



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ANÁLISE DE TENDÊNCIAS DAS CONCENTRAÇÕES DE GASES
POLUENTES E MATERIAL PARTICULADO SOBRE A AMÉRICA DO SUL
DURANTE O PERÍODO DA QUARENTENA**

Gabriella Fernandes Prazeres Silva

Relatório de Iniciação Científica do
programa (PIBIC), orientada pela Dra. Débora
Souza Alvim.

URL do documento original
<<http://urlib.net/>>

INPE
Cachoeira Paulista
2021

RESUMO

A poluição do ar tornou-se um dos fatores que mais afetam a qualidade de vida da população, ocasionando prejuízos à saúde humana e ao meio ambiente. Emissões de gases por veículos automotores comprometem significativamente a qualidade do ar na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) por liberarem grande quantidade de material particulado (MP), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV), sendo estes três últimos gases poluentes que formarão ozônio (O₃) na troposfera. O objetivo deste estudo foi avaliar os impactos na qualidade do ar na RMSP - Brasil, durante o bloqueio parcial implementado para proporcionar o distanciamento social devido à pandemia da COVID-19. Analisamos dados de dióxido de nitrogênio (NO₂) do sensor Ozone Monitoring Instrument (OMI) localizado no satélite AURA e dados de CO, SO₂ e BC a partir de reanálise do MERRA-2 sobre a região do sudeste do Brasil e de seis estações de qualidade do ar na RMSP, para avaliar as variações da concentração de poluentes atmosféricos durante o bloqueio parcial. Os dados mensais do OMI e do MERRA-2 do período de abril e maio de 2020 foram comparados com a média do mesmo período para os anos de 2017 a 2019. Os dados meteorológicos e de concentração dos poluentes das estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB para RMSP foram comparados com o ciclo diurno de três anos anteriores referente as médias dos meses de abril e maio (2017, 2018 e 2019) e o mesmo período do ano de 2020, quando ocorreu o bloqueio parcial devido à pandemia de COVID-19. Ocorreu diminuição de 10 % até mais de 60 % da concentração de NO₂ sobre a RMSP e RMRJ, já na Região Metropolitana de Belo Horizonte e Vitória (RMBH) e (RMV) há uma diminuição em torno de 10 %. As concentrações de CO e BC proveniente do MERRA-2 observa-se uma diminuição maior em torno de 10 % durante o período do bloqueio parcial devido o covid-19 sobre quase todo estado de São Paulo, principalmente na divisa do estado de São Paulo com o Rio de Janeiro. A concentração de SO₂ proveniente do MERRA-2 de 5 a 10% menor sobre a RMSP e RMRJ e sobre o oeste de RMBH, diminuição de 30 a 50% na divisa do estado de São Paulo com estado do Rio de Janeiro, já na região de RMV observa-se aumento do poluente, pois no período deste estudo esta região ainda não estava altamente impactada pela pandemia do covid-19. Reduções drásticas nas concentrações médias horárias de CO (43,3 %), NO (85 %), NO₂ (43,7 %), MP2.5 (11 %) foram observadas em 2020 na RMSP nas estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB durante o bloqueio parcial em comparação com a média horária dos três anos anteriores sem pandemia. Em contraste, um aumento de aproximadamente 26,4 % nas concentrações de O₃ foi observado em áreas urbanas altamente influenciadas pelo tráfego de veículos, provavelmente relacionado à diminuição dos óxidos de nitrogênio (NO_x). Os parâmetros meteorológicos medidos nas estações de monitoramento da CETESB, mostraram que a velocidade do vento média e a precipitação praticamente não alteraram comparando o período de pandemia e sem pandemia, enquanto que, no período da pandemia, a umidade relativa (UR) esteve 6,4 % menor, a temperatura 9,2 % mais baixa e radiação global 11 % mais alta.

Palavras-chave: Poluição Atmosférica, Sudeste, São Paulo, Pandemia COVID-19.

LISTA DE FIGURAS

3.1 Concentração superficial de NO ₂ para o período de abril e maio com pandemia (2020) e sem pandemia Covid-19 (2017-2019) provenientes do sensor OMI -----	10
3.2 Concentração superficial de CO para o período de abril e maio com pandemia (2020) e sem pandemia Covid-19 (2017-2019) provenientes do MERRA-2 -----	11
3.3 Concentração superficial de SO ₂ para o período de abril e maio com pandemia (2020) e sem pandemia Covid-19 (2017-2019) provenientes do MERRA-2 -----	12
3.4 Concentração superficial de BC para o período de abril e maio com pandemia (2020) e sem pandemia Covid-19 (2017-2019) provenientes do MERRA-2 -----	13
3.5 Concentração de CO (ppm) na RMSP média horária do período de abril e maio sem pandemia Covid-19 (2017-2019) e com pandemia (2020) -----	14
3.6 Concentração de NO (µg m ⁻³) na RMSP média horária do período de abril e maio sem pandemia Covid-19 (2017-2019) e com pandemia (2020) -----	17
3.7 Concentração de NO ₂ (µg m ⁻³) na RMSP média horária do período de abril e maio sem pandemia Covid-19 (2017-2019) e com pandemia (2020) -----	19
3.8 Concentração de O ₃ (µg m ⁻³) na RMSP média horária do período de abril e maio sem pandemia Covid-19 (2017-2019) e com pandemia (2020) -----	20
3.9 Concentração de MP2.5 (µg m ⁻³) na RMSP média horária do período de abril e maio sem pandemia Covid-19 (2017-2019) e com pandemia (2020) -----	22

Sumário

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO -----	5
1.1 Objetivo -----	5
2 DADOS E METODOLOGIA -----	8
3 RESULTADOS -----	9
4 CONCLUSÕES -----	24
4.1 Sugestões para Trabalhos Futuros -----	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	25

1. INTRODUÇÃO

1.1 Objetivo

Avaliar os impactos na qualidade do ar na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Brasil, durante o bloqueio parcial implementado para fornecer o distanciamento social necessário devido à pandemia da COVID-19. A análise dos poluentes CO, NO, NO₂, O₃ e MP2.5 foi realizada por meio de ciclos diurnos a partir do período do *lockdown* em abril e maio de 2020, comparando com a média do mesmo período com os três anos anteriores, quando não houve a pandemia. Também foram avaliados dados meteorológicos para o mesmo período, com a intenção de verificar o papel das condições meteorológicas na concentração dos poluentes dentro do contexto da pandemia.

1.2 Revisão Bibliográfica

Devido a pandemia de COVID-19, o número de automóveis circulando nas grandes cidades caiu consideravelmente, devido à situação de *lockdown* na qual a população se encontrava. Com as indústrias também em escala reduzida de produção e, conseqüentemente, menores emissões de NO_x, CO, COV e CO₂ na atmosfera, há grande potencial de diminuição da poluição atmosférica.

O setor de transportes é uma importante fonte de emissão de poluentes do ar e gases de efeito estufa na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), cidade foco do estudo primeiramente. A frota da RMSP representa cerca de 7 milhões de veículos. Na RMSP as fontes móveis e fixas foram responsáveis pela emissão para a atmosfera de aproximadamente 120 mil t/ano de monóxido de carbono, 35 mil t/ano de Compostos Orgânicos Voláteis, 70 mil t/ano de óxidos de nitrogênio, 5 mil t/ano de material particulado e 7 mil t/ano de óxidos de enxofre. Desses totais, os veículos são responsáveis por 97% das emissões de CO, 74% de COV, 62% de NO_x, 16% de SO_x e 40% de MP, de acordo com relatório da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (CETESB, 2020).

Em 11 de março de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou que a COVID-19 - doença causada pelo novo Coronavírus SARS-CoV-2 - havia se caracterizado como uma pandemia (WHO, 2020). No Brasil, o primeiro caso foi

confirmado em 26 de fevereiro de 2020, em São Paulo - SP. Até o momento (11 de novembro de 2020), existem 5.701.283 casos confirmados em todas as regiões do Brasil, a maioria dos casos (1.117.147) confirmados no estado de São Paulo (BRASIL, 2020), sendo São Paulo - SP, a cidade com mais casos confirmados (340.000) (SEADE, 2020).

O Brasil declarou a COVID-19 uma emergência de saúde pública em 3 de fevereiro (CRODA et al., 2020) e São Paulo e Rio de Janeiro foram os primeiros estados a intensificar as restrições de atividades para estimular o isolamento social. Em 24 de março de 2020, foi ordenado o bloqueio parcial pelo governo do estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2020), com o fechamento de shoppings, restaurantes, academias, escolas de ensino fundamental, médio e universidades. Supermercados e drogarias passaram a funcionar com restrições quanto à distância pessoa a pessoa, e o transporte público passou a funcionar com jornada reduzida, além da adoção de trabalho no formato *home office*, quando possível. Assim, a interrupção de diversas atividades poluidoras tem o potencial de mitigar os efeitos da poluição do ar na saúde da população.

Quando falamos em saúde pública, a redução da poluição do ar está diretamente relacionada a uma queda no número de pessoas com problemas respiratórios, o que é benéfico para os hospitais e postos de saúde que, estando focados no atendimento da COVID-19, lidam com menos pessoas com quadro respiratório comprometido, com doenças como asma, bronquites, alergias ou ainda cardiorrespiratórias.

Os danos à saúde e a ausência de barreiras para os contaminantes no ar justificam a preocupação em identificar esses poluentes na atmosfera. A poluição emitida por um determinado país ou localidade não se restringe a esses locais podendo causar danos além de suas fronteiras. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), 92 % da população mundial vive em locais onde os níveis de qualidade do ar ultrapassam os limites estabelecidos pela organização e quatro milhões de mortes por ano estão associadas à exposição à poluição do ar em ambientes externos, com 90 % deles ocorrendo em países de baixa e média renda. O Estudo da *Global Burden of Disease 2015* (GBD, 2015) mostra que a poluição do ar estava diretamente ligada a 19 % das mortes por doenças cardiovasculares em todo o mundo, 24 % por doenças isquêmicas do coração, 23 % por câncer de pulmão e 21 % por acidentes vasculares cerebrais (WANG et al., 2016).

Um estudo feito pela Universidade de Toronto (UT) alega que houve a diminuição de 40 % da poluição atmosférica em cidades que decretaram estado emergencial no mês de fevereiro: Wuhan, Hong Kong, Kyoto, Milão, Seul e Xangai. Este estudo realizado pelo professor Marc Cadotte da UT, analisou o índice de qualidade do ar (AQI) para as seis cidades afetadas pelo COVID-19 que implementaram medidas de emergência em fevereiro de 2020 (CADOTTE, 2020). Os autores então compararam o AQI de 2020 nessas cidades o de fevereiro de 2019, descobrindo que todas as seis mostraram uma redução significativa nas concentrações de poluição do ar neste ano. Entretanto, considerando a concentração de O₃ para Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), houve aumento de 30 %, provavelmente devido a diminuição da concentração de 77,3 % de NO, de acordo com estudo feito em São Paulo por Nakada e Urban (2020).

Em comparação com outros eventos que ocorreram no país, temos a greve dos caminhoneiros que ocorreu no período de 21 a 31 de maio de 2018, que de acordo com o estudo feito por ALVIM *et al.* (2020), durante este período em relação a média do mesmo período para os anos de 2015 a 2017, houve 31 % de diminuição de CO, enquanto que o NO e o NO₂ diminuíram 38 % e 31 %, respectivamente, e um aumento de 65 % de O₃. Este aumento do ozônio é atribuído à queda dos níveis de NO, que reage com o O₃ para formar NO₂ e O₂, a principal rota de consumo de O₃ troposférico. Já o estudo de Chiquetto *et al.* (2020) sobre a greve dos caminhoneiros, utilizando 7 estações na RMSP e um período de quatro anos, encontrou redução de 50% nas médias de CO e NO e aumento de 40% do O₃, enquanto que os resultados para NO₂ e material particulado foram mistos – indicando a importância de outras fontes além das veiculares, das reações secundárias e do transporte de poluentes de outras regiões próximas.

Pesquisas recentes relatam melhorias na qualidade do ar associadas a medidas de distanciamento social e consequente diminuição do trânsito de veículos. Por exemplo, ZAMBRANO-MONSERRATE; RUANO; SANCHEZ-ALCALDE (2020) utilizaram o Serviço de Monitoramento da Atmosfera Copernicus para analisar dados de material particulado fino (MP2.5) na China e observaram uma redução de aproximadamente 20-30 % em fevereiro de 2020 (média do mês) em comparação com as médias mensais de fevereiro de 2017, 2018 e 2019. TOBÍAS *et al.* (2020) utilizaram o Instrumento de Monitoramento Troposférico Copernicus e dados de uma estação de tráfego em Barcelona (Espanha), fornecidos pela organização local para monitoramento da poluição

atmosférica, para avaliar as mudanças na qualidade do ar durante o *lockdown* na cidade de Barcelona. Os autores observaram redução de 31 % e 51 % do material particulado grosso (MP10) e do NO₂, respectivamente, durante o bloqueio em relação ao mês anterior ao bloqueio. SHARMA *et al.* (2020) também analisaram dados locais de diferentes regiões da Índia, para avaliar os efeitos do bloqueio na qualidade do ar. Os autores observaram redução de 43 % e 31 % do MP2,5 e do MP10, respectivamente, durante o bloqueio em comparação ao mesmo período dos últimos quatro anos.

O objetivo deste estudo foi avaliar os impactos na qualidade do ar na RMSP, Brasil, durante o bloqueio parcial implementado para fornecer o distanciamento social necessário devido à pandemia COVID-19.

2. DADOS E METODOLOGIA

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), também conhecida como Grande São Paulo, é a maior região metropolitana do Brasil, com cerca de 21,5 milhões de habitantes, e uma das dez regiões metropolitanas mais populosas do mundo. Reúne 39 municípios do estado de São Paulo em intenso processo de conurbação. A população, segundo a estimativa calculada para 1º de julho de 2018, era de 21 571 281 habitantes. Sua população é superior a de vários países do mundo, como o Chile (17 248 450), Países Baixos (17 100 475) e Portugal (10 487 289) (IBGE, 2019).

Para a realização desta pesquisa foram utilizados dados de concentração de NO₂ do sensor OMI (Ozone Monitoring Instrument) a bordo do satélite AURA e dados de CO, SO₂ e BC proveniente do MERRA versão 2 (MERRA-2). As reanálises atmosféricas do MERRA-2 produzem registros de longo prazo de alta resolução espacial e temporal global de campos meteorológicos e composição da atmosfera da Terra, utilizando a metodologia de assimilação de dados (KALNAY, 2002), em que observações de satélite e terrestres são combinadas com o modelo de circulação geral (GCM) simulações de forma estatisticamente ótima.

Nesta pesquisa as concentrações na superfície de NO₂ provenientes do sensor OMI e os dados de CO, SO₂ e BC provenientes do MERRA-2 são referentes a médias

mensais na região sudeste do Brasil para o período de abril e maio de 2020 período da pandemia do COVID-19 e comparados com o mesmo período referente aos anos de 2017 até 2019 (sem pandemia), os downloads dos dados foram feito no <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>, o software utilizado para produzir as figuras de concentração dos poluentes foi o NCL da NCAR.

As medições dos poluentes foram adquiridas por meio do banco de dados online da CETESB, o QUALAR (<http://qualar.cetesb.sp.gov.br/qualar/home.do>) dos anos de 2017 a 2020, onde seis estações de monitoramento da qualidade do ar na RMSP foram selecionadas: Grajaú-Parelheiros, Ibirapuera, Itaim Paulista, Parque Dom Pedro, Pinheiros e São Caetano do Sul. Calculamos as médias horárias correspondentes aos meses de abril e maio, para cada uma das estações, resultando em ciclos diários (24 h) dos poluentes, o que permite uma averiguação harmoniosa dos impactos das concentrações sobre a região. Isso foi realizado durante todas as 24 horas do dia, resultando em um ciclo diurno que representa todos os valores horários médios. Em seguida foram determinadas as médias horárias, resultando em dois ciclos diurnos: sem pandemia do COVID-19 abril e maio (2017-2019), de forma a melhor caracterizar uma média; e o mesmo período com a quarentena (2020) da pandemia da COVID. Além disso, as variações nas concentrações médias ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, ppm) foram calculadas para avaliar a mudança relativa (%) comparando o período de bloqueio parcial durante a pandemia (2020) com a tendência mensal dos três anos anteriores sem a pandemia.

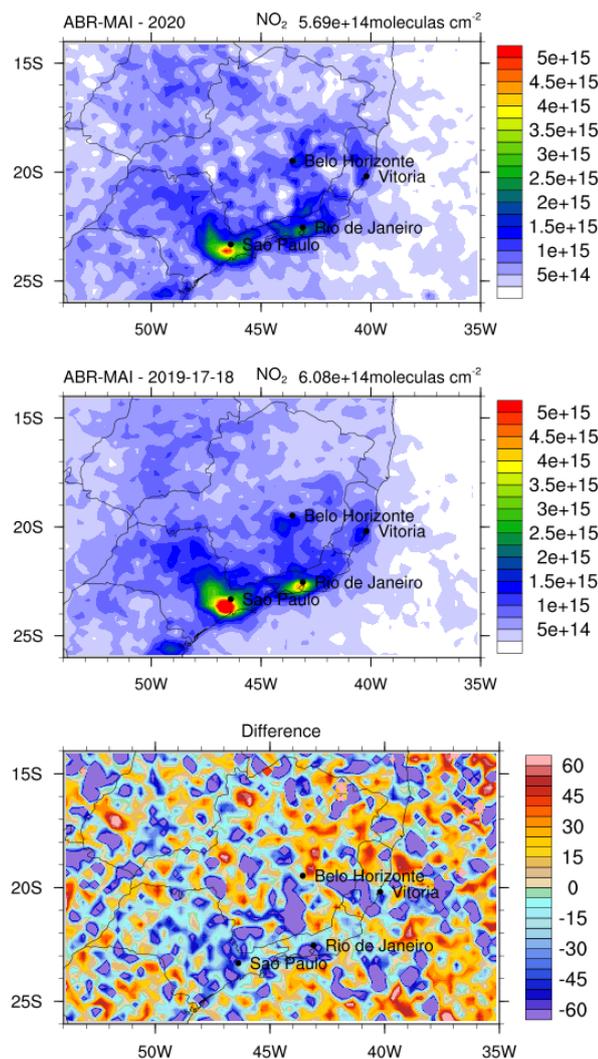
3 RESULTADOS

Os parâmetros meteorológicos das estações de monitoramento da qualidade do ar do Pq. Dom Pedro e São Caetano do Sul foram utilizados, as outras três estações de monitoramento da qualidade do ar deste estudo não possuíam dados meteorológicos, considerando a média de abril e maio de 2017-2019 (anos sem pandemia Covid-19) com o mesmo período em 2020 (ano com pandemia). No período da pandemia, a velocidade do vento estava 1,2% em média maior na RMSP e a precipitação foi praticamente a mesma nos períodos com e sem pandemia, sem alterações significativas comparado com o ano de 2020. Durante o *lockdown* parcial, a UR esteve 6,4% menor, a temperatura 9,2%

mais baixa e radiação global 11% mais alta, este aumento da radiação solar global pode está relacionado a diminuição da emissão de material particulado de origem antropogênica, principalmente carbono orgânico. A comparação entre os diferentes anos indicou que as reduções de poluentes observadas durante o período da pandemia não foram altamente determinadas por mudanças nas condições de dispersão.

Na área urbana, observamos melhorias significativas na qualidade do ar considerando reduções nos poluentes do ar monitorados em áreas altamente influenciadas pelo tráfego de veículos com a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e do Rio de Janeiro (RMRJ) Figura 1 de NO₂ do sensor OMI.

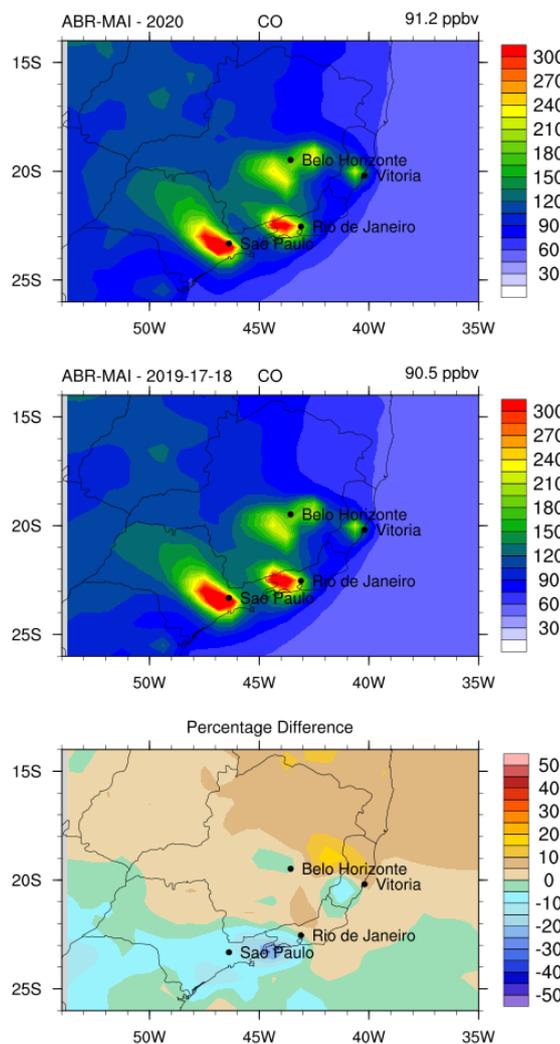
Figura 3.1 – Concentração superficial de NO₂ para o período de abril e maio com pandemia (2020) e sem pandemia Covid-19 (2017-2019) provenientes do sensor OMI



Conforme observado na Figura 3.1 ocorre diminuição de 10 a mais de 60 % da concentração de NO₂ sobre a RMSP e RMRJ, já na Região Metropolitana de Belo Horizonte e Vitória (RMBH) e (RMV) há uma diminuição em torno de 10 %, pois como o Brasil é um país com 8,5 milhões de km², a pandemia do covid-19 iniciou com maior impacto no estado de São Paulo e do Rio de Janeiro e foi se espalhando para outras regiões do país, principalmente as mais populosas.

Na Figura 3.2 são apresentadas as concentrações na superfície de CO provenientes do MERRA-2.

Figura 3.2 – Concentração superficial de CO para o período de abril e maio com pandemia (2020) e sem pandemia Covid-19 (2017-2019) provenientes do MERRA-2.

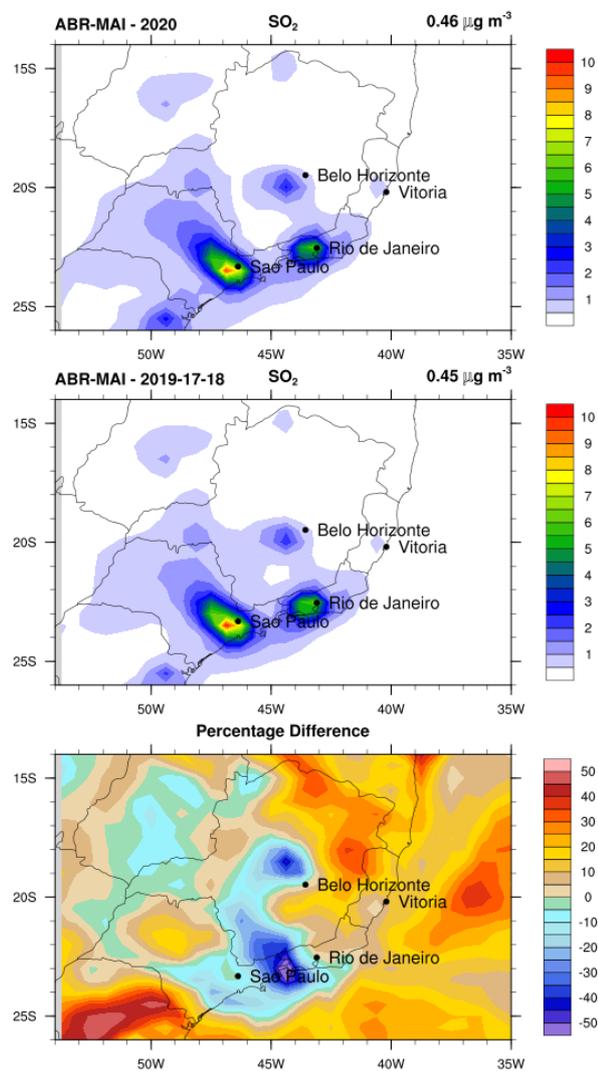


Na Figura 3.2 a concentração de CO proveniente do MERRA-2 observa-se uma diminuição maior em torno de 10 % durante o período do bloqueio parcial devido o covid-

19 sobre quase todo estado de São Paulo, principalmente na divisa do estado de São Paulo com o Rio de Janeiro, onde ocorreu neste período diminuição do fluxo de veículos leves e pesados nesta região, já sobre Belo Horizonte e Vitoria há um menor impacto, pois as duas regiões na época estavam menos afetadas pelos casos de covid-19.

Na Figura 3.3 são apresentadas as concentrações na superfície de SO₂ provenientes do MERRA-2.

Figura 3.3 – Concentração superficial de SO₂ para o período de abril e maio com pandemia (2020) e sem pandemia Covid-19 (2017-2019) provenientes do MERRA-2.

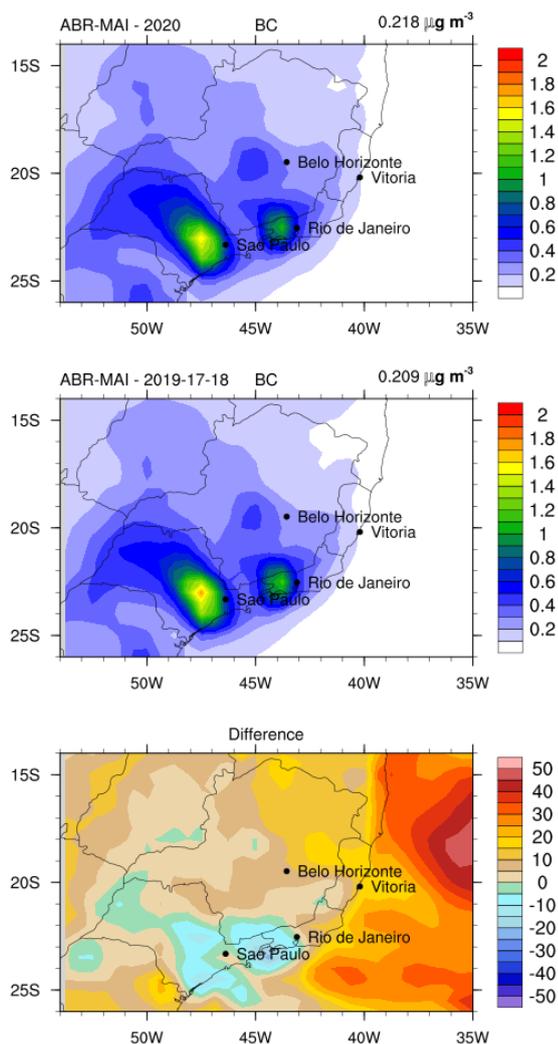


Na Figura 3.3 observa-se a concentração de SO₂ proveniente do MERRA-2 de 5 a 10% menor sobre a RMSP e RMRJ e sobre o oeste de RMBH, diminuição de 30 a 50% na divisa do estado de São Paulo com estado do Rio de Janeiro, já na região de RMV

observa-se aumento do poluente, pois no período deste estudo esta região ainda não estava altamente impactada pela pandemia do covid-19.

Na Figura 3.4 são apresentadas as concentrações na superfície de BC provenientes do MERRA-2.

Figura 3.4 – Concentração superficial de BC para o período de abril e maio com pandemia (2020) e sem pandemia Covid-19 (2017-2019) provenientes do MERRA-2.

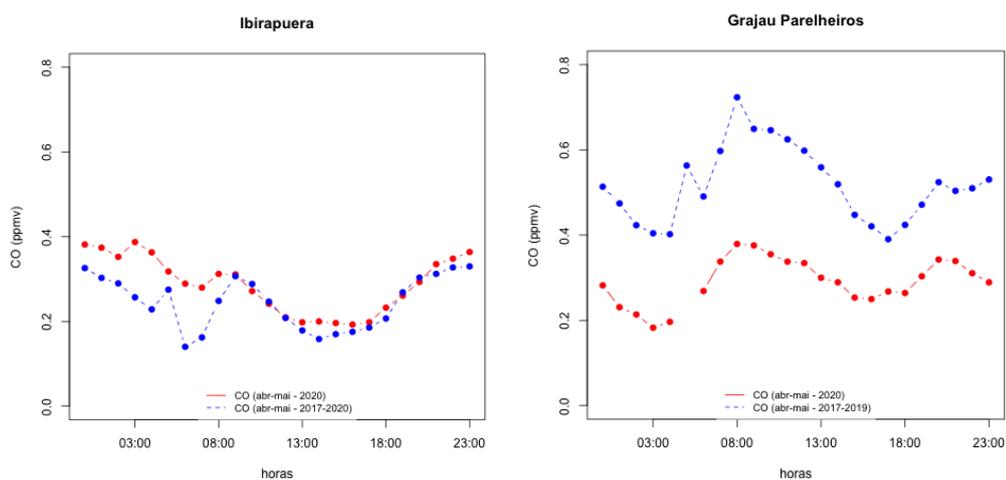


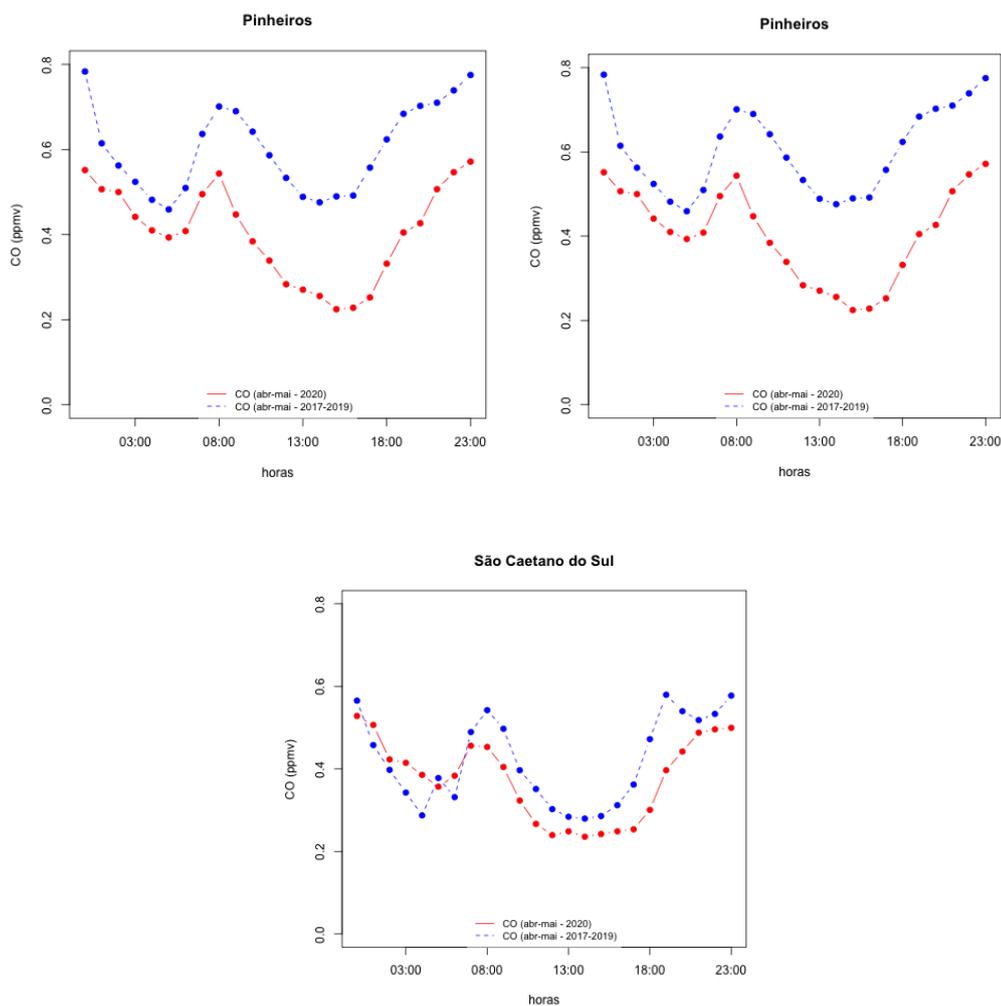
Conforme observado na Figura 3.4 ocorre diminuição de 5-10 % da concentração de BC sobre a RMSP e na divida do estado de São Paulo com o Rio de Janeiro provavelmente devido a diminuição do tráfego de caminhões movidos a diesel, já na Região Metropolitana de Belo Horizonte e Vitória (RMBH) não ocorre diminuição deste poluente, pois no período deste estudo os dois locais ainda não tinham sido muito afetado

pelos casos de covid-19.

Na Figura 3.5 são apresentadas as concentrações médias horárias de CO do período de abril e maio de 2017, 2018 e 2019 (anos sem pandemia Covid-19) e também para o mesmo período referente ao ano de 2020 com pandemia. Observa-se que o padrão das concentrações não mudaram quando compara-se os dois períodos. Na RMSP, 97% do poluente CO emitido é proveniente da emissão veicular, justificando o aumento nas concentrações a partir das 6:00 até 9:00 da manhã, horário de maior tráfego veicular, conforme observa-se na Figura 3.5. Após este horário, as concentrações diminuem e voltam aumentar a partir das 17:00 horas até às 20:00 horas, coincidindo novamente com o pico do trânsito na RMSP. Houve diminuição média de 71,6%, 68,7%, 65,4 %, 21,7% nas concentrações de CO para as estações de monitoramento do Grajaú-Parelheiros, Pinheiros, Parque Dom Pedro, e São Caetano do Sul e um aumento de 10,7% para estação do Ibirapuera, onde ficava localizado o hospital de campanha especializado em atendimento de Covid-19. A estação Ibirapuera fica mais distante da fonte veicular; é uma localidade onde os poluentes primários têm concentrações mais baixas quando comparadas a estações próximas de vias mais movimentadas, porém o poluente secundário O₃ é alto nesta estação.

Figura 3.5 - Concentração de CO (ppm) na RMSP média horária do período de abril e maio sem pandemia Covid-19 (2017-2019) e com pandemia (2020)





Um estudo realizado utilizando dados da rede de monitoramento de qualidade do ar CETESB na cidade de São Paulo e Cubatão (costa sul do estado de São Paulo), comparando dados do período do bloqueio parcial no estado de São Paulo no mês de abril de 2020 versus a média mensal dos cinco anos anteriores (2015, 2016, 2017, 2018 e 2019) para o mesmo período relatou a diminuição nas concentrações de CO de 53,1% e 64,8% para medidas na cidade de São Paulo (NAKADA et al., 2020). Em outro estudo realizado na cidade do Rio de Janeiro comparando a última metade do mês março com a primeira metade do mês de abril 2019 com mesmo período para 2020 foi observado diminuição média de 38% e 36,4% na região de Bangu e Tijuca, respectivamente (DANTAS et al., 2020).

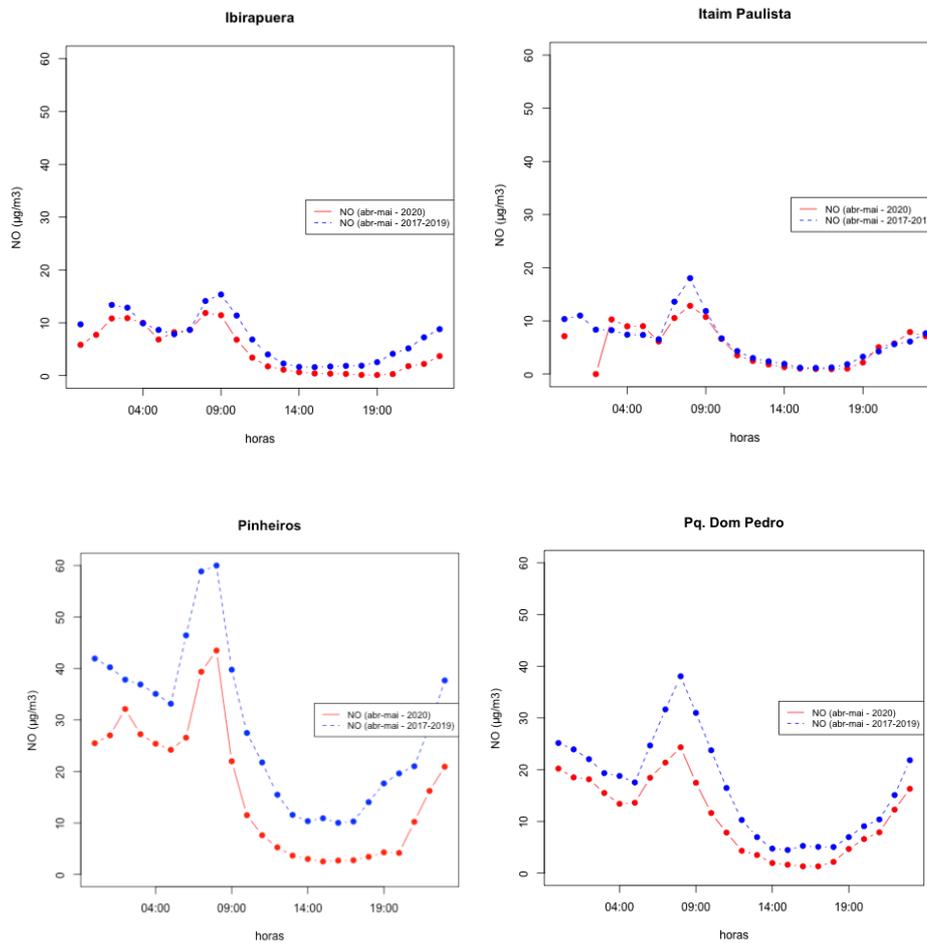
Na Figura 3.6 são apresentadas as concentrações médias horárias de NO do período de abril e maio de 2017, 2018 e 2019 (anos sem pandemia Covid-19) e também para o mesmo período referente ao ano de 2020 com pandemia. De acordo com os

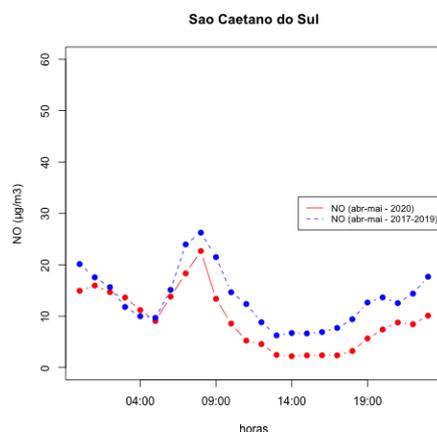
resultados obtidos na Figura 3.6, a estação Ibirapuera teve diminuição de NO de 316,4% quando comparado o período deste estudo durante a pandemia Covid-19 no ano de 2020 com a média para o mesmo período dos três anos anteriores. Então é possível concluir que houve menos tráfego de veículos a diesel próximo à esta estação, em detrimento da situação de *lockdown*. Na estação de Itaim Paulista houve diminuição de 16,4% em relação a média dos anos sem pandemia, pois o tráfego de veículos pesado nesta região é mais baixo do que as demais estações de monitoramento da qualidade do ar utilizadas neste estudo. Nas estações do Pq. Dom Pedro e São Caetano do Sul demonstram redução de 88,3% e 85,5%, respectivamente. Para a estação Pinheiros houve uma redução nas concentrações de NO de 149,9%. Em geral, as concentrações de NO durante a pandemia foram 131,3 % menores durante a pandemia que a média dos anos anteriores de 2017, 2018, 2019, principalmente próximas às estações Pinheiros e Pq. Dom Pedro que ficam próximas de vias com tráfego de veículos pesados, a estação Pinheiros é próxima de uma das principais vias da cidade de São Paulo a Marginal Pinheiros com alto tráfego de caminhões e a estação Pq. Dom Pedro fica próxima a um terminal de ônibus urbano e também região onde há tráfego de caminhões que são veículos que utilizam diesel como combustível. Uma pesquisa recente demonstrou que as emissões de tráfego de veículos pesados a diesel são as principais fontes de NO (HE et al., 2020). Os horários com concentração mais altas tanto no período do *lockdown* parcial quanto no período sem o *lockdown* ocorrem durante o horário de pico do tráfego veicular das 7:00 as 11:00 durante o período da manhã e a partir das 19:00 da noite as concentrações voltam a aumentar devido a fatores como a emissão veicular, diminuição da altura da camada limite, falta da produção de O₃ à noite (que consome NO durante o dia). Um estudo realizado utilizando dados da rede de monitoramento de qualidade do ar CETESB na cidade de São Paulo e Cubatão (costa sul do estado de São Paulo), comparando dados do período do bloqueio parcial no estado de São Paulo no mês de abril de 2020 versus a média mensal dos cinco anos anteriores (2015, 2016, 2017, 2018 e 2019) para o mesmo período relatou um aumento nas concentrações de NO de 8 % para as medidas realizadas em Cubatão uma estação de monitoramento localizada na costa sul do estado de São Paulo onde fica o maior polo industrial da América Latina, com indústrias de fertilizantes, siderúrgicas, química e petroquímica. Este mesmo estudo utilizou dados de concentração de NO na cidade de São Paulo e encontrou uma diminuição média de 75 % de NO (NAKADA et

al. 2020).

Na Figura 3.7 são apresentadas as concentrações médias horárias de NO₂ do período de abril e maio de 2017, 2018 e 2019 (anos sem pandemia Covid-19) e também para o mesmo período referente ao ano de 2020 com pandemia. Na Figura 7 temos as concentrações de NO₂ menores em 23,4% para a estação de Itaim Paulista, em comparação aos anos posteriores a pandemia nos meses de Abril e Maio.

Figura 3.6 - Concentração de NO ($\mu\text{g m}^{-3}$) na RMSP média horária do período de abril e maio sem pandemia Covid-19 (2017-2019) e com pandemia (2020).

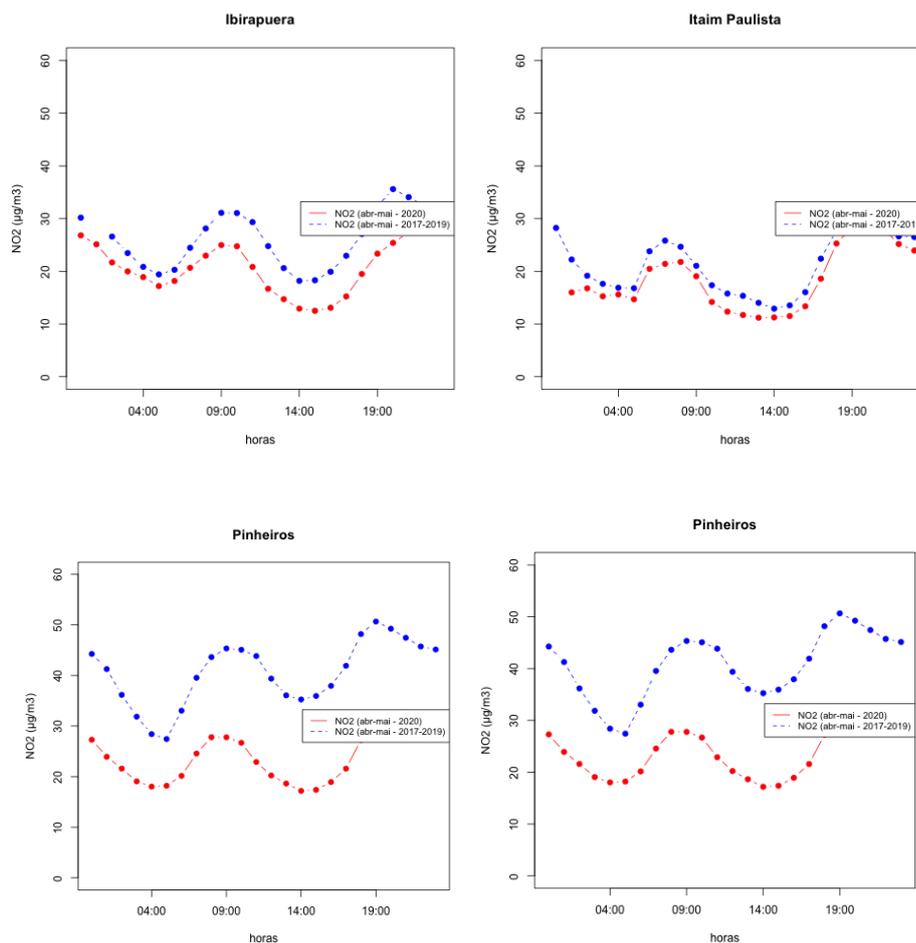


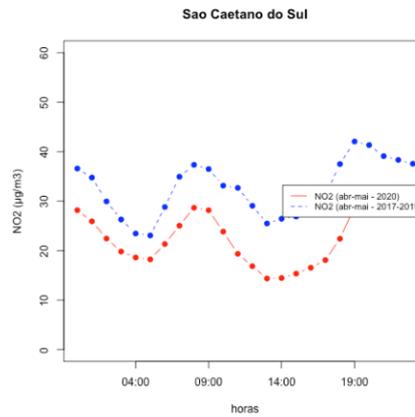


Na estação Pinheiros houve diminuição em 71,9% no período de *lockdown* como já mencionado acima este ponto de monitoramento está localizado próximo da Marginal Pinheiros uma via com tráfego intenso de veículos pesados, sendo a estação com maior percentual de redução de todas as análises de NO₂, enquanto que para as estações do Pq. Dom Pedro e São Caetano do sul tiveram o percentual de médias horárias de emissão em 38,7% e 47,2%. Já a estação de Ibirapuera teve redução de 29,1%. Há um aumento das concentrações de NO₂ durante o período da manhã das 6:00 até 10:00 para os dois períodos deste estudo sem e com pandemia, tendo a contribuição da emissão veicular, mas também uma formação de NO₂ secundário na atmosfera pela oxidação do NO com O₃ e também pela oxidação dos radicais de COV com NO. As concentrações de NO₂ diminuem a partir da 12:00 até as 16:00, coincidindo com horário de maior concentração de O₃ na RMSP, e maior radiação, onde NO₂ está sofrendo reação de fotólise, formando NO e oxigênio atômico (O[·]). As concentrações voltam a aumentar a partir das 18:00 devido ao horário de pico do tráfego veicular. Um estudo realizado utilizando dados da rede de monitoramento de qualidade do ar CETESB na cidade de São Paulo e Cubatão (costa sul do estado de São Paulo), comparando dados do período do bloqueio parcial no estado de São Paulo no mês de abril de 2020 versus a média mensal dos cinco anos anteriores (2015, 2016, 2017, 2018 e 2019) para o mesmo período relatou a diminuição nas concentrações de NO₂ de 48,6% e 72,7% para medidas em dois pontos de monitoramento na cidade de São Paulo e as medidas em Cubatão maior polo industrial da América Latina houve redução de apenas 5,6 % (NAKADA et al., 2020), demonstrando a importância das fontes industriais de NO_x. Isto também pode estar relacionado ao fato de que não houve a mesma queda de NO₂ durante a greve dos

caminhoneiros, um cenário com menor emissão veicular, porém, quando as indústrias continuaram operando (CHIQUETTO et al., 2020). Em um estudo realizado na cidade do Rio de Janeiro comparando a última metade do mês março com a primeira metade do mês de abril 2019 com mesmo período para 2020 foi observado diminuição de NO₂ média de 27 % e 24 % na região de Bangu e Tijuca, respectivamente (DANTAS et al., 2020). De qualquer forma, as quedas menos intensas de NO₂ em relação ao CO e o NO demonstram sua menor reatividade e sugerem a importância da fração secundária deste poluente na RMSP.

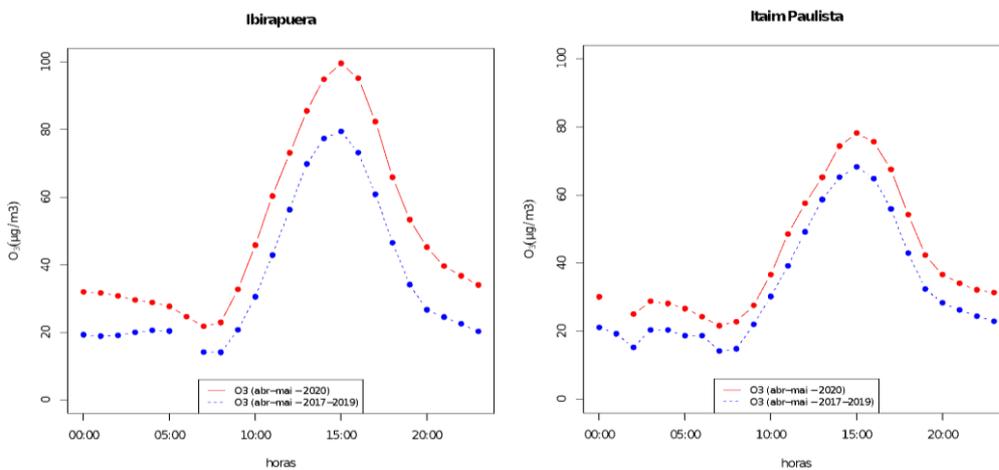
Figura 3.7 - Concentração de NO₂ ($\mu\text{g m}^{-3}$) na RMSP média horária do período de abril e maio sem pandemia Covid-19 (2017-2019) e com pandemia (2020)

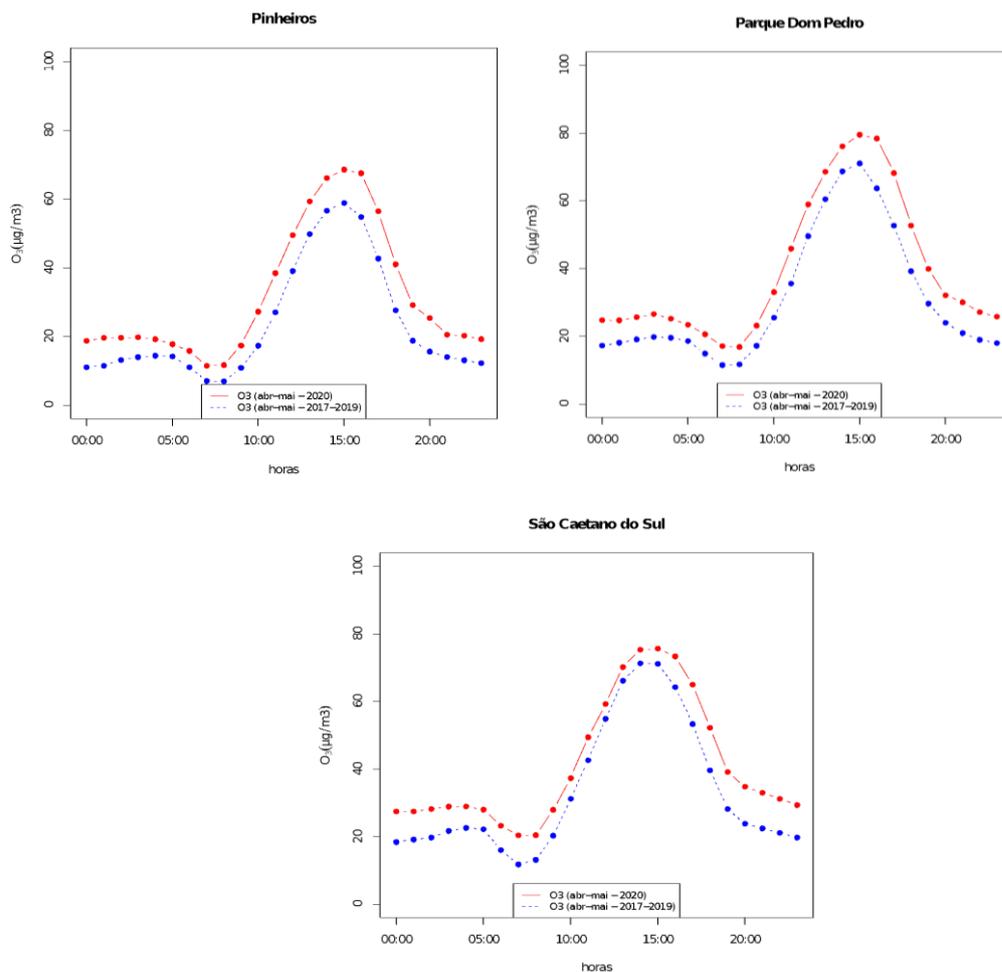




Na Figura 3.8 são apresentadas as concentrações médias horárias de O₃ do período de abril e maio de 2017, 2018 e 2019 (anos sem pandemia Covid-19) e também para o mesmo período referente ao ano de 2020 com pandemia.

Figura 3.8 - Concentração de O₃ (µg m⁻³) na RMSP média horária do período de abril e maio sem pandemia Covid-19 (2017-2019) e com pandemia (2020).



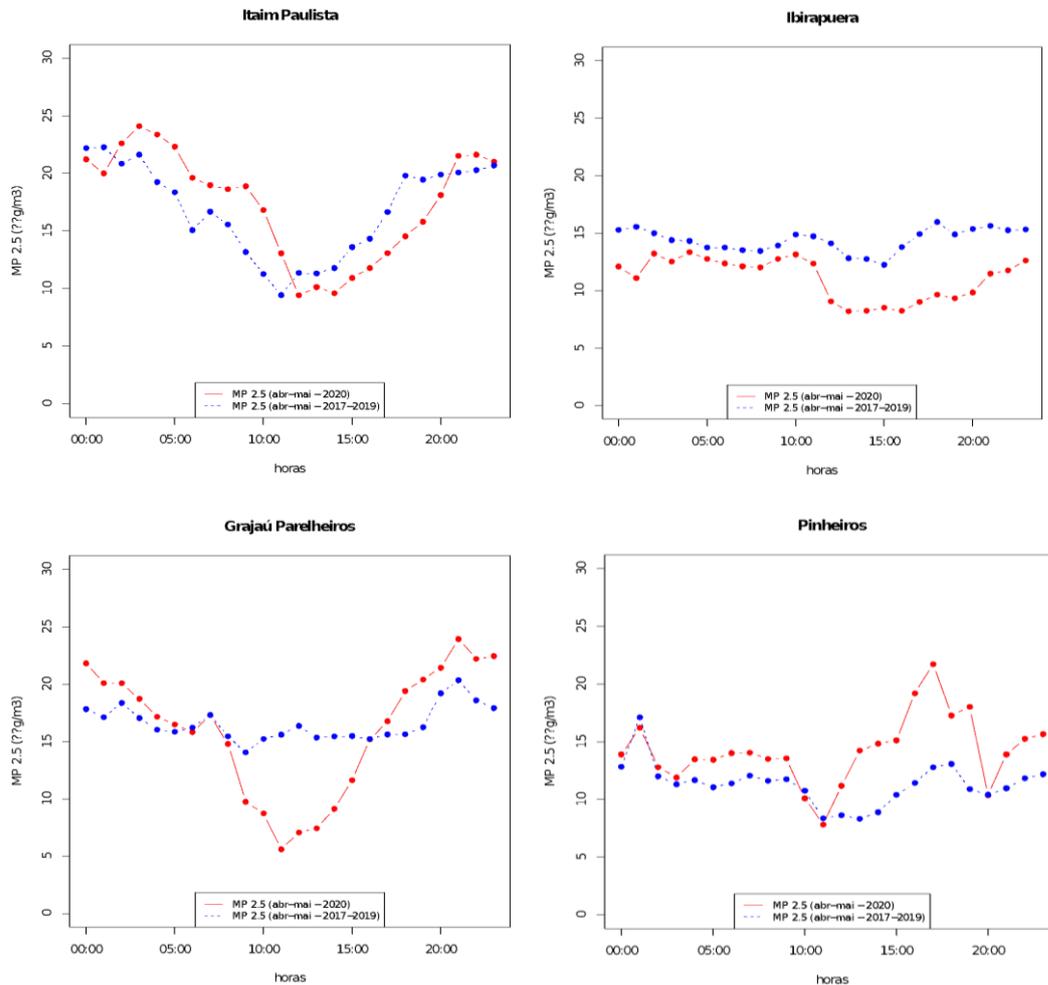


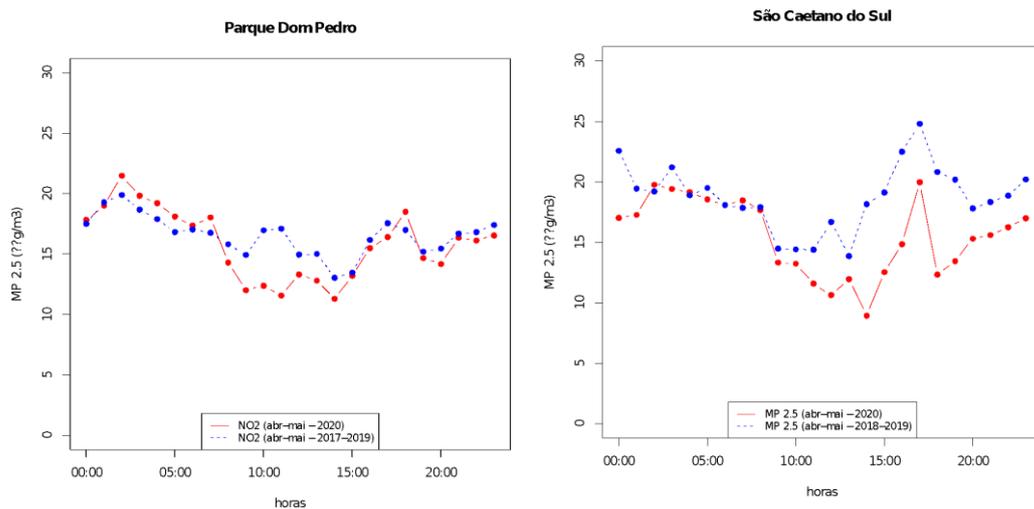
Na Figura 3.8 comparando o período deste estudo da pandemia Covid-19 com o período sem pandemia observamos um aumento nas concentrações de O₃ de 31,8 % no Ibirapuera, Itaim Paulista 22,9 %, Pinheiros 30,1 %, Pq. Dom Pedro 23,8 % e São Caetano do Sul 23,5 % e uma diminuição de O₃ de 19,3 % na estação Grajaú Parelheiros comportamento atípico, pois na RMSP geralmente quando diminui as concentrações de NO_x ocorre aumento de O₃, seria importante ter os dados de NO_x para estação do Grajaú Parelheiros, porém neste ponto de monitoramento não há medida de NO_x. A formação do O₃ começa a aumentar a partir das 9:00 devido a emissão dos poluentes primários e também precursores de O₃ como CO, COV e NO_x nas primeiras horas da manhã que coincide com o horário de pico de tráfego veicular. A formação do O₃ ocorre mais tarde após a emissão dos poluentes primários e também da disponibilidade de luz solar, atingindo seu máximo de concentração das 13:00 às 15:00 horas. No horário da noite, O₃ não é mais formado devido a falta da luz solar, sendo apenas consumido pelo NO₂

formando NO_3 , que formará pentóxido de dinitrogênio (N_2O_5).

Na Figura 3.9 são apresentadas as concentrações médias horárias de MP2.5 do período de abril e maio de 2017, 2018 e 2019 (anos sem pandemia Covid-19) e também para o mesmo período referente ao ano de 2020 com pandemia.

Figura 3.9 - Concentração de MP2.5 ($\mu\text{g m}^{-3}$) na RMSP média horária do período de abril e maio sem pandemia Covid-19 (2017-2019) e com pandemia (2020).





O MP2.5, Figura 3.9, diferentemente dos poluentes como CO, NO e NO₂ que teve diminuição das concentrações praticamente em todos os pontos de monitoramento da qualidade do ar neste estudo, com exceção do CO que teve aumento de 11 % em um dos 6 locais de estudo (estação Ibirapuera), o MP2.5 diminuiu a concentração na estação Ibirapuera durante todos os horários no período da pandemia em relação ao mesmo período sem pandemia. Já na estação do Itaim Paulista, há um aumento na concentração das 21:00 até às 11:00 horas no período da pandemia e depois a concentração diminui das 12:00 até às 20:00. Na estação Grajau-Parelheiros há uma grande diminuição do MP2.5 a partir das 9:00 até às 15:00. Na estação Pinheiros há um aumento das concentrações de MP2.5 a partir o 12:00 até às 19:00, comparando o período de pandemia com o período sem pandemia. Estação Pq. Dom Pedro não observa diferenças quantitativas entre o período com *lockdown* parcial e o sem *lockdown*. Considerando a média das concentrações de MP2.5 comparando o período do lockdown parcial e sem o lockdown houve diminuição para as estações Grajau-Parelheiros 19,8 %, Ibirapuera 33,3 %, São Caetano do Sul 24,5 %. Para estação Itaim Paulista considerando a média de todos os horários não observamos diferenças significativas entre o período com pandemia e o período sem pandemia, ocorrendo diminuição do 12:00 até às 20:00 e aumento das concentrações das 21:00 até às 11:00 horas. Para estação Pq. Dom Pedro ocorreu aumento médio de 6,6% durante o período da pandemia.

4 CONCLUSÃO

Esses resultados mostraram o impacto do bloqueio parcial na qualidade do ar na região Sudeste e mais especificamente na Região Metropolitana de São Paulo. O confinamento parcial da população, a redução do tráfego rodoviário e da atividade econômica levaram à diminuição dos níveis de CO, NO e NO₂ e, ao contrário, ao aumento das concentrações de ozônio. Ocorreu diminuição de 10 % até mais de 60 % da concentração de NO₂ sobre a RMSP e RMRJ, já na Região Metropolitana de Belo Horizonte e Vitória (RMBH) e (RMV) há uma diminuição em torno de 10 %. As concentrações de CO e BC proveniente do MERRA-2 observa-se uma diminuição maior em torno de 10 % durante o período do bloqueio parcial devido o covid-19 sobre quase todo estado de São Paulo, principalmente na divisa do estado de São Paulo com o Rio de Janeiro. A concentração de SO₂ proveniente do MERRA-2 de 5 a 10% menor sobre a RMSP e RMRJ e sobre o oeste de RMBH, diminuição de 30 a 50% na divisa do estado de São Paulo com estado do Rio de Janeiro, já na região de RMV observa-se aumento do poluente, pois no período deste estudo esta região ainda não estava altamente impactada pela pandemia do covid-19.

Poluentes primários diretamente associados às emissões veiculares, como CO e NO, diminuíram drasticamente em abril e maio de 2020 na RMSP durante o *lockdown* parcial. Diferenças estatisticamente significativas entre os períodos com e sem pandemia foram observadas em quase todas as estações analisadas para esses poluentes. As concentrações de NO reduziram em média de 131% , e as concentrações de CO também diminuíram (em 43 %) comparando o período do *lockdown* parcial em 2020 com o mesmo período para os três anos anteriores. Para NO₂ a redução média foi de 44%. Em relação ao MP2,5, houve queda em 3 estações, uma média de 26% menor, aumento de 18,2 % na estação Pinheiros, ou estabilidade na estação Pq. Dom Pedro, demonstrando a complexidade deste poluente constituído de diversas fontes diferentes, incluindo muitas reações secundárias na atmosfera. Para o O₃, as concentrações aumentaram numa média de 26 %. Em teoria, este aumento de O₃ ocorreu devido a diminuição de NO_x em um sistema NO_x-saturado como na RMSP, onde a diminuição das concentrações de NO_x aumenta o O₃, e a diminuição das concentrações de COV diminui o O₃. Esses resultados mostram que a poluição da RMSP está sob considerável influência das emissões veiculares. Claramente, melhorias nas emissões veiculares diretamente dos escapamentos

dos veículos, manutenção e qualidade de todos os tipos de combustíveis são necessárias para diminuir as emissões primárias, bem como a implementação de melhores condições de mobilidade urbana e transporte coletivo, trariam resultados positivos diretos na saúde da população da RMSP.

4.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

No próximo ano de trabalho efetuaremos os mapas de poluição semelhante a estes apresentados com dados do MERRA-2 para toda a América do Sul e também se possível faremos gráficos semelhantes a este da RMSP para RMRJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVIM, D. S. *et al.* GREVE DOS CAMINHONEIROS E A DIMINUIÇÃO DOS POLUENTES MONÓXIDO DE CARBONO E ÓXIDOS DE NITROGÊNIO E O AUMENTO DO OZÔNIO NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO. In: COSTA, L. R. F. DA (Ed.). . **Geociências: Estabelecimento e Evolução da Civilização Humana 2**. 1. ed. [s.l.] Atena Editora, 2020. p. 35–53.

BRASIL. **Ministry of Health – COVID19 – Coronavirus Panel**, 11 nov. 2020. Disponível em: <<https://covid.saude.gov.br/>>. Acesso em: 11 nov. 2020

CADOTTE, M. **Early evidence that COVID-19 government policies reduce urban air pollution**. [s.l.] Physical Sciences and Mathematics, 30 mar. 2020. Disponível em: <<https://eartharxiv.org/repository/view/345>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

CETESB. **Air Quality Report for the Sao Paulo State 2019**. [s.l.] Environmental Agency of the State of São Paulo, 2020.

CHIQUETTO, J. B. *et al.* Impact of a truck Driver’s strike on air pollution levels in São Paulo. **Atmospheric Environment**, p. 118072, nov. 2020.

CRODA, J. *et al.* COVID-19 in Brazil: advantages of a socialized unified health system and preparation to contain cases. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 53, p. e20200167, 2020.

DANTAS G, SILICIANO B, FRANÇA B.B. , DA SILVA C.M. , ARBILLA G. The impact of COVID-19 partial *lockdown* on the air quality of the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Sci Total Environ*. 2020

HE, L. *et al.* On-road emission measurements of reactive nitrogen compounds from

heavy-duty diesel trucks in China. **Environmental Pollution**, v. 262, p. 114280, jul. 2020.

IBGE. **2018 Brazilian census**. [s.l.] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019.

NAKADA, L. Y. K.; URBAN, R. C. COVID-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial *lockdown* in São Paulo state, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 730, p. 139087, ago. 2020.

SÃO PAULO. São Paulo São Paulo State – Decreto n. 64.881, de 22 de Março de 2020. 2020.

SEADE. **Covid**. Sao Paulo: Seade. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, 11 nov. 2020. Disponível em: <<https://www.seade.gov.br/coronavirus/>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

SHARMA, S. *et al.* Effect of restricted emissions during COVID-19 on air quality in India. **Science of The Total Environment**, v. 728, p. 138878, ago. 2020.

TOBIÁS, A. *et al.* Changes in air quality during the *lockdown* in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic. **Science of The Total Environment**, v. 726, p. 138540, jul. 2020.

WANG, H. *et al.* Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. **The Lancet**, v. 388, n. 10053, p. 1459–1544, out. 2016.

WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION)WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). **WHO Director-General’s opening remarks at the media briefing on COVID-19 - 11 March 2020**, 11 mar. 2020. Disponível em: <<https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>>. Acesso em: 11 nov. 2020

ZAMBRANO-MONSERRATE, M. A.; RUANO, M. A.; SANCHEZ-ALCALDE, L. Indirect effects of COVID-19 on the environment. **Science of The Total Environment**, v. 728, p. 138813, ago. 2020.

KANNIAH, K. D. *et al.* COVID-19’s impact on the atmospheric environment in the Southeast Asia region. **Science of The Total Environment**, v. 736, p. 139658, set. 2020.