192 | 4529775 | 4.194e-08 |

Quadro 3 - Resultados do teste Mann Whitney-Wilcoxon dos parâmetros meteorológicos

| | 2018 - 2019 | | 2019 – 2020 | |
|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | Teste | P-valor | Teste | P-valor |
| T | 3832717 | 6.233e-07 | 5286585 | 2.2e-16 |
| UR | 3851117 | 2.684e-06 | 4399137 | 0.0006162 |
| P | 3899892 | 2.2e-16 | 4303663 | 0.0001443 |

O teste Mann –Whitney-Wilcoxon na estação Marginal Tietê para os parâmetros CO e NO₂ (analisando os dados de 2018 em relação ao ano de 2019) e a estação Congonhas para os parâmetros NO e NO₂ (também comparando os dados de 2018 em relação a 2019), apresentou p valor maior que 0,05, sendo assim a diferença entre as medianas não é estatisticamente significativa.

Em relação ao CO no ano de 2019, as concentrações medias sofreram um aumento em relação ao ano de 2018, este fato ocorreu em função das interdições viárias que impactaram o transito por um longo período (CETESB, 2019).

Já em relação aos outros parâmetros, nas duas estações tanto o teste Mann -Whitney-Wilcoxon realizado comparando 2018 a 2019 e 2019 a 2020, apresentou p valor menor que 0,05, sendo assim a diferença entre as medianas é estatisticamente significativa. O valor do teste de 2019 em relação a 2020 apresentou maiores valores

em todos os poluentes analisados em relação ao teste realizado comparando 2018 e 2019.

O teste Mann Kendall realizado, com as concentrações horárias de cada poluente, para todo o período (Quadro 4 e 5) mostrou uma tendência de redução para o CO, NO, NO₂ e MP_{2,5}. O MP₁₀ não apresentou tendência de diminuição, isso se deve já que suas fontes de emissão não estão ligadas somente a tráfego de veículos, levando a um aumento da concentração do poluente devido a outras fontes.

Quadro 4 - Teste Mann Kendall da estação Marginal Tietê nos anos de 2018, 2019 e 2020 analisados em sequencia

| | Teste | p valor |
|-------------------------|--------------|----------------|
| CO | -0.0891 | 2.22e-16 |
| NO | -0.016 | 0.027615 |
| NO₂ | -0.0355 | 8.8948e-07 |
| MP_{2,5} | -0.00196 | 0.78787 |
| MP₁₀ | 0.0633 | 2.22e-16 |

Quadro 5 -Teste Mann Kendall da estação Congonhas nos anos de 2018, 2019 e 2020 analisados em sequencia

| | Teste | p valor |
|-------------------------|--------------|----------------|
| CO | -0.0755 | 2.22e-16 |
| NO | -0.0785 | 2.22e-16 |
| NO₂ | -0.103 | 2.22e-16 |
| MP_{2,5} | -0.0527 | 4.99e-13 |
| MP₁₀ | 0.00907 | 0.21139 |

A análise de Mann Kendall indicou diferença dos dados entre os anos analisados, apresentando uma tendência de redução, podendo assim observar que o ano de 2020 apresentou valores inferiores, na concentração dos poluentes, aos anos anteriores. Essa redução na concentração dos poluentes atmosféricos tem relação com as restrições de mobilidade apresentados na Figura 3, onde os valores de mobilidade em março, abril e maio são inferiores a mobilidade no mês de fevereiro, o qual não apresentou medidas de distanciamento social.

Há uma tendência devido as condições meteorológicas de aumento das concentrações, em geral tendem a ser maior no inverno e na primavera, meses mais secos, gerando um maior acúmulo, maior resuspensão, queimadas. Nos anos de 2018 e 2019 apresentaram esse padrão.

Já o teste Mann Kendall realizado analisando o comportamento dos parâmetros nos três anos separadamente (Anexo 2), mostrou uma tendência de aumento, o ano de 2020 apresentou a tendência de aumento nas concentrações dos poluentes pela flexibilização da população no distanciamento social após o mês de abril, como pode-se observar na Figura 3, onde as medianas de abril e maio são maiores que do mês de março.

A estação Marginal Tietê estando localizadas em uma região com presença de indústrias apresentou um comportamento diferente nas concentrações na estação Congonhas. Locais que são característicos por atividades industriais apresentaram diferenças substanciais com as restrições de mobilidade, isso demonstra que as atividades industriais contribuem para a poluição do ar de grandes centros urbanos (HE; PAN; TANAKA, 2020).

Na Itália as concentrações de NO_2 reduziram após a implementação da restrição da circulação de pessoas. Isso aconteceu já que o dióxido de nitrogênio é produzido principalmente pelo tráfego rodoviário, as concentrações de $\text{MP}_{2,5}$ não apresentaram redução tão grande quanto ao NO_2 , devido as diferentes fontes de emissão, além do tráfego rodoviário e a formação secundária que ocorre na atmosfera, aquecimento residencial e emissões de restaurantes e fornos a lenha (LOLLI et al., 2020)

Na Índia, utilizando a análise Mann Kendall o estudo realizado para avaliar a influência da pandemia da COVID -19 apresentou redução do $\text{MP}_{2,5}$ e MP_{10} (RANJAN; PATRA; GORAI, 2020). A poluição do ar é um fator importante na transmissão da

COVID -19, podendo levar a forma mais grave da doença. Nos Estados Unidos, um estudo apontou que a exposição ao MP_{2,5} aumentou a mortalidade (LOLLI *et al.*, 2020).

Em um estudo realizado no estado de São Paulo observou uma queda dos poluentes atmosféricos desde o início da quarentena, na primeira semana do distanciamento social, as principais reduções observadas foram nas concentrações dos poluentes CO, NO_x, MP_{2,5} e MP₁₀ (FREITAS *et al.*, 2020).

Os meses de março, abril e maio, no ano de 2020 possui uma relação clara entre o distanciamento social e a tendência de redução da concentração dos poluentes como indicou o teste Mann Kendall, realizado analisando todo o período. No entanto, como as medidas de distanciamento foram enfraquecidas no início de maio o teste Mann Kendall (Anexo 3) do ano de 2020, não indicou tendência de redução, mas sim de aumento. Em uma revisão bibliográfica encontrou que as concentrações de partículas ultrafinas foram mais elevadas próximas a rodovia (HABERMANN; MEDEIROS; GOUVEIAI, 2011).

As emissões veiculares e industriais responsáveis por grande parte da emissão de MP 10 no ar, poluente responsável pelo aumento de internações por problemas cardiorrespiratórios, além da incidência de câncer (BARROS, 2014).

O isolamento social diminuiu a circulação de veículos, com isso reduzindo as emissões e concentrações dos poluentes, principalmente de poluentes primários (CO, NO_x), mas comparando com os anos anteriores no mês de maio, em 2020, não se observou um decréscimo, devido as concentrações meteorológicas diferentes, sendo um ano mais seco, além disso foi registrado um aumento de queimadas na RMSP e no Brasil.

6 CONCLUSÕES

Este estudo mostrou que a concentração dos poluentes na Cidade de São Paulo sofreu uma influência direta em decorrência da pandemia, o teste de Mann Kendall apontou uma tendência de redução da concentração dos poluentes quando analisado os três anos sequencias. Indicando que as concentrações dos poluentes analisados diminuiram com a implementação do distanciamento social.

Na análise exploratória os meses de abril e maio, no ano de 2020, apresentaram diferença nas concentrações principalmente de CO, NO e NO₂, em relação a 2018 e 2019. Com base nos resultados dos testes de Mann Whitney – Wilcoxon as concentrações dos poluentes e dos parâmetros meteorológicos no ano de 2020 indicaram diferença em relação aos anos de 2018 e 2020.

Em termos médios anuais o ano de 2020 tenderia a apresentar maiores valores de poluentes que os anos de 2018 e 2019, devido as condições meteorológicas, registrando uma menor precipitação e mais queimadas, a análise Mann Kendall realizada para os três anos separadamente indicou uma tendência de aumento nas concentrações dos poluentes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, Lucas Vicente Lopes de. Avaliação da relação entre parâmetros meteorológicos e concentrações de material particulado inalável (MP10) no campus da UFSC. [S. l.], p. 88, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/.../TCC - Lucas Vincent.pdf?...1>
- BEAL, A. Avaliação inorgânica de material particulado atmosférico inalável na região Norte do Paraná. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.
- BRASIL. Resolução n° 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Brasília, DF: Presidência da República, 2018.
- BRUNI, Antônio de Castro; DIAS, Cristiane; SANTOS, Fernando Oliveira dos. **Plano de Controle de Poluição Veicular 2017- 2019 / CETESB**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <http://veicular.cetesb.sp.gov.br/relatorios-e-publicacoes/>.
- CAMPOS, Eduardo Lima; CYSNE, Rubens Penha; MADUREIRA, Alexandre. Social Distancing, Temperature, BCG and the Evolution of COVID-19: A Panel-Model Analysis. [S. l.], 2020.
- CETESB. Caracterização das Estações da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar na RMSP Estação Congonhas. [S. l.], 2004.
- CETESB. Qualidade do ar no estado de São Paulo 2014. **Série Relatórios / CETESB**, [S. l.], p. 120, 2014. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>
- CETESB. **Operação inverno - qualidade do ar**. [S. l.: s. n.]. E-book. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2018/02/relatorio-operacao-inverno-2017.pdf>
- CETESB. QUALIDADE DO AR. [S. l.], 2019.
- CETESB. **Poluentes**. [s. l.], 2020.
- COUTO FALCÃO, Giselle; AGUIAR, Edgar Lacerda. Estudo matemático e estatístico sobre a análise do volume das precipitações pluviométricas na cidade de São Paulo e sua previsibilidade usando o modelo ARIMA. [S. l.], v. 1, n. Xxxix, p. 1–7, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5540/03.2020.007.01.0380>
- DOS SANTOS, Fábio Soares *et al.* Evaluation of meteorological conditions influence on fine particulate matter (Pm2.5) concentration in Belo Horizonte, MG, Brazil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 371–381, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019174045>
- FREITAS, Edmilson D. *et al.* Mobility restrictions and air quality under COVID-19 pandemic in São Paulo, Brazil. **Journal of Chemical Information and Modeling**, [S. l.], v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- G1. **Aeroporto de Congonhas tem queda de 98% em voos durante pandemia do novo coronavírus**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2020/04/27/aeroportos-de-congonhas-e-cumbica-tem-patios-com-avioes-parados-e-queda-no-numero-de-voos-durante-pandemia-em-sp.ghtml>.
- GOOGLE. **COVID-19: Relatórios de mobilidade da comunidade**. [s. l.], 2020. Disponível

em: <https://www.google.com/COVID19/mobility/>. Acesso em: 22 out. 2020.

HABERMANN, Mateus; MEDEIROS, Andrea Paula Peneluppi; GOUVEIAI, Nelson. Tráfego veicular como método de avaliação da exposição à poluição atmosférica nas grandes metrópoles. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 120–130, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1415-790x2011000100011>

HE, Guojun; PAN, Yuhang; TANAKA, Takanao. COVID-19, City Lockdown, and Air Pollution: Evidence from China. **medRxiv**, [S. l.], p. 2020.03.29.20046649, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1101/2020.03.29.20046649>

JI, Junhong; CHANG, Runqi. Air quality changes and Grey relational analysis of pollutants exceeding standards during the COVID-19 pandemic in Wuhan. [S. l.], p. 1–9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-34041/v1>

LOLLI, Simone *et al.* Impact of meteorology and air pollution on COVID-19 pandemic transmission in Lombardy region, Northern Italy. **Scientific Reports**, [S. l.], p. 1–15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-39280/v1>

MARTIN, Maristel Coelho San; MARTIN, Meister Coelho San. IMPACTOS INICIAIS DA COVID-19 NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. [S. l.], v. 2, 2020 a.

MARTIN, Maristel Coelho San; MARTIN, Meister Coelho San. CONDIÇÕES ATUAIS DAS EMISSÕES DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS DURANTE A QUARENTENA DA COVID-19 E AS PERSPECTIVAS FUTURAS. [S. l.], v. 2, p. 75–86, 2020 b.

NAKADA, Liane Yuri Kondo; URBAN, Rodrigo Custodio. COVID-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo state, Brazil. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 730, p. 139087, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139087>

NÓBREGA, Luciana Alves da. **MODELAGEM DA INFLUÊNCIA DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS VEICULARES E FATORES METEOROLÓGICOS EM AFECÇÕES RESPIRATÓRIAS**. 2013. - UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, [s. l.], 2013.

RANJAN, Avinash Kumar; PATRA, A. K.; GORAI, A. K. Effect of lockdown due to SARS COVID-19 on aerosol optical depth (AOD) over urban and mining regions in India. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 745, n. July, p. 141024, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141024>

SAMET, Jonathan; WOODWARD, Alistair. Air pollution and climate change. **Global Health Leadership: Case Studies From the Asia-Pacific**, [S. l.], p. 91–105, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-95633-6_9

VALLADARESS NETO, J. *et al.* Boxplot: Um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. **Revista de Odontologia Brasileira**, [S. l.], v. 26, n. 76, p. 1–6, 2017.

WIKUATS, CAROLINE FERNANDA HEI. Estudo da exposição de trabalhadores ao material particulado e bioaerossóis em cooperativa de processamento de materiais recicláveis. [S. l.], 2020.

SHIMAKURA, S. E. Interpretação do coeficiente de correlação. 2006. Disponível em: Acesso em: 16 set. 2020.

ANEXO 1

Quadro 6 - Resultados do teste de normalidade Shapiro-Wilk da Estação Marginal Tiete

| | CO | | MP _{2,5} | | MP ₁₀ | | NO | | NO ₂ | |
|-------------|---------|---------|-------------------|---------|------------------|---------|---------|---------|-----------------|---------|
| | W | p valor | W | p valor | W | p valor | W | p valor | W | p valor |
| 2018 | 0.85459 | 2.2e-16 | 0.89593 | 2.2e-16 | 0.93598 | 2.2e-16 | 0.76475 | 2.2e-16 | 0.96311 | 2.2e-16 |
| 2019 | 0.92684 | 2.2e-16 | 0.92984 | 2.2e-16 | 0.9129 | 2.2e-16 | 0.80733 | 2.2e-16 | 0.97371 | 2.2e-16 |
| 2020 | 0.89384 | 2.2e-16 | 0.86661 | 2.2e-16 | 0.85936 | 2.2e-16 | 0.74819 | 2.2e-16 | 0.96575 | 2.2e-16 |

Quadro 7 - Resultados do teste de normalidade Shapiro-Wilk da Estação Congonhas

| | CO | | MP _{2,5} | | MP ₁₀ | | NO | | NO ₂ | |
|-------------|---------|---------|-------------------|---------|------------------|---------|---------|---------|-----------------|---------|
| | W | p valor | W | p valor | W | p valor | W | p valor | W | p valor |
| 2018 | 0.93728 | 2.2e-16 | 0.91982 | 2.2e-16 | 0.89456 | 2.2e-16 | 0.77741 | 2.2e-16 | 0.95817 | 2.2e-16 |
| 2019 | 0.95357 | 2.2e-16 | 0.91195 | 2.2e-16 | 0.90677 | 2.2e-16 | 0.79044 | 2.2e-16 | 0.95929 | 2.2e-16 |
| 2020 | 0.81647 | 2.2e-16 | 0.82827 | 2.2e-16 | 0.89506 | 2.2e-16 | 0.54323 | 2.2e-16 | 0.95069 | 2.2e-16 |

Quadro 8 - Resultados do teste de normalidade Shapiro-Wilk

| | Temperatura | | Umidade Relativa | | Precipitação | |
|-------------|-------------|-----------|------------------|-----------|--------------|-----------|
| | W | P-valor | W | P - valor | W | P - valor |
| 2018 | 0.99158 | 5.92e-12 | 0.91617 | 2.2e-16 | 0.0051207 | 2.2e-16 |
| 2019 | 0.97632 | 2.2e-16 | 0.92613 | 2.2e-16 | 0.16396 | 2.2e-16 |
| 2020 | 0.99291 | 1.006e-10 | 0.9231 | 2.2e-16 | 0.10879 | 2.2e-16 |

ANEXO 2

Quadro 9 -Resultados do teste Mann Kendall na Estação Marginal Tiete

| | 2018 | | 2019 | | 2020 | |
|-------------------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|
| | Teste | P-valor | Teste | P-valor | Teste | P-valor |
| CO | 0.0273 | 0.035458 | 0.0567 | 1.1921e-05 | 0.0375 | 0.0040627 |
| NO | 0.0416 | 0.00092304 | 0.0646 | 2.3842e-07 | 0.0675 | 1.1921e-07 |
| NO₂ | 0.115 | 2.22e-16 | 0.113 | 2.22e-16 | 0.0996 | 2.22e-16 |
| MP_{2,5} | 0.183 | 2.22e-16 | 0.0861 | 2.22e-16 | 0.17 | 2.22e-16 |
| MP₁₀ | 0.232 | 2.22e-16 | 0.106 | 2.22e-16 | 0.244 | 2.22e-16 |

Quadro 10 -Resultados do teste Mann Kendall na Estação Congonhas

| | 2018 | | 2019 | | 2020 | |
|-------------------------|---------|------------|--------|------------|--------|----------|
| | Teste | P-valor | Teste | P-valor | Teste | P-valor |
| CO | 0.0819 | < 2.22e-16 | 0.103 | 2.22e-16 | 0.0169 | 0.19029 |
| NO | -0.0316 | 0.011515 | 0.059 | 2.3842e-06 | 0.0189 | 0.12984 |
| NO₂ | 0.085 | 2.22e-16 | 0.0854 | 2.22e-16 | 0.0753 | 2.22e-16 |
| MP_{2,5} | 0.185 | 2.22e-16 | 0.118 | 2.22e-16 | 0.191 | 2.22e-16 |
| MP₁₀ | 0.199 | 2.22e-16 | 0.127 | 2.22e-16 | 0.228 | 2.22e-16 |