

Análise da relação entre condições meteorológicas, poluição atmosférica e infecções respiratórias virais: o caso COVID-19

Analysis of the relationship between weather conditions, air pollution and viral respiratory infections: the COVID-19 case

Análisis de la relación entre las condiciones climáticas, la contaminación del aire y las infecciones virales respiratorias: el caso COVID-19

Recebido: 23/06/2020 | Revisado: 01/07/2020 | Aceito: 05/07/2020 | Publicado: 19/07/2020

Amanda Coura Gonzaga

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7413-7147>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: amandagr@gmail.com

Ana Carolina Vasques Freitas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2633-2607>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: ana.freitas@unifei.edu.br

Resumo

A poluição atmosférica e as condições meteorológicas são elementos que podem potencializar a transmissão de doenças infectocontagiosas virais. Neste contexto, este artigo tem por objetivo analisar a influência da qualidade do ar e dos parâmetros meteorológicos na transmissão e óbitos causados pelo COVID-19 na região metropolitana de São Paulo durante o período de 17 de março a 24 de maio de 2020. Para isso foram utilizados dados meteorológicos e de qualidade do ar fornecidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), sendo eles: ozônio, material particulado grosso e fino, monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio, monóxido de nitrogênio, óxidos de nitrogênio, enxofre reduzido, radiação solar global, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pressão atmosférica, radiação ultravioleta e temperatura do ar. Foi realizada uma análise de correlação destes parâmetros (sem e com defasagem de 5, 10, 15 e 20 dias) com os casos confirmados e óbitos por COVID-19 e empregou-se um modelo de regressão múltipla pelo método de *stepwise*, permanecendo ao final, apenas os preditores mais significativos (ao nível de 95%). Os resultados obtidos mostraram que estes preditores são: ozônio, monóxido de carbono, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, radiação ultravioleta e temperatura do ar. Estas

variáveis explicam 75% da variabilidade nos casos e 76% dos óbitos por COVID-19. Pode-se concluir que os fatores meteorológicos, a saúde humana e ambiental, estão interligados, e por isso, é importante que medidas para diminuir a poluição atmosférica sejam tomadas, as quais contribuirão para melhor qualidade de vida da população.

Palavras-chave: COVID-19; Poluição atmosférica; Dados meteorológicos; Correlação; Regressão.

Abstract

Air pollution and weather conditions are elements that can potentiate the transmission of viral infectious diseases. In this context, this article aims to analyze the influence of air quality and meteorological parameters on the transmission and deaths caused by COVID-19 in the metropolitan region of São Paulo during the period from March 17 to May 24 of 2020 year. For this purpose, meteorological and air quality data provided by the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB) were used, namely: ozone, coarse and fine particulate matter, carbon monoxide, nitrogen dioxide, nitrogen monoxide, nitrogen oxides, sulfur reduced, global solar radiation, relative air humidity, wind speed, atmospheric pressure, ultraviolet radiation and air temperature. A correlation analysis of these parameters was carried out (without and with a 5, 10, 15 and 20-day delay) with the confirmed cases and deaths by COVID-19 and a multiple regression model was used by the method of stepwise, remaining at the end, only the most significant predictors (at the 95% level). The results obtained showed that these predictors are: ozone, carbon monoxide, relative humidity, atmospheric pressure, ultraviolet radiation and air temperature. These variables explain 75% of the variability in cases and 76% of deaths from COVID-19. It can be concluded that meteorological factors, human and environmental health, are interconnected, and for this reason, it is important that measures to reduce air pollution are taken, which will contribute to a better quality of life for the population.

Keywords: COVID-19; Atmospheric pollution; Meteorological data; Correlation; Regression.

Resumen

La contaminación del aire y las condiciones climáticas son elementos que pueden mejorar la transmisión de enfermedades infecciosas virales. En este contexto, este artículo tiene como objetivo analizar la influencia de la calidad del aire y los parámetros meteorológicos en la transmisión y las muertes causadas por COVID-19 en la región metropolitana de São Paulo

durante el período del 17 de marzo al 24 de mayo de 2020. Para esto, se utilizaron datos meteorológicos y de calidad del aire proporcionados por la Compañía Ambiental del Estado de São Paulo (CETESB), a saber: ozono, material particulado grueso y fino, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, monóxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, azufre reducido, radiación solar global, humedad relativa, velocidad del viento, presión atmosférica, radiación ultravioleta y temperatura del aire. Se realizó un análisis de correlación de estos parámetros (sin y con un retraso de 5, 10, 15 y 20 días) con los casos y muertes confirmados por COVID-19 y se utilizó un modelo de regresión múltiple por el método de paso a paso, quedando al final, solo los predictores más significativos (al nivel del 95%). Los resultados obtenidos mostraron que estos predictores son ozono, monóxido de carbono, humedad relativa, presión atmosférica, radiación ultravioleta y temperatura del aire. Estas variables explican el 76% de la variabilidad en casos y 75% de muertes por COVID-19. Se puede concluir que los factores meteorológicos, la salud humana y ambiental, están interconectados, y por esta razón, es importante que se tomen medidas para reducir la contaminación del aire, lo que contribuirá a una mejor calidad de vida para la población.

Palabras clave: COVID-19; Contaminación atmosférica; Datos meteorológicos; Correlación; Regresión.

1. Introdução

Entre as doenças do trato respiratório, encontram-se as infecções, que podem ser de origem viral (a maioria) ou bacteriana. Estas infecções respiratórias ocorrem em todo o mundo, acarretando altas taxas de mortalidade. As infecções respiratórias agudas abrangem as infecções das vias aéreas superiores, compreendendo a rinofaringite, faringite e amigdalite, otite média, sinusite e laringite; e inferiores, tais como bronquite, bronquiolite e as pneumonias. Os vírus mais comumente envolvidos nas infecções respiratórias são: rinovírus, vírus sincicial respiratório, coronavírus, adenovírus, parainfluenza e influenza; sendo que a maioria deles pode se disseminar por meio de aerossóis de grandes partículas ($> 5 \mu\text{m}$) através de curtas distâncias ($< 1 \text{ m}$) (Dolin, 2007).

Existem diferentes tipos de coronavírus e a maioria deles causa doença em animais. Porém, até o momento, são conhecidos sete tipos de coronavírus que causam doença em seres humanos. Três destes (denominados de SARS-CoV, MERS-CoV, e o recente SARS-CoV2) são transmitidos por animais e causam síndrome respiratória aguda grave.

As infecções respiratórias podem se agravar em locais com um alto índice de poluição e lugares com clima frio e seco, os quais apresentam condições meteorológicas desfavoráveis para a dispersão dos poluentes. Gases como ozônio, monóxido de carbono, dióxido de enxofre, aerossóis ácidos, óxidos de nitrogênio e o material particulado podem trazer sérios riscos respiratórios, além de serem responsáveis por enfraquecer a imunidade do organismo, o que pode acarretar sintomas mais intensos das infecções respiratórias (Braga & Saldiva, 2001).

Segundo Setti *et al.* (2020) as partículas atmosféricas também podem agir como vetor de transporte para muitos contaminantes químicos e biológicos, incluindo alguns vírus. Estes se aderem às partículas sólidas ou líquidas atmosféricas. Desta forma, são capazes de permanecer na atmosfera por horas, dias ou semanas, podendo também serem transportados por longas distâncias. Ainda segundo os autores, uma vez exposto às condições ambientais, o vírus pode ter anulada a sua capacidade de infectar outros organismos. Por isso, a sobrevivência do vírus é definida pelo tempo que leva para ser inativado. Fatores meteorológicos podem afetar a taxa de inativação do vírus. Com uma maior temperatura e radiação solar pode existir uma maior taxa de inativação dos vírus; já uma alta umidade relativa pode aumentar a taxa de difusão dos vírus (Setti *et al.*, 2020).

COVID-19 é a denominação para um novo vírus (SARS-CoV2) surgido na China no final de 2019, e que no dia 11 de abril de 2020, foi considerado pandemia pela Organização Mundial de Saúde, causando mortes em quase todos os continentes do globo, com a única exceção (até este momento) da Antártica (BBC, 2020). As pesquisas até o momento sugerem que a transmissão é principalmente devido ao contato com gotículas respiratórias. O vírus tem um alto índice de contágio, sendo que a maioria dos infectados têm sintomas semelhantes à de uma gripe comum, porém, em algumas pessoas o vírus pode acarretar em graves infecções pulmonares. Desta forma, diversos países adotaram procedimentos de quarentena ou *lockdown*, paralisando todas as atividades escolares, comerciais, industriais, deixando apenas os setores essenciais funcionando. Este isolamento social tem o intuito de diminuir o contato entre as pessoas, e conseqüentemente o contágio.

De acordo com Freitas *et al.* (2020) foi possível observar, com os dados fornecidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que as concentrações dos poluentes atmosféricos reduziram significativamente na maior parte das estações de monitoramento logo após o decreto de quarentena, feito pelo Governo do Estado de São Paulo. Ainda segundo os autores, houve uma drástica redução da atividade veicular, de acordo com os dados da “*Apple Mobility Report*” desde o dia 16 de março de 2020, sendo que a taxa

de mobilidade chegou a valores inferiores a 40%, com valor mínimo próximo ao dia 22 de março, o que resultou na queda de poluentes medidos pelas estações de monitoramento da CETESB. Após essa data ocorreram pequenas variações, mais com tendências a aumentar ao longo do período.

Segundo Coccia (2020), a quarentena possibilitou uma redução no índice de poluição do ar no Vale do Pó, localizado na Itália, diminuindo a quantidade de dióxido de nitrogênio, material particulado, dentre outros poluentes, melhorando, desta forma, a qualidade do ar e diminuindo os problemas respiratórios associados a poluição atmosférica.

Além disso, o estudo realizado por Coccia (2020), em diversas cidades da Itália, concluiu que as cidades do interior possuem uma maior taxa de infecção do que as cidades costeiras, pois essas cidades apresentam um maior índice de poluição do ar (quando se considera uma média de dias por ano), além de temperatura média, velocidade do vento e índice pluviométrico menores. Com isso, o autor sugere que, para minimizar futuras epidemias semelhantes a COVID-19, seja estabelecido nas cidades um limite máximo de 50 dias por ano para exceder o limite máximo de material particulado grosso (PM₁₀) ou ozônio, considerando as condições meteorológicas.

Neste contexto, dado que a região metropolitana de São Paulo é a que apresenta o maior número de casos e óbitos confirmados por COVID-19, este trabalho tem o objetivo analisar a influência da qualidade do ar e dos parâmetros meteorológicos na transmissão e óbitos causados pelo COVID-19 na região metropolitana de São Paulo durante o período de 17 de março a 24 de maio de 2020. Para isso, pretende-se construir um modelo de regressão com os preditores mais significativos. Espera-se que os resultados encontrados possam subsidiar ações de controle da poluição do ar, neste momento, e futuramente.

2. Materiais e Métodos

2.1 Dados

Para a realização desta pesquisa foram utilizados dados epidemiológicos, meteorológicos, e de qualidade do ar; os quais são descritos a seguir.

2.1.1 Dados epidemiológicos

Os dados acerca do número de casos confirmados acumulados e número de óbitos no município de São Paulo foram obtidos da base de dados Covid-2019 do Brasil.IO (2020) do dia 17/03/2020 ao dia 24/05/2020. O dia 17/03 marcou o primeiro óbito no município e, por isso, esta data foi considerada como marco inicial para as análises realizadas neste estudo.

O Brasil.IO (2020) é um repositório que centraliza os dados do número de casos confirmados e registra o número de óbitos por suspeita/confirmação, a partir de boletins das secretarias de saúde estaduais sobre a pandemia de coronavírus no Brasil. O recorte é por município, por dia, para acompanhamento local da evolução da propagação do vírus. Os dados foram enriquecidos, de forma que, a partir do momento em que um município confirma um caso, ele sempre aparecerá na tabela disponibilizada pelo repositório (mesmo que para uma determinada data a secretaria de saúde não tenha liberado o boletim - nesse caso é repetido o dado do dia anterior).

Os dados de adesão ao isolamento social em São Paulo, divulgados na página do governo do Estado de São Paulo (2020), também foram utilizados nesta pesquisa. Estes dados fazem parte do Sistema de Monitoramento Inteligente do Governo de São Paulo, e são atualizados diariamente.

2.1.2 Dados meteorológicos de qualidade do ar

Os dados meteorológicos e de qualidade do ar do município de São Paulo do dia 17/03/2020 ao dia 24/05/2020 foram obtidos no site da CETESB, pelo sistema de informações de qualidade do ar da plataforma virtual QUALAR. (Cetesb, 2020)

Foram utilizados os dados diários dos parâmetros meteorológicos e de qualidade do ar da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) Alto Tietê, que é composta das estações Nossa Senhora do Ó, Santana, Santo Amaro, Parque D. Pedro II, Congonhas e Ibirapuera, todas localizadas na grande metrópole. Foram adquiridos os dados da UGRHI e das estações associadas (Cetesb, 2020).

Os parâmetros de qualidade do ar analisados foram: Ozônio, Material Particulado grosso (MP₁₀), fino (MP_{2,5}), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂), monóxido de nitrogênio (NO), óxidos de nitrogênio (NO_x), enxofre reduzido. Segundo Moura Foelkel & Frizzo (2002) o conjunto dos compostos sulfeto de hidrogênio (H₂S), metil

mercaptana (CH_3SH), dimetil sulfeto [$(\text{CH}_3)_2\text{S}$] e dimetil dissulfeto [$(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$] é conhecido como enxofre reduzido total, ou TRS do inglês “*Total Reduced Sulphur*”.

Já os parâmetros meteorológicos analisados foram: radiação solar global, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pressão atmosférica, radiação ultravioleta e temperatura do ar. Cabe ressaltar que nem todas as estações medem todos estes parâmetros. Assim, foi realizada uma média de cada parâmetro, considerando apenas as estações que fazem o registro do mesmo, tendo em vista o período analisado. Foram adquiridos dados meteorológicos e de qualidade do ar pelo sistema de informações de qualidade do ar (Cetesb, 2020).

2.2 Metodologia

O presente trabalho apresenta inicialmente uma discussão teórica sobre o objeto de estudo, o qual foi realizado a partir de uma pesquisa bibliográfica exploratória.

A pesquisa bibliográfica é realizada a partir de referências já analisadas e publicadas em meio eletrônico, como artigos, páginas de web sites ou por meios escritos, como livros e bibliotecas eletrônicas.

O foco desta pesquisa é o contágio do COVID-19 e as mortes causadas pela doença, e sua relação com a qualidade do ar e os fatores meteorológicos. Estudos recentes têm apontado que o contágio dessa doença é maior em locais mais poluídos (Zhu *et al.* 2020; Dutheil *et al.* 2020), como na grande São Paulo, uma vez que nestes locais o sistema imunológico da população já se encontra comprometido e, portanto, mais vulnerável a doenças virais. As condições meteorológicas, tais como o fenômeno da inversão térmica, aliado a verticalização das cidades, que impede a circulação do ar, agrava a poluição atmosférica, o que também pode levar a um maior contágio destas doenças, conforme afirmado anteriormente.

Para avaliar qual é a influência das condições meteorológicas e da poluição do ar nos casos confirmados e número de óbitos por COVID-19, foi realizada uma análise de correlação com todos os parâmetros meteorológicos e de qualidade do ar mencionados na seção de dados. Esta análise também considera a correlação com lapsos de tempo de 5, 10, 15 e 20 dias.

Após isto, será realizada uma análise de regressão múltipla por meio do método *stepwise*. Neste método, são introduzidas, por ordem decrescente de definição estatística, as variáveis de interesse, permanecendo, no final, apenas as variáveis explicativas (independentes) que se mostraram significativas ao nível de 95%. Esta é uma ferramenta

utilizada em processos exploratórios da composição de protótipos para encontrar um subconjunto útil de preditores (Santos 2006, citado por Schäffer *et al.* [2016?]).

3. Resultados

3.1 Discussão teórica

A poluição atmosférica e as condições meteorológicas são elementos que podem potencializar a transmissão de doenças infectocontagiosas virais.

Segundo Setti *et al.* (2020) a gripe aviária, a qual teve grande ocorrência em 2010, se espalhou por grandes distâncias a partir de tempestades de poeira, portadora do vírus, vinda da Ásia. Os autores também verificaram uma relação em 2016 entre a disseminação do vírus sincicial respiratório, o qual é responsável por causar pneumonia em crianças, com a quantidade de material particulado. Segundo os autores, em 2020, um dos maiores fatores de disseminação do vírus do sarampo em Lanzhou (China) está relacionado com a quantidade de material particulado fino existente na atmosfera. Com isso, os pesquisadores sugerem que políticas ambientais, que visem diminuir a quantidade de material particulado no ar, podem contribuir para um menor número de casos de infecções virais.

A poluição prejudica a defesa das vias aéreas superiores, portanto, uma pessoa que vive em um lugar com alto índice de poluição é mais propensa a desenvolver problemas respiratórios crônicos, condição que é propensa aos agentes infecciosos. Neste contexto da pandemia da COVID-19, cabe ressaltar que os idosos, que costumam ter os sistemas de defesa das vias aéreas enfraquecidos, pelo maior tempo de exposição à poluição do ar, podem sofrer a síndrome de desconforto respiratório agudo e, eventualmente a morte, principalmente em casos de comorbidades respiratórias e cardiovasculares graves (Conticini, Frediani & Caro 2020).

Em um estudo realizado na Itália por Coccia (2020), o autor afirma que, devido a conexão existente entre o COVID-19 e a poluição do ar, as características biológicas do contágio viral e as condições meteorológicas, os aprendizados gerados com a epidemia do vírus devem levar a aplicação de uma estratégia socioeconômica mais eficiente para combater esta e futuras epidemias, com foco no investimento em políticas ambientais direcionadas a redução da poluição atmosférica, principalmente em locais com baixa dispersão de poluentes. A seguir será detalhado o problema da poluição atmosférica, sua relação com a saúde, a influência das condições meteorológicas, e o caso COVID-19.

3.1.1 Poluição atmosférica

A preocupação com a qualidade do ar não é algo recente, teve início na era-pré cristã, época a qual a população começou a utilizar carvão como combustível. No século XIII o problema da poluição do ar foi agravado pela revolução industrial, época em que ocorreram grandes emissões de fumaça pelas indústrias e também a expansão de diversas cidades (Braga & Saldiva, 2001).

A poluição do ar é um tema preocupante em todo o mundo. Alguns países têm um índice de emissão de poluentes muito elevado, o que não prejudica somente o próprio país, mas todos, se levarmos em conta o aquecimento global devido aos gases do efeito estufa. Segundo o ranking da *Global Carbon Atlas*, a China foi o país que mais emitiu dióxido de carbono (10.065 Megatoneladas - Mt) em 2018. Em segundo lugar, aparece os Estados Unidos (5.416 Mt) e, em terceiro, a Índia (2.654 Mt). O Brasil aparece na décima quarta posição, com uma emissão de 457 Mt em 2018.

Os principais poluentes monitorados na atmosfera são: material particulado, ozônio, monóxido de carbono, dióxido de enxofre, aerossóis ácidos e os óxidos de nitrogênio.

O material particulado tem origens variadas, é uma mistura de material sólido e líquido no ar, e é expresso em relação ao seu tamanho aerodinâmico, o qual é definido de acordo com o diâmetro de uma esfera que possui a mesma velocidade de sedimentação que a partícula em questão (Braga & Saldiva, 2001). Em geral, o material particulado pode ser classificado como grosso (diâmetro entre 2,5 e 30 μm) e fino (diâmetro menor que 2,5 μm). Além disso, a acidez dessas partículas é elevada podendo atingir o trato respiratório e prejudicar as trocas gasosas.

Os óxidos de nitrogênio (NO e NO₂) são lançados na atmosfera principalmente devido a combustão dos automóveis e das indústrias. Esses gases possuem efeito oxidante, desta forma, são tóxicos ao organismo quando inalados.

O ozônio é um oxidante que pode provocar lesões nas células, atingindo as porções mais distantes das vias aéreas. As doenças causadas, ou agravadas pelo ozônio, são a irritação das vias aéreas superiores, conjuntivite, náuseas, falta de ar, diminuição do volume respiratório, mal estar e dor de cabeça (Roseiro, 2003).

Dióxido de enxofre (SO₂) e aerossóis ácidos são poluentes muito comuns e têm como fonte principal a queima de combustíveis fósseis dos automóveis e termelétricas. Quando lançado na atmosfera, o dióxido de enxofre é oxidado, dando origem ao ácido sulfúrico. O dióxido de enxofre e seus derivados (aerossóis ácidos) são transportados a longas distâncias

das fontes primárias de emissão, aumentando a área de influência desses gases (Braga & Saldiva, 2001).

Segundo Braga & Saldiva (2001), o dióxido de enxofre (SO₂) é um poluente que pode ser bastante prejudicial à saúde, pois além de percorrer grandes distâncias, ele ainda é muito solúvel em água a 30°C, o que faz com que ele se solubilize nas paredes do trato respiratório, podendo causar a irritação de todo o sistema respiratório.

A maior fonte de monóxido de carbono (CO) são os meios de transporte. Uma pessoa que passa muito tempo no trânsito recebe altas doses desse poluente que apresenta uma grande atração pela hemoglobina, 240 vezes maior que o oxigênio. Com isso, uma pequena quantidade de CO é capaz de saturar uma elevada quantidade de moléculas de hemoglobina, dessa forma, dificultando o transporte de oxigênio no sangue (Braga & Saldiva, 2001).

3.1.2 Relação entre a saúde e a poluição atmosférica

Existem diversos estudos relacionando a saúde ambiental e a saúde humana. Andrés (2009) relacionou diversos casos de doenças ou óbitos com o aumento de poluentes na atmosfera em várias regiões do mundo. A maioria das mortes foram causadas por doenças respiratórias, o que é um indicativo da relação existente entre estas e a poluição atmosférica. Este trabalho realizou uma ampliação deste estudo de Andrés (2009), através do levantamento bibliográfico das diversas causas de mortes e doenças relacionadas com o aumento dos poluentes no ar. O Quadro 1 abaixo sintetiza estes resultados.

Quadro 1 - Análise da relação entre Poluição Atmosférica e Doenças Respiratórias.

Amostra de população	Foco da análise	Resultados	Referência
20 municípios norte americanos	Internações por doença pulmonar obstrutiva crônica e cardiovasculares em idosos. Mortalidade por doenças respiratórias.	Aumento na mortalidade, nas internações por doença pulmonar obstrutiva crônica e cardiovasculares em idosos, associado ao aumento no material particulado grosso.	Zanobetti et al. (2000), citado por Andrés (2009)
6 municípios europeus	Mortalidade da população	Aumento na mortalidade diária com associação ao do Ozônio na atmosfera.	Katsouyanni et al. (2001) citado por Andrés (2009)

29 municípios europeus	Mortalidade por doenças respiratórias em diversas faixas etárias e internações por asma e doença pulmonar obstrutiva em idosos.	Associação entre aumento da mortalidade na população e internações por asma e doença pulmonar obstrutiva crônica em idosos, associado ao aumento na concentração de material particulado grosso.	Katsouyanni <i>et al.</i> (2001) citado por Andrés (2009)
Idosos com mais de 65 anos	Mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias.	Mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares em idosos, com grande associação com a concentração de material particulado grosso.	Sanhuez <i>et al.</i> (2006) citado por Andrés (2009)
Crianças e adolescentes com menos de 15 anos e adultos com mais de 65 anos	Atendimentos ambulatoriais. Crianças: pneumonia, bronquite e doenças do trato respiratório inferior. Idosos: infecção do trato respiratório inferior e doença pulmonar obstrutiva crônica.	A região com maiores índices de poluentes obteve maior necessidade de atendimentos ambulatoriais, em crianças e idosos, para todas as doenças analisadas.	Prieto <i>et al.</i> (2007) citado por Andrés (2009)
Crianças de 0 a 14 anos	Agravamento das doenças respiratórias causadas pelo aumento da poluição do ar em crianças da cidade de Curitiba-PR.	Um aumento de 40,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na média móvel de três dias de fumaça esteve associado a um aumento de 4,5% nas consultas por doenças respiratórias de crianças.	Bakonyi <i>et al.</i> (2004)
Idosos com 65 anos ou mais	Aumento dos casos de pneumonia e gripe causados pela poluição atmosférica em São Paulo, Brasil.	Um aumento interquartil (25%-75%) no ozônio e dióxido de enxofre acarretou num acréscimo de 8,07% e 14,51%, respectivamente, no número de atendimentos por pneumonia e gripe em idosos.	Martins <i>et al.</i> (2000)

Crianças de 0 a 10 anos	Aumento dos casos de asma causados por poluição atmosférica.	Exposições a material particulado e dióxido de enxofre estão associadas a riscos relativos significativos de internação por asma no mesmo dia e em até três dias após a exposição. Aumentos nas concentrações destes poluentes elevam o risco de internação entre 8% e 19%.	Amâncio & Nascimento (2012)
Idosos com 65 anos ou mais e crianças menores de 5 anos	Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica.	Um aumento de 10 µg/m ³ no nível de material particulado inalável associa-se ao incremento de 4,6% nas internações por asma em crianças, de 4,3% por doença pulmonar obstrutiva crônica em idosos e de 1,5% por doença isquêmica do coração também em idosos.	Gouveia <i>et al.</i> (2006)

Fonte: Fonte: Andrés (2009), adaptado por autores (2020).

3.1.3 Influência das condições meteorológicas

As condições meteorológicas são de fundamental importância para a análise da dispersão de poluentes. O regime dos ventos, a umidade do ar, a radiação solar, a temperatura, a nebulosidade, a estabilidade atmosférica, a altura da camada de mistura e a ocorrência de chuvas são fatores que podem influenciar o tempo de permanência dos poluentes na atmosfera.

A dispersão dos poluentes varia de acordo com a circulação atmosférica. Por exemplo, o fenômeno da brisa realiza a recirculação do ar e é de fundamental importância para a caracterização das condições de dispersão dos poluentes. Durante o dia as massas de ar oceânicas são transportadas para a terra, enquanto que a noite muitas vezes carregam de volta poluentes antigos, principalmente os NO_x e hidrocarbonetos. A reação desses poluentes primários com outros gases presentes na atmosfera local leva a produção de oxidantes fotoquímicos, os quais quando entram em contato com a radiação solar podem levar a produção elevada de ozônio (Damilano & Jorge 2006).

A precipitação é um fator que pode fazer com que a quantidade de poluentes presentes no ar diminua. Ela é responsável por limpar a atmosfera, diminuindo, assim, a concentração de poluentes.

A radiação solar é outro fenômeno que interfere na qualidade do ar, pois tem a capacidade de reagir com gases formando oxidantes. O ozônio formado na atmosfera por reações fotoquímicas depende da intensidade da radiação solar. Portanto, a estação do ano interfere diretamente. No inverno, como a radiação solar que chega à terra é menor, a quantidade de ozônio formado também diminui. Além disso, em épocas do ano com maior nebulosidade, mesmo que seja no período de verão, a concentração de ozônio diminui, pois as nuvens baixas e médias diminuem a intensidade da radiação que chega na superfície.

A umidade relativa do ar é a quantidade de água em forma de vapor existente na atmosfera no momento, pela quantidade máxima de água que poderia existir. A umidade diminui no final do inverno e início da primavera, e também no período da tarde. Altos valores de umidade se relacionam diretamente com a precipitação, de forma que contribuem para deposição úmida dos poluentes.

A temperatura também é uma variável de fundamental importância para o estudo da dispersão de poluentes. Os gradientes de temperatura originam os movimentos verticais descendentes e ascendentes das massas de ar, que ajudam na dispersão dos poluentes e afetam diretamente no clima (Andrés, 2009).

Os processos atmosféricos e a movimentação do ar relacionada a grandes centros de pressão determinam o tempo que as massas de ar poluídas ficam sobre os continentes e os oceanos do globo. Os anticiclones são denominados como centros de alta pressão e são caracterizados como estáveis e possuem pouca mistura vertical, desta forma não auxiliam na dispersão dos poluentes e permitem um acúmulo de poluentes no local (Damilano & Jorge 2006). Já os sistemas de baixa pressão promovem instabilidade, auxiliando a dispersão dos poluentes.

A inversão térmica é um fenômeno natural que prejudica a dispersão de poluentes. Pode ocorrer em qualquer parte do planeta. A inversão impede que haja o deslocamento vertical das massas de ar, ou seja, que a massa de ar próxima a superfície es quente e se torne menos densa que a camada acima para que haja a troca. Assim os poluentes ficam retidos até que a radiação solar quebre a camada de inversão.

Pode-se perceber que as condições meteorológicas afetam diretamente na dispersão dos poluentes e, desta forma, interferem também na saúde da população, pois condições que

prejudicam a dispersão dos gases estão associadas a um aumento nos casos de doenças respiratórias, como rinites, bronquites, asma, dentre outras.

3.1.4 O caso Covid-19

O contágio do COVID-19 ocorre através das vias aéreas, por tosses, espirros e o contato com objetos contaminados. O vírus sobrevive por horas em superfícies, o que potencializa o contágio se a pessoa tocar a região contaminada e depois levar a mão ao rosto; ato que uma pessoa comum realiza em média 20 vezes ao dia. Os principais sintomas da doença são: febre, tosse, coriza, dor de garganta e dificuldade respiratória.

Cerca de 80% dos contaminados pelo COVID-19 podem não apresentar sintomas, 20% dos casos podem requerer o atendimento médico por deficiências respiratórias. e destes casos, apenas 5% podem precisar de suporte para o tratamento de insuficiência respiratória (suporte ventilatório) (OMS, citado pelo Ministério da saúde, 2020). Muitas pessoas podem adquirir a doença e não apresentar sintoma algum, ou apenas sintomas semelhantes a gripe. E é isso que torna o vírus tão perigoso, pois estas pessoas podem infectar outras, levando a uma progressão geométrica no número de casos e, por consequência, falte recursos no sistema privado e, especialmente, público de saúde para cuidar de todos os doentes que apresentem sintomas sérios, como infecções pulmonares (Masseti, 2020).

Alguns grupos apresentam um maior risco ao adquirir a doença, como pessoas acima de 60 anos, portadores de doenças crônicas como: asma, diabete e hipertensão. Em uma pesquisa realizada nos Estados Unidos com 1.494 pacientes acima de 19 anos mostrou que 75% dos hospitalizados já tinham algum problema de saúde, como doença respiratória, cardíaca ou diabetes. Além disso, foi realizado um estudo com infectados da China, Itália e Coreia do Sul, o que indicou que o risco de adquirir a doença é maior para homens. Ainda não se sabe ao certo o motivo, se é por causas biológicas ou porque os homens são mais propensos a fumarem que as mulheres, ou até mesmo porque os homens não têm o costume de lavar as mãos tanto como as mulheres, segundo alguns estudos (Masseti, 2020).

O isolamento social foi adotado com o intuito de minimizar a quantidade de pessoas infectadas pelo vírus. Consequentemente esta medida levou a uma diminuição da poluição atmosférica em diversos países. Na cidade de São Paulo o nível de poluentes reduziu significativamente com o início da quarentena. Segundo os dados da “*Apple Mobility Report*”, o trânsito de veículos da cidade diminuiu para valores inferiores a 40%. A queda na atividade

veicular refletiu-se imediatamente nas medições efetuadas nas estações de tratamento da CETESB, que mostraram uma grande diminuição nos poluentes atmosféricos.

Na China os níveis de dióxido de nitrogênio emitido por veículos, usinas de energia e muitos processos industriais foram reduzidos de 10 a 30%, comparado com o ano de 2019. Na Itália houve a redução de até 40% nas concentrações de NO₂. Já em Nova York ocorreu a redução de até 50% nas concentrações de monóxido de carbono (CO), o que indica que o tráfego de veículos leves diminuiu bastante (Freitas *et al.*, 2020).

Segundo Freitas *et al.* (2020), na China os altos índices de concentração de material particulado podem aumentar os riscos causados pela doença, diminuindo a eficiência do sistema imunológico. Isto também pode explicar o motivo do vírus afetar mais os idosos, pois eles foram expostos aos poluentes por um maior período de tempo, e também no caso de fumantes. Ainda segundo os autores, um estudo abrangendo 3.080 cidades do Estados Unidos mostrou que o aumento de 1,0 µg/m³ na exposição ao material particulado fino foi associado ao aumento de 15% de mortes pelo COVID-19. Além disso existem indicações que partículas atmosféricas podem ajudar na disseminação do vírus, desta forma aumentando o índice de contágio pelo vírus. A seguir, será apresentado os resultados deste trabalho sobre a análise entre a poluição atmosférica, as condições meteorológicas e os óbitos e casos confirmados por COVID-19 na cidade de São Paulo.

3.2 Análise da relação entre condições meteorológicas, qualidade do ar e transmissão do vírus

Para descobrir quais parâmetros meteorológicos e de qualidade do ar estão mais relacionados com o avanço da COVID-19 na cidade de São Paulo foi realizada uma análise da correlação entre os óbitos e casos confirmados da doença com os seguintes parâmetros: ozônio, material particulado grosso e fino, monóxido de carbono, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio, óxido de nitrogênio, temperatura do ar, pressão atmosférica, radiação ultravioleta, radiação solar global, umidade relativa do ar, velocidade do vento e enxofre total reduzido.

O período de incubação do coronavírus é em torno de 5 dias na média, podendo variar de 1 até o tempo máximo de 14 dias (Backer, Klinkenberg & Wallinga 2020). Já em termos dos óbitos, segundo Baud *et al.* (2020), o tempo médio da infecção até a morte é de 19 dias. Por isso, correlações com lapsos de tempo de 5, 10, 15 e 20 dias, avançados ou retardados em relação aos óbitos e casos confirmados, foram consideradas, uma vez que estes podem

responder a estes parâmetros antes e/ou após certos lapsos de tempo. Os resultados das correlações podem ser observados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 1 - Correlações dos parâmetros analisados com os óbitos confirmados sem lapso de tempo e com lapsos de 5, 10, 15 e 20 dias avançados (+) ou retardados (-). Valores em negrito são significativos ao nível de 95% de acordo com o teste t de Student.

	<i>-20</i>	<i>-15</i>	<i>-10</i>	<i>-5</i>	<i>0</i>	<i>+5</i>	<i>+10</i>	<i>+15</i>	<i>+20</i>
<i>Ozônio</i>	0,07	-0,14	-0,23	-0,21	-0,37	-0,40	-0,43	-0,40	-0,38
<i>MP10</i>	0,45	0,37	0,47	0,38	0,34	0,32	0,25	0,20	0,18
<i>MP2.5</i>	0,45	0,34	0,44	0,41	0,33	0,31	0,23	0,21	0,17
<i>Monóxido de Carbono</i>	0,33	0,30	0,47	0,43	0,45	0,48	0,42	0,39	0,36
<i>Monóxido de Nitrogênio</i>	0,27	0,34	0,51	0,42	0,37	0,41	0,37	0,30	0,25
<i>Dióxido de Nitrogênio</i>	0,25	0,30	0,43	0,39	0,34	0,38	0,32	0,26	0,22
<i>Óxidos de Nitrogênio</i>	0,26	0,32	0,50	0,41	0,37	0,41	0,35	0,29	0,24
<i>Radiação Solar Global</i>	-0,24	-0,34	-0,39	-0,38	-0,48	-0,49	-0,41	-0,40	-0,36
<i>Umidade Relativa do ar</i>	-0,22	-0,10	-0,11	-0,12	-0,02	0,03	-0,01	0,00	0,01
<i>Velocidade do vento</i>	-0,30	-0,25	-0,36	-0,40	-0,16	-0,15	-0,05	-0,09	-0,02
<i>Enxofre reduzido total</i>	0,50	0,46	0,49	0,44	0,34	0,29	0,23	0,20	0,14
<i>Pressão atmosférica</i>	0,53	0,50	0,40	0,45	0,36	0,26	0,29	0,23	0,11
<i>Radiação Ultra Violeta</i>	-0,37	-0,45	-0,47	-0,44	-0,53	-0,52	-0,44	-0,43	-0,38
<i>Temperatura do Ar</i>	0,08	-0,12	-0,14	-0,19	-0,27	-0,37	-0,39	-0,33	-0,24

Fonte: Autores.

Tabela 2 - Correlações dos parâmetros analisados com os casos acumulados sem lapso de tempo e com lapsos de 5, 10, 15 e 20 dias avançados (+) ou retardados (-). Valores em negrito são significativos ao nível de 95% de acordo com o teste t de Student.

	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20
<i>Ozônio</i>	0,09	-0,14	-0,25	-0,21	-0,38	-0,40	-0,42	-0,40	-0,36
<i>MP10</i>	0,47	0,38	0,46	0,37	0,32	0,32	0,26	0,21	0,20
<i>MP2.5</i>	0,46	0,34	0,43	0,40	0,31	0,31	0,24	0,22	0,19
<i>Monóxido de Carbono</i>	0,35	0,31	0,47	0,43	0,44	0,48	0,43	0,40	0,39
<i>Monóxido de Nitrogênio</i>	0,28	0,35	0,52	0,42	0,35	0,41	0,37	0,31	0,28
<i>Dióxido de Nitrogênio</i>	0,27	0,31	0,43	0,38	0,31	0,38	0,32	0,26	0,25
<i>Óxidos de Nitrogênio</i>	0,28	0,34	0,51	0,41	0,34	0,40	0,36	0,29	0,27
<i>Radiação Solar Global</i>	-0,23	-0,35	-0,39	-0,38	-0,49	-0,49	-0,41	-0,40	-0,35
<i>Umidade Relativa do ar</i>	-0,23	-0,10	-0,10	-0,12	-0,01	0,03	-0,02	0,00	-0,01
<i>Velocidade do vento</i>	-0,31	-0,25	-0,35	-0,41	-0,14	-0,14	-0,05	-0,08	-0,05
<i>Enxofre reduzido total</i>	0,52	0,47	0,48	0,43	0,32	0,28	0,24	0,21	0,17
<i>Pressão atmosférica</i>	0,53	0,48	0,38	0,44	0,35	0,26	0,30	0,25	0,12
<i>Radiação Ultra Violeta</i>	-0,36	-0,45	-0,47	-0,44	-0,54	-0,53	-0,44	-0,43	-0,37
<i>Temperatura do Ar</i>	0,09	-0,13	-0,15	-0,18	-0,28	-0,37	-0,39	-0,33	-0,23

Fonte: Autores.

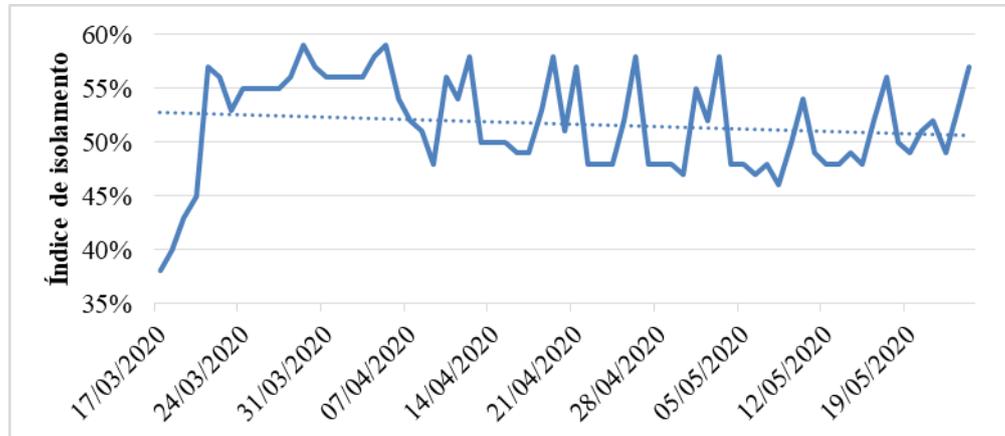
A correlação é feita com o intuito de descobrir qual o parâmetro possui maior relação com os casos confirmados e óbitos por COVID-19 no período de estudo, que é de 17 de março de 2020 ao dia 24 de maio do mesmo ano. Pode-se observar, a partir das Tabelas 2 e 3, que o material particulado grosso e fino e enxofre reduzido total tem as maiores correlações positivas com os óbitos e casos confirmados quando se considera todos os lapsos de retardo, mas especialmente com 20 dias. Todos os outros poluentes (com exceção do Ozônio) apresentam as mais altas correlações positivas com defasagem de 10 dias. Isto indica uma associação significativa entre ambientes poluídos e contágio da doença ou óbito após 10 ou 20 dias.

O rápido aumento no número de casos da COVID-19 levou o município de São Paulo a restringir ainda mais as regras para aumentar os índices de isolamento social, o que levou a uma diminuição nos níveis de poluentes.

Contudo, o isolamento social apresenta uma tendência significativa (ao nível de 95%) decrescente no período analisado (Figura 1) e a concentração do monóxido de carbono, por exemplo, apresenta uma tendência significativa (ao nível de 95%) crescente no mesmo período (Figura 2). Especificamente, pode-se notar, a partir da Figura 2, que concentração de monóxido de carbono começa a aumentar significativamente a partir do dia 30/04. A correlação entre a taxa de isolamento social e a concentração de monóxido de carbono é de -0,3, indicando esta significativa relação inversa entre estes parâmetros. O aumento na concentração deste e de outros poluentes indica maior tráfego de pessoas, e menor isolamento social (de acordo com a tendência observada), aumentando o potencial de contágio, que só se refletirá após 5 dias na média.

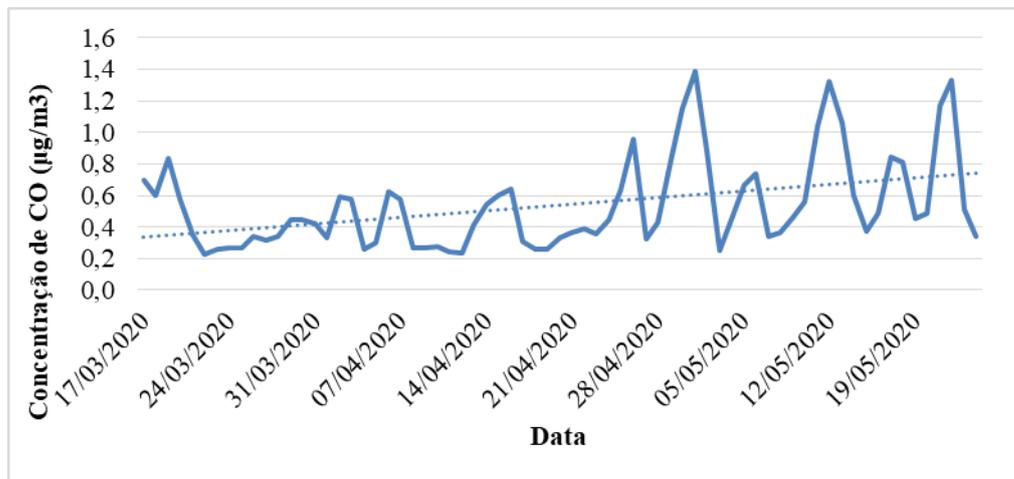
Deve-se ressaltar que os parâmetros meteorológicos e de qualidade do ar não proveem uma explicação completa para a transmissão do vírus, a qual envolve também fatores comportamentais, que são de alta complexidade e difícil previsão. Contudo, este estudo indica que existe uma relação significativa entre saúde humana e qualidade do ar, que precisa ser considerada.

Figura 1 - Adesão ao isolamento social no município de São Paulo e linha de tendência no período de análise deste estudo.



Fonte: Autores.

Figura 2 - Concentração de monóxido de carbono e linha de tendência durante o período analisado.



Fonte: Autores.

Em termos de parâmetros meteorológicos pode-se notar, a partir das Tabelas 2 e 3, que, dentre todos os parâmetros analisados, as radiações solar e ultravioleta são os que apresentam maior correlação negativa com os óbitos e casos confirmados quando não se considera nenhum lapso de tempo e com lapso de avançado de 5 dias da COVID-19 em relação a estes parâmetros.

Por outro lado, a umidade relativa do ar é a variável que apresenta a menor correlação com a COVID-19 (óbitos e casos confirmados). Em seguida aparecem a temperatura, cujas correlações negativas são significativas quando se considera lapsos avançados no tempo, e a velocidade do vento, cujas correlações negativas são significativas para lapsos defasados. Conforme mencionado anteriormente, baixas temperaturas e baixa velocidade média do vento implicam em menor dispersão de poluentes e, portanto, deterioração da qualidade do ar.

A análise de regressão múltipla *stepwise* foi feita sem considerar nenhum lapso de tempo. Para realizar esta análise foi gerada uma matriz de correlação, com o intuito de verificar a presença de multicolinearidade, quando se tem uma forte correlação entre uma das variáveis independentes e as restantes. Após ter sido feita a matriz, verificou-se as variáveis que apresentavam valores maiores que 0,89, e o monóxido de nitrogênio apresentava correlação de 0,99 com os óxidos de nitrogênio, conforme é esperado. O monóxido de nitrogênio foi então removido, pois quando uma das variáveis explicativas (óxidos de nitrogênio) já se encontra no modelo de regressão, a inclusão de outra variável (monóxido de nitrogênio), não implicará em uma explicação adicional significativa para a variável dependente (óbitos e casos confirmados).

Logo após este procedimento, foi realizada a regressão múltipla pelo método de *stepwise*. É necessário verificar quais parâmetros possuem o valor-P superior a 0,05 a cada passo da regressão. Assim, logo após encontrar qual a variável que possui valor-P superior a 0,05, deve-se retirá-la da tabela de dados, para realizar o próximo passo da regressão sem esse parâmetro. O ciclo deve ser repetido quantas vezes forem necessárias, sempre retirando o parâmetro com o maior valor-P encontrado, até que restem apenas variáveis com o valor-P menor que 0,05.

Os parâmetros restantes na regressão por *stepwise*, com o valor-P menor que 0,05, são os preditores mais significativos. As variáveis que restaram no modelo foram: monóxido de carbono, ozônio, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, radiação ultravioleta e temperatura do ar. Estas variáveis explicam 75% da variabilidade nos casos e 76% nos óbitos por COVID-19. A Tabela 3 mostra o resultado da regressão para o número de óbitos. A regressão também foi realizada para o número de casos confirmados e as mesmas variáveis restaram no modelo.

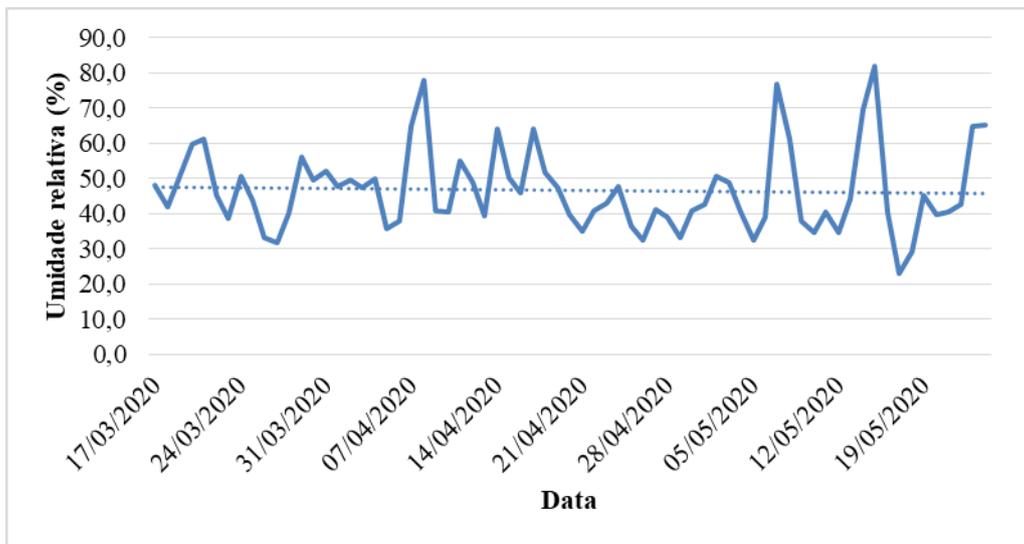
Tabela 3 - Resultado da regressão múltipla por *stepwise* para o número de óbitos por COVID-19.

	<i>Coefficientes</i>	<i>Valor-P</i>
Interseção	-82757,3	0,00144
Ozônio	-18,0	0,0038
Monóxido de Carbono	1198,1	0,00025
Umidade Relativa do ar	-65,5	1,97E-07
Pressão atmosférica	100,2	0,00032
Radiação Ultravioleta	-90,3	3,18E-06
Temperatura do Ar	-103,0	0,0061

Fonte: Autores.

O comportamento desses parâmetros no decorrer dos dias analisados, juntamente com a linha de tendência, é apresentado nas Figuras 3 a 7. Com relação a umidade relativa (Figura 3), pode-se notar uma pequena tendência decrescente (-0,03% por dia, não significativa) no período analisado. A umidade possui uma relação inversa com o número de casos e óbitos, de acordo com os resultados do modelo de regressão. Embora a umidade tenha apresentado uma baixa correlação com os casos e óbitos (Tabelas 2 e 3), ela está presente na equação de regressão, provavelmente atuando com uma variável supressora. Variáveis supressoras não estão correlacionadas com a variável dependente, mas melhoram o desempenho preditivo, reforçando os efeitos de um ou mais preditores incluídos no modelo (Abbad & Torres, 2002).

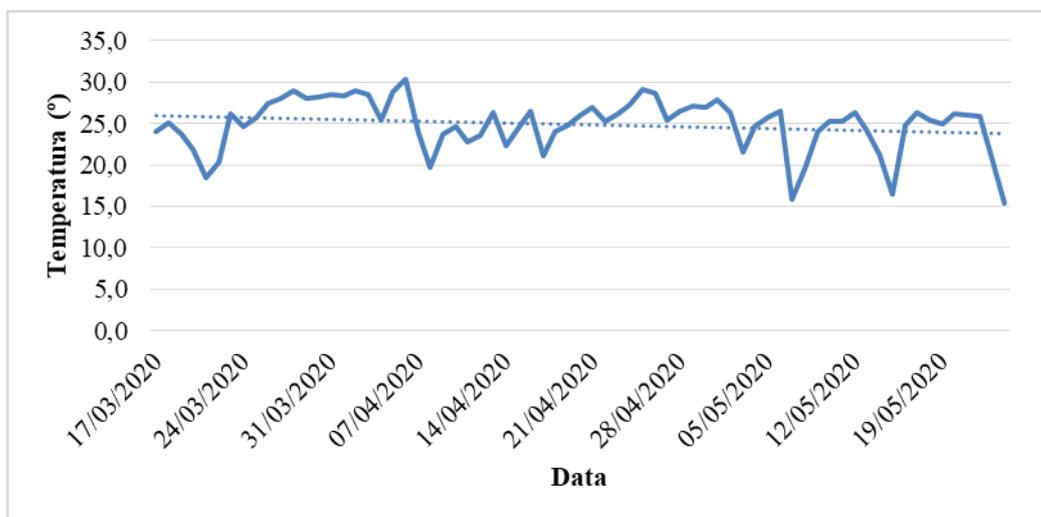
Figura 3 – Variação da umidade relativa do ar e linha de tendência durante o período analisado.



Fonte: Autores.

Com relação a temperatura, na Figura 4 pode-se observar uma tendência decrescente ($-0,03^{\circ}\text{C}$ por dia) não significativa durante o período de estudo. A temperatura, como no caso da umidade relativa do ar, possui uma relação inversa com o número de casos e óbitos no modelo de regressão. Isto também foi verificado no estudo de Wu *et al.* (2020) com 166 países (excluindo a China). Segundo os autores, um grau de aumento na temperatura foi associado com uma redução de 3.08% nos casos e de 1.19% nos óbitos, enquanto que um aumento de 1% na umidade relativa foi associado com uma redução de 0.85% nos casos e 0.51% nos óbitos.

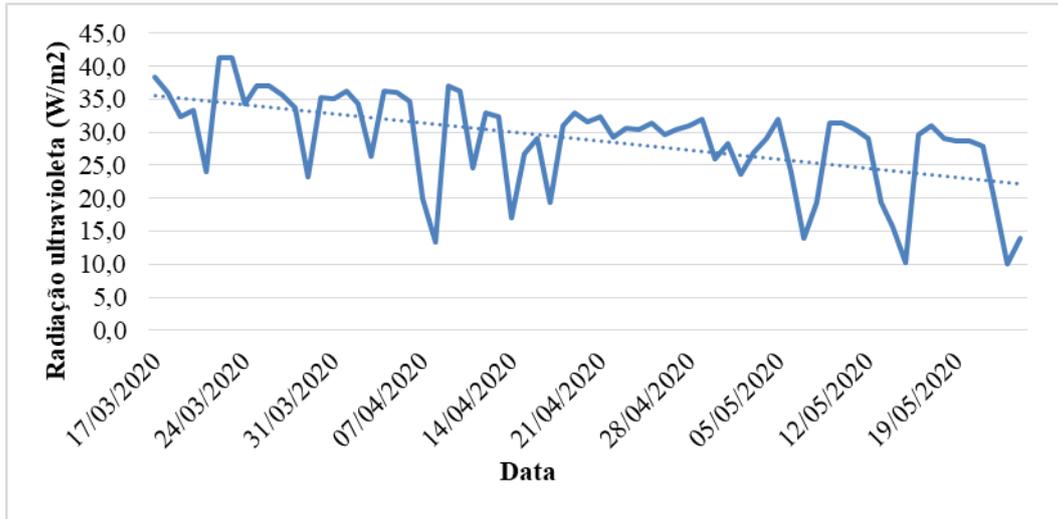
Figura 4 – Variação da temperatura e linha de tendência durante o período analisado.



Fonte: Autores.

A tendência decrescente da temperatura se relaciona com uma significativa (ao nível de 95%) tendência decrescente da radiação ultravioleta ($-0,2 \text{ W/m}^2$ por dia) no período de análise (Figura 5). Esta variável também apresenta uma relação inversa no modelo de regressão.

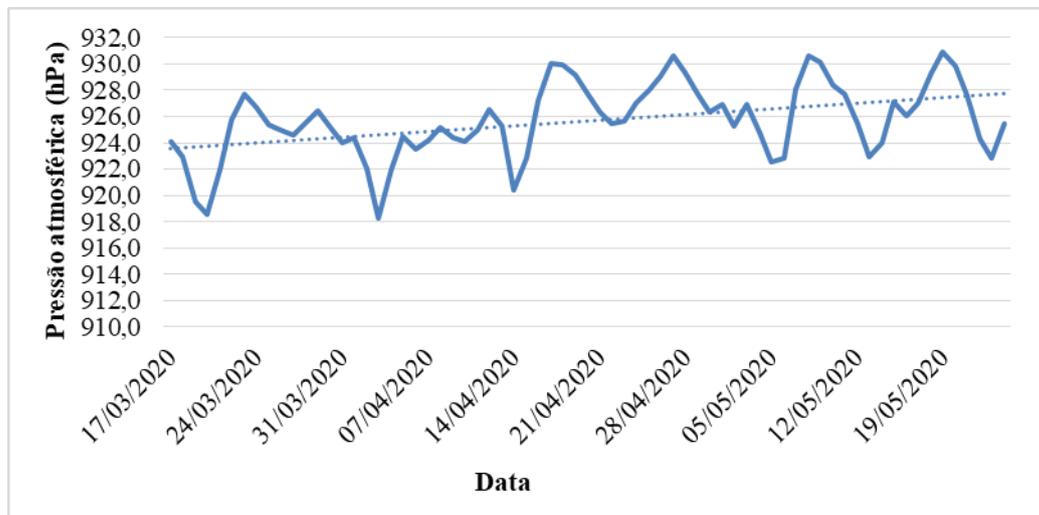
Figura 5 – Variação da radiação ultravioleta e linha de tendência durante o período analisado.



Fonte: Autores.

A pressão atmosférica apresenta uma significativa (ao nível de 95%) tendência crescente ($0,06 \text{ hPa}$ por dia) no período e apresenta uma relação direta com o número de casos e óbitos no modelo de regressão. Como mencionado anteriormente, quando a pressão aumenta a estabilidade atmosférica é maior e a dispersão de poluentes é prejudicada, piorando a qualidade do ar, e favorecendo o aumento no número de casos e óbitos.

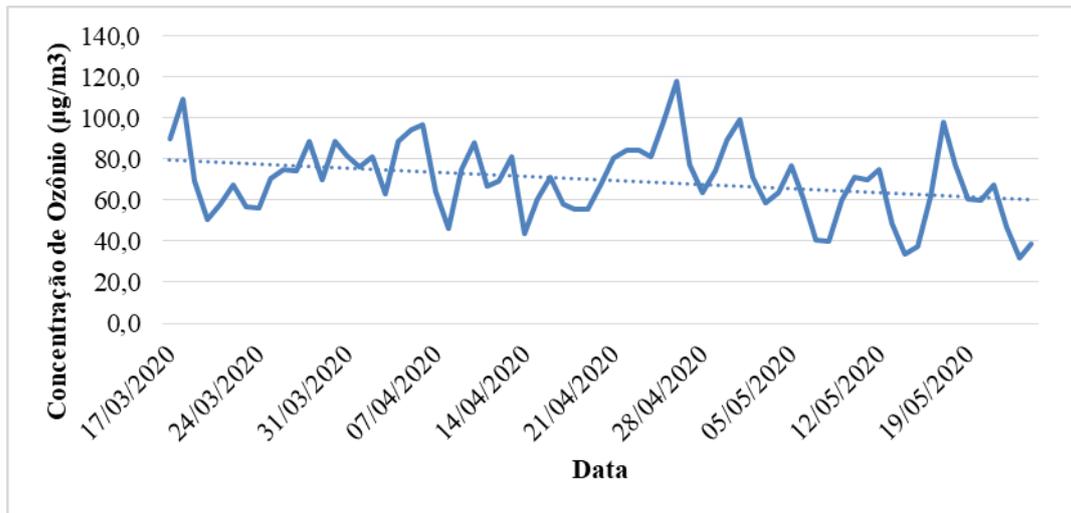
Figura 6 – Variação da pressão atmosférica e linha de tendência durante o período analisado.



Fonte: Autores.

Acompanhando a significativa tendência decrescente da radiação ultravioleta, o ozônio, que depende da radiação solar para ser formado, apresenta uma significativa (ao nível de 95%) tendência decrescente ($-0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por dia) e tem uma relação inversa com os casos e óbitos no modelo de regressão, conforme esperado.

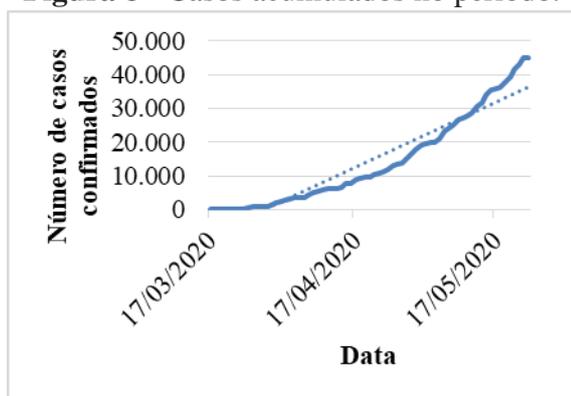
Figura 7 – Variação da concentração de ozônio e linha de tendência durante o período analisado.



Fonte: Autores.

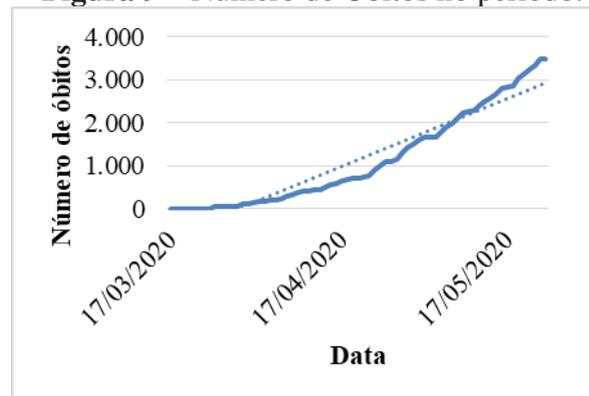
O número de casos confirmados e óbitos por COVID-19 no município de São Paulo, durante o período analisado é apresentado nas Figuras 8 e 9. Pode-se notar o aumento exponencial e a significativa tendência crescente nos dois casos.

Figura 8 - Casos acumulados no período.



Fonte: Autores.

Figura 9 – Número de Óbitos no período.

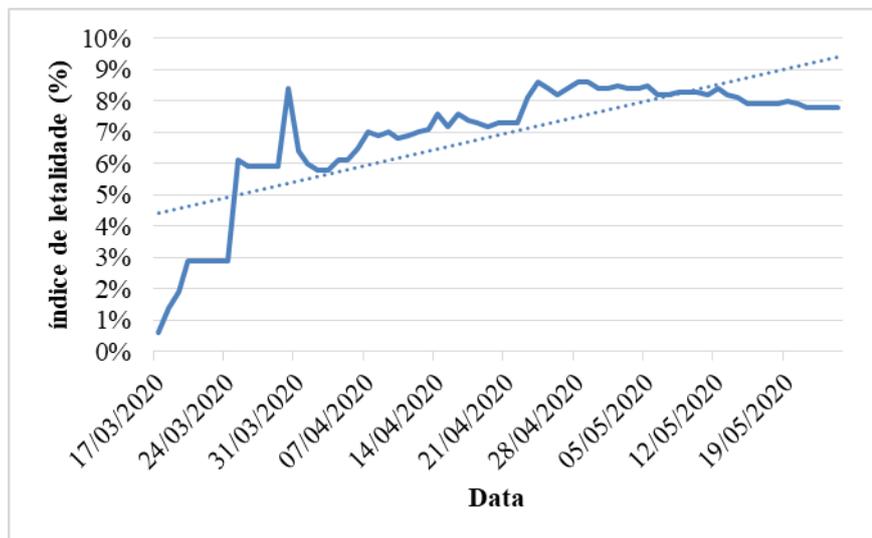


Fonte: Autores.

O índice de letalidade (número de mortes por casos confirmados) médio durante o período analisado é de 6,9%. Na Figura 10 pode-se notar que este índice subiu muito até o dia 30/03 (8,4%), quando então começou a diminuir até o dia 03/04. Após a data o índice passou

a aumentar novamente até atingir o maior valor (8,6%) no dia 24/04. Este valor se repetiu nos dias 28 e 29/04.

Figura 10 - Índice de letalidade em porcentagem e linha de tendência no período analisado para o município de São Paulo.



Fonte: Autores.

4. Considerações Finais

Doenças infectocontagiosas podem ter diversas origens, e uma delas são os vírus presentes exclusivamente em animais. Esses vírus podem sofrer mutação, tornando-se contagiosos também para seres humanos. Como no planeta terra existem milhões de espécies de animais, estamos suscetíveis a diversos vírus que podem sofrer mutações e passarem a ser patógenos para o homem. Esses novos vírus tendem a ter comportamentos desconhecidos, e a cura para essas doenças pode ser um problema de difícil resolução.

A saúde ambiental, os fatores meteorológicos e a saúde humana são elementos que funcionam em conjunto. Em um ambiente mais poluído, o número de casos de doenças respiratórias também é mais elevado. As doenças já existentes podem servir de aprendizado para as futuras. Para evitar um número maior de pessoas doentes, uma medida que pode ser adotada é a de restringir, através de leis ambientais, a quantidade de poluentes emitidos por dia em cada região, levando em consideração as características meteorológicas locais. Uma área com menor índice de chuvas e com uma menor velocidade média dos ventos deve ter um maior controle e leis mais rígidas, limitando a emissão diária de poluentes, pois os mesmos não se dispersam facilmente, o que potencialmente prejudica a saúde da população.

Além disso, uma legislação mais restritiva em relação a emissão de poluentes, pode melhorar a qualidade de vida no dia a dia da população, pois os gases emitidos criam ambiente propício ao avanço de doenças respiratórias, de origem viral ou não. Desta forma o meio ambiente e a população seriam beneficiados com um aumento na qualidade de vida.

Finalmente, é importante ressaltar a necessidade de cautela na interpretação dos dados, uma vez que a janela temporal utilizada nesta análise é reduzida e ainda não há um amplo entendimento sobre o comportamento da COVID-19 e todos os fatores que influenciam sua transmissão. Neste sentido, mais estudos são necessários para que conclusões mais sólidas sobre este tema possam ser apresentadas. Assim, recomendamos a realização deste estudo com uma série de dados mais longa e utilizando outros tipos de modelos estatísticos. É necessário também estudos posteriores que comprovem se de fato o aumento do contágio da COVID-19 e o maior número de óbitos está relacionado a exposição a poluição atmosférica.

Referências

Abbad, G., & Torres, C. V. (2002). *Regressão múltipla stepwise e hierárquica em Psicologia Organizacional: aplicações, problemas e soluções*. Estudos de Psicologia (Natal), 7(spe), 19-29. Acesso em 03 de julho de 2020: <https://doi.org/10.1590/S1413-294X2002000300004>

Amâncio, C. T., & Nascimento, L. F. C. (2012). Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. *Revista da Associação Médica Brasileira*. Acesso em 29 de abril de 2020: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-42302012000300009&script=sci_arttext.

Andrés, M. G. (2009). *Qualidade do ar e Estudo de Tendência de Internações por Doenças Respiratórias em Nova Iguaçu, RJ, Brasil, no Período de 2000 a 2005*. Acesso em 18 de abril de 2020: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/2497/1/ENSP_Disserta%C3%A7%C3%A3o_Andr%C3%A9s_Maristela_Groba.pdf

Backer J. A., Klinkenberg D., & Wallinga J. (2020). Incubation period of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) infections among travellers from Wuhan, China, 20–28 January 2020. *Euro Surveill.*, 25: 2000062.

Bakonyi, S. M. C., Danni-Oliveira, I. M., Martins, L. C., & Braga, A. L. F. (2004). Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Revista de Saúde Pública*, São Paulo. Acesso em 29 de abril de 2020:

https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-89102004000500012&script=sci_arttext.

Baud D., Qi X., Nielsen-Saines K., Musso D., Pomar L., & Favre G. (2020). Real estimates of mortality following COVID-19 infection, *The Lancet Infectious Diseases*.

BBC. BBC News Brasil. (2020). 'Vivemos isolamento dentro do isolamento': como pandemia é enfrentada na Antártida, único continente sem casos. Acesso em 03 de julho de 2020: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-52275625>

Braga, A. L. F., & Saldiva, P. H. N. (2001). Poluição e saúde. *Jornal Brasileiro de Pneumologia: II congresso de pneumologia e fisiologia do centro-oeste. I jornada de fisioterapia respiratória do centro-oeste*. Cuiabá, 10-16. Acesso em 24 de abril de 2020:

https://books.google.com.br/books?id=n_hymOviAsgC&pg=PA511&dq=so2+soluvel+em+agua+a+30+%C2%B0c&hl=ptBR&sa=X&ved=0ahUKEwjDmo3ZpovpAhXXK7kGHV8MCToQ6AEIKDAA#v=onepage&q=so2%20soluvel%20em%20agua%20a%2030%20%C2%B0c&f=false

CETESB. (2020). *QUALAR- sistema de informações de qualidade do ar*. Acesso em 03 de abril de 2020: <https://qualar.cetesb.sp.gov.br/qualar/home.do>

Coccia M. (2020). *Diffusion of COVID-19 outbreaks: the interaction between air pollution-to-human and human-to-human transmission dynamics in hinterland regions with cold weather and low average wind speed*. CocciaLab n. 48/2020, CNR. Acesso em 13 de maio de 2020: <https://ssrn.com/abstract=3567841>

Conticini, E., Frediani, B., & Caro, D. (2020). Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy? *Poluição Ambiental*. Siena, Itália. Acesso em 04 de maio de 2020:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749120320601#bib14>.

Coronavírus (COVID-19). *Ministério da Saúde*. S.D. (2020). Acesso em 22 de abril de 2020:
<https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca#o-que-e-covid>

COVID-19. *Brasil.IO*. (2020). Acesso em 04 de abril de 2020:
https://brasil.io/dataset/covid19/caso_full/?state=SP&city=S%C3%A3o+Paulo&page=3

Damilano, D. C. R., & Jorge, M. P. P. M. (2006). *Estudo da influência da poluição atmosférica e das condições meteorológicas na saúde em São José dos Campos*. Relatório final de projeto de iniciação científica (PIBIC/CNPQ/INPE). Acesso em 19 de abril de 2020:
<http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m15@80/2006/08.09.19.29/doc/Daniela%20Cristina%20Damilano.pdf>

Dolin R. (2007). *Common viral respiratory infections and severe acute respiratory syndrome (SARS)*. In: Fauci, A. S. *et al.* 17 ed. Philadelphia: MacGraw-Hill, 2007.

Dutheil, F., Baker, J. S., & Navel, V. (2020). COVID-19 as a factor influencing air pollution? *Environmental pollution* (Barking, Essex: 1987), 263(Pt A), 114466.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114466>

Freitas, E. D., Andrade, M. F., Ibarra-Espinosa, S. A., Calderón, M. E., & Gavidia. (2020). *Redução nas concentrações de poluentes durante o surto de COVID-19 na Cidade de São Paulo*. Dossiê Covid-19, São Paulo. Acesso em 03 de maio de 2020:
http://pesquisa.ufabc.edu.br/macroamb/wp-content/uploads/2020/05/Di%C3%A1logos-Socioambientais_COVID-19-5.pdf

Freitas, E. D., Ibarra-Espinosa, S. A., Gavidia-Calderón, M. E., Rehbein, A., Abou Rafee, S. A., Martins, J. A., Martins, L. D., Santos, U. P., Ning, M. F., Andrade, M. F., & Trindade, R. I. F. (2020). Mobility Restrictions and Air Quality under COVID-19 Pandemic in São Paulo, Brazil. *Preprints*. Acesso em 09 de maio de 2020:
<https://www.preprints.org/manuscript/202004.0515/v1>.

Gouveia, N., Freitas, C. U. De, Martins, L. C., & Marcilio, I. O. (2006). Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. *Caderno da Saúde Pública*, Rio de Janeiro. Acesso em 29 de maio de

2020: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102311X2006001200016&script=sci_arttext&tlng=pt.

Governo do Estado de São Paulo. *SP contra o novo coronavírus*. (2020). Acesso em 03 de julho de 2020: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/coronavirus/isolamento/>

Martins, L. C., Latorre, M. R. D. O., Cardoso, M. R. A., Gonçalves, F. L. T., Saldiva, P. H. N., & Braga, A. L. F. (2001). Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. *Revista de Saúde Pública*, São Paulo. Acesso em 29 de abril de 2020: <https://www.scielo.org/article/rsp/2002.v36n1/88-94/pt/>.

Moura, A. M., Foelkel, C. E. B., & Frizzo, S. M. B. (2002). Caracterização de compostos reduzidos de enxofre gerados na produção de celulose kraft e pré-hidrólise kraft. *Ciência Florestal*, Santa Maria. Acesso em 15 de junho de 2020: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1700/975>.

Roseiro, M. N. V. (2003). *Poluentes Atmosféricos: Algumas Consequências Respiratórias na Saúde Humana*. Acesso em 17 de abril de 2020: <http://unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistafafibeonline/sumario/10/19042010082434.pdf>

Schäffer, A. L., Martins, D. E. M., Castro, F. O., Kaszubowski, E., & Battisti, I. D. E. (2016?). *Modelos de regressão linear múltipla aplicados a indicadores de ambiente e saúde nas microrregiões do Rio Grande do Sul*. 2016?. 15 f. TCC (Graduação) - Viii Simpósio Iberoamericano, Universidade Federal da Fronteira do Sul, Cerro Largo, Cap. 1. Acesso em 29 de abril de 2020: <https://www.uffs.edu.br/campi/cerro-largo/repositorio-ccl/anais-viii-simposio-iberoamericano-de-cooperacao-para-o-desenvolvimento-e-a-integracao-regional/modelos-de-regressao-linear-multipla-aplicados-a-indicadores-de-ambiente-e-saude-nas-microrregioes-do-rio-grande-do-sul>.

Setti, L., Passarini, F., Gennaro, G., Gilio, A. Di, Palmisani, J., Buono, P., Fornari, G., Perrone, M. G., Piazzalunga, A., Barbieri, P., Rizzo, E., & Miani, A. (2020). Relazione circa l'effetto dell'inquinamento da particolato atmosferico e la diffusione di virus nella popolazione. Italia: *Società Italiana di Medicina Ambientale*. Acesso em 07 de maio de 2020:

http://www.simaonlus.it/wpsima/wp-content/uploads/2020/03/COVID19_Position-Paper_Relazione-circa-1%E2%80%99effetto-dell%E2%80%99inquinamento-da-particolato-atmosferico-e-la-diffusione-di-virus-nella-popolazione.pdf.

Wu, Y., Jing, W., Liu, J., Ma, Q., Yuan, J., Wang, Y., Du, M., & Liu M. (2020). Effects of temperature and humidity on the daily new cases and new deaths of COVID-19 in 166 countries. *Science of The Total Environment*, 729, 2020.

Zhu, Y., Xie, J., Huang, F. & Cao L. (2020). Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. *Science of The Total Environment*, v. 727, 2020.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Amanda Coura Gonzaga – 60%

Ana Carolina Vasques Freitas – 40%