

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO MESQUITA FILHO”
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCÊNCIAS - INTERUNIDADES**

VITOR PEREIRA DA SILVA

**A QUALIDADE DO AR DURANTE O ISOLAMENTO SOCIAL DEVIDO
A COVID-19: UMA ANÁLISE PARA AS CIDADES DE BAURU, JAÚ E
MARÍLIA-SP**

BAURU

2023

VITOR PEREIRA DA SILVA

**A QUALIDADE DO AR DURANTE O ISOLAMENTO SOCIAL DEVIDO
A COVID-19: UMA ANÁLISE PARA AS CIDADES DE BAURU, JAÚ E
MARÍLIA-SP**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru, para a obtenção do título de Mestre em Biociências (Área de Conhecimento: Caracterização e Aplicação da Diversidade Biológica).

Orientadora: Profa. Dra. Marta Pereira Llopart

BAURU

2023

S586q Silva, Vitor Pereira da
A qualidade do ar durante o isolamento social devido a COVID-19:
uma análise para as cidades de Bauru, Jaú e Marília-SP / Vitor Pereira
da Silva. -- Bauru, 2023
97 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências, Bauru
Orientadora: Dra. Marta Pereira Llopart

1. Poluição atmosférica. 2. Controle da qualidade do ar. 3.
COVID-19. 4. Pandemia. 5. Isolamento social. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE VITOR PEREIRA DA SILVA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCIÊNCIAS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 20 dias do mês de abril do ano de 2023, às 16:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de VITOR PEREIRA DA SILVA, intitulada **A QUALIDADE DO AR DURANTE O ISOLAMENTO SOCIAL DEVIDO A COVID-19: UMA ANÁLISE PARA AS CIDADES DE BAURU, JAÚ E MARÍLIA-SP**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. MARTA PEREIRA LLOPART (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Faculdade de Ciências - Unesp/ Câmpus de Bauru, Profa. Dra. JANAÍNA ANTONINO PINTO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Infraestrutura e Ambiente / Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo - Unicamp, Profa. Dra. MARIA DE SOUZA CUSTODIO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Física e Meteorologia / Faculdade de Ciências - Unesp/ Câmpus de Bauru. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: **APROVADO**. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Documento assinado digitalmente
 MARTA PEREIRA LLOPART
Data: 04/05/2023 14:36:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, por me ajudar a superar todos os obstáculos durante o curso, me proporcionando sabedoria e persistência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biociências da UNESP de Assis e Bauru por todas as oportunidades oferecidas.

À minha orientadora Profa. Dra. Marta Pereira Llopart, por ter me aceito como seu orientando, pela sua paciência e por seus valiosos ensinamentos.

Às professoras Dra. Janaína Antonino Pinto e Dra. Maria de Souza Custódio, pelas excelentes contribuições, críticas e sugestões durante o Exame de Qualificação.

A todo corpo docente e demais funcionários que contribuíram de alguma forma nesse processo.

Aos meus pais, amigos e familiares que me apoiaram durante o curso, me incentivando nos momentos mais difíceis, com muito amor e carinho, em especial, Jéfferson Luiz Balbino, que me acompanhou em vários momentos dessa jornada, sempre me auxiliando e orientando.

Muito obrigado a todos!

SILVA, Vitor Pereira da. **A qualidade do ar durante o isolamento social devido a COVID-19: uma análise para as cidades de Bauru, Jaú e Marília-SP.** 2023. 97 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Biociências) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru, 2023.

RESUMO

Durante a pandemia da COVID-19 foram adotadas medidas de prevenção para evitar a propagação do vírus SARS-CoV-2, entre elas as restrições de mobilidade que ocasionaram o isolamento social. Estudos apontaram, para algumas localidades, uma relativa melhora na qualidade do ar durante o isolamento social devido a menor quantidade de poluentes liberados pelas indústrias e pela diminuição da circulação de veículos nas ruas das cidades nesse período. Nesse estudo avaliou-se a qualidade do ar das cidades de Bauru, Jaú e Marília, localizadas no interior do Estado de São Paulo. Foram coletados dados das estações de monitoramento da qualidade do ar da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), instaladas nas referidas cidades, durante o período de maior isolamento social, de 24 de março a 24 de abril de 2020, e para o mesmo período dos anos de 2018, 2019, 2021 e 2022, a fim de avaliar se houve redução dos poluentes durante o isolamento social em comparação com os anos descritos acima. Foram obtidas as concentrações dos seguintes gases: material particulado (MP_{10}), dióxido de nitrogênio (NO_2) e ozônio (O_3). Foram analisadas ainda as variáveis meteorológicas vento e precipitação, pois ambos ajudam na dispersão dos poluentes. Observou-se reduções nas concentrações de material particulado e de dióxido de nitrogênio durante o ano de 2020, comparado ao mesmo período dos outros anos, influenciado pelo isolamento social. O poluente ozônio não apresentou redução para a maioria dos períodos em que foi comparado. Foi verificado através do teste de hipóteses t-student que alguns valores obtidos das diferenças entre as médias de cada ano dos poluentes em relação ao ano de 2020 foram significantes estatisticamente, outros não. Constatou-se que os índices de qualidade do ar mantiveram-se na classificação boa/moderada, e que, de acordo com a legislação estadual vigente, os padrões de qualidade do ar não foram ultrapassados nestas cidades durante o período analisado.

Palavras chaves: COVID-19; isolamento social; poluição atmosférica; qualidade do ar.

SILVA, Vitor Pereira da. **Air quality during social isolation due to COVID-19: an analysis for the cities of Bauru, Jaú and Marília-SP**. 2023. 97 f. Dissertation (Academic Masters in Biosciences) – São Paulo State University (UNESP), Faculty of Sciences, Bauru, 2023.

ABSTRACT

During the COVID-19 pandemic, preventive measures were adopted to prevent the spread of the SARS-CoV-2 virus, including mobility restrictions that led to social isolation. Studies have shown, for some locations, a relative improvement in air quality during social isolation due to the lower amount of pollutants released by industries and the decrease in vehicle circulation on city streets during this period. In this study, the air quality of the cities of Bauru, Jaú and Marília, located in the interior of the State of São Paulo, was evaluated. Data were collected from the air quality monitoring stations of the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB), installed in the referred cities, during the period of greater social isolation, from March 24 to April 24, 2020, and for the same period of the years 2018, 2019, 2021 and 2022, in order to assess whether there was a reduction in pollutants during social isolation compared to the years described above. Concentrations of the following gases were obtained: particulate matter (PM₁₀), nitrogen dioxide (NO₂) and ozone (O₃). The meteorological variables wind and precipitation were also analyzed, as both help in the dispersion of pollutants. There were reductions in the concentrations of particulate matter and nitrogen dioxide during the year 2020, compared to the same period in other years, influenced by social isolation. The pollutant ozone did not show a reduction for most of the periods in which it was compared. It was verified through the t-student hypothesis test that some values obtained from the differences between the means of each year of the pollutants in relation to the year 2020 were statistically significant, others were not. It was found that the air quality indices remained in the good/moderate classification, and that, in accordance with current state legislation, air quality standards were not exceeded in these cities during the analyzed period.

Keywords: atmospheric pollution; air quality; COVID-19; social isolation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	08
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 Gases constituintes da atmosfera terrestre.....	11
2.2 Poluição atmosférica.....	12
2.3 Caracterização dos poluentes do ar.....	14
2.3.1 Material particulado.....	14
2.3.2 Dióxido de nitrogênio.....	16
2.3.3 Ozônio.....	16
2.4 A qualidade do ar: padrões, índices e monitoramento.....	17
2.5 Impactos da poluição atmosférica.....	22
2.6 A pandemia da COVID-19 e a qualidade do ar.....	25
3 OBJETIVOS.....	30
3.1 Objetivo geral.....	30
3.2 Objetivos específicos.....	30
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
4.1 Cidades definidas para estudo.....	31
4.2 Análise da concentração dos poluentes na atmosfera.....	34
4.3 Índices e padrões de qualidade do ar.....	36
4.4 Análise das condições do vento e da precipitação.....	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
5.1 Análise das variáveis meteorológicas precipitação e vento.....	39
5.1.1 Análise da precipitação e da rosa dos ventos para cidade de Bauru.....	40
5.1.2 Análise da rosa dos ventos para cidade de Jaú.....	43
5.1.3 Análise da precipitação e da rosa dos ventos para cidade de Marília.....	46
5.2 Análise da concentração dos poluentes em conjunto com a meteorologia..	50
5.2.1 Análise do material particulado (MP ₁₀) para Bauru, Jaú e Marília.....	51
5.2.2 Análise do dióxido de nitrogênio (NO ₂) para Bauru, Jaú e Marília.....	57
5.2.3 Análise do ozônio (O ₃) para Bauru, Jaú e Marília.....	63
5.3 Análise dos índices e padrões de qualidade do ar.....	69
6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	71
7 REFERÊNCIAS.....	75
8 APÊNDICES.....	82

1 INTRODUÇÃO

Embora a poluição do ar na atmosfera e seus impactos seja um tema recente nas pautas jornalísticas, ela sempre existiu. Com o início da Revolução Industrial, em meados do século XVIII, houve um crescente consumo de combustíveis fósseis e queima de biomassa, algo que se agravou em todo mundo, adquirindo uma dimensão global (MACHADO, 2005).

Sabe-se que alguns incidentes decorrentes da poluição atmosférica repercutiram globalmente, como o episódio de *smog* do tipo industrial, ocorrido durante o inverno de 1952 (de 5 a 9 de dezembro), em Londres. Este episódio de intensa injeção de poluentes na atmosfera deu-se pela atividade industrial e combustão do carvão. As condições meteorológicas durante esse período não foram favoráveis a dispersão dos poluentes lançados na atmosfera, levando, com isso, doze mil pessoas à óbito (READ; PARTON, 2019).

Foi devido ao impacto do *smog* industrial ocorrido em Londres que os governantes, a população e os pesquisadores começaram a dar uma ênfase maior para a poluição atmosférica. A quantidade de poluentes e seus níveis mais críticos, ocorreram, principalmente, na época em que não havia uma legislação, consciência da população e interesse da comunidade científica pelo tema. Mesmo tendo sido uma catástrofe, o episódio serviu para que se iniciasse um movimento de redução na emissão dos poluentes atmosféricos, principalmente dos mais nocivos à saúde da população (BELL; DAVIS; FLETCHER, 2004).

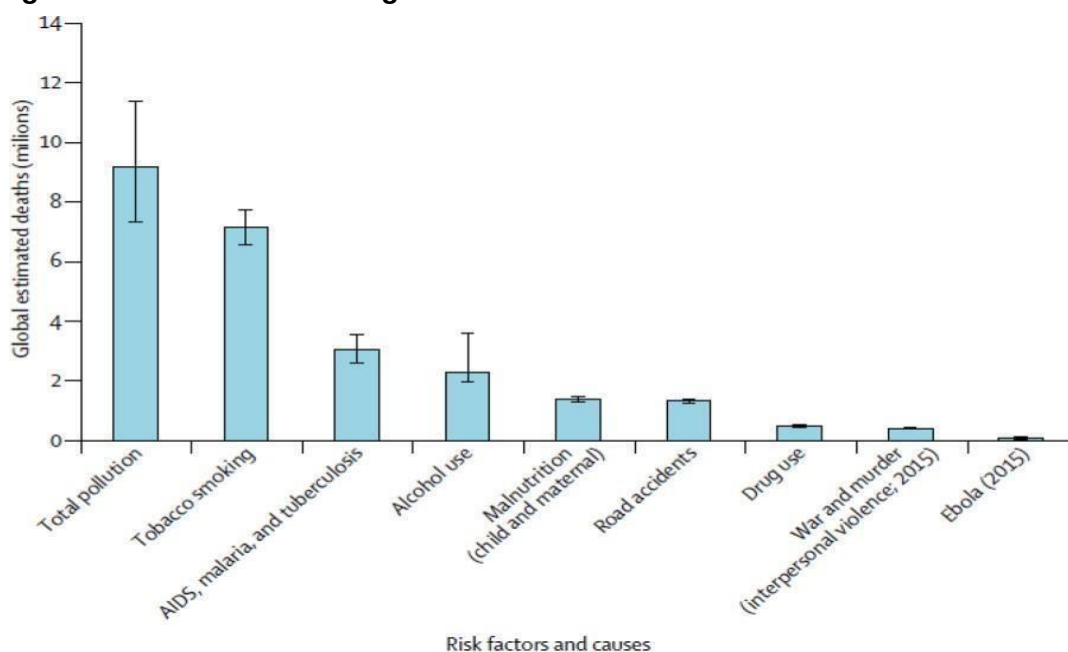
Outro caso emblemático de poluição do ar foi registrado no Brasil, no município de Cubatão (SP), no início da década de 1980. O complexo industrial da cidade ficou mundialmente conhecido como *Vale da Morte* – inclusive, a Organização das Nações Unidas (ONU) o apontou como município mais poluído do mundo – devido à quantidade excessiva de poluentes lançados constantemente no ar da cidade, que resultou no desaparecimento de inúmeras espécies de animais e plantas, além de ter ocasionado graves problemas respiratórios na população local, inclusive, com o nascimento de crianças mortas (NARDOCCI, 2013).

A concentração elevada dos poluentes atmosféricos impactam na biodiversidade, e tem impacto altíssimo na população em geral, principalmente nas que vivem em grandes cidades ou perto de parques industriais (CETESB, 2021).

Nossa sociedade ainda é muito dependente de combustíveis fósseis, porém, as políticas públicas estão buscando por alternativas como energias limpas e renováveis. Dentro desse contexto, estudos sobre a emissão de gases nocivos na atmosfera durante o maior período de isolamento social, devido a pandemia da COVID-19, apontam que houve melhora da qualidade do ar em algumas localidades, reflexo da desaceleração de atividades industriais e da menor circulação de veículos em todo planeta (VENTER et al., 2020).

Na Figura1 são mostradas as principais causas de óbitos no planeta, sendo a poluição atmosférica a primeira causa, o que é assustador, pois nossa sociedade ainda não tem consciência do quão grande é este problema.

Figura 1- Mortes estimadas globalmente em 2015 e fatores de riscos e causas



Fonte: Landrigan et al., 2018, Fig. 5, p.473.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), 7 milhões de pessoas morrem prematuramente de doenças causadas por poluição do ar ambiente em todo o mundo, pelo fato de estar associada a várias doenças, e ser mais prejudicial em crianças, idosos e pessoas com comorbidades respiratórias (OMS, 2020).

Em decorrência do isolamento social, foram identificados em vários países como, por exemplo, China, Itália e Inglaterra, uma drástica redução na concentração de determinados poluentes no ar, como o monóxido de carbono (CO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂), quando feitas comparações entre um determinado período da pandemia e o que antecede a mesma (CHEN et al., 2020). Algo semelhante ocorreu na cidade de São Paulo (SP), onde há relatos de pessoas que durante o surto, depois de muitos anos, conseguiram ver o céu estrelado como nunca tinham visto. Outras consequências imediatas da

diminuição da circulação humana, durante a pandemia da COVID-19, foi a redução da poluição do ar em grandes centros, a desova em massa de tartarugas em praias vazias, o aumento da passagem de animais silvestres em centros urbanos, dentre outros (PEREIRA, 2020).

Com isso, esse estudo tem como objetivo analisar a qualidade do ar em três cidades do interior do Estado de São Paulo (Bauru, Jaú e Marília), durante o início da pandemia da COVID-19, onde as pessoas ficaram mais confinadas em casa para evitar a disseminação do vírus.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gases constituintes da atmosfera terrestre

A Atmosfera é a camada de ar que envolve a Terra. A palavra é de origem grega (*atmos* = vapor, *sphaera* = invólucro), assim, pode significar invólucro de vapor/gases. Com isso a atmosfera é o conjunto de gases, vapor d'água e partículas (aerossóis) que constituem o chamado “ar” que envolve a superfície da Terra devido a ação da força da gravidade. Ela é composta por uma mistura de gases invisíveis permanentes e variáveis, bem como de partículas microscópicas (líquidas e sólidas) em suspensão (IAG, 2020).

A atmosfera terrestre é formada basicamente por 78% de nitrogênio (N_2), 21% de oxigênio (O_2) e aproximadamente 1% de argônio (Ar). Os gases variáveis apresentam percentuais típicos menores em relação aos gases permanentes na atmosfera: vapor d'água (H_2O) com 0 a 4%, dióxido de carbono (CO_2) com 0,038%, metano (CH_4) com 0,00017% e ozônio (O_3) com 0,000004%. Existem outros gases que compõe a atmosfera, os quais são variáveis e apresentam baixa concentração em relação aos gases permanentes, como, por exemplo, o

monóxido de carbono, os óxidos de nitrogênio, dentre outros (LISBOA, 2008).

Em relação as partículas presentes na atmosfera podemos citar o material particulado, que também apresenta baixa concentração. A importância de um gás ou aerossol atmosférico não está relacionado a sua abundância relativa. O gás carbônico (CO_2), o vapor d'água, o ozônio (O_3) e os aerossóis, por exemplo, ocorrem em pequenas concentrações, mas são importantes para os fenômenos meteorológicos ou para a vida dos seres vivos (LISBOA, 2008).

A Tabela 1 apresenta alguns dos gases constituintes da atmosfera, e corrobora que os mais nocivos e/ou mais importantes para a meteorologia apresentam menores concentrações que os permanentes (nitrogênio, oxigênio e argônio):

Tabela 1 – Alguns gases que constituem a atmosfera em porcentagem (%)

GÁS	PORCENTAGEM
NITROGÊNIO	78,08
OXIGÊNIO	20,95
ARGÔNIO	0,934
DIÓXIDO DE CARBONO	0,036
NEÔNIO	0,0018
HÉLIO	0,00052
METANO	0,00014
CRÍPTÔNIO	0,00010
ÓXIDO NITROSO	0,00005
MONÓXIDO DE CARBONO	0,000012
XENÔNIO	0,000009
AMÔNIA	0,00000001

Fonte: Manahan, 2000c.

2.2 Poluição atmosférica

A poluição é definida como o ato ou efeito de poluir, sujar, corromper, sendo prejudicial à saúde. A poluição do ar ocorre quando os gases ou partículas emitidos pela ação humana ou não (vulcões), atingem concentrações suficientemente altas que causam danos diretos ou indiretos para as plantas,

animais, ecossistemas, estruturas e obras de arte (JACOBSON, 2002).

O termo poluente é definido como toda forma de matéria ou energia capaz de tornar o ar impróprio e/ou nocivo à saúde, isto é, que pode causar danos aos seres vivos e aos materiais, e que não atende às concentrações definidas como máximas toleráveis pelos seres vivos (JACOBSON, 2002).

O ar limpo é considerado um requisito básico para o bem-estar e saúde humana, entretanto, a poluição atmosférica continua a ser uma ameaça significativa para a saúde mundial (OMS, 2020).

O grupo de poluentes consagrados universalmente como os indicadores mais abrangentes da qualidade do ar são: monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂) e material particulado. Gases como o dióxido de enxofre, o monóxido de carbono e os óxidos de nitrogênio são considerados poluentes primários, pois são lançados diretamente na atmosfera pelas fontes de emissão. Alguns deles, como os óxidos de nitrogênio (NO_x), sofrem reações fotoquímicas com outros poluentes primários e originam poluentes secundários como, por exemplo, o ozônio troposférico (O₃), um oxidante altamente fitotóxico que pode causar sérios danos às plantas (CETESB, 2021).

No que tange o nível de poluição atmosférica considera-se a medição pela quantidade de substâncias poluentes presentes no ar. A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera irão definir o nível de qualidade do ar que, por sua vez, determina o surgimento de efeitos adversos da poluição sobre os receptores – os seres vivos e os materiais (CETESB, 2021).

Considera-se também, que a qualidade do ar muda em função das condições meteorológicas, que determinam uma maior ou menor diluição/dispersão dos poluentes. A precipitação baixa e os ventos fracos ($<0,5$ m/s) são exemplos de alguns parâmetros que contribuem para elevar os índices de poluição (STULL, 1988). A inversão térmica também contribui para que os índices de poluição se elevem. Este fenômeno ocorre comumente no inverno em determinadas regiões, quando as noites são frias e a temperatura tende a se elevar rapidamente durante o dia, causando alteração no resfriamento natural do ar. A inversão térmica se caracteriza por uma camada de ar quente que se forma sobre as cidades, “aprisionando” o ar e impedindo que os poluentes se dispersem (CETESB, 2021).

Uma dentre as várias motivações para se estudar a concentração dos poluentes na atmosfera é o seu efeito na saúde pública. Calcular o impacto da poluição do ar à saúde urbana é uma importante etapa no gerenciamento da qualidade do ar (CETESB, 2021).

2.3 Caracterização dos poluentes

Como mencionado acima existem vários poluentes atmosféricos. Aqui será dada uma breve descrição dos poluentes que são foco desse trabalho:

2.3.1 Material particulado

O material particulado é um conjunto de poluentes formados por partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar. A composição e o tamanho das partículas podem variar. Algumas partículas são consideradas grandes (também chamadas de grossas), com diâmetro entre $2,5$ e $100\text{ }\mu\text{m}$ e outras derivadas da combustão

de fontes móveis e estacionárias, como automóveis, incineradores e termoeletricas, em geral, são de menor tamanho, apresentando diâmetro menor que 2,5 μm . Essas partículas menores têm maior acidez, podendo atingir as porções mais inferiores do trato respiratório, prejudicando as trocas gasosas. Entre seus principais componentes estão o chumbo, carbono, bromo, vanádio, e óxidos de nitrogênio e enxofre, que na forma de aerossóis são a maior fração das partículas finas (BRAGA et al., 2001).

O material particulado pode ser classificado em Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (MP_{10}), Partículas Inaláveis Finas ($\text{MP}_{2,5}$) e Fumaça (CETESB, 2021).

As partículas totais em suspensão (PTS) são aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 50 μm . Muitas dessas partículas são inaláveis e podem ocasionar problemas à saúde das pessoas, ou então, prejudicar a qualidade de vida da população. Podem ainda interferir nas condições estéticas do ambiente e atrapalhar as atividades normais da comunidade (CETESB, 2021).

As partículas inaláveis chamadas de MP_{10} possuem diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 μm e dependendo da distribuição de tamanho na faixa de 0 a 10 μm , podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório ou penetrar mais profundamente e alcançar os alvéolos pulmonares (CETESB, 2021).

As partículas inaláveis finas $\text{MP}_{2,5}$ são aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 2,5 μm e por causa do seu tamanho minúsculo conseguem penetrar facilmente de maneira profunda no sistema respiratório (CETESB, 2021).

A fumaça está associada ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de queima de combustíveis fósseis, materiais asfálticos ou madeira. Contém fuligem (partículas líquidas) e no caso de madeira e carvão, uma fração mineral (cinzas). São partículas principalmente sólidas e de diâmetro muito pequeno (CETESB, 2021).

2.3.2 Dióxido de Nitrogênio

As interações que ocorrem entre o nitrogênio e o oxigênio na atmosfera formam o dióxido de nitrogênio (NO_2). Este gás é formado principalmente durante os processos de combustão (GODISH; DAVIS; FU, 2015).

O dióxido de nitrogênio é um dos principais compostos que formam o ozônio troposférico, e pode gerar chuvas ácidas, ocasionando alteração da composição química das águas e dos solos, corroendo diversos tipos de estruturas, como monumentos, e trazendo grande impacto nas cadeias alimentares, já que destroem também florestas e lavouras (CETESB, 2021).

2.3.3 Ozônio

Os oxidantes fotoquímicos são poluentes secundários originados de reações químicas que ocorrem entre os óxidos de nitrogênio e os compostos orgânicos voláteis, liberados pela fumaça de veículos. Essa reação ocorre na presença de luz solar, por isso o termo “fotoquímico”. O principal produto dessa reação é o ozônio, que é inclusive usado como parâmetro indicador da presença de oxidantes fotoquímicos na atmosfera. Tais poluentes formam a chamada névoa fotoquímica, que tem esse nome por causar na atmosfera

diminuição da visibilidade (CETESB, 2021).

O ozônio pode causar danos à vegetação e é encontrado na faixa de ar que fica próxima do solo, onde respiramos, e nessa região ele acaba se tornando tóxico para os seres vivos, entretanto, na estratosfera ele tem a importante função de proteger a Terra, como um filtro, dos raios ultravioletas emitidos pelo Sol (CETESB, 2021).

2.4 A qualidade do ar: padrões, índices e monitoramento

A qualidade do ar no estado de São Paulo é medida pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), criada em 1968 com o intuito de preservar e recuperar a qualidade do ar e, conseqüentemente, das águas e do solo (CETESB, 2021).

Inicialmente a CETESB foi denominada Centro Tecnológico de Saneamento Básico, que incorporava a Superintendência de Saneamento Ambiental – SUSAM e a Comissão Intermunicipal de Controle da Poluição das Águas e do Ar – CICPAA, no entanto, em 2009, passou a ser chamada oficialmente de Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (nova CETESB) e ganhou novas atribuições, totalizando 46 agências no Estado, responsáveis pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, através de estações de monitoramento. Atualmente possui 62 estações de monitoramento espalhadas pela cidade de São Paulo, na região metropolitana e no interior do estado, além de 27 estações manuais (CETESB, 2021).

Os padrões de qualidade do ar são valores adotados pelos países que levam em consideração, além dos riscos à saúde causados pelos poluentes, as circunstâncias locais como economia e outros fatores sociais e políticos,

pois dependem do nível de desenvolvimento e da capacidade nacional do país de gerenciar a qualidade do ar (OMS, 2020).

Os padrões de qualidade do ar no estado de São Paulo foram determinados no ano de 1976 pelo decreto nº 8468/76 e os padrões nacionais foram estabelecidos pelo IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente) e aprovados pelo CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), através da resolução nº 03/90, que foi revogada e substituída pela Resolução CONAMA nº 491/2018. Além disso, o CONAMA deu origem ao Programa de Monitoramento de Qualidade do Ar (PRONAR) por meio da Resolução nº 05 de 15 de junho de 1989 com o intuito de criar padrões de medição e de cuidado com o ar (IBAMA, 2021).

Em 2008, foi iniciado no Estado de São Paulo um processo de revisão dos padrões de qualidade do ar, baseando-se nas diretrizes estabelecidas pela OMS em 2005. Este processo resultou na publicação do Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/2013, estabelecendo novos padrões de qualidade do ar por intermédio de um conjunto de metas gradativas e progressivas para que a poluição atmosférica seja reduzida a níveis desejáveis ao longo do tempo (CETESB, 2021).

O Decreto acima citado diz que a administração da qualidade do ar no Estado de São Paulo será feita através de padrões de qualidade do ar que devem seguir alguns critérios chamados de metas intermediárias (MI) e padrões finais (PF). As metas são valores temporários a serem cumpridos em três etapas, com o objetivo de melhorar gradativamente a qualidade do ar, através da redução das emissões de fontes móveis e fixas, e os padrões finais são determinados pelo conhecimento científico mais adequado para preservar

ao máximo a saúde da população dos malefícios causados pela poluição do ar (CETESB, 2021).

A legislação do Estado de São Paulo também determina critérios para episódios críticos de poluição do ar, onde podem ser declarados os estados de Atenção, Alerta e Emergência, além dos níveis de concentração excedidos, porém, para que isso ocorra é necessário também prever as condições meteorológicas para verificar se elas estão desfavoráveis à dispersão dos poluentes (CETESB, 2020). A tabela 2 mostra a concentração em que deve estar cada poluente para que sejam declarados os estados de atenção, alerta e emergência, segundo a CETESB:

Tabela 2 - Critérios para episódios agudos de poluição do ar

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
partículas inaláveis finas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	125	210	250
partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	800	1.600	2.100
dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	1.130	2.260	3.000
monóxido de carbono (ppm) - 8h	15	30	40
ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 8h	200	400	600

Fonte: CETESB, 2020.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo divulga diariamente os dados meteorológicos e de qualidade do ar das estações de monitoramento no seu endereço eletrônico e disponibiliza ainda, diariamente, a classificação da qualidade do ar. Essa classificação é baseada no cálculo de um índice de qualidade do ar para cada poluente medido, uma ferramenta matemática desenvolvida para facilitar a divulgação dos dados para a sociedade e prevenir

os riscos à saúde. Ele é um indicador que traduz o estado da qualidade do ar no ambiente em determinado território (CETESB, 2020).

A tabela 3 apresenta o índice da qualidade do ar de acordo com a concentração dos principais poluentes medidos pela CETESB:

Tabela 3 - Estrutura do índice de qualidade do ar e concentração dos poluentes

Qualidade	Índice	MP ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	MP _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 8h	CO (ppm) 8h	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1h	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h
N1 - Boa	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20
N2 - Moderada	41 - 80	>50 - 100	>25 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40
N3- Ruim	81 - 120	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365
N4- Muito Ruim	121 - 200	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13 - 15	>320 - 1130	>365 - 800
N5- Pésima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Fonte: CETESB, 2020.

O monitoramento da qualidade do ar de uma determinada região é importante para identificar os poluentes, quantificá-los e apontar quais os efeitos prováveis da poluição nos seres vivos e nos materiais, além de garantir o desenvolvimento socioeconômico, sustentável e ambientalmente seguro como prevenção, combate e redução das emissões dos poluentes, que muitas vezes, devido a direção predominante do vento, impactam outra localidade e não necessariamente onde foram emitidos (VIEIRA, 2009).

Uma rede de monitoramento da qualidade do ar pode conter uma ou mais estações, monitorando um ou mais poluentes e incluir ou não a monitoração simultânea dos parâmetros meteorológicos. Sua implantação tem muitos

objetivos, tais como: validar modelos matemáticos de dispersão numa região ou área específica; atender às exigências de órgãos licenciadores de atividades poluidoras para verificar se os padrões estabelecidos pela legislação estão sendo seguidos; avaliar o impacto de uma ou mais fontes na qualidade do ar, principalmente antes, durante e depois da implantação de grandes empreendimentos; obter dados a serem aplicados em estudos para zoneamento, trânsito, efeitos na saúde humana, flora e fauna, programas de controle de poluição do ar e em pesquisas de áreas remotas, aquelas que podem representar o nível de poluição do ar de origem natural, pois não estiveram sujeitas à ocupação de atividades humanas (FRONDIZI, 2008).

Outros objetivos que são específicos do monitoramento são determinar as concentrações mais altas na região em estudo; determinar as concentrações nas regiões com maior população ou densidade demográfica; determinar as concentrações resultantes em receptores críticos ou de grande sensibilidade; determinar o impacto de uma grande fonte emissora ou grupo de fontes em um mesmo local, dentre outros (FRONDIZI, 2008).

O monitoramento da qualidade do ar é de competência do Poder Público de todos os níveis e sua realização deve respeitar rigorosamente os métodos e boas práticas em todas as etapas de coleta, análise e interpretação, de forma a garantir dados e informações confiáveis, já que seu principal objetivo é proteger a saúde pública, de modo que os locais escolhidos devem ser aqueles onde a população está exposta, porém, a monitoração da qualidade do ar se torna cada vez mais uma obrigação para os grandes empreendimentos ou para indústrias com alto potencial poluidor por força de exigência do órgão

licenciador. Isto ocorre constantemente devido à incapacidade física, demora burocrática ou carência de recursos das instituições públicas que deveriam realizar este trabalho (FRONDIZI, 2008).

2.5 Impactos da poluição atmosférica

A poluição atmosférica, além de ser um desafio ambiental, é também uma ameaça para a saúde do ser humano e de todos os seres vivos, já tendo contribuído para milhões de mortes prematuras em todo mundo e prejudicado toda a biodiversidade do nosso planeta (BBC, 2017).

Em lugares onde o índice de poluição é alto e as condições meteorológicas são desfavoráveis para a dispersão dos poluentes, as infecções respiratórias no ser humano podem se agravar. O material particulado e gases como o ozônio, monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio podem enfraquecer a imunidade do organismo e acarretar sintomas mais intensos nas infecções respiratórias (BRAGA et. al., 2001).

Um estudo realizado na cidade de São Paulo apontou a relação de material particulado inalável ao aumento de 1,5% nas internações de idosos por doença isquêmica do coração e 4,3% por doença pulmonar obstrutiva crônica, além de alta de 4,6% nas internações de crianças por asma (GOUVEIA et al., 2006).

As doenças respiratórias, cardiovasculares e neoplasias são as principais causas de morte relacionadas à poluição do ar nos centros urbanos (BARBOSA, 2015). Alguns estudos têm apontado evidências da relação dos efeitos da exposição aos poluentes com o surgimento de câncer pulmonar, devido à ação direta das substâncias cancerígenas presentes no ar poluído no

organismo e à inflamação crônica que esses poluentes causam. Um estudo prospectivo realizado nos Estados Unidos em 2019 com 14,5 mil adultos mostrou um aumento de 14% na incidência de câncer pulmonar ligado à elevação de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração do poluente material particulado fino (OMS, 2020).

Alguns estudos atuais também apontam a relação de anos de exposição crônica à alguns poluentes e inalação de gases tóxicos ao surgimento de doenças neurológicas e neurodegenerativas como o Alzheimer, Parkinson e outras, todavia, necessitam de mais estudos para estabelecer o tempo de exposição, a quantidade de poluentes e os fatores de predisposição (SANTOS et al., 2019).

O relatório da qualidade do ar de 2019 traz os possíveis efeitos da poluição do ar na saúde da população de acordo com o índice da qualidade do ar. Quando a qualidade do ar é apontada como “moderada”, pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço, mas a população, em geral, não é afetada. Já na classificação “ruim” toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta, e pessoas de grupos sensíveis podem apresentar efeitos mais sérios na saúde (CETESB, 2020). A tabela 4 apresenta os índices de qualidade do ar e seus efeitos na saúde:

Tabela 4- Índice de qualidade do ar e seus efeitos na saúde

Qualidade	Significado
Bom	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Moderada	
Ruim	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Muito Ruim	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CETESB, 2020.

A degradação de diversos materiais, expostos ao ar poluído, também é um problema de grande importância para a humanidade e tem sido levada em consideração em estudos de avaliação de impactos ambientais (BERTTOLO, 1986).

A corrosão atmosférica é controlada pela deposição dos poluentes sobre um material exposto. O processo de deposição é determinado pela concentração do poluente e a velocidade de deposição. Os dois parâmetros são influenciados pelas condições atmosféricas, tais como: direção e velocidade dos ventos, temperatura, umidade relativa, radiação solar e altura da camada de inversão (BERTTOLO, 1986).

A elevação do grau de poluentes no ar é um fator que também está atrelado a ocorrência da chuva ácida, que causa danos aos materiais e as plantas (CALLEGARO et. al., 2015).

2.6 A pandemia da COVID-19 e a qualidade do ar

O termo COVID-19 é o nome oficial dado para a doença causada pelo vírus SARS-CoV-2 (Síndrome Respiratória Aguda Grave do Coronavírus 2) que faz parte da família CORONAVÍRUS, compostas por diversos vírus que acometem humanos e outros que afetam somente animais. Os integrantes dessa família de vírus foram nomeados com o termo “corona” pelo fato de seu formato lembrar uma coroa (OMS, 2020).

O SARS-CoV-2, popularmente chamado de “novo coronavírus”, surgiu na China no final de 2019, e em março de 2020, a Organização Mundial da Saúde considerou o surto da doença uma pandemia, que causou mortes em quase todos os continentes do globo. O vírus tem um alto índice de contágio e sua transmissão ocorre, principalmente, através do contato com gotículas respiratórias, causando sintomas semelhantes à de uma gripe comum na maioria dos infectados, entretanto, pode acarretar infecções pulmonares muito graves em algumas pessoas (OMS, 2020).

A pandemia do novo coronavírus ocasionou, nos primeiros meses de 2020, um período de isolamento social, com diminuição das atividades industriais e do fluxo de veículos (SAN MARTIN, 2020). Nesse período, principalmente devido a redução do consumo de carvão e petróleo, foram emitidas um milhão de toneladas a menos de CO₂ por dia no mundo e foi possível notar uma melhora na qualidade do ar em regiões metropolitanas (IEA, 2020).

O principal objetivo do isolamento social foi o de reduzir o número de pessoas infectadas pelo coronavírus, porém, esta medida levou a uma diminuição da poluição atmosférica em muitos países (IEA, 2020).

Na China foram realizados estudos no começo da pandemia que mostraram uma significativa redução de cerca de 20% a 30% no material particulado encontrado na superfície de grande parte do país. O estudo também apontou que parte da redução da concentração de dióxido de nitrogênio na troposfera foi devido ao impacto do isolamento social, com redução de 40% nas cidades chinesas. As principais cidades da Índia, assim como algumas cidades da França e Espanha, também demonstram uma redução significativa nas concentrações médias de dióxido de nitrogênio, com uma diminuição em torno de 40 a 50% do poluente, em comparação com o mesmo período em 2019 (EESA, 2020).

No território italiano conhecido como Vale do Pó, a quarentena também possibilitou uma redução no índice de poluição do ar diminuindo a quantidade de dióxido de nitrogênio, material particulado, dentre outros poluentes, melhorando a qualidade do ar e reduzindo os problemas respiratórios atrelados à poluição atmosférica (COCCIA, 2020).

Um estudo realizado em diversas cidades da Itália, constatou 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 em uma média de dias anual, além de temperatura média, velocidade do vento e índice pluviométrico menores. Com isso, o autor conclui que, para minimizar futuras epidemias semelhantes à COVID-19, seja estipulado nas cidades um limite máximo de cinquenta dias por ano para exceder o limite máximo de material particulado grosso ou ozônio, considerando as condições meteorológicas (COCCIA, 2020).

No Brasil, a cidade do Rio de Janeiro também apresentou reduções significativas nos níveis de monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio durante o isolamento social. Em Fortaleza, um levantamento feito por cientistas da Universidade Estadual do Ceará (UECE), indicou diminuição de 50% nos níveis de gás ozônio, e as cidades de Brasília e Belo Horizonte apresentaram melhoras nos níveis de dióxido de nitrogênio e material particulado evidenciadas por imagens de satélites (GALILEU, 2020).

Na cidade de São Paulo, o nível de poluentes foi reduzido significativamente com o início da quarentena, onde o trânsito de veículos alcançou valores inferiores a 40% do normal e essa queda teve reflexão imediata nas medições feitas pelas estações de monitoramento da CETESB, que apontaram uma redução nos poluentes atmosféricos (IEA, 2020). De acordo com dados da CETESB, todas as 29 estações de monitoramento da cidade de São Paulo registraram qualidade do ar “boa” para os poluentes primários entre o período de 20 a 30 de março de 2020 (CETESB, 2021).

Um estudo analisou como a política de restrições de mobilidade e as condições atmosféricas impactaram a qualidade do ar no Estado de São Paulo e observou reduções significativas na concentração de poluentes de regiões mais impactadas por emissões veiculares. Houve diminuição de poluentes primários como o monóxido de carbono (CO) e os óxidos de nitrogênio (NO_x), no entanto, gases como o ozônio (O₃) tiveram sua concentração aumentada na maioria das regiões. O estudo ainda afirma que a dinâmica da atmosfera em suas várias escalas de tempo é a principal força motriz da variabilidade da concentração de poluentes e que, portanto, sempre deve ser considerada para o período em estudo (FREITAS et al., 2020).

Um outro estudo realizado na cidade de Londrina-PR, obteve 81 amostras de material particulado fino em dois locais próximos, um ambiente externo e outro semifechado, localizados no centro da cidade, no período de 2 a 25 de abril de 2020. Este período foi dividido em duas etapas, uma onde houve restrições de mobilidade rígidas (02 a 11 de abril) e outra onde ocorreu o relaxamento do cumprimento das restrições (12 a 24 de abril). Constatou-se que o material particulado fino teve aumento médio de 32% no ambiente externo e de 40% no ambiente semifechado, durante o relaxamento das restrições em relação ao período em que as restrições foram mais rígidas e a mobilidade reduzida. Neste estudo, porém, as variáveis meteorológicas não foram avaliadas (MANTOVANI et al., 2022).

Uma pesquisa realizada em todo nordeste brasileiro através de imagens MODIS Terra/Aqua AOD e Sentinel 5P-TROPOMI identificou mudanças na poluição atmosférica, respectivamente, durante o primeiro semestre de 2020 em relação ao mesmo período de 2019, para o dióxido de nitrogênio (NO_2). Constatou-se que o dióxido de nitrogênio teve queda de 4,49% no segundo bimestre de 2020, período de rápido crescimento da pandemia e início do isolamento social, em quase todo território do nordeste do país. Já o terceiro bimestre, marcado pela diminuição das restrições da pandemia, apresentou aumento de 2,26 % em sua concentração. O estudo optou por áreas consideradas fontes potenciais de emissão de poluentes e outras que sofrem impactos negativos com a poluição do ar. As regiões escolhidas no nordeste, compreendem áreas industriais, urbanas e ainda o entorno de reservatórios de água (AZEVEDO et al., 2021).

Já um outro estudo realizado em cinco cidades da região Sudeste do país revelou uma piora na qualidade do ar com aumento da poluição atmosférica para todas as cidades analisadas. Foram realizadas medições para o dióxido de nitrogênio e material particulado concomitante com dados meteorológicos para as cidade de Piracicaba, Limeira, Americana, Paulínia e Campinas. O estudo chegou a conclusão que o aumento da poluição durante a pandemia, indo na contra-mão de outros estudos, foi devido ao considerável aumento de incêndios nas cidades estudadas. O tempo seco e a baixa quantidade de chuva teriam contribuído para tal resultado, porém, os pesquisadores afirmam que são necessários mais estudos para uma avaliação completa (BAINY et al., 2021).

Todavia, mesmo com a redução da poluição causada pelo isolamento social, a situação continua preocupante, pois existe uma grande probabilidade de que ocorra um aumento das emissões de poluentes por parte das indústrias com o propósito de recuperar a economia que foi prejudicada. Portanto, com a crescente preocupação sobre os efeitos da poluição do ar na saúde da população e de toda biodiversidade, torna-se necessário avaliar de maneira constante as condições da emissão dos poluentes, a fim de prevenir um aumento no índice de poluição que prejudicaria a saúde de todos os seres vivos (IEA, 2020).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo investigar os efeitos do isolamento social em março/abril de 2020 nas concentrações dos poluentes atmosféricos material particulado (MP₁₀), dióxido de nitrogênio (NO₂) e ozônio (O₃) nas cidades de Bauru, Jaú e Marília, a fim de inferir se durante esse período da pandemia causada pela disseminação do vírus COVID-19, as concentrações ficaram aquém ou além daquelas medidas nas estações de monitoramento da qualidade do ar em anos anteriores e posteriores.

3.2 Objetivos específicos

- Compilar os dados medidos nas estações de monitoramento da qualidade do ar disponíveis no site da CETESB, localizadas nas cidades de Bauru, Jaú e Marília, no Centro-Oeste do Estado de São Paulo, para o período de março a abril de 2020;
- Comparar as medições realizadas entre março e abril do ano de 2020 com a de 2 anos antes (2018 e 2019) e 2 anos depois (2021 e 2022) para o mesmo período, a fim de verificar se houve alteração nas concentrações dos poluentes durante a época do isolamento;
- Relacionar os resultados encontrados nos itens anteriores com as variáveis meteorológicas vento e precipitação, pois ambas ajudam na dispersão dos poluentes;
- Avaliar se houve redução dos poluentes no período a partir dos resultados encontrados e se tal redução foi ou não significativa estatisticamente.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Cidades definidas para estudo

No presente estudo foram escolhidas para as análises as cidades de Bauru, Jaú e Marília, localizadas na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo.

O município de Bauru teve sua população computada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2020 em 379 927 habitantes, apresentando uma densidade populacional de 563,2 habitantes por km² (IBGE, 2020).

O ar respirado em Bauru já apresentou níveis prejudiciais à saúde em anos anteriores. Segundo dados da CETESB em junho de 2011, por exemplo, o índice de partículas inaláveis suspensas na atmosfera (que podem se alojar nas vias aéreas e pulmões) foi superior a vários pontos da cidade de São Paulo. Na maioria do tempo, porém, o ar na cidade de Bauru se encontra em estágio regular, segundo pesquisas da CETESB (JCNET, 2011).

A estação automática da CETESB iniciou suas operações em 09 de maio de 2008 e situa-se na Rua Castro Alves, quadra 4, Vila Souto, instalada no 12º Grupamento de Bombeiros, uma região que fica próxima ao centro e possui um intenso tráfego de veículos (CETESB, 2021).

O município de Jaú se estende por 687,1 km² e apresenta uma densidade demográfica de 218,7 habitantes por km². Pertence a mesorregião de Bauru e tem população estimada em 151.881 habitantes. O município possui um relevante polo de desenvolvimento industrial e agrícola, e se destaca pela quantidade de fábricas de sapatos femininos, sendo conhecida como a capital

do calçado feminino, atividades essas que acarretam uma atmosfera com mais poluentes nocivos à saúde dos seres vivos (IBGE, 2020).

A cidade de Jaú possui desde 25 de setembro de 2008 uma estação automática de avaliação da qualidade do ar implantada pela CETESB, que divulga os dados constantemente. A estação está localizada na Rua Sete de Setembro, Vila Nova Jaú, instalada na sede do 27º Batalhão da Polícia Militar do Interior e monitora as concentrações de poluentes do ar (CETESB, 2021).

O município de Marília se estende por 1 170,5 km², conta com 240 590 habitantes e densidade demográfica de 205,5 habitantes por km² (IBGE, 2020). A cidade é considerada pela CETESB como de vocação agropecuária, diferente de outras cidades classificadas na categoria industrial (IBGE, 2020).

A estação automática da CETESB começou a operar em Marília em 30 de abril de 2008 e está localizada na Rua Pascoal Moreira, instalada em uma Unidade Básica de Saúde do bairro Lorenzetti, uma região com intenso tráfego de veículos e pessoas (CETESB, 2021).

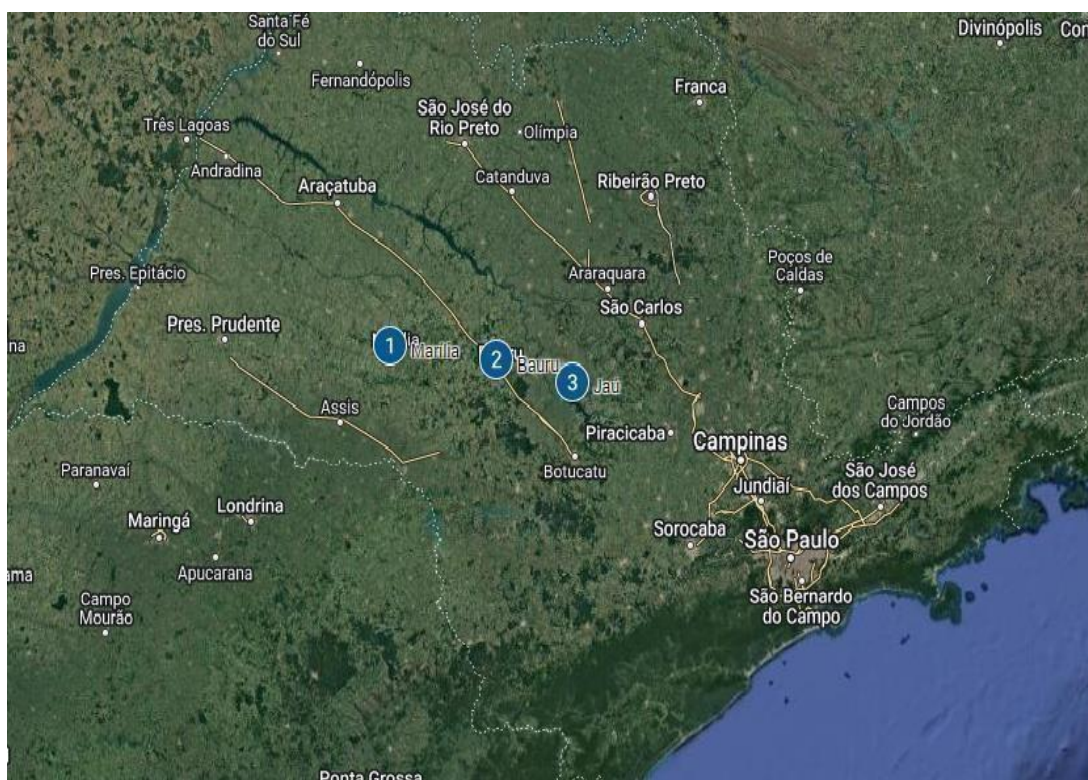
A cidade possui na maior parte do tempo uma boa qualidade do ar, segundo dados disponibilizados nos relatórios da CETESB, porém, uma pesquisa divulgada pela agência em 2018 mostrou que no ano de 2017 a cidade teve o maior número de dias com qualidade do ar moderada e ruim, em referência aos cinco anos anteriores. A cidade foi classificada na maioria dos dias do ano de 2017 com qualidade do ar boa, mas, em 3,6% dos 365 dias de 2017, a classificação relatada foi ruim, e em 9,4% moderada, em relação ao ozônio troposférico. No quesito micropartículas inaláveis, durante 5,2% dos dias de 2017 a qualidade foi considerada moderada e nos 94,8% restantes do

ano foi boa. Nos dois casos foram os piores resultados desde 2013. De acordo com a CETESB, as maiores ocorrências de concentrações elevadas de material particulado estiveram associadas, principalmente, aos eventos de estiagem observados nos meses de julho, agosto e setembro (CETESB, 2021).

Um problema que afeta os municípios de Bauru, Jaú e Marília, são as queimadas. Elas ocorrem com frequência em terrenos baldios das cidades, além da queima de cana-de-açúcar, que ocorre em vários municípios da região e atingem as cidades através do vento. A queima da cana de açúcar foi proibida no estado, mas essa atividade ainda é utilizada, em menor escala, quando comparada com o tempo em que não era ilegal (JCNET, 2011).

A figura 2 apresenta o mapa do Estado de São Paulo com a localização das referidas cidades em estudo:

Figura 2 - Mapa do Estado de São Paulo com a localização das cidades



Fonte: Google Maps.

4.2 Análise da concentração dos poluentes presentes na atmosfera

Os poluentes analisados foram: material particulado (MP_{10}), dióxido de nitrogênio (NO_2) e ozônio (O_3). Esses três poluentes foram escolhidos para as análises porque somente eles são medidos pela CETESB nas três estações das cidades desse estudo. Há poluentes que são medidos em Bauru, por exemplo, mas não em Jaú.

A concentração de cada poluente foi analisada durante os seguintes períodos: de 24 de março a 24 de abril do ano de 2020. Esse foi o período em que iniciou-se o isolamento social de forma bastante rígida, com a publicação do decreto nº 64.881 de 22/03/2020, no qual o Governo do Estado de São Paulo estabeleceu a quarentena a partir de 24/03/2020 como medida de prevenção e combate a pandemia em todos os municípios do estado, e como consequência, trouxe drástica redução na circulação de pessoas (e veículos) nas cidades. Também foram analisados dados dos anos de 2018/2019 (dois anos antes do início da pandemia) e 2021/2022 (dois anos após a pior fase das medidas restritivas). Essa análise permitiu verificar se a redução das atividades sociais no ano de 2020 surtiu efeito na concentração dos poluentes quando comparado aos outros anos.

Foram elaborados gráficos com os valores diários da concentração dos poluentes. O tempo de amostragem considerado (seguindo o decreto estadual nº 59.113 de 23/04/2013), foi de 24 horas para o MP_{10} , desse modo, o valor considerado para a análise foi a média diária. Já o tempo de amostragem do dióxido de nitrogênio foi de 1 hora, sendo considerado o maior valor em 1 hora

no período de 24 horas. Já no caso do ozônio utilizou-se a média móvel de 8 horas e, portanto, o valor considerado foi o maior valor atingido a cada 8 horas de cada dia. Após obter o valor diário, foram calculadas as médias dos 31 dias dos valores diários para cada poluente das três cidades. Esses dados foram apresentados em tabelas, juntamente, com os maiores valores diários de concentração e suas respectivas datas.

Para aprofundar a análise, foram calculadas as diferenças das médias de cada ano em relação ao ano de 2020 para cada poluente e aplicado o teste t student para verificar se tais diferenças foram significantes estatisticamente ou não. O teste de hipóteses t de student, ou simplesmente teste t, é utilizado para comparar duas médias com dados que apresentam um padrão entre as amostras estudadas. O teste foi desenvolvido para contribuir na tomada de decisões com base em pequenas amostras. O teste t considera inicialmente a hipótese nula (H_0), ou seja, de que não existe diferença significativa entre as médias comparadas, já a hipótese alternativa (H_1), indica que existe diferença significativa (estatisticamente) entre duas médias (SAMPAIO, 2002).

O valor t-crítico (um “ponto de corte” na distribuição de probabilidade) utilizado foi 2,039513. O teste trabalha com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) e intervalo de confiança (γ) de 95%. Caso o p-valor (a probabilidade de se observar um valor da estatística do teste maior ou igual ao encontrado) seja maior que o nível de significância de 5%, há indicação da distribuição normal e a hipótese nula é aceita, considera-se, então, que os dados são equivalentes, já se o p-valor for menor que o nível de significância, a hipótese alternativa é aceita, e os dados são estatisticamente diferentes (SAMPAIO, 2002).

4.3 Índices e padrões de qualidade do ar

A partir do Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013 foi possível analisar se o nível da poluição atmosférica está de acordo com os padrões máximos, limitados pela legislação para o período de estudo. Atualmente os valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados seguem a meta MI2 (destacada em vermelho). Essa meta entrou em vigor em 01/01/2022 de acordo com a Deliberação Consema nº 4 de 19/05/2021, publicada no DOE de 26/05/2021 (CETESB, 2021). Essas metas são apresentadas na tabela 5:

Tabela 5 – Padrões das concentrações máximas de cada poluente, segundo o Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2021

Poluente	Tempo de Amostragem	MI 1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI 2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI 3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
partículas inaláveis (MP_{10})	24 horas	120	100	75	50
	MAA ¹	40	35	30	20
partículas inaláveis finas ($\text{MP}_{2,5}$)	24 horas	60	50	37	25
	MAA ¹	20	17	15	10
dióxido de enxofre (SO_2)	24 horas	60	40	30	20
	MAA ¹	40	30	20	-
dióxido de nitrogênio (NO_2)	1 hora	260	240	220	200
	MAA ¹	60	50	45	40
ozônio (O_3)	8 horas	140	130	120	100
monóxido de carbono (CO)	8 horas	-	-	-	9 ppm
fumaça* (FMC)	24 horas	120	100	75	50
	MAA ¹	40	35	30	20
partículas totais em suspensão* (PTS)	24 horas	-	-	-	240
	MGA ²	-	-	-	80
chumbo** (Pb)	MAA ¹	-	-	-	0,5

Fonte: CETESB, 2021.

Os índices de qualidade do ar das referidas cidades também foram aferidos. Sabe-se que dependendo do índice obtido, o ar recebe uma classificação (tabela 4), representada por uma letra, um número e uma cor, que indicam os efeitos à saúde da população de acordo com a concentração de determinado poluente. A classificação N1 (cor verde) significa que a qualidade do ar está favorável naquele dia/período medido; a N2 (cor amarela) aponta que a qualidade do ar está moderada; a N3 (cor marrom) mostra que a qualidade do ar está ruim; a N4 (cor vermelha) diz que a qualidade do ar está muito ruim; e, por último, a N5 (cor violeta) aponta uma péssima qualidade do ar (CETESB, 2020).

4.4 Análise das condições do vento e da precipitação

Algumas variáveis atmosféricas, como o vento e a precipitação, tem grande impacto na concentração dos poluentes na atmosfera. A precipitação remove os poluentes da atmosfera, levando os contaminantes para o solo, já o vento ajuda na dispersão (diluição), isto é, transporte dos gases/partículas para outras localidades (CETESB, 2021).

As estações de monitoramento da qualidade do ar de Bauru, Jaú e Marília medem a direção e a velocidade do vento, o que permitiu analisar, através da rosa dos ventos, a porcentagem de calmarias, o quadrante em que a intensidade do vento foi máxima, a direção predominante e a média da velocidade durante o período de 24 de março a 24 de abril de cada ano. Para a análise foi utilizado o programa WRPLOT View Freeware 8.0.2 (weblakes.com). Para cada ano, poluente e cidade foi feita uma rosa dos ventos, a fim de verificar se os poluentes presentes na atmosfera no ano de 2020 diminuíram ou aumentaram devido ao transporte dos mesmos pelo vento.

Os dados da precipitação das cidades de Bauru e Marília são disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Em nenhuma das três cidades as estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB mede essa variável e o INMET não possui estação meteorológica na cidade de Jaú, portanto, as análises da remoção dos poluentes pela chuva (deposição úmida) restringiram-se apenas as cidades de Bauru e Marília.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentadas as análises das condições meteorológicas (precipitação e vento), das concentrações dos poluentes (material particulado, dióxido de nitrogênio e ozônio) em conjunto com a meteorologia, e dos índices e padrões de qualidade do ar. São apresentados os gráficos com os totais acumulados diários de precipitação, as rosas dos ventos de cada ano para as três cidades estudadas e os gráficos com as concentrações diárias dos poluentes. Para o poluente MP_{10} os valores de cada dia no gráfico correspondem a média diária (24 horas), para o NO_2 ao maior valor diário em 1 hora e para o ozônio ao maior valor da média móvel do dia calculada de 8 em 8 horas. Sequencialmente, são apresentadas as tabelas com os maiores valores das concentrações diárias de cada poluente e suas respectivas datas; os valores das médias do período estudado (média dos 31 dias mostrados nos gráficos); as diferenças entre os valores das médias de cada ano (2018, 2019, 2021 e 2022) comparado como ano de 2020 (época em que ocorreu o isolamento social mais restritivo devido à COVID-19); e ainda a significância estatística dessas diferenças. Todas as análises (poluentes e variáveis meteorológicas) referem-se ao período de 24 de março a 24 de abril de cada ano.

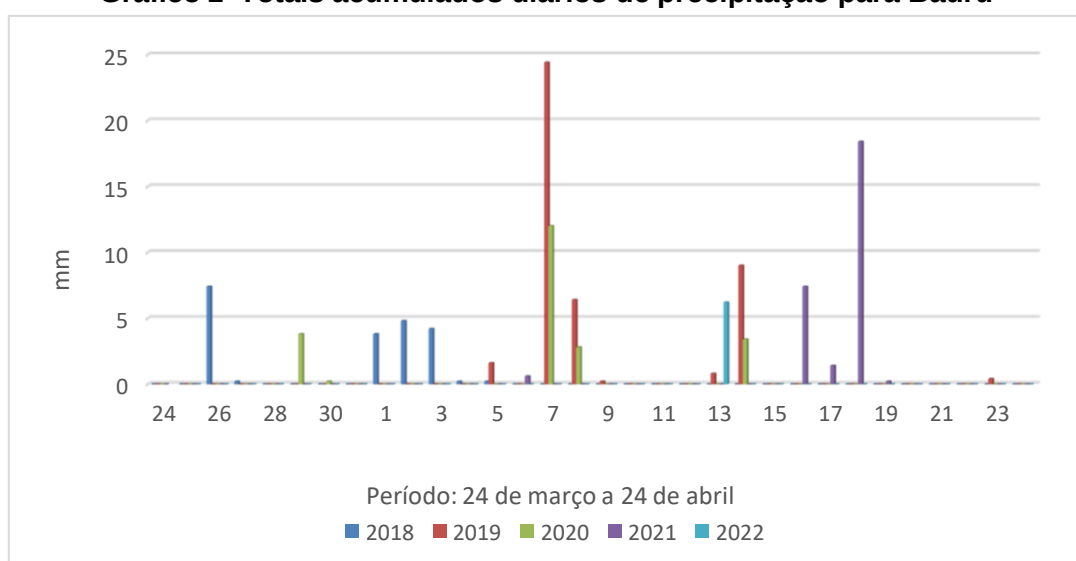
5.1 Análise das variáveis meteorológicas precipitação e vento

É apresentada uma análise da precipitação e do vento para o período em estudo. Não há estação meteorológica do INMET na cidade de Jaú, com isso, não foram obtidos dados da precipitação e somente a variável meteorológica vento foi analisada para essa cidade.

5.1.1 Análise da precipitação e da rosa dos ventos para cidade de Bauru

Os meses de março e abril, podem ser considerados, de forma geral, meses de transição entre a estação chuvosa e seca para esta região. O Gráfico 1 apresenta o total acumulado de precipitação para cada dia durante o período da análise. Percebe-se que o total acumulado, para cada dia não ultrapassa 25 mm, como pode-se observar no dia 7 de abril de 2019.

Gráfico 1- Totais acumulados diários de precipitação para Bauru

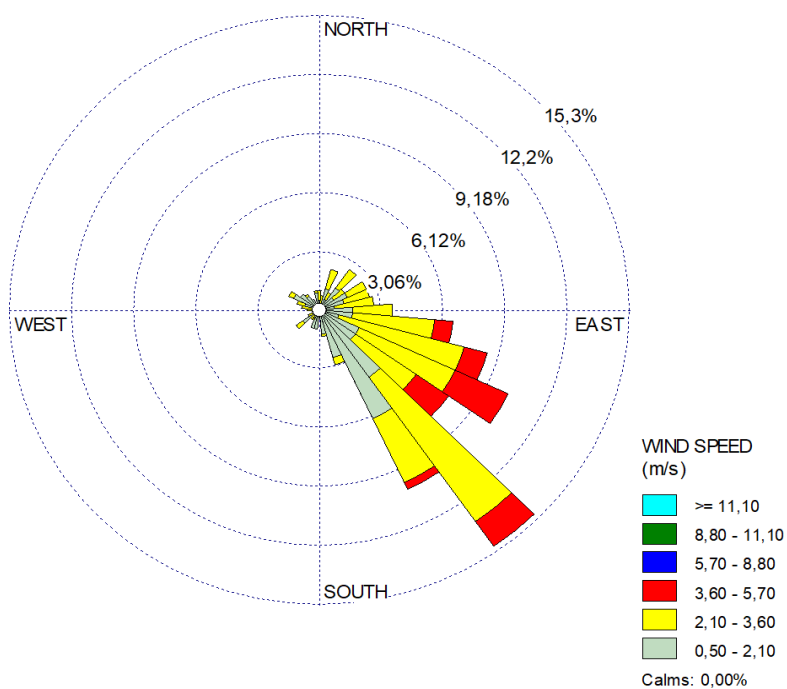


Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com a Tabela 6, onde apresenta-se uma síntese das variáveis meteorológicas, verifica-se que no total acumulado de precipitação para todo período e para cada ano, o ano de 2019 foi o mais chuvoso seguido por: 2021, 2020, 2018 e 2022.

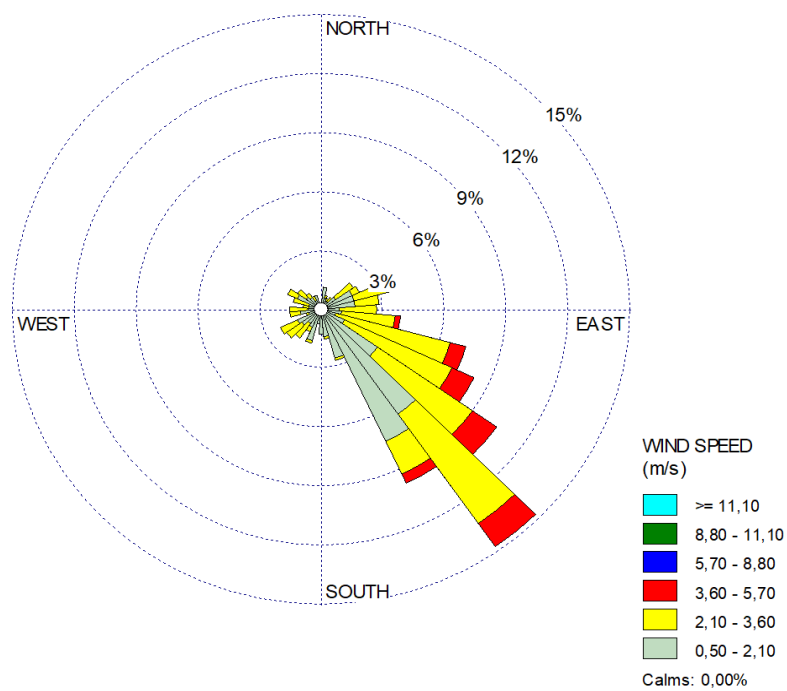
As Figuras 3, 4, 5, 6 e 7, apresentam a rosas dos ventos (para o período total de 24 de março a 24 de abril) para cada ano. A direção do vento para a cidade é de aproximadamente sudeste, como pode se observar. Todos os anos apresentaram 0% de calmaria e uma alta intensidade dos ventos.

Figura 3 – Rosa dos ventos da cidade de Bauru - 2018



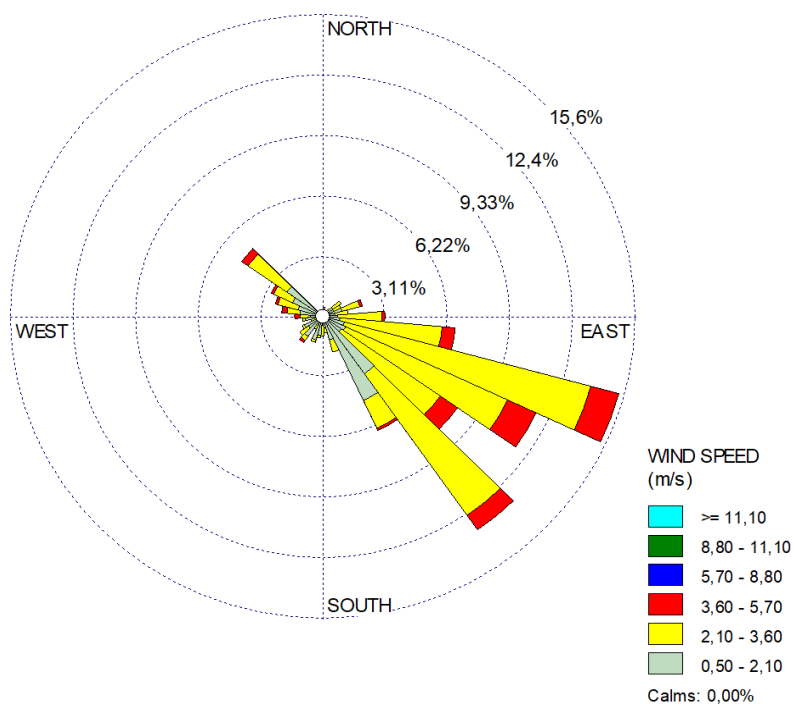
Fonte: Wrplot View.

Figura 4 – Rosa dos ventos da cidade de Bauru - 2019



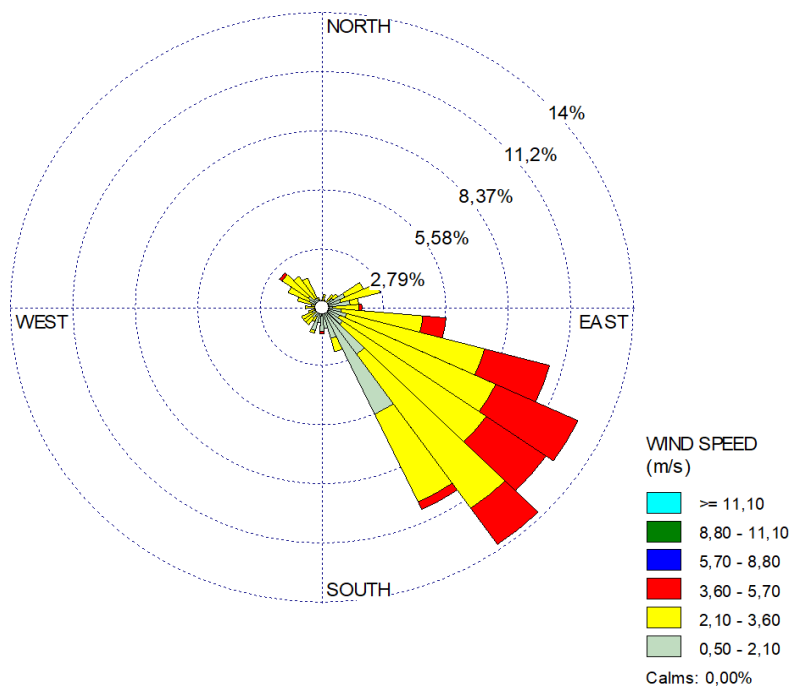
Fonte: Wrplot View.

Figura 5 – Rosa dos ventos da cidade de Bauru - 2020



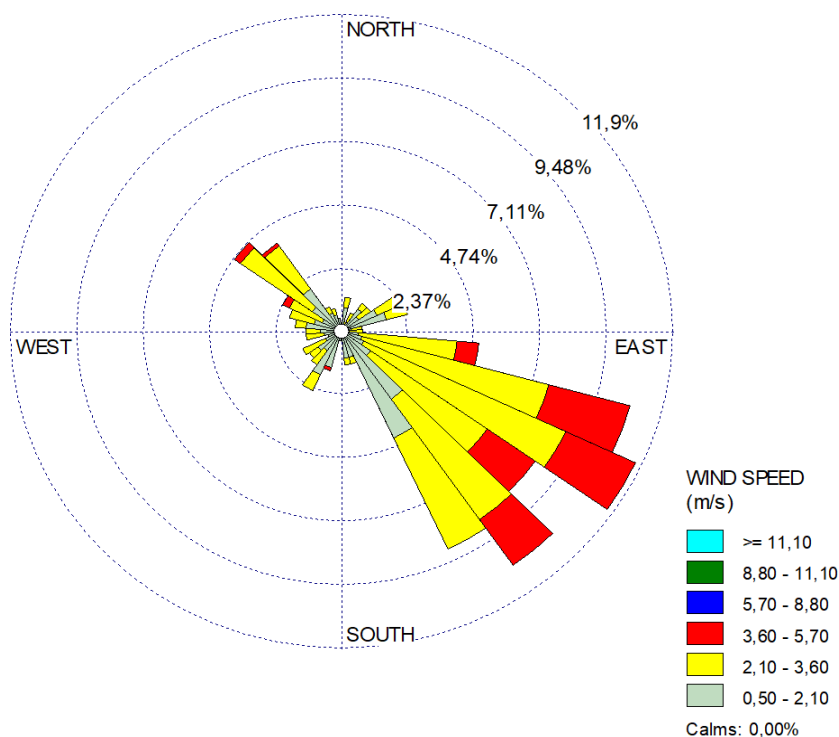
Fonte: Wrplot View.

Figura 6 – Rosa dos ventos da cidade de Bauru - 2021



Fonte: Wrplot View.

Figura 7 – Rosa dos ventos da cidade de Bauru - 2022

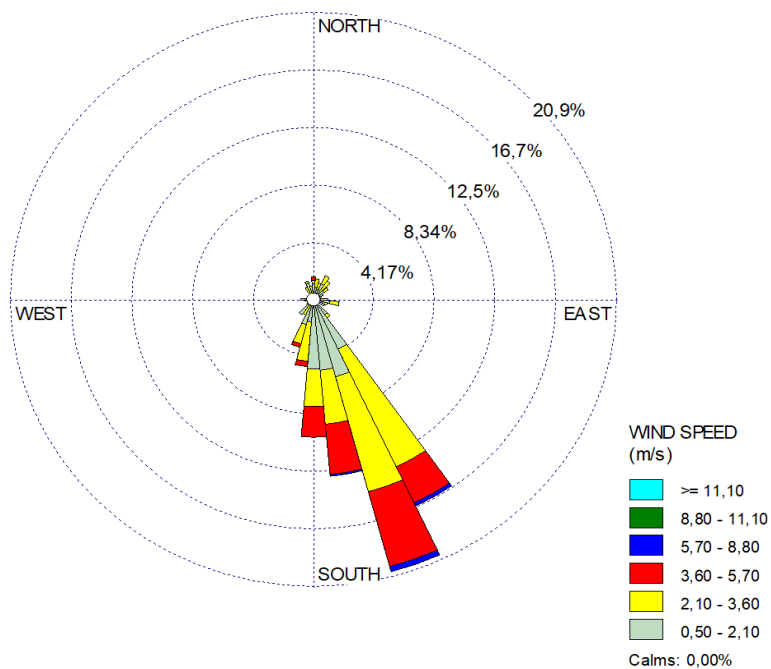


Fonte: Wrplot View.

5.1.2 Análise da rosa dos ventos para cidade de Jaú

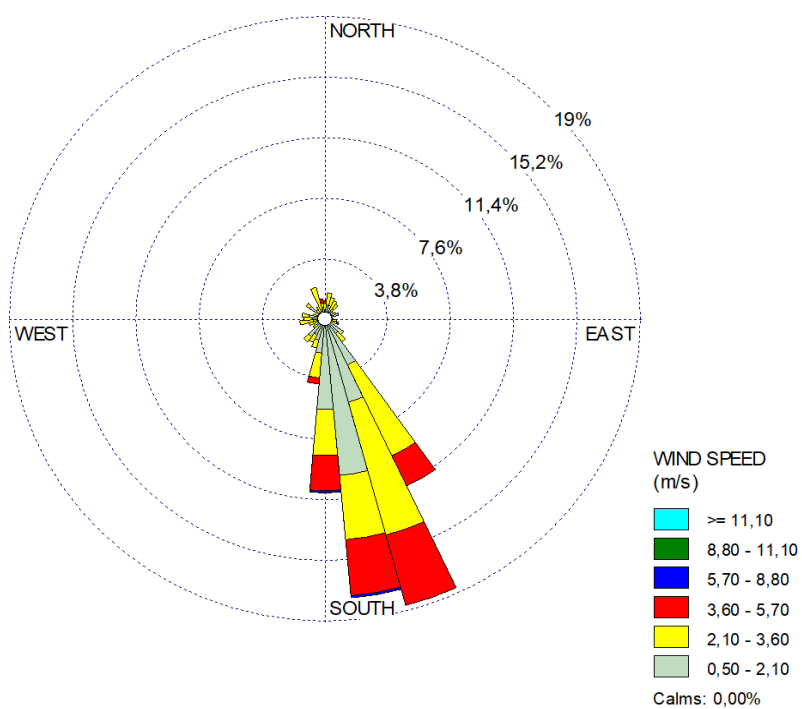
A cidade de Jaú apresenta em todos os anos uma alta intensidade do vento. A direção predominante do vento na cidade é aproximadamente de sudeste, sendo a mesma direção das maiores intensidades do vento (cor vermelha na figura). Pecebe-se que somente no ano de 2021 não foi detectado eventos de calmaria. A rosa dos ventos de 2022 para Jaú não foi contemplada por falta de dados. As figuras 8, 9, 10 e 11 apresentam esses dados:

Figura 8 – Rosa dos ventos da cidade de Jaú - 2018



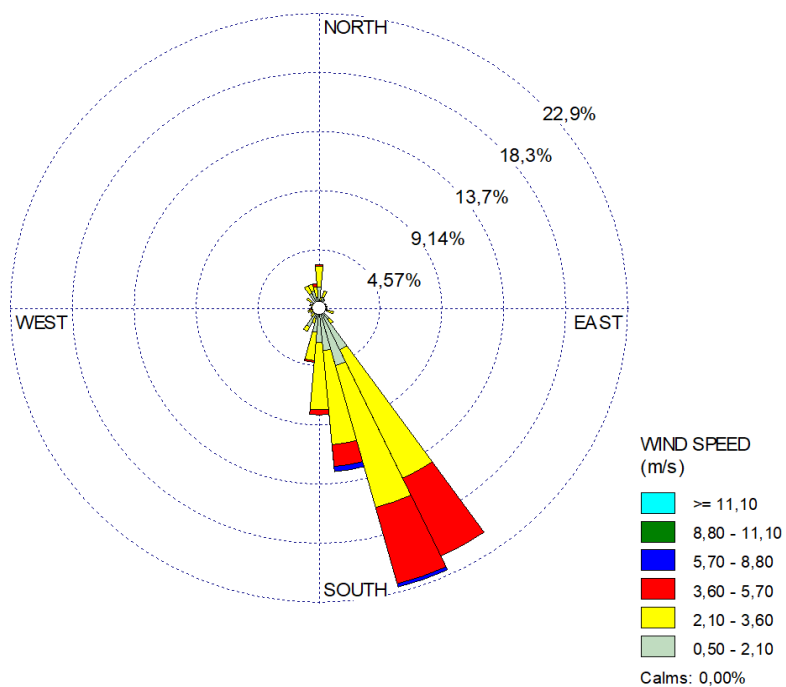
Fonte:Wrplot View.

Figura 9 – Rosa dos ventos da cidade de Jaú - 2019



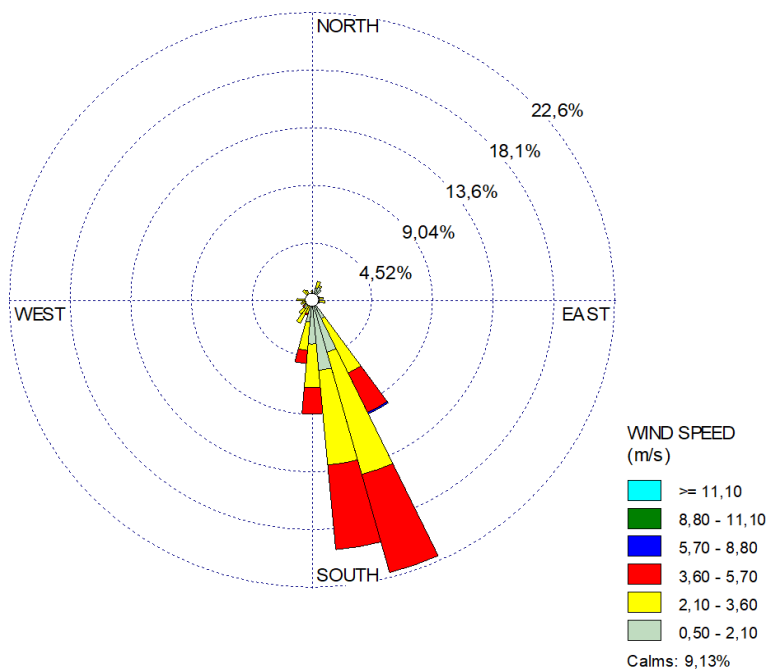
Fonte:Wrplot View.

Figura 10 – Rosa dos ventos da cidade de Jaú - 2020



Fonte:Wrplot View.

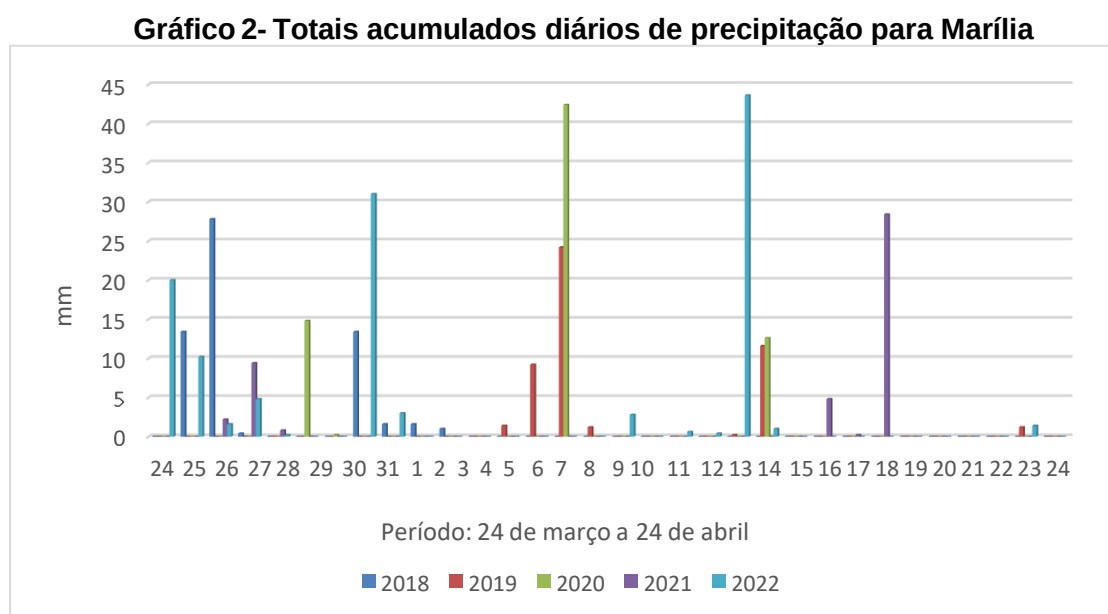
Figura 11 – Rosa dos ventos da cidade de Jaú - 2021



Fonte:Wrplot View.

5.1.3 Análise da precipitação e da rosa dos ventos para cidade de Marília

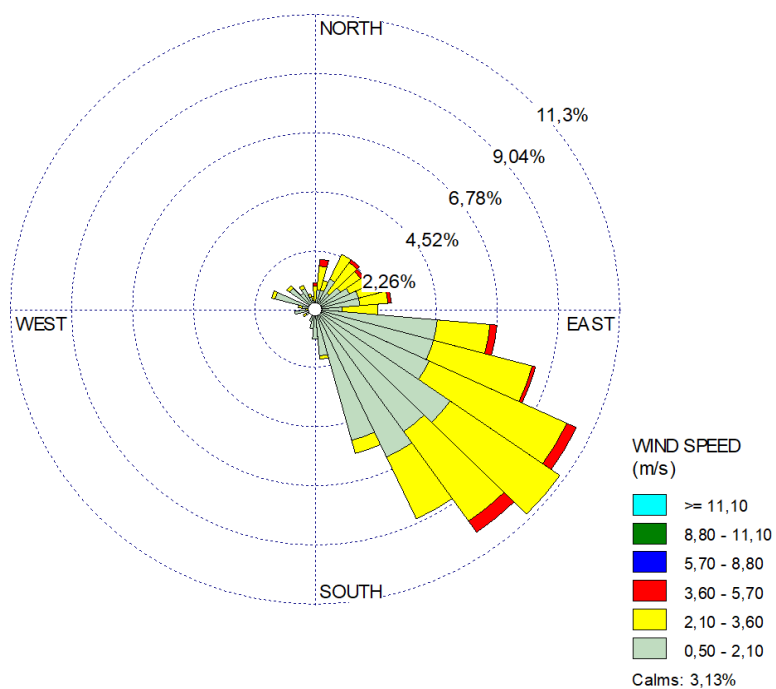
Em comparação com Bauru, a cidade de Marília apresentou totais acumulados diários de chuva maiores, isto é, choveu mais em Marília do que em Bauru. O dia 13 de abril de 2022 e o dia 7 de abril de 2020 foram, respectivamente, os que apresentaram maior quantidade de chuva. O Gráfico 2 apresenta esses dados:



Fonte: Elaborada pelo autor.

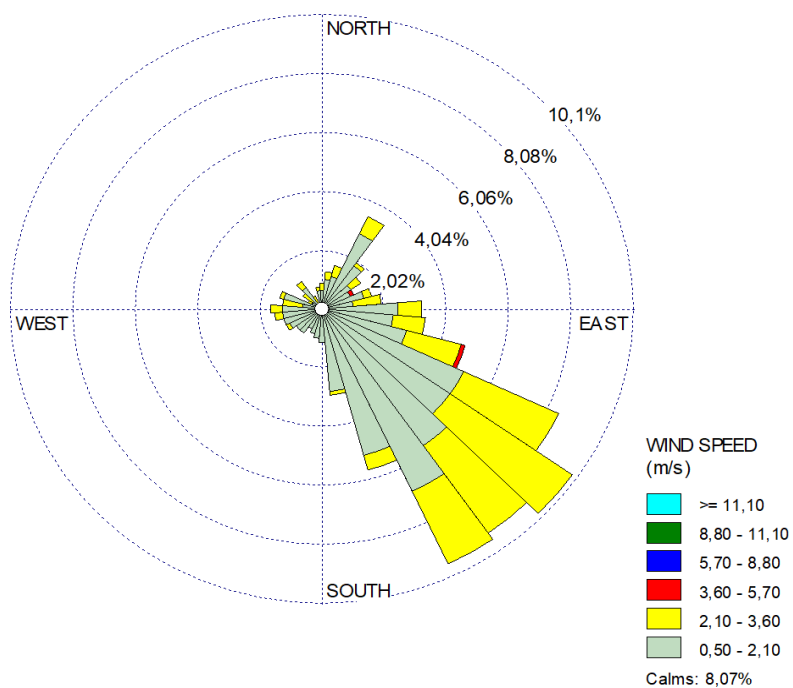
As Figuras 12, 13, 14, 15 e 16 apresentam as rosas dos ventos para a cidade de Marília de 2018 a 2022, para toda a série considerada (24 de março a 24 de abril). O vento predominante durante o período apresenta direção sudeste, sendo que os maiores valores de intensidade do vento estão no intervalo de 3,60 a 5,70 m/s (cor vermelha na figura). O ano de 2021 apresentou 17,3% de ventos intensos e foi o que teve a menor porcentagem de calmaria (0%) em relação aos outros anos.

Figura 12 – Rosa dos ventos para cidade de Marília - 2018



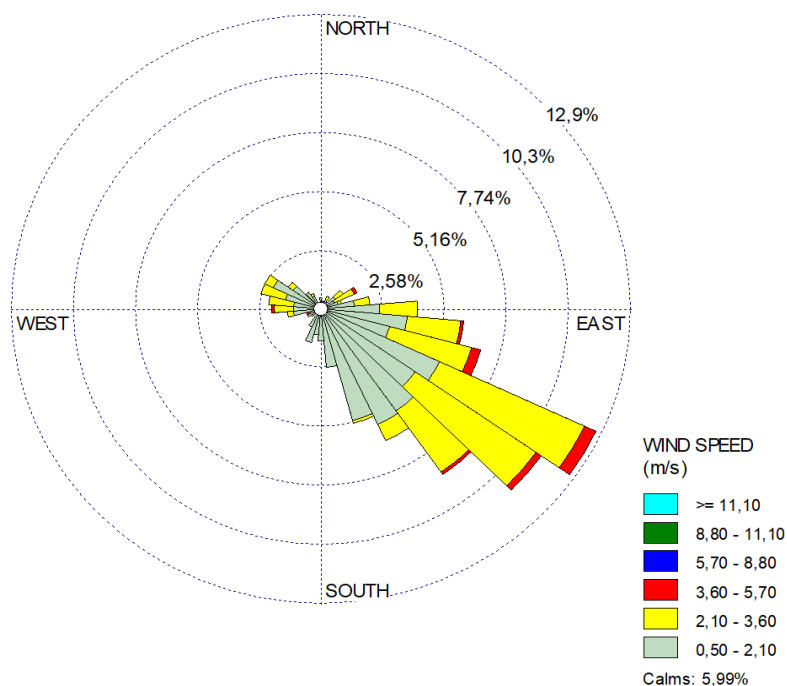
Fonte: Wrplot View.

Figura 13 – Rosa dos ventos para cidade de Marília - 2019



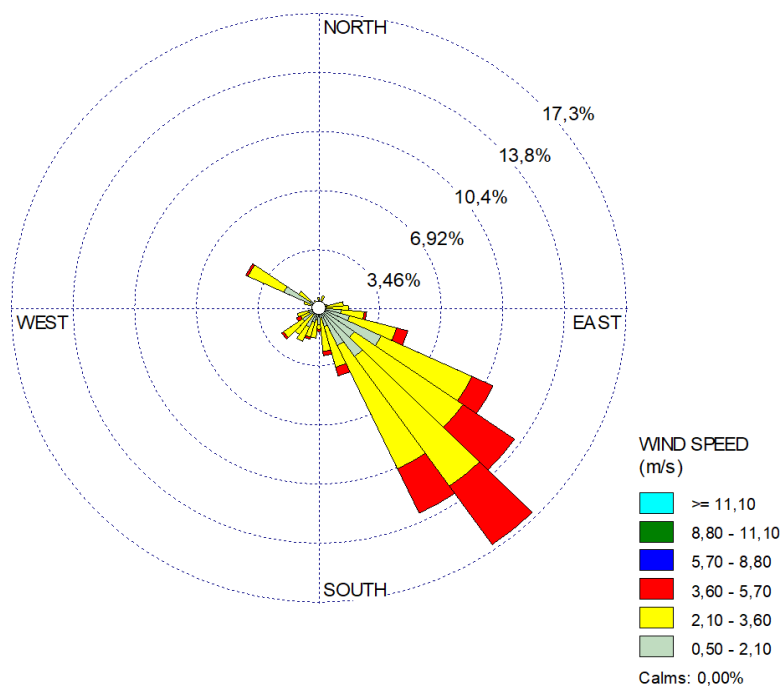
Fonte: Wrplot View.

Figura 14 – Rosa dos ventos para cidade de Marília - 2020



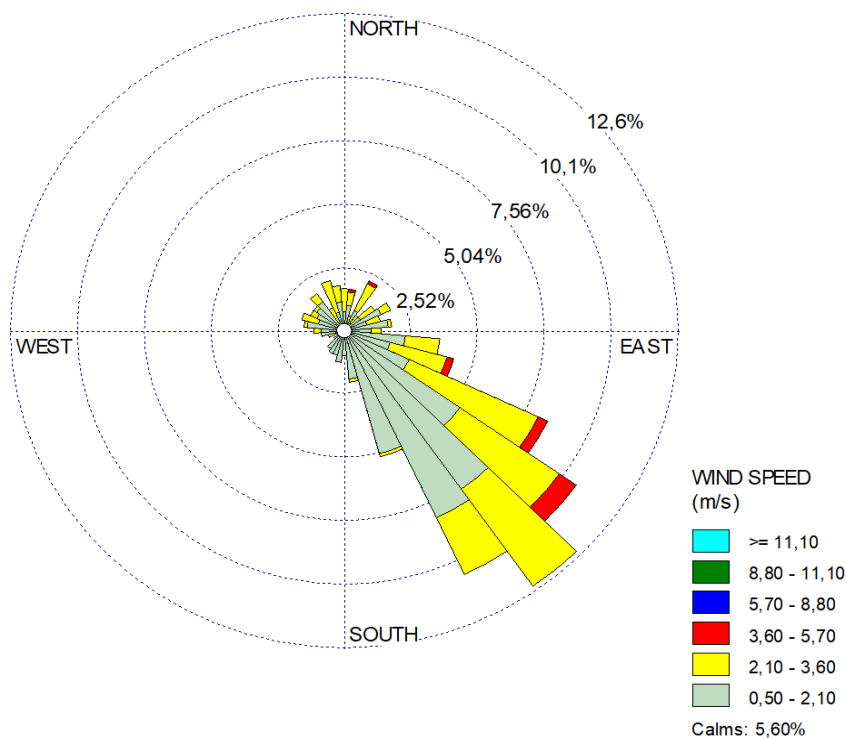
Fonte: Wrplot View.

Figura 15 – Rosa dos ventos para cidade de Marília - 2021



Fonte: Wrplot View.

Figura 16 – Rosa dos ventos para cidade de Marília - 2022



Fonte: Wrplot View.

A Tabela 6 apresenta uma síntese dos dados da precipitação total do período analisado e informações retiradas das rosas dos ventos já apresentadas (velocidade do vento, calmaria do vento e direção predominante do vento). No caso da velocidade, a tabela traz a velocidade média do vento para o período analisado, este valor não aparece nas imagens acima, mas é calculado/exibido pelo programa Wrplot View quando são geradas as rosas. Também são apresentados histogramas gerados pelo programa para as três cidades, a fim de facilitar a compreensão dos dados do vento (Apêndice C).

Esta tabela foi elaborada para, de forma clara, comparar a concentração dos poluentes e a meteorologia, e será utilizada nas análises que seguem.

Tabela 6 – Dados da precipitação e do vento das cidades de Bauru, Jaú e Marília do ano de 2018 a 2022

CIDADE/ANO	PRECIPITAÇÃO TOTAL ACUMULADA (mm)	VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO (m/s)	CALMARIA DO VENTO (%)	DIREÇÃO DO VENTO
BAURU 2018	20,8	2,27	0,00	~SUDESTE
BAURU 2019	33,8	2,05	0,00	~SUDESTE
BAURU 2020	22,2	2,38	0,00	~SUDESTE
BAURU 2021	28	2,54	0,00	~SUDESTE
BAURU 2022	6,2	2,36	0,00	~SUDESTE
JAÚ 2018	-	2,43	0,00	~SUDESTE
JAÚ 2019	-	2,26	0,00	~SUDESTE
JAÚ 2020	-	2,54	0,00	~SUDESTE
JAÚ 2021	-	2,46	9,13	~SUDESTE
JAÚ 2022	-	-	-	-
MARÍLIA 2018	58,2	1,76	3,13	~SUDESTE
MARÍLIA 2019	49	1,49	8,07	~SUDESTE
MARÍLIA 2020	70	1,66	5,99	~SUDESTE
MARÍLIA 2021	43,8	2,54	0,00	~SUDESTE
MARÍLIA 2022	116,6	1,64	5,60	~SUDESTE

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.2 Análise da concentração dos poluentes em conjunto com a meteorologia

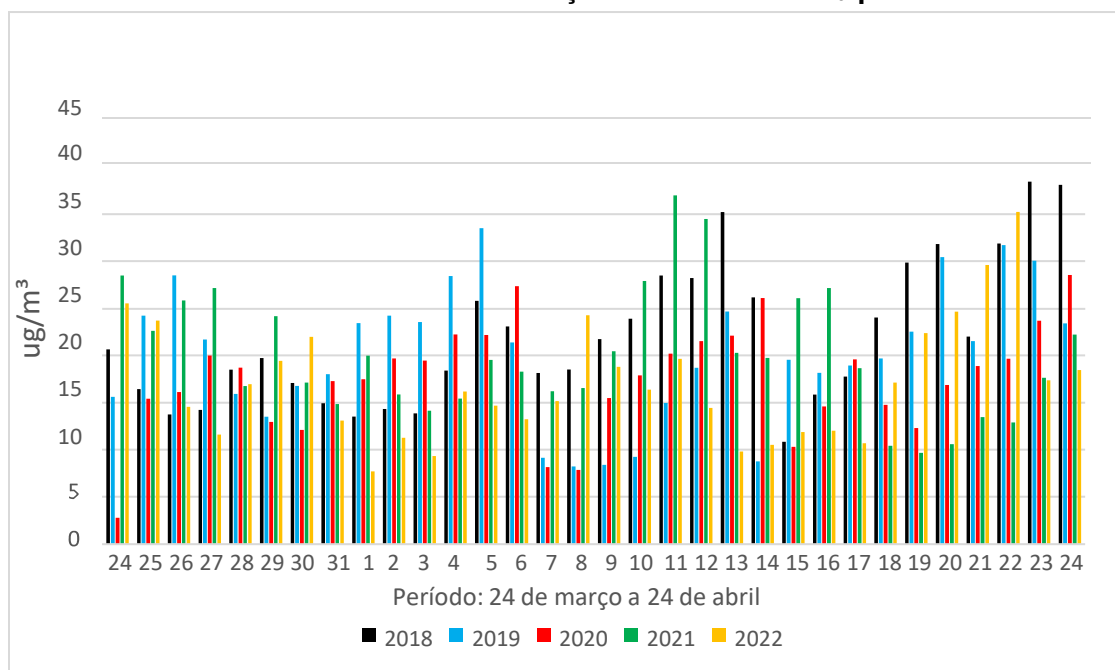
Primeiramente é apresentada uma análise das concentrações de cada poluente (MP₁₀, NO₂ e O₃) e, seguidamente, essa análise é atrelada com a meteorologia (precipitação e vento), para o período em estudo, relacionando cada ano com o ano de 2020 (isolamento social).

5.2.1 Análise do material particulado (MP₁₀) para Bauru, Jaú e Marília

A concentração diária do MP₁₀ para cidade de Bauru, pode ser observada no

Gráfico 3:

Gráfico 3 – Médias das concentrações diárias de MP₁₀ para Bauru



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Ao examinar o maior valor de concentração diária, nota-se que as maiores concentrações para o MP₁₀ foram encontradas, respectivamente, nos anos de 2018, 2021, 2022, 2019 e 2020. Observa-se que o ano de 2020 foi o que apresentou a menor concentração diária.

Observando-se a concentração média de cada intervalo (31 dias de concentração do poluente) para cada ano, nota-se que as maiores médias de concentração ocorreram, respectivamente, nos anos de 2018, 2019, 2021, 2020 e 2022. O ano de 2020 obteve a segunda menor média.

A tabela 7 apresenta uma síntese desses dados, exibindo, além dos maiores valores diários de concentração do MP₁₀, os dias em que esses valores foram atingidos, a média das concentrações referente ao intervalo de 31 dias de cada ano, as diferenças dessas médias de cada ano em relação ao ano de 2020 (período do isolamento social) e ainda se essas diferenças foram ou não significantes estatisticamente:

Tabela 7 - Dados da concentração de MP₁₀ para Bauru

ANO	MAIOR VALOR (µg/m³)	DATA DO MAIOR VALOR	MÉDIA (µg/m³)	DIFERENÇA DA MÉDIA EM RELAÇÃO À 2020 (µg/m³)
2018	38,45	23/04	22,04	22,04 – 17,57 = 4,47*
2019	33,5	05/04	20,20	20,20 – 17,57 = 2,63
2020	28,54	24/04	17,57	–
2021	37	11/04	20,04	20,04 – 17,57 = 2,47
2022	35,25	22/04	17,11	17,11 – 17,57 = -0,46

*Indica a diferença das médias que são significantes estatisticamente ao nível de 5%.

.Fonte: Elaborada pelo Autor.

A tabela 7 mostra que a maior diferença entre as médias do período todo foi encontrada entre o ano de 2018 em relação ao ano de 2020. A diferença apresentou um valor de 4,47 µg/m³ e foi a única diferença entre as médias que apresentou uma diferença significativa estatisticamente ao nível de 5%.

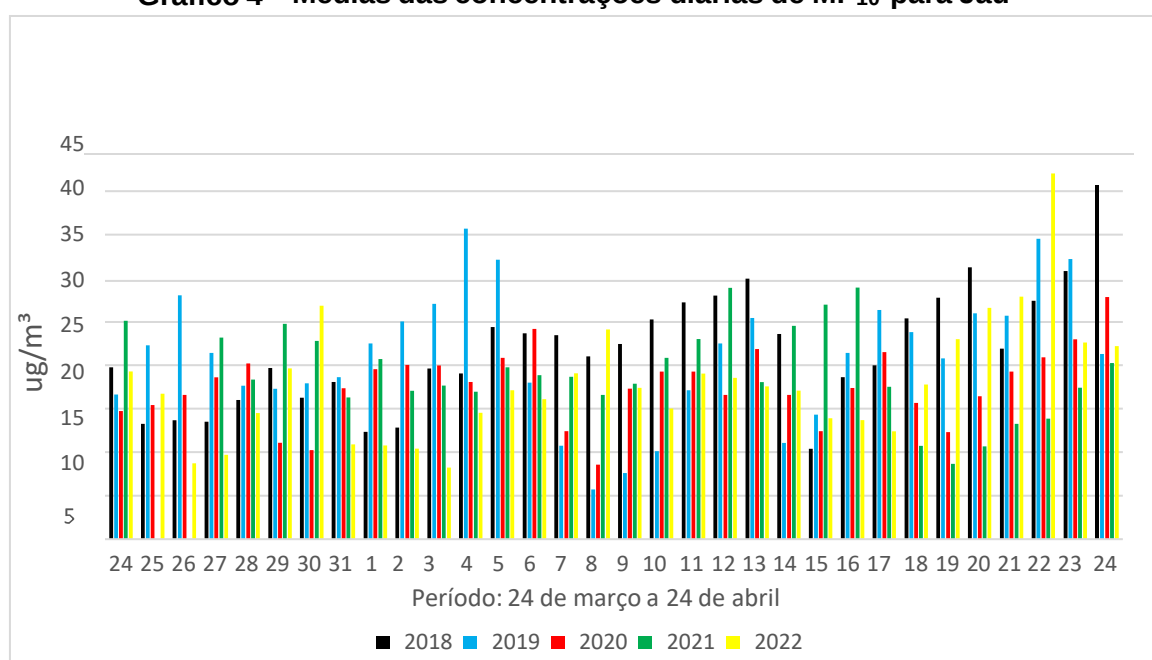
Ao analisar o material particulado em cada ano em relação ao ano de 2020, na cidade de Bauru, observou-se na tabela 6 (dados meteorológicos) que em 2018 houve menos chuva e uma menor intensidade do vento (que estava na direção sudeste nos dois anos), em comparação com 2020. A diferença total de precipitação e vento entre os dois anos foi pequena e 2018 apresentou condições propícias para obter uma concentração maior de MP₁₀ e mesmo assim a concentração em 2020 foi menor.

No ano de 2019 houve mais chuva e uma menor intensidade do vento (direção sudeste) em relação a 2020, e ainda assim, o ano de 2020 apresentou

uma concentração menor de MP_{10} . Em 2021, houve mais chuva, uma maior intensidade do vento (direção sudeste) em relação a 2020 e o poluente também apresentou média de concentração maior que em 2020. Tais resultados também podem ser reflexo do isolamento social. Já no ano de 2022, a média de MP_{10} foi menor em relação a 2020, porém, nesse período, mesmo que o nível de precipitação tenha sido baixo – quando comparado com o mesmo período de 2020 – a intensidade dos ventos foi alta, na direção sudeste, e não houve calmaria em 2022, o que pode justificar – mesmo com o isolamento social – a menor média em 2022.

No gráfico 4 são apresentadas as concentrações diárias de MP_{10} para Jaú:

Gráfico 4 – Médias das concentrações diárias de MP_{10} para Jaú



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Os dados analisados constataram que as maiores concentrações diárias de MP_{10} ocorreram, respectivamente, em 2022, 2018, 2019, 2021 e 2020. Observa-se que a menor concentração diária foi no ano de 2020.

Em relação a média de 24 de março a 24 de abril, os maiores valores foram encontrados, respectivamente, em 2018, 2019, 2021, 2022 e 2020. O ano de 2020 apresentou, além de uma menor concentração diária, também uma menor média para todo o período em relação aos outros anos. A tabela 8 mostra esses dados, juntamente com as diferenças das médias e sua significância estatística:

Tabela 8 - Dados da concentração de MP₁₀ para Jaú

ANO	MAIOR VALOR (µg/m ³)	DATA DO MAIOR VALOR	MÉDIA (µg/m ³)	DIFERENÇA DA MÉDIA EM RELAÇÃO À 2020 (µg/m ³)
2018	40,66	24/04	21,59	21,59 - 17,66 = 3,93*
2019	35,70	04/04	21,15	21,15 - 17,66 = 3,49*
2020	27,83	24/04	17,66	—
2021	28,91	16/04	18,06	18,06 - 17,66 = 0,40
2022	42,04	22/04	17,89	17,89 - 17,66 = 0,23

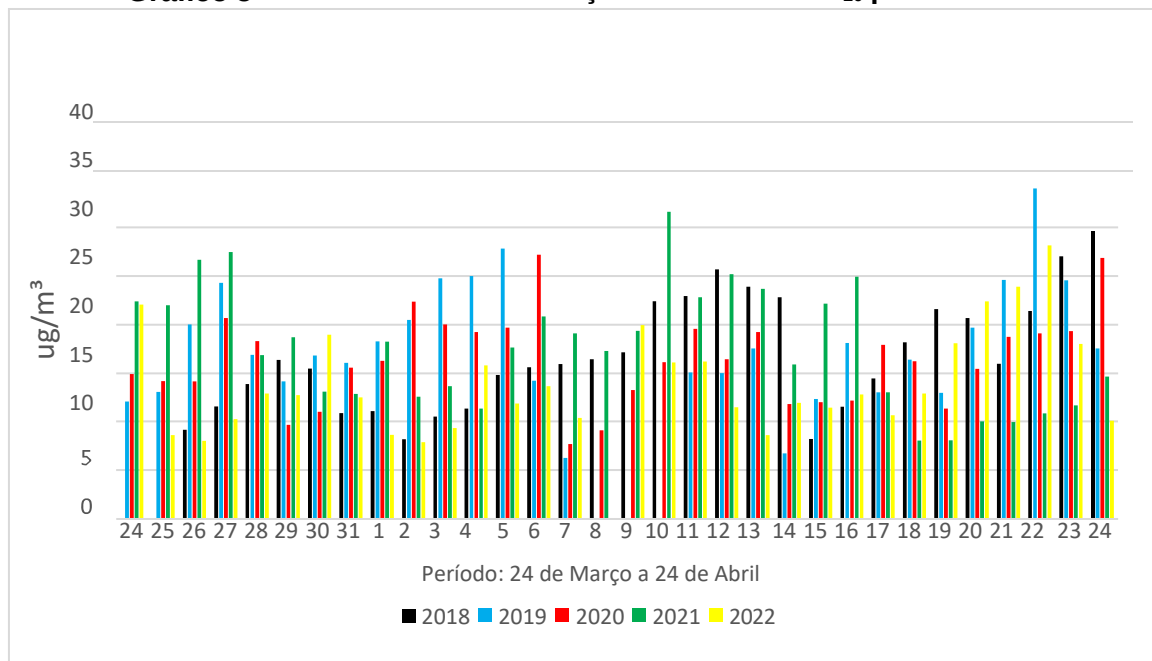
*Indica a diferença entre as médias que são significantes estatisticamente ao nível de 5%.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

A tabela 8 mostra que as maiores diferenças entre as médias do período todo foram encontradas entre os anos de 2018/2019 em relação ao ano de 2020. As diferenças apresentaram os valores de 3,93 µg/m³ (2018) e 3,49 µg/m³ (2019) e foram as únicas diferenças consideradas significantes estatisticamente.

Em Jaú, nos anos de 2018, 2019 e 2021, houve uma alta intensidade dos ventos (direção sudeste), condições também apresentadas no ano de 2020, que ainda assim, teve uma concentração menor de MP₁₀. Mesmo sem os dados de precipitação, pode-se inferir que o isolamento social tenha contribuído para esses resultados.

No gráfico 5 são apresentadas as concentrações diárias de MP₁₀ para a cidade de Marília:

Gráfico 5 – Médias das concentrações diárias de MP₁₀ para Marília

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Os anos com as maiores concentrações diárias de MP₁₀ para a cidade de Marília foram observados, respectivamente, em 2019, 2021, 2018, 2022 e 2020. O ano de 2020, portanto, apresentou a menor concentração diária, assim como nas cidades de Bauru e Jaú.

A tabela 9 apresenta os dados de maior concentração diária, a média de cada ano, assim como a diferença das médias e sua significância estatística:

Tabela 9 - Dados da concentração de MP₁₀ para Marília

ANO	MAIOR VALOR (µg/m³)	DATA DO MAIOR VALOR	MÉDIA (µg/m³)	DIFERENÇA DA MÉDIA EM RELAÇÃO À 2020 (µg/m³)
2018	29,62	24/04	15,76	15,76 - 16,40 = -0,64
2019	34	22/04	18,01	18,01 - 16,40 = 1,70
2020	27,16	06/04	16,40	—
2021	31,58	10/04	17,50	17,50 - 16,40 = 1,10
2022	28,12	22/04	14,05	14,05 - 16,40 = -2,35

*Indica a diferença das médias que são significantes estatisticamente ao nível de 5%.

Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com a tabela 9, pode-se notar que, na análise da média da concentração dos 31 dias, as maiores médias ocorreram na seguinte ordem: 2019, 2021, 2020, 2018 e 2022. Percebe-se que os anos de 2018 e 2022 foram os que obtiveram as menores médias, porém, a análise desses anos não foram realizadas com a série completa (de 24 de março a 24 de abril) devido a falta de dados em alguns dias. No ano de 2018, não houve medição nos dias 24/03 e 25/03, e em 2022 no dia 08/04. Em relação a significância das diferenças, nota-se que nenhuma delas foi estatisticamente significativa de acordo com o teste de hipótese realizado.

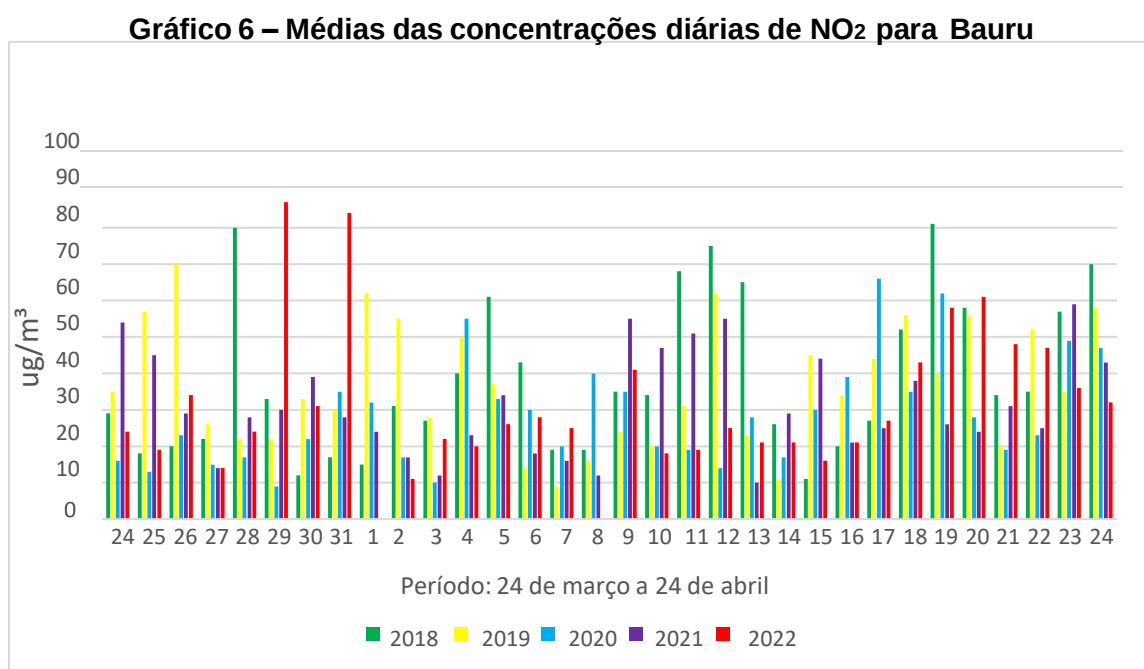
Quando se analisa juntamente os dados meteorológicos (tabela 6) nota-se que na cidade de Marília houve menos chuva em 2018 que no ano de 2020, todavia, a intensidade do vento foi maior (direção sudeste em todos os anos), com menos calmaria, o que pode explicar, mesmo com o isolamento social, a concentração de MP_{10} ter sido menor no ano de 2018 em relação a 2020.

No ano de 2019, houve menos chuva e menor intensidade do vento em comparação com o ano de 2020, o que juntamente com o isolamento social, pode ter contribuído para a média de 2019 ter sido maior que no ano de 2020. Em 2021, houve menos chuva que em 2020, mas uma maior intensidade do vento, com menor porcentagem de calmaria e, ainda assim, o poluente teve média de concentração maior que em 2020, o que também aponta uma contribuição do isolamento social.

No ano de 2022, a diferença na média de velocidade do vento foi muito pequena em relação ao ano de 2020, mas o nível de precipitação acumulada foi maior em 2022, o que pode explicar o fato de mesmo com o isolamento social, 2020 ter tido uma média maior de concentração de MP_{10} .

5.2.2 Análise do dióxido de nitrogênio (NO₂) para Bauru, Jaú e Marília

As concentrações diárias de NO₂ para a cidade de Bauru são mostradas no gráfico 6:



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Os dados contidos no gráfico mostram que o NO₂ apresentou as maiores concentrações diárias em 1 hora, respectivamente, em 2022, 2018, 2019, 2020 e 2021. O ano de 2020 apresentou a segunda menor média.

A média das maiores concentrações do período apresentaram-se na seguinte ordem: 2018, 2019, 2021, 2022 e 2020. A média de 2020, portanto, foi a menor. A tabela 10 apresenta todos esses dados, juntamente com a diferença dos valores das médias de cada ano em relação ao ano de 2020 e sua significância estatística:

Tabela 10 - Dados da concentração de NO₂ para Bauru

ANO	MAIOR VALOR (µg/m ³)	DATA DO MAIOR VALOR	MÉDIA (µg/m ³)	DIFERENÇA DA MÉDIA EM RELAÇÃO À 2020 (µg/m ³)
2018	81	19/04	38,56	38,56 - 28,68 = 9,88*
2019	70	26/03	36,78	36,78 - 28,68 = 8,10*
2020	66	17/04	28,68	—
2021	59	23/04	31,43	31,43 - 28,68 = 2,75
2022	87	29/03	30,71	30,71 - 28,68 = 2,03

*Indica a diferença das médias que são significantes estatisticamente ao nível de 5%.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

A tabela 10 mostra que as médias que foram significantes para o intervalo analisado ocorreram entre 2018/2020 e entre os anos 2019/2020, sendo as diferenças, respectivamente, de 9,88 µg/m³ e 8,10 µg/m³. Apesar de haver diferença positiva entre 2021/2020 e 2022/2020, estas não foram consideradas significantes estatisticamente pelo teste de hipótese realizado.

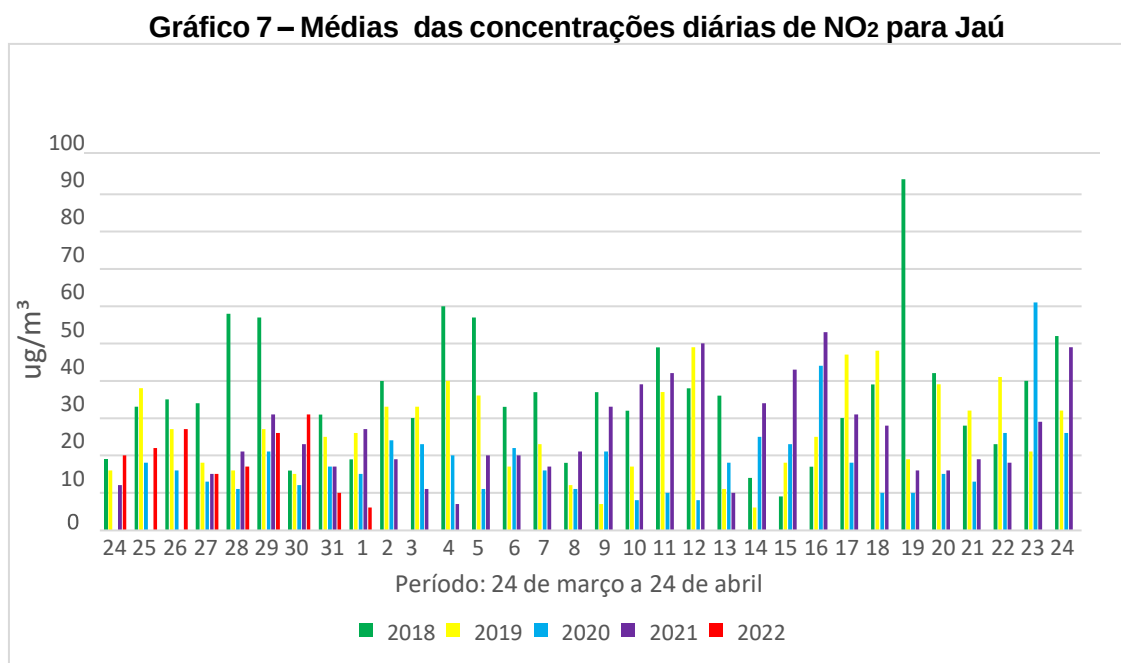
Os horários do dia em que o dióxido de nitrogênio atingiu sua concentração máxima no período de uma hora na cidade de Bauru ocorreu predominantemente a noite, porém, em alguns dias, no horário da manhã (apêndice A).

Ao examinar a meteorologia, verificou-se que em 2018 na cidade de Bauru, houve menos chuva e a velocidade do vento foi menor (direção sudeste nos dois anos), quando comparado com o ano de 2020. Mesmo com uma pequena diferença de precipitação e de vento em relação 2018, o ano de 2020 apresentou uma concentração menor de NO₂.

Em 2019, os ventos foram menos intensos (direção sudeste) que no ano de 2020, mas choveu mais no ano de 2019 que no ano de 2020, e ainda assim o ano de 2020 apresentou uma concentração menor de NO₂. Em 2021, houve mais chuva e uma maior intensidade do vento (direção sudeste) em relação a 2020 e ainda assim neste ano o poluente obteve média de concentração maior. Em 2022, o

nível de precipitação foi muito baixo quando comparado com o ano de 2020, porém, a intensidade dos ventos foi alta (direção sudeste) e não houve calmaria em 2022. Em todos os casos, o isolamento social pode ter contribuído para que a média de NO_2 tenha sido menor em 2020, quando comparada a todos os outros anos.

O gráfico 7 apresenta as concentrações diárias de NO_2 para Jaú:



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Para a cidade de Jaú os dados apontam que o NO_2 apresentou as maiores concentrações diárias no ano de 2018, seguido pelos anos de 2020, 2021, 2019 e 2022. O ano de 2020 apresentou a quarta menor média. Em relação a média do período todo, 2020 apresentou a menor média. As maiores médias apresentaram-se na seguinte ordem: 2018, 2019, 2021, 2022 e 2020. Essas informações são mostradas na tabela 11:

Tabela 11 - Dados da concentração de NO₂ para Jaú

ANO	MAIOR VALOR (µg/m ³)	DATA DO MAIOR VALOR	MÉDIA (µg/m ³)	DIFERENÇA DA MÉDIA EM RELAÇÃO À 2020 (µg/m ³)
2018	94	19/04	36,15	36,15 - 18,31 = 17,84*
2019	49	12/04	26,59	26,59 - 18,31 = 8,28*
2020	61	23/04	18,31	—
2021	53	16/04	24,09	24,09 - 18,31 = 5,78*
2022	31	30/03	18,80	18,80 - 18,31 = 0,49

*Indica a diferença das médias que são significantes estatisticamente ao nível de 5%.

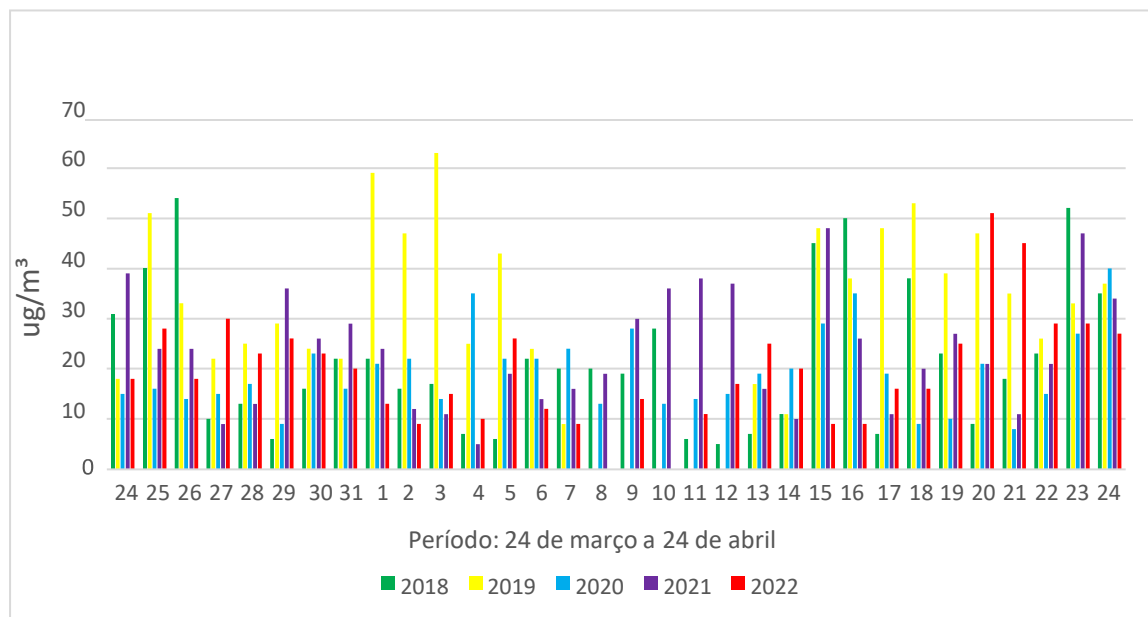
Fonte: Elaborada pelo Autor.

A tabela mostra que houve três diferenças que foram significantes na análise da cidade de Jaú, são elas entre os anos 2018/2020, 2019/2020 e 2021/2020, alcançando os respectivos valores de 17,84 µg/m³, 8,28 µg/m³ e 5,78 µg/m³. A diferença da média entre 2022 e 2020 não foi significativa estatisticamente.

Os horários do dia em que o dióxido de nitrogênio atingiu sua concentração máxima no período de uma hora na cidade de Jaú, assim como em Bauru, ocorreu predominantemente a noite e, eventualmente, na parte da manhã (apêndice A).

Em Jaú, os anos de 2018, 2019 e 2021, apresentaram alta intensidade dos ventos (direção sudeste em todos os anos). No ano de 2020, a velocidade do vento foi maior que em todos os outros anos (2018, 2019 e 2021) e há falta de dados para precipitação, mas o isolamento pode ter contribuído, assim como em Bauru, para que todas as médias de dióxido de nitrogênio em 2020 tenham sido inferiores aos outros anos.

O gráfico 8 traz as concentrações diárias de NO₂ para a cidade de Marília:

Gráfico 8 – Médias das concentrações diárias de NO₂ para Marília

Fonte: Elaborada pelo Autor.

As maiores concentrações diárias de NO₂ para Marília foram observadas, respectivamente, nos anos de 2019, 2018, 2022, 2021 e 2020. O ano de 2020 apresentou a menor concentração. No que se refere a média das concentrações para o período dos 31 dias, o ano de 2020 também apresentou a menor média. A ordem das maiores médias foi a seguinte: 2019, 2021, 2018, 2022 e 2020. A tabela 12 apresenta esses dados:

Tabela 12 – Dados da concentração de NO₂ para Marília

ANO	MAIOR VALOR (µg/m ³)	DATA DO MAIOR VALOR	MÉDIA (µg/m ³)	DIFERENÇA DA MÉDIA EM RELAÇÃO À 2020 (µg/m ³)
2018	54	26/03	21,81	21,81 - 19,37 = 2,44
2019	63	03/04	28,93	28,93 - 19,37 = 9,56*
2020	40	24/04	19,37	—
2021	47	23/04	23,53	23,53 - 19,37 = 4,16*
2022	51	20/04	19,46	19,46 - 19,37 = 0,09

*Indica a diferença das médias que são significantes estatisticamente ao nível de 5%.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

A tabela 12 mostra que somente duas diferenças foram significantes estatisticamente na análise da cidade de Marília, são elas entre os anos de 2019/2020 e 2021/2020, com os respectivos valores de $9,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $4,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$. As diferenças das médias entre os anos de 2018/2020 e 2022/2020 não foram significantes estatisticamente.

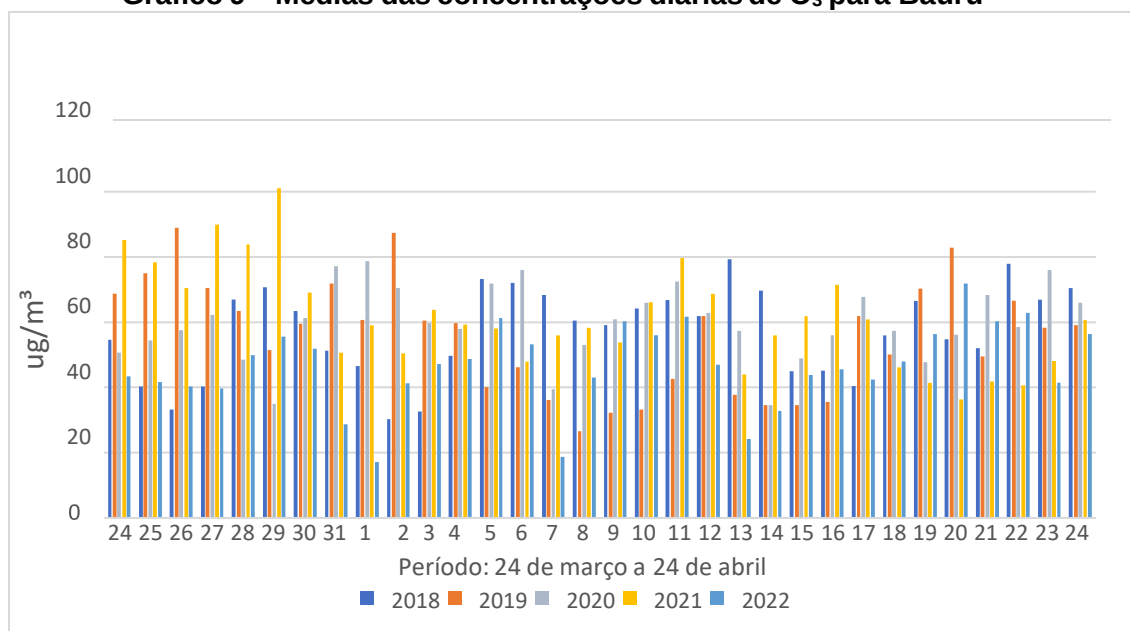
O que ocorreu nas cidades de Bauru e Jaú repetiu-se em Marília, onde os horários do dia em que o dióxido de nitrogênio atingiu sua concentração máxima, dentro de uma hora, ocorreu, predominantemente, no período noturno (apêndice A).

Ao se observar os dados meteorológicos da cidade de Marília, percebe-se que os anos de 2018 e 2021 apresentaram um nível menor de precipitação e ventos mais intensos (direção sudeste em todos os anos) que em 2020. Já em 2019, também houve menos chuva, mas a intensidade dos ventos foi menor em relação a 2020. Em 2022, o nível de precipitação foi mais elevado que no ano de 2020 e a diferença da média da velocidade do vento foi pequena. Em todos os anos, o isolamento social pode ter contribuído juntamente com a meteorologia para que as médias de concentração do poluente tenham sido menores em 2020 do que nos outros anos.

5.2.3 Análise do ozônio (O₃) para Bauru, Jaú e Marília

As concentrações diárias de ozônio (O₃) da cidade de Bauru dos anos de 2018 a 2022 são apresentadas no gráfico 9:

Gráfico 9 – Médias das concentrações diárias de O₃ para Bauru



Fonte: Elaborada pelo Autor.

As maiores concentrações diárias para o ozônio ocorreram, respectivamente, em 2021, 2019, 2018, 2020 e 2022. A média do ano de 2020 foi a segunda menor, porém, alguns dias do ano de 2022 (menor média) tiveram falhas na medição e não foram obtidos os dados de alguns horários, o que provavelmente pode ter alterado o resultado para essa análise, pois os dados obtidos não estão completos.

Verificando-se a média dos valores dos 31 dias, o ozônio apresenta uma concentração menor nos anos de 2018, 2019 e 2022 do que nos anos de 2020 e 2021. A tabela 13 mostra a diferença dos valores das médias de cada ano em relação ao ano de 2020 e sua significância, juntamente com os dados relatados acima:

Tabela 13- Dados da concentração de O₃ para Bauru

ANO	MAIOR VALOR (µg/m ³)	DATA DO MAIOR VALOR	MÉDIA (µg/m ³)	DIFERENÇA DA MÉDIA EM RELAÇÃO À 2020 (µg/m ³)
2018	79,12	13/04	57,05	57,05 - 59,55 = -2,50
2019	88,87	26/03	55,40	55,40 - 59,55 = -4,15*
2020	78,50	01/04	59,55	—
2021	101	29/03	61,09	61,09 - 59,55 = 1,54
2022	71,62	20/04	46,49	46,49 - 59,55 = -13,06*

*Indica a diferença das médias que são significantes estatisticamente ao nível de 5%.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

A tabela 13 expõe duas diferenças significantes estatisticamente, são elas entre os anos de 2019/2020 (-4,15µg/m³) e 2022/2020 (-13,06 µg/m³). Essas diferenças negativas apontam que, nesses casos, o ano de 2020 apresentou concentrações de ozônio maiores em relação aos anos em que foi comparado. A única diferença positiva foi entre o ano de 2021 e 2020 (1,54 µg/m³), ou seja, o único ano em que o ozônio apresentou uma concentração menor em comparação com outro ano, porém, essa diferença não foi significativa do ponto de vista estatístico. A diferença da média entre 2018/2020 (-2,5 µg/m³) não foi significativa estatisticamente.

Na cidade de Bauru, o ozônio atingiu sua concentração máxima predominantemente a tarde e, eventualmente, a noite, por volta das 00:00 h, (apêndice B).

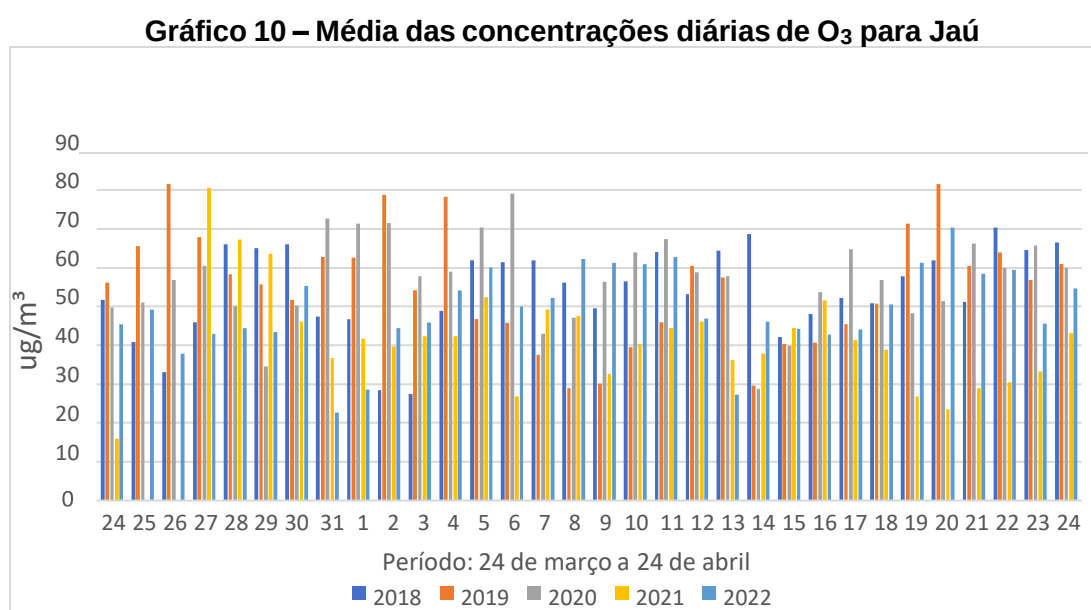
Ao examinar o poluente juntamente com os dados meteorológicos (tabela 6), verifica-se que no ano de 2018, o nível de precipitação e a intensidade dos

ventos (ambos os anos na direção sudeste) foram menores que no ano 2020. Outras variáveis, como a radiação (não analisadas neste trabalho), podem também ter contribuído para a menor concentração do poluente no referido ano.

Em 2019, houve uma menor intensidade do vento (direção sudeste), mas o nível de precipitação foi maior, isso pode ter propiciado a remoção do poluente e a consequente redução de sua concentração. O ano de 2021, foi o único em que houve uma maior concentração do ozônio em relação a 2020. Nesse caso, um maior nível de precipitação (e talvez o isolamento social) podem ter contribuído para esse resultado, já que a intensidade dos ventos foi maior em 2021.

No ano de 2022, o nível de precipitação foi muito baixo, quando comparado com o ano de 2020, porém, a intensidade dos ventos foi alta (direção sudeste) e não houve calmaria em 2022, o que pode justificar, mesmo com o isolamento social, a média de ozônio ter sido menor em 2022, quando comparado com 2020.

O gráfico 10 mostra as concentrações diárias de O_3 da cidade de Jaú dos anos de 2018 a 2022:



Fonte: Elaborada pelo Autor.

A maior concentração diária do ozônio para a cidade de Jaú foi observada no ano de 2019 e a menor no ano de 2018. O ano de 2020 teve uma concentração menor que 2019 e 2021, porém, maior que 2018 e 2022.

Ao analisar as médias das concentrações do intervalos dos 31 dias, 2020 obteve a maior média. A tabela 14 mostra a diferença dos valores das médias do ozônio de cada ano em relação ao ano de 2020, sua significância estatística e também expõe os dados acima descritos:

Tabela 14- Dados da concentração de O₃ para Jaú

ANO	MAIOR VALOR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	DATA DO MAIOR VALOR	MÉDIA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	DIFERENÇA DA MÉDIA EM RELAÇÃO À 2020 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2018	70,37	22/04	54,10	54,10 - 57 = -2,90
2019	81,62	26/03	55,24	55,24 - 57 = -1,76
2020	79,12	06/04	57	—
2021	80,50	27/03	39,10	39,10 - 57 = -17,9*
2022	70,37	20/04	49,26	49,26 - 57 = -7,74*

*Indica a diferença das médias que são significantes estatisticamente ao nível de 5%.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

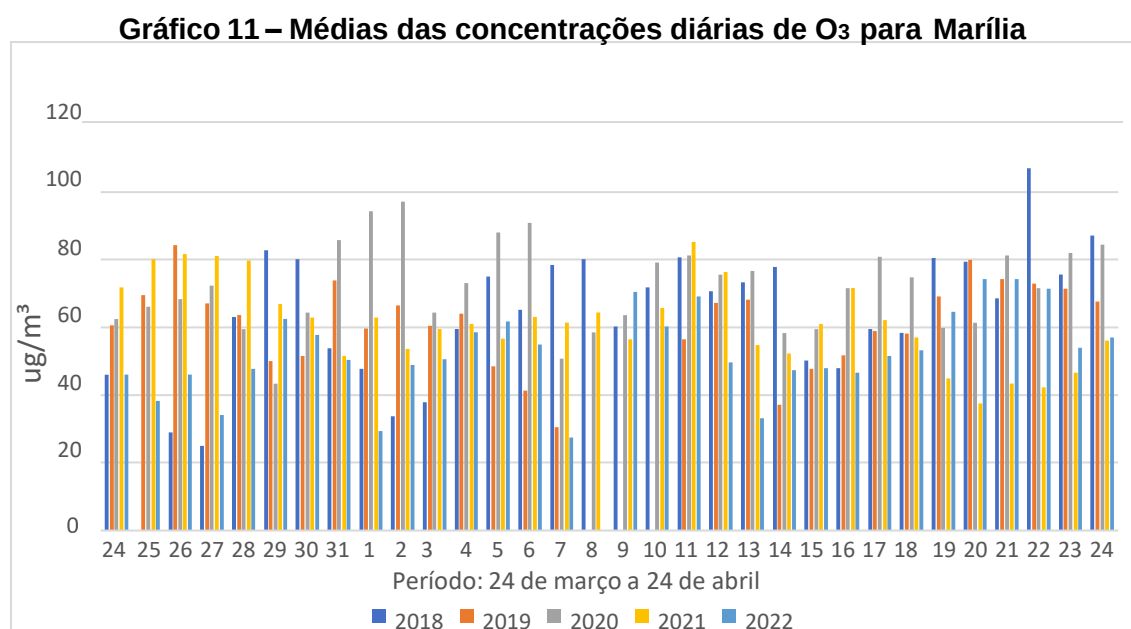
A tabela 14 mostra que todas as diferenças entre as médias de todos os anos e o ano de 2020 foram negativas, isso expõe que o ano de 2020 obteve a pior média entre todos os anos. As médias significantes do ponto de vista estatístico ocorreram somente entre 2021/2020 (-17,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e 2022/2020 (-7,74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Assim como na cidade de Bauru, o ozônio atingiu sua concentração máxima diária predominantemente a tarde e, eventualmente, a noite (apêndice B).

Ao analisar os dados meteorológicos, verifica-se que o ano de 2020 obteve intensidade dos ventos maior (na direção sudeste em todos os anos) que os outros anos, porém, como não há dados de precipitação para Jaú, a análise fica prejudicada e o isolamento social, provavelmente, não surtiu efeito para reduzir

este poluente, sendo as condições meteorológicas, as maiores responsáveis por tais concentrações.

O gráfico 11 apresenta as concentrações diárias de ozônio (O_3) da cidade de Marília:



Fonte: Elaborada pelo Autor.

O ozônio apresentou as maiores concentrações diárias, respectivamente, em 2018, 2020, 2021, 2019 e no ano de 2022.

Em relação a média dos 31 dias, analisadas para cada ano, constata-se que o ano de 2020 apresentou a maior média, seguido pelos anos de 2018, 2021, 2019 e 2022. A diferença dos valores das médias do ozônio da cidade de Marília de cada ano em relação ao ano de 2020, sua significância estatística e os dados acima relatados, são apresentados na tabela 15:

Tabela 15 – Dados da concentração de O₃ para Marília

ANO	MAIOR VALOR (µg/m ³)	DATA DO MAIOR VALOR	MÉDIA (µg/m ³)	DIFERENÇA DA MÉDIA EM RELAÇÃO À 2020 (µg/m ³)
2018	106,87	22/04	62,62	62,62 – 71,86 = -9,24*
2019	84,25	26/03	55,32	55,32 – 71,86 = -16,54*
2020	97,12	02/04	71,86	–
2021	85,25	11/04	61,53	61,53 – 71,86 = -10,33*
2022	74,25	20/04	51,16	51,16 – 71,86 = -20,70*

*Indica a diferença das médias que são significantes estatisticamente ao nível de 5%.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

A tabela 15 mostra que todas as diferenças entre as médias comparadas com o ano de 2020 foram significantes estatisticamente na análise feita para a cidade de Marília. O ano de 2020 obteve a pior média diante todos os outros anos.

Na maioria dos dias, assim como em Bauru e Jaú, o ozônio atingiu concentração máxima no período vespertino e, eventualmente, no período noturno, no horário da 00:00h (apêndice B) . Alguns estudos sugerem que os picos noturnos de ozônio conectam-se aos processos de transporte horizontais, principalmente à mudança da direção do vento, fazendo com que o O₃ possa ser transportado por longas distâncias, afetando, inclusive, regiões distantes de sua fonte. Portanto, como o ozônio é um poluente formado através de reações fotoquímicas, isto é, luz solar, os valores observados a noite indicam que o ozônio não se formou ali, mas sim em outra localidade (SOUSA et. al., 2011).

Ao analisar a meteorologia em Marília, em conjunto com a concentração dos poluentes, observa-se que o ano de 2020 apresentou a maior concentração de ozônio frente aos outros anos. A precipitação em 2020 foi maior que em 2018, porém a intensidade do vento (direção sudeste em todos os anos) foi um pouco menor. Esse fator pode ter contribuído para a diferença de concentração.

No ano de 2019, houve menos chuva e menor intensidade do vento em relação a 2020, que mesmo com o isolamento social, apresentou concentração de ozônio maior em 2019, o que pode ter sido influenciado por outros fatores, tais como radiação solar, não analisados neste trabalho. Em 2021, os níveis de precipitação foram menores que os de 2020, mas a intensidade do vento foi maior que em 2020, o que pode ter influenciado na maior concentração do poluente. Em 2022, houve muita chuva e o valor da intensidade de vento foi muito próximo ao de 2020. A chuva pode ter sido o fator determinante para a concentração ter sido menor que no ano de 2020.

5.3 Análise dos índices e padrões de qualidade do ar

Ao analisar o índice da qualidade do ar pela concentração dos poluentes, observou-se que o material particulado se enquadrou na classificação BOA. Essa classificação é devido ao fato do MP_{10} não ter ultrapassado o valor de concentração de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em nenhum dia no período analisado para as três cidades. O mesmo ocorreu nas cidade de Jaú e Marília para o MP_{10} . Em relação ao padrão de qualidade do ar, que atualmente segue a meta MI2 (Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013), o valor estabelecido de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ também não foi ultrapassado em nenhum dia nas três cidades.

O dióxido de nitrogênio também não ultrapassou o valor de referência de concentração de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e o índice da qualidade do ar também se enquadrou na classificação BOA, durante todo o período analisado nas três cidades. Em relação ao padrão de qualidade do ar, o valor de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, estabelecido pela meta MI2, também não foi ultrapassado em nenhum dia nas três cidades.

O ozônio ultrapassou o valor de referência para qualidade do ar BOA somente em 1 dia na cidade de Bauru e 1 dia na cidade de Marília, respectivamente, nos dias 29/03/2021 e 22/04/2018, e a classificação da qualidade do ar neste dias, passou para MODERADA. Em relação ao padrão de qualidade do ar, o valor estabelecido pela meta MI2 de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ também não foi ultrapassado em nenhum dia nas três cidades.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo investigar os efeitos do isolamento social no período de 24 de março à 24 de abril de 2020 nas concentrações dos poluentes atmosféricos material particulado (MP_{10}), dióxido de nitrogênio (NO_2) e ozônio (O_3) nas cidades de Bauru, Jaú e Marília, a fim de inferir se durante esse período da pandemia, causada pela disseminação do vírus COVID-19, as concentrações ficaram aquém ou além daquelas medidas nas estações de monitoramento da qualidade do ar em anos anteriores.

Constatou-se que houve redução na concentração de alguns poluentes durante o período do isolamento social (24 de março a 24 de abril de 2020) que foram analisados por esse trabalho, quando comparados com o mesmo período de dois anos antes (2018/2019) e dois anos depois (2021/2022). Observou-se que algumas diferenças foram significantes estatisticamente e outras não, e ainda que, o nível concentração dos poluentes também foram influenciados pelas variáveis meteorológicas precipitação e vento.

Observou-se que o material particulado (MP_{10}) apresentou média de concentração reduzida no ano de 2020 em relação a outros anos em todas as cidades analisadas. Em Bauru, o ano de 2020 só não apresentou concentração menor que o ano de 2022, fato que, em parte, pode ser explicado através das condições meteorológicas, já que em 2022 a média da velocidade dos ventos foi tão alta quanto em 2020 (2,36 m/s em 2022 e 2,38 m/s em 2020), e os níveis de precipitação não foram elevados em 2020. Na cidade de Jaú, o ano de 2020 apresentou a menor média quando comparado a todos os outros anos e na cidade de Marília só não apresentou média menor que os anos de 2018 e 2022

que apresentaram, respectivamente, maior intensidade dos ventos (1,76 m/s em 2018 e 1,66 m/s em 2020) e maior precipitação acumulada (116,6 mm em 2022 e 70 mm em 2020). As diferenças nas concentrações foram significantes estatisticamente em Bauru somente entre os anos 2018/2020; em Jaú entre 2018/2020 e 2019/2020; e em Marília não houve diferenças significantes.

Constatou-se que o dióxido de nitrogênio (NO_2) apresentou média de concentração reduzida no ano de 2020 em relação a todos os anos em que foi comparado, em todas as cidades analisadas, sendo, provavelmente, fortemente influenciado pelo isolamento social, já que alguns anos que foram comparados com 2020, tiveram condições meteorológicas propícias à uma concentração menor, e, mesmo assim, não apresentaram. Apesar de todos os anos terem apresentado diferenças em relação ao ano de 2020 nas três cidades, nem todas as diferenças foram significantes estatisticamente. Em Bauru, ocorreu significância somente na diferença entre 2018/2020 e 2019/2020; em Jaú entre 2018/2020, 2019/2020 e 2021/2020; e em Marília entre 2019/2020 e 2021/2020.

Concluiu-se que o isolamento social não apresentou efeitos consideráveis nos níveis de concentração do poluente ozônio, pois não houve redução do poluente na atmosfera durante este período. As concentrações deste poluente foram mais influenciadas pelas condições meteorológicas (precipitação, vento e outras não analisadas por este trabalho), do que pelo isolamento social. Em Bauru, o ano de 2020 apresentou a segunda menor média, em Jaú, a terceira menor, e em Marília a pior média, ou seja, a maior em relação aos anos de 2018, 2019, 2021 e 2022. As diferenças (negativas, já que a concentração do ozônio foi maior em 2020 comparado aos outros anos) foram significantes estatisticamente em Bauru entre 2019/2020 e 2022/2020; em Jaú entre 2021/2020; e em Marília entre todos os

anos (2018, 2019, 2021 e 2022) em relação à 2020.

Este trabalho averiguou que o índice da qualidade do ar para o MP_{10} e o NO_2 manteve-se na classificação BOA para as cidades de Bauru, Jaú e Marília durante todo o período investigado. Já em relação ao O_3 constatou-se, através dos índices obtidos, que a qualidade do ar esteve entre BOA e MODERADA nas cidades de Bauru e Marília, durante 1 dia em cada cidade apenas, mas permaneceu BOA na cidade de Jaú em todo o período pesquisado.

Constatou-se que não foram ultrapassados os padrões de qualidade do ar para nenhum poluente durante nenhum dia em todas as cidades estudadas, ou seja, durante o período analisado os valores das concentração dos poluentes atmosféricos das cidades de Bauru, Jaú e Marília, respeitaram a meta MI2 que está em vigor atualmente no Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013.

Este trabalho é de fundamental importância, não só para propagar conhecimentos sobre a qualidade do ar da região estudada, mas para incentivar a população a colaborar através de inúmeras formas para reduzir a poluição. O isolamento social, despropositadamente, nos mostrou que alguns poluentes tiveram sua concentração reduzida com a diminuição da circulação de veículos, que são agentes poluidores, e, portanto, nos faz pensar que atitudes simples do nosso dia a dia, como a utilização do transporte público e a utilização de meios de transportes não poluidores, como, por exemplo, as bicicletas, podem ajudar a reduzir a poluição e trazer melhorias na qualidade do ar, e, conseqüentemente, para a saúde dos seres vivos. As escolas e seus professores também podem colaborar através da elaboração de projetos de caráter preventivo contra a poluição do ar.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- * Utilizar um maior conjunto de dados para as cidades aqui analisadas;
- * Incluir no estudo, uma maior quantidade de cidades da região do centro-oeste paulista, tais como, Araçatuba, Presidente Prudente e Tupã, pela quantidade de indústrias que elas possuem;
- * Inserir dados de fluxo de veículos e composição de tráfego;
- * Analisar através de modelagem numérica da atmosfera (com a parte química acoplada ou com um modelo de massas de ar), as ultrapassagens do ozônio que ocorreram a noite, pois assim, verifica-se a partir de qual região ele começou a formar-se e se não houve depleção ao chegar na cidade, pois já não havia sol.

7 REFERÊNCIAS

AZEVEDO, L. de S.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES JÚNIOR, J.R. **Análise de mudanças na poluição do ar e sua relação com o isolamento social devido à pandemia de COVID-19 no Nordeste brasileiro.** Sociedade & Natureza, [S.l.], v.33, 2021. DOI:10.14393/SN-v33-2021-59412. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/59412>>. Acesso em: 8 mar. 2023.

BARBOSA, S. M. M. et al. **Poluição do ar e a saúde das crianças: a doença falciforme.** Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v.31, n.2, p.265-75, 2015.

BAINY, Bruno Kabke; PASCHOAL, Ilma Aparecida; AVILA, Ana Maria Heuminskide e SANTOS, Henrique Oliveira dos. **Avaliação da qualidade do ar no Sudeste do Brasil durante a pandemia COVID-19 e do confinamento: relato de aumento da poluição atmosférica.** *Cad. Saúde Pública.* 2021, vol.37, n.9.

BBC NEWS, BRASIL. **Poluição mata mais de 100 mil pessoas por ano no Brasil, diz relatório**, 2017. Disponível em <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-41692503>>. Acesso em 30 jul. 2021.

BELL, Michelle L.; DAVIS, Devra L.; FLETCHER, Tony. **A retrospective assessment of mortality from the London smog episode of 1952: the role of influenza and pollution.** *Environmental health perspectives*, v. 112, n. 1, p. 6-8, 2004. Acesso em 27 jul. 2021.

BERTTOLO, G.B.M.; **Chemical Events in the Atmosphere and Their Impact on the Environment**. Elsevier Science Publishing Company, New York, 1986.

BRAGA, Alfesio, et al. **Poluição atmosférica e saúde humana**, Revista USP Saúde, São Paulo, n.51, p.58-71, 2001.

CALLEGARO, Rafael Marian et al. Efeitos da chuva ácida em recursos florestais. **Revista do Departamento de Biologia da Universidade de Santa Cruz do Sul**, n.3, p. 13-20, 2015.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar - informações**, 2021. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar>>. Acesso em: 10 mar 2021.

CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Histórico**, 2021. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/historico/>>. Acesso em: 30 abr. 2021.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório da qualidade do ar de 2019**, 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 30 abr. 2021.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar - Efeitos da poluição**, 2021. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/solo/efeitos-da-poluicao/>>. Acesso em: 30 abr. 2021.

CHEN, Kai et al. **Air pollution reduction and mortality benefit during the COVID-19 outbreak in China**. *The Lancet Planetary Health*, v. 4, n. 6, p. 210-e212, 2020. Acesso em: 15. Jun. 2021.

COCCIA, Mario. **Diffusion of COVID-19 outbreaks: the interaction between airpollution- to-human and human-to-human transmission dynamics in hinterland regions with cold weather and low average wind speed.** Working Paper Coccia Lab, n. 48, 2020. Coccia Lab CNR.

EESA – The European Space Agency (2020 c). **Air pollution remains low as Europeans stay at home.** Disponível em: <https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Air_pollution_remains_low_as_Europeans_stay_at_home>. Acesso em 30 jun 2021.

FREITAS, Edimilson et al. **Redução nas concentrações de poluentes durante o surto da COVID-19 na Cidade de São Paulo,** Dossiê Covid-19, São Paulo, v. especial, n.5, p.24-25, 2020.

FRONDIZI, C. A. **Monitoramento da qualidade do ar - Teoria e Prática.** Rio de Janeiro, E-papers, v.1, p.11-18, 2008.

GALILEU. **COVID-19 e poluição: como a pandemia afetou o ar que respiramos.** Disponível em: <http://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Meio_Ambiente/noticia/2020/08/covid-19-epoluicao-como-pandemia-afetou-o-ar-que-respiramos>. Acesso em 01 set 2021.

GODISH, Thad; DAVIS, Wayne T.; FU Joshua S. **Air Quality.** CRC Press, Fifth Editions, Boca Raton London New York, p34-37, 2015

GOUVEIA, N. et al. **Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo**. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v.22, n.12, p.2669-77, 2006.

IAG - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. **Estrutura da Atmosfera**. Disponível em <<https://www.iag.usp.br/siae98/atmosfera/estrutura.htm>>. Acesso em 25 jun 2021.

IBAMA- **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis**. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/index.php>>. Acesso em 29 abr. 2021.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp>>. Acesso em 30 abr. 2021.

IEA -Agência Internacional de Energia (IEA). **“Monthly OECD oil price statistics”**. IEA Website[2020]. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/monthly-oecd-oil-price-statistics>>. Acesso em: 12/08/202

JACOBSON, Mark Z. **Poluição atmosférica: história, ciência e regulação**. Cambridge University Press, 2002.

JCNET. **Ar em Bauru fica pior que da capital.** Disponível em: <<https://www.jcnet.com.br/noticias/geral/2011/06/329781o-ar-em-bauru-fica-pior-que-o-da-capital.html>>. Acesso em 30 abr. 2021.

LANDRIGAN, Philip J. et al. **A Comissão Lancet sobre poluição e saúde.** Alanceta, v. 391, n. 10119, p. 462-512, 2018.

LISBOA, H. M. **Controle da poluição atmosférica.** Química da atmosfera. Montreal, Florianópolis, v.1, p.2, 2008.

MACHADO, P. L. O. A. **Carbono do Solo e a Mitigação da Mudança Climática Global.** Química Nova, v.28, n. 2, p.329-334, 2005.

MANAHAN, S. E. **Environmental Chemistry: The atmosphere and atmospheric chemistry.** Capítulo 9. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000c.

MANTOVANI, Igor et al. **Qualidade do ar urbano durante restrições de mobilidade na pandemia por COVID-19 e as diretrizes globais de qualidade do ar da OMS 2021.** Concilium, v. 22, n. 4, p. 1-14, 2022.

NARDOCCI, A. C. et al. **Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil.** Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v.29, p.1867-76, 2013.

OMS – Organização Mundial da Saúde. “**SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome)**”. WHO Website [2020]. Disponível em: <<https://www.who.org>>.

Acesso em:08/08/2021.

OMS - Organização Mundial da Saúde. “**Who Global Urban Ambient Air Pollution Data base**”. Portal Eletrônico da OMS [2020]. Disponível em:

<<https://www.who.org>>. Acesso em:30/08/2021.

PEREIRA, Marilyn. **COVID-19 and air pollution: A dangerous association?**, Allergologia et Immunopathologia, Madrid, v.48, p.496-499, 2020.

READ, Catherine; PARTON, Kevin A. **The impact of the 1952 London smog event and its relevance for current wood-smoke abatement strategies in Australia**. Journal of the Air & Waste Management Association, v. 69, n. 9, p. 1049-1058, 2019.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. 2^a.ed. Belo Horizonte: Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 2002. 265p.

SANTOS, T. O. dos et al. O. et al. **Quantificação de elementos químicos associados ao tráfego de veículos em bromélias atmosféricas transplantadas na Região Metropolitana do Recife**. Scientia Plena, v.9, n. 8, jul.2013.

SAN MARTIN, M. C. **“Impactos iniciais da COVID-19 no estado do Rio Grande do Sul”**. Boletim de Conjuntura (BOCA), vol. 2,n. 4, 2020.

SOUSA, S. I. V.; ALVIM-FERRAZ, M. C. M.; MARTINS, F. G. **Identification and origin of nocturnal ozone maxima at urban and rural areas of Northern Portugal–Influence of horizontal transport**. Atmospheric Environment, v. 45, n. 4, p. 942-956, 2011.

STULL, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Atmospheric Sciences library, Kluwer Academic Published, v.1, p.02-26, 1988.

VENTER, Z.S.; AUNAN, K.; CHOWDHURY, S.; LELIEVELD, J. **COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines**. PNAS, v. 117, n. 32, p. 18984-18990, 2020.

VIEIRA, N.R.; **Poluição do ar: Indicadores ambientais**. Rio de Janeiro: E-papers, 2009.

8 APÊNDICES

APÊNDICE A – Horários de maior concentração do dióxido de nitrogênio

Tabela 1 – Horários da cidade de Bauru/SP

Anos Dias	2018	2019	2020	2021	2022
24/03	23:00	21:00	21:00	21:00	02:00
25/03	07:00	22:00	00:00	20:00	08:00
26/03	19:00	20:00	19:00	00:00	24:00
27/03	20:00	08:00	07:00	08:00	22:00
28/03	20:00	19:00	07:00	22:00	19:00
29/03	20:00	20:00	21:00	08:00	11:00
30/03	06:00	20:00	07:00	08:00	08:00
31/03	21:00	21:00	20:00	03:00	07:00
01/04	19:00	20:00	08:00	19:00	-
02/04	21:00	23:00	08:00	20:00	19:00
03/04	21:00	08:00	22:00	19:00	20:00
04/04	20:00	00:00	21:00	19:00	08:00
05/04	20:00	20:00	-	07:00	21:00
06/04	21:00	02:00	08:00	07:00	20:00
07/04	22:00	19:00	21:00	19:00	19:00
08/04	20:00	19:00	19:00	07:00	-
09/04	20:00	07:00	20:00	21:00	24:00
10/04	20:00	20:00	20:00	22:00	20:00
11/04	12:00	21:00	20:00	23:00	08:00
12/04	20:00	20:00	08:00	09:00	23:00
13/04	20:00	20:00	20:00	19:00	08:00
14/04	20:00	22:00	20:00	20:00	20:00
15/04	19:00	20:00	00:00	20:00	19:00
16/04	20:00	00:00	22:00	08:00	19:00
17/04	20:00	00:00	19:00	08:00	07:00
18/04	20:00	21:00	11:00	20:00	19:00
19/04	20:00	20:00	08:00	19:00	20:00
20/04	09:00	21:00	20:00	20:00	20:00
21/04	22:00	08:00	00:00	20:00	21:00
22/04	20:00	09:00	08:00	19:00	21:00
23/04	19:00	19:00	20:00	20:00	24:00
24/04	20:00	20:00	20:00	21:00	21:00

Fonte:Elaborada pelo Autor.

Tabela 2 - Horários da cidade de Jaú/SP

Anos Dias	2018	2019	2020	2021	2022
24/03	20:00	20:00	-	09:00	19:00
25/03	20:00	19:00	19:00	-	18:00
26/03	19:00	19:00	07:00	-	22:00
27/03	19:00	19:00	00:00	08:00	19:00
28/03	19:00	19:00	19:00	20:00	20:00
29/03	19:00	20:00	04:00	19:00	19:00
30/03	18:00	20:00	22:00	19:00	19:00
31/03	22:00	20:00	21:00	19:00	20:00
01/04	22:00	19:00	07:00	19:00	18:00
02/04	21:00	19:00	20:00	21:00	-
03/04	19:00	19:00	08:00	20:00	-
04/04	20:00	20:00	20:00	00:00	-
05/04	19:00	19:00	20:00	19:00	-
06/04	19:00	20:00	21:00	19:00	-
07/04	19:00	23:00	08:00	19:00	-
08/04	01:00	08:00	19:00	19:00	-
09/04	19:00	18:00	19:00	19:00	-
10/04	19:00	19:00	20:00	21:00	-
11/04	19:00	19:00	19:00	20:00	-
12/04	19:00	20:00	00:00	19:00	-
13/04	19:00	19:00	02:00	19:00	-
14/04	19:00	23:00	19:00	18:00	-
15/04	20:00	19:00	19:00	19:00	-
16/04	18:00	21:00	20:00	19:00	-
17/04	19:00	20:00	00:00	20:00	-
18/04	19:00	20:00	19:00	20:00	-
19/04	20:00	19:00	-	19:00	-
20/04	19:00	19:00	19:00	19:00	-
21/04	21:00	20:00	19:00	19:00	-
22/04	20:00	19:00	18:00	18:00	-
23/04	19:00	19:00	19:00	19:00	-
24/04	19:00	19:00	19:00	19:00	-

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Tabela 3 - Horários da cidade de Marília/SP

Anos	2018	2019	2020	2021	2022
Dias					
24/03	20:00	00:00	19:00	09:00	19:00
25/03	21:00	00:00	19:00	-	09:00
26/03	20:00	08:00	20:00	-	08:00
27/03	20:00	19:00	20:00	08:00	22:00
28/03	20:00	19:00	21:00	20:00	20:00
29/03	18:00	19:00	19:00	19:00	20:00
30/03	20:00	19:00	21:00	19:00	18:00
31/03	23:00	20:00	19:00	19:00	19:00
01/04	23:00	20:00	19:00	19:00	19:00
02/04	20:00	20:00	21:00	21:00	18:00
03/04	20:00	23:00	07:00	20:00	21:00
04/04	21:00	21:00	23:00	00:00	19:00
05/04	22:00	19:00	21:00	19:00	08:00
06/04	20:00	20:00	19:00	19:00	20:00
07/04	19:00	18:00	09:00	19:00	08:00
08/04	19:00	-	21:00	19:00	-
09/04	19:00	-	20:00	19:00	23:00
10/04	20:00	-	00:00	21:00	-
11/04	00:00	-	20:00	20:00	09:00
12/04	17:00	-	20:00	19:00	09:00
13/04	19:00	09:00	19:00	19:00	19:00
14/04	19:00	21:00	22:00	18:00	20:00
15/04	19:00	20:00	00:00	19:00	21:00
16/04	20:00	20:00	21:00	19:00	21:00
17/04	02:00	23:00	19:00	20:00	20:00
18/04	20:00	21:00	19:00	20:00	19:00
19/04	20:00	22:00	20:00	19:00	20:00
20/04	02:00	20:00	19:00	19:00	19:00
21/04	20:00	20:00	08:00	19:00	21:00
22/04	08:00	08:00	19:00	18:00	19:00
23/04	20:00	19:00	19:00	19:00	20:00
24/04	19:00	19:00	20:00	19:00	02:00

Fonte:Elaborada pelo Autor.

APÊNDICE B – Horários de maior concentração do ozônio

Tabela 1 – Horários da cidade de Bauru/SP

Anos Dias	2018	2019	2020	2021	2022
24/03	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
25/03	00:00	16:00	16:00	16:00	16:00
26/03	00:00	16:00	16:00	16:00	16:00
27/03	16:00	16:00	00:00	16:00	16:00
28/03	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
29/03	16:00	16:00	08:00	16:00	16:00
30/03	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
31/03	16:00	16:00	16:00	16:00	08:00
01/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
02/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
03/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
04/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
05/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
06/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
07/04	16:00	16:00	16:00	16:00	08:00
08/04	16:00	16:00	16:00	00:00	00:00
09/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
10/04	16:00	00:00	16:00	16:00	16:00
11/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
12/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
13/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
14/04	16:00	16:00	08:00	16:00	16:00
15/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
16/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
17/04	00:00	16:00	16:00	16:00	16:00
18/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
19/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
20/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
21/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
22/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
23/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
24/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Tabela 2 – Horários da cidade de Jaú/SP

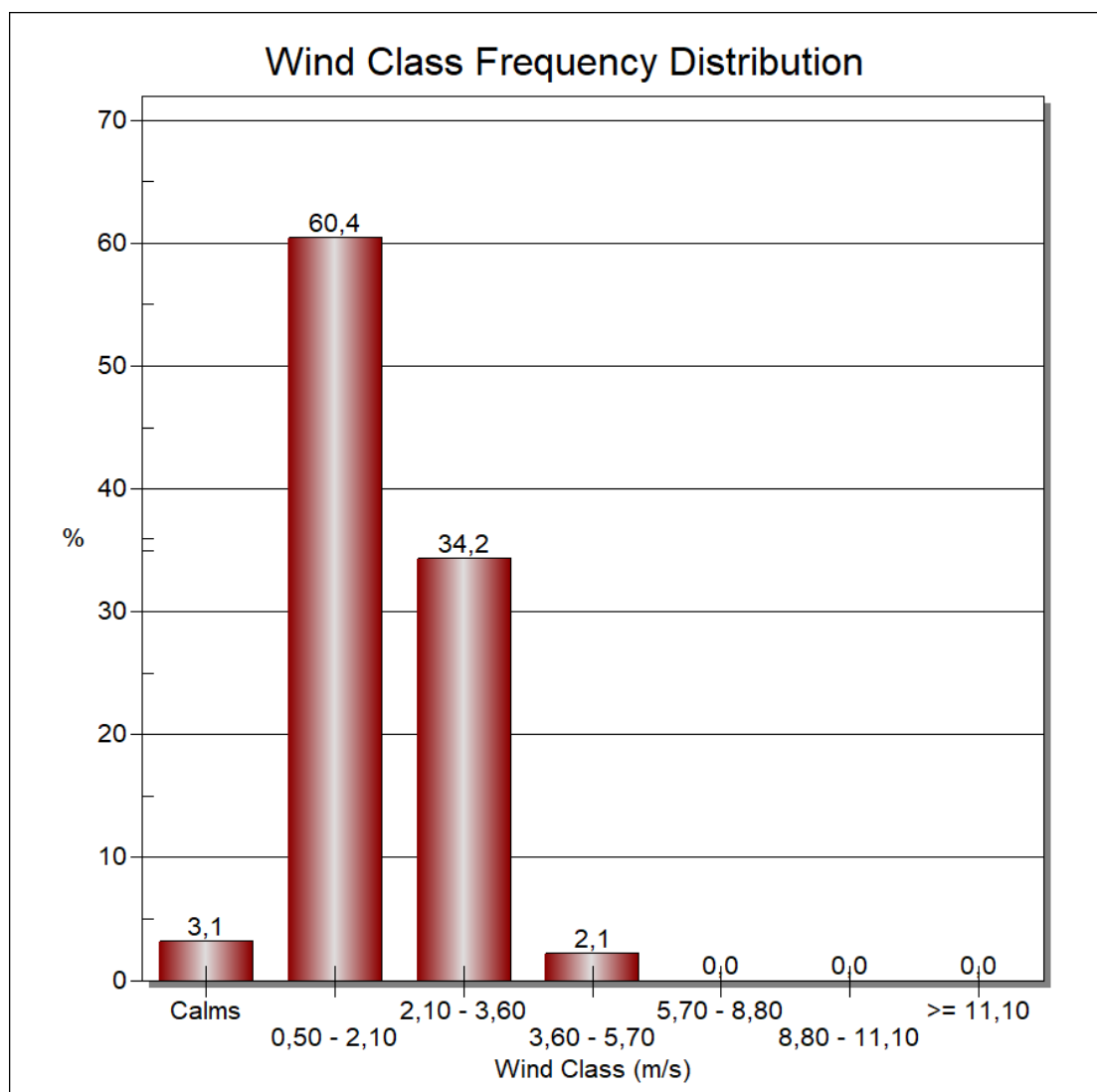
Anos	2018	2019	2020	2021	2022
Dias					
24/03	16:00	16:00	16:00	08:00	16:00
25/03	16:00	16:00	16:00	-	16:00
26/03	00:00	16:00	16:00	-	16:00
27/03	00:00	16:00	00:00	22:00	16:00
28/03	16:00	16:00	00:00	16:00	16:00
29/03	16:00	00:00	08:00	16:00	16:00
30/03	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
31/03	16:00	16:00	16:00	16:00	00:00
01/04	16:00	16:00	00:00	16:00	16:00
02/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
03/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
04/04	16:00	16:00	16:00	00:00	16:00
05/04	16:00	16:00	16:00	00:00	16:00
06/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
07/04	16:00	16:00	00:00	00:00	16:00
08/04	16:00	16:00	16:00	00:00	16:00
09/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
10/04	16:00	00:00	16:00	16:00	16:00
11/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
12/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
13/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
14/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
15/04	16:00	00:00	16:00	16:00	16:00
16/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
17/04	16:00	16:00	16:00	00:00	16:00
18/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
19/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
20/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
21/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
22/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
23/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
24/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Tabela 3 – Horários da cidade de Marília/SP

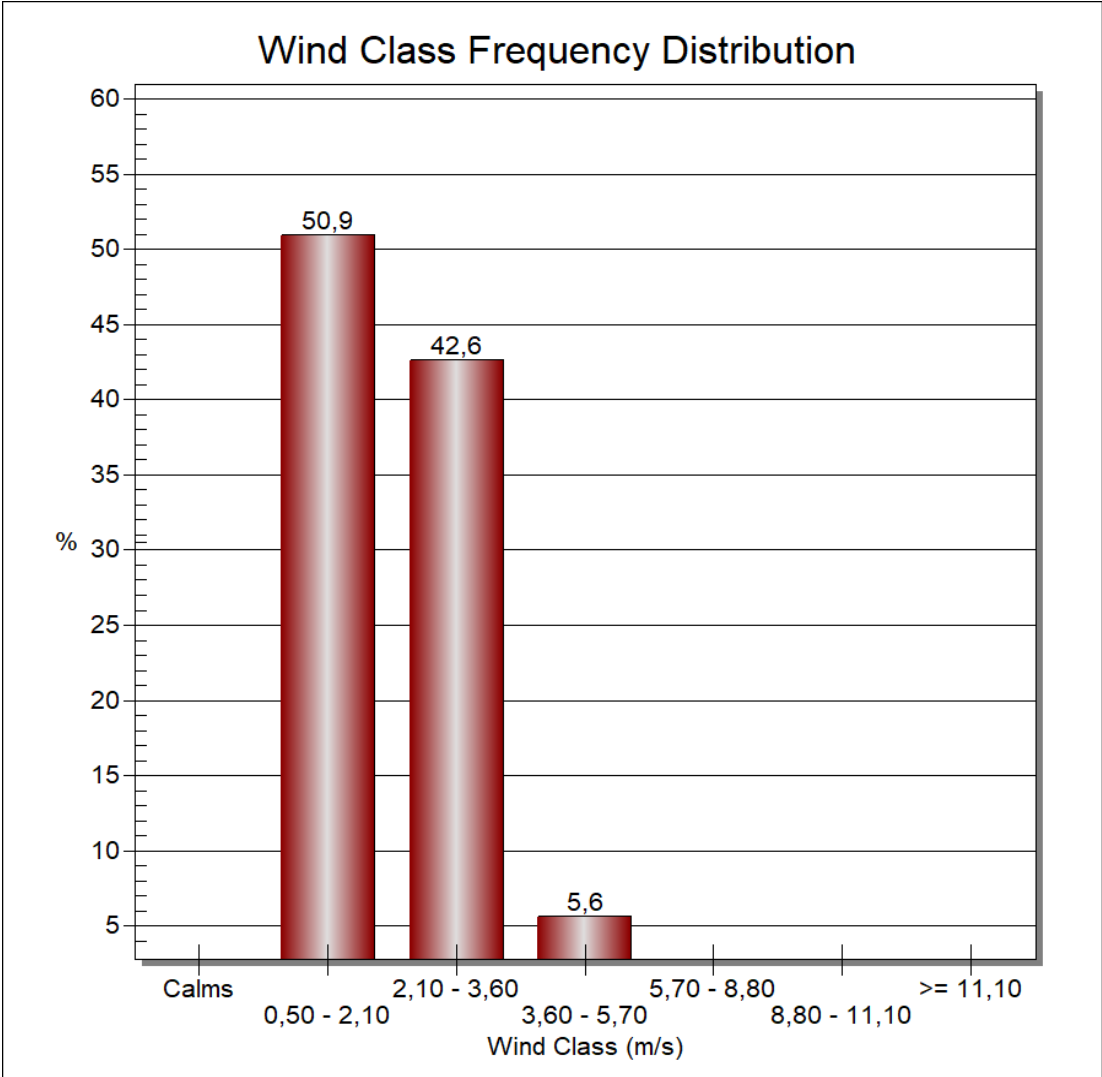
Anos Dias	2018	2019	2020	2021	2022
24/03	08:00	16:00	16:00	00:00	16:00
25/03	-	16:00	00:00	00:00	16:00
26/03	00:00	16:00	00:00	16:00	16:00
27/03	08:00	16:00	00:00	16:00	16:00
28/03	14:00	16:00	16:00	16:00	16:00
29/03	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
30/03	16:00	16:00	00:00	16:00	08:00
31/03	08:00	16:00	16:00	16:00	16:00
01/04	16:00	16:00	00:00	16:00	00:00
02/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
03/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
04/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
05/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
06/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
07/04	16:00	16:00	08:00	16:00	08:00
08/04	16:00	-	00:00	00:00	-
09/04	16:00	-	16:00	16:00	16:00
10/04	16:00	-	16:00	16:00	16:00
11/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
12/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
13/04	16:00	16:00	16:00	16:00	08:00
14/04	16:00	16:00	08:00	16:00	16:00
15/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
16/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
17/04	00:00	16:00	16:00	16:00	16:00
18/04	00:00	16:00	16:00	16:00	16:00
19/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
20/04	16:00	16:00	00:00	16:00	16:00
21/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
22/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
23/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
24/04	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00

Fonte: Elaborada pelo Autor.

APÊNDICE C – Histogramas com os dados do vento de Bauru, Jaú e Marília**Gráfico 1 – Bauru/2018**

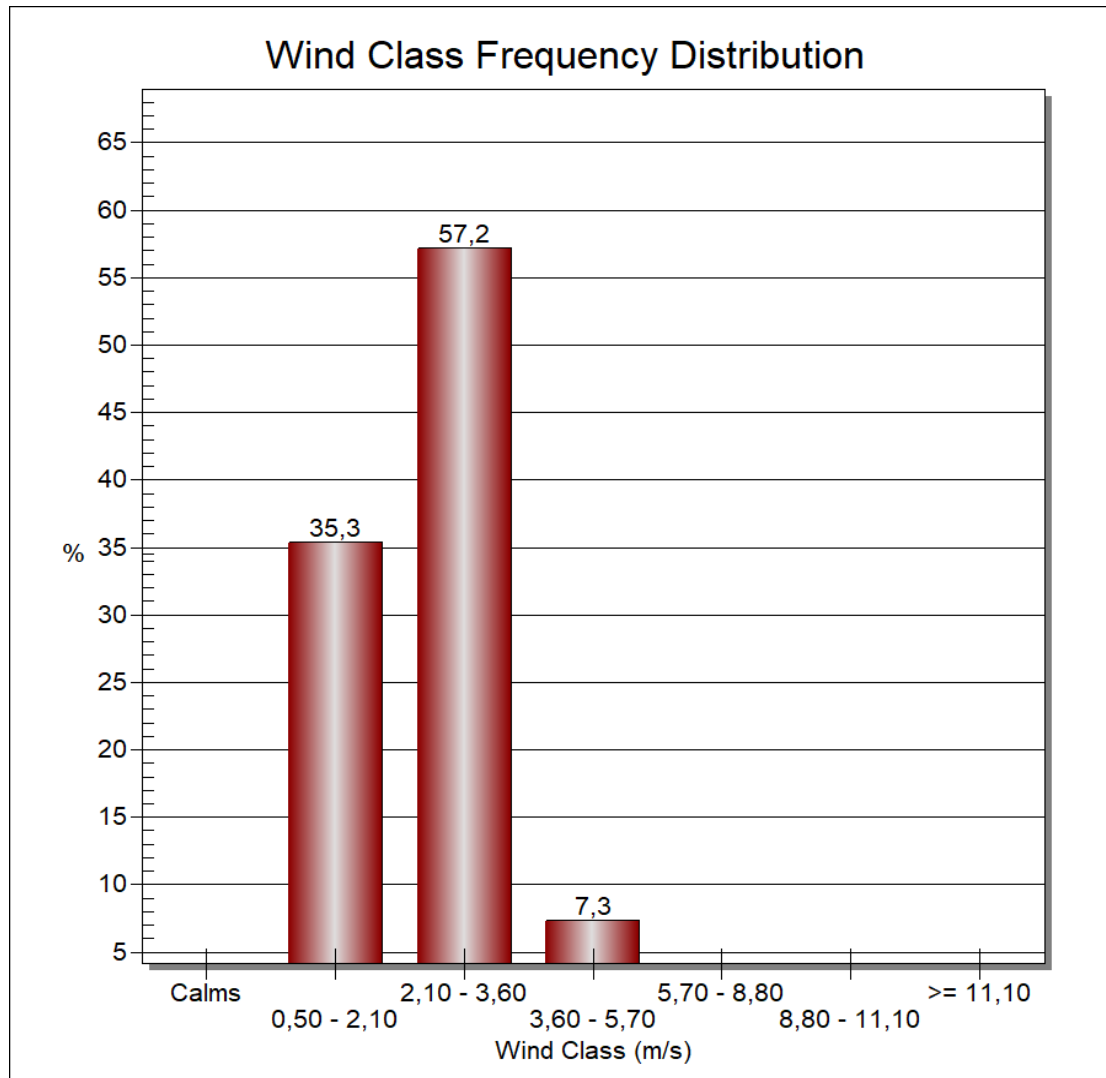
Fonte: Wrplot View.

Gráfico 2 - Bauru/2019



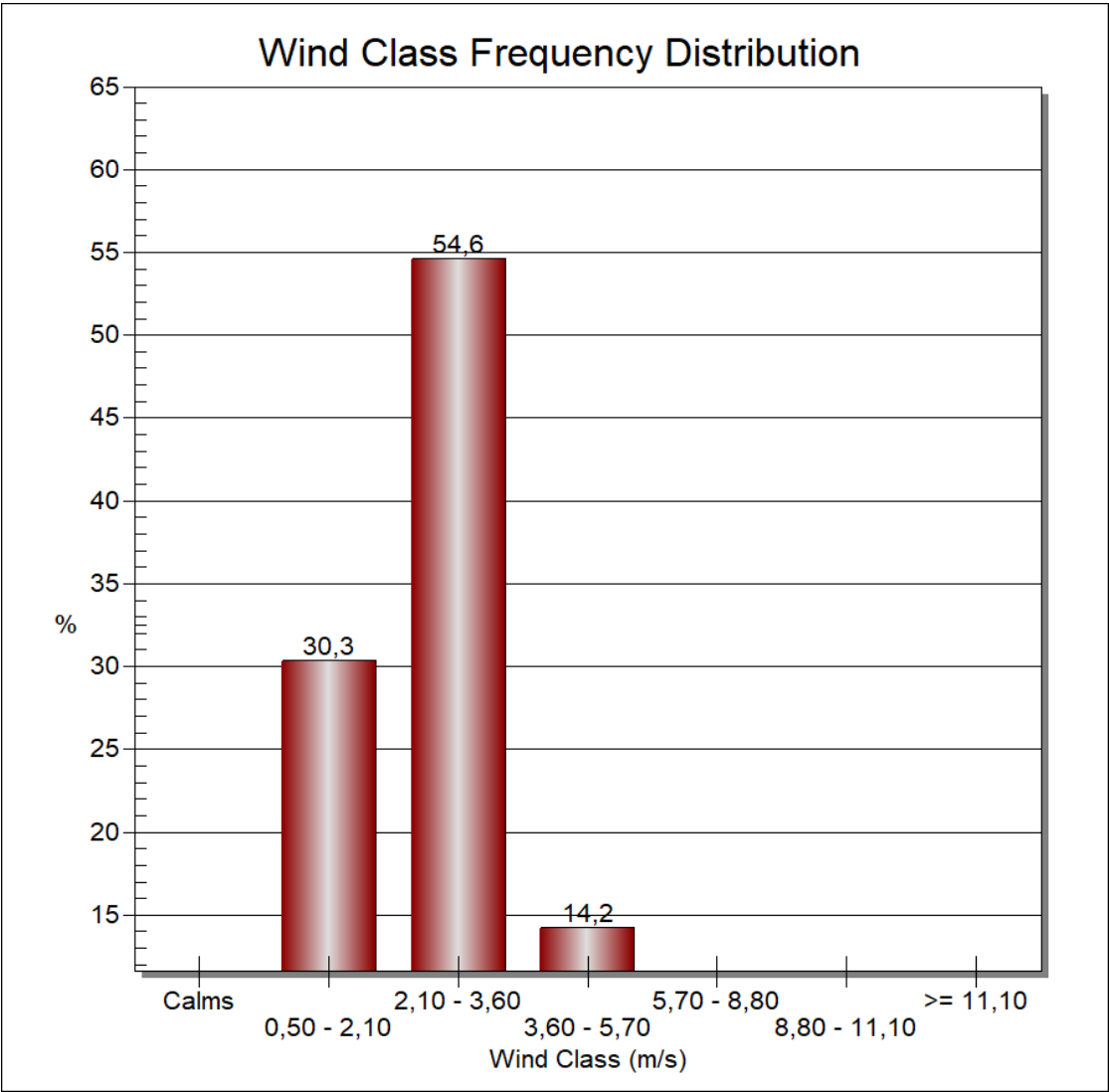
Fonte: Wrplot View.

Gráfico 3 – Bauru/2020



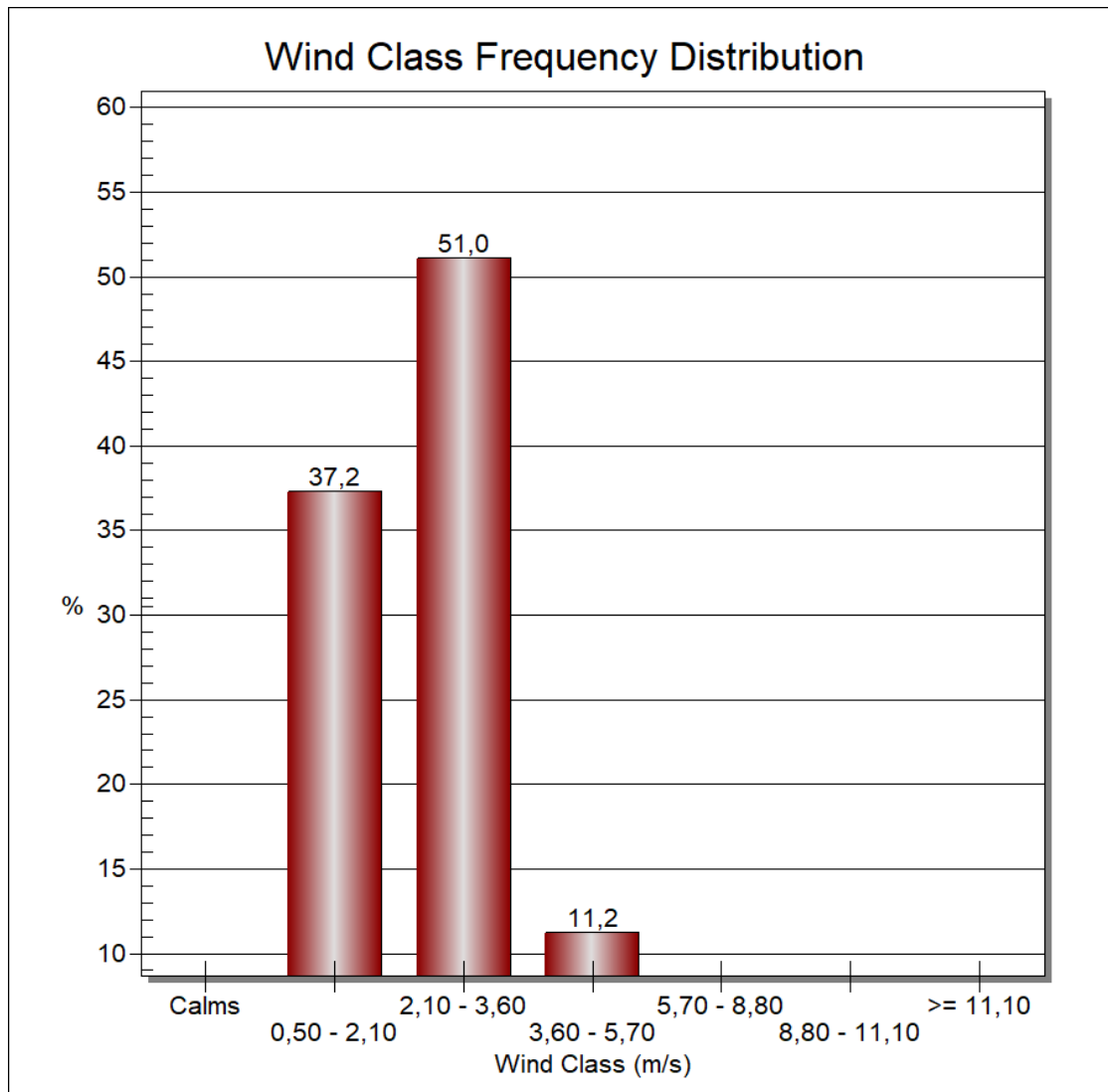
Fonte: Wrplot View.

Gráfico 4 – Bauru/2021



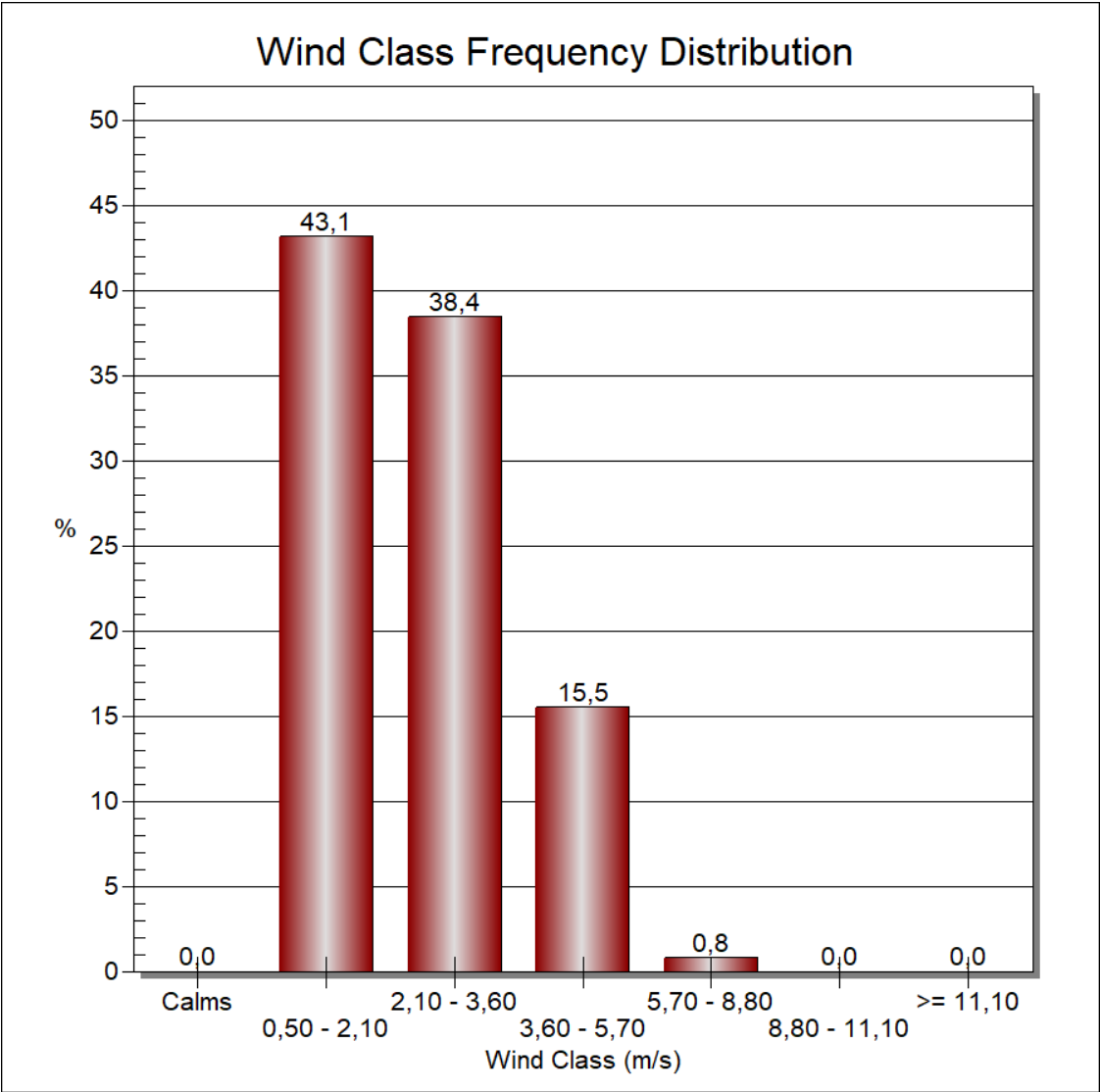
Fonte: Wrplot View.

Gráfico 5 – Bauru/2022



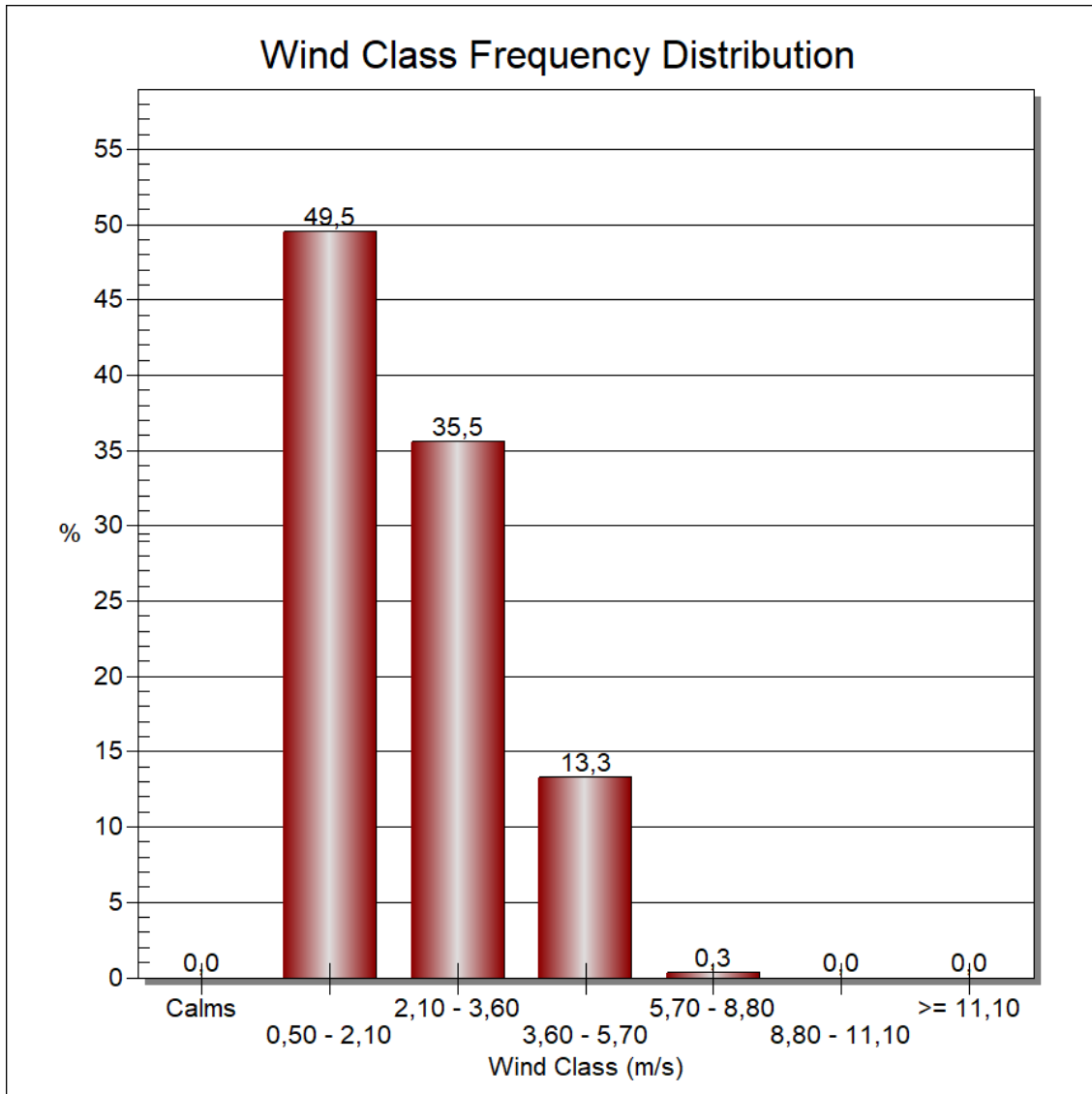
Fonte: Wrplot View.

Gráfico 6 – Jaú/2018



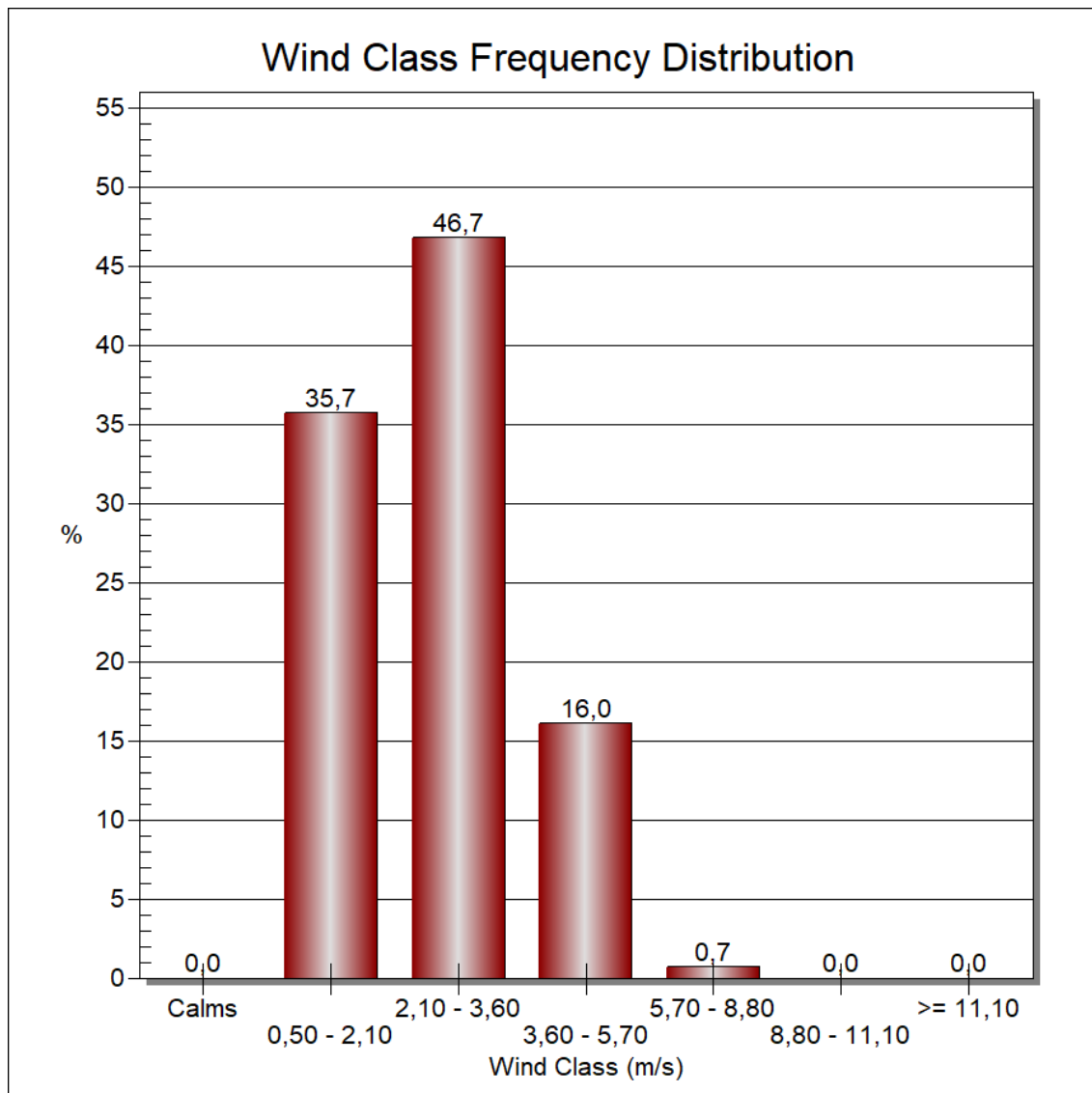
Fonte: Wrplot View.

Gráfico 7 – Jaú/2019



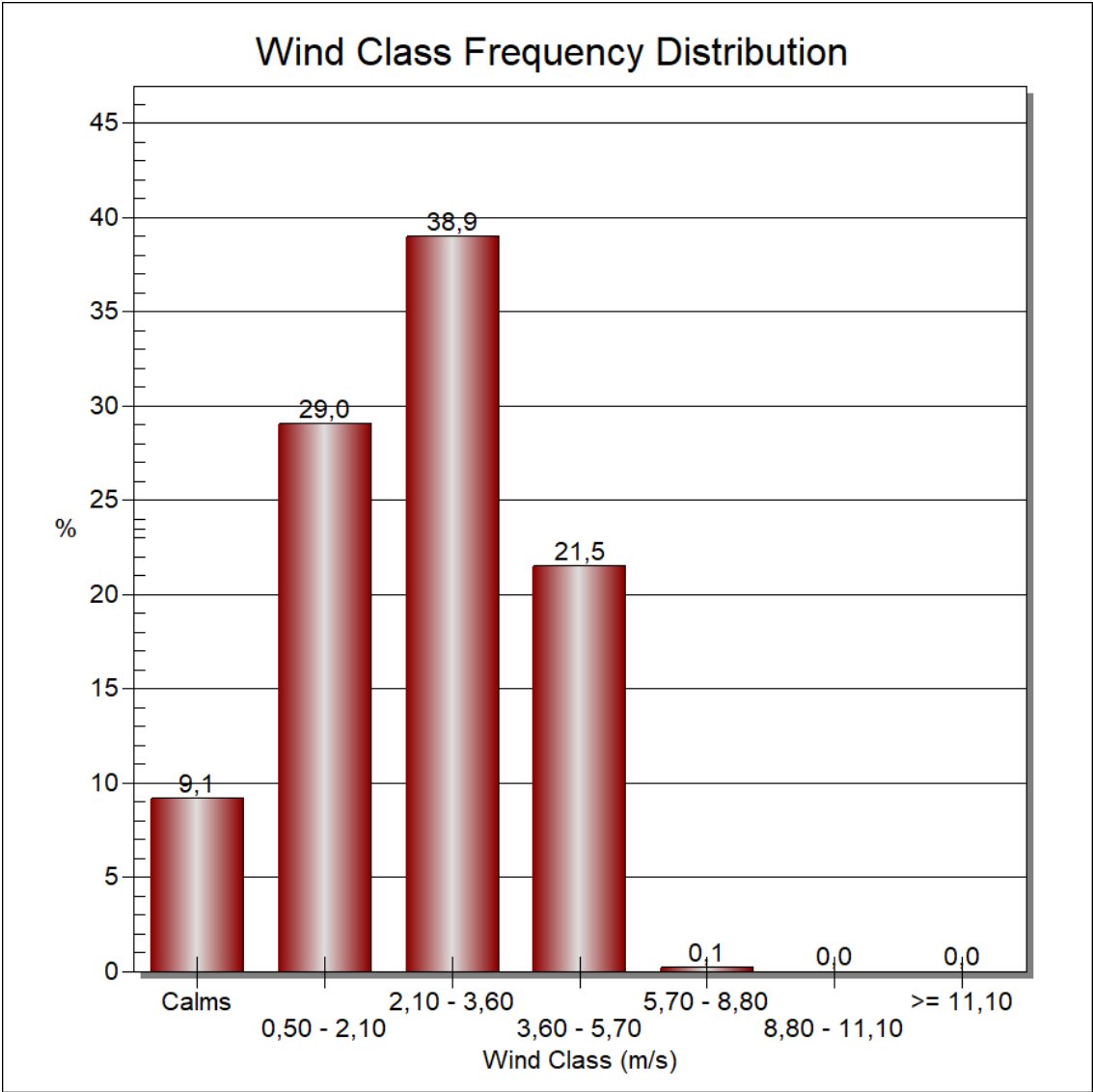
Fonte: Wrplot View.

Gráfico 8 – Jaú/2020



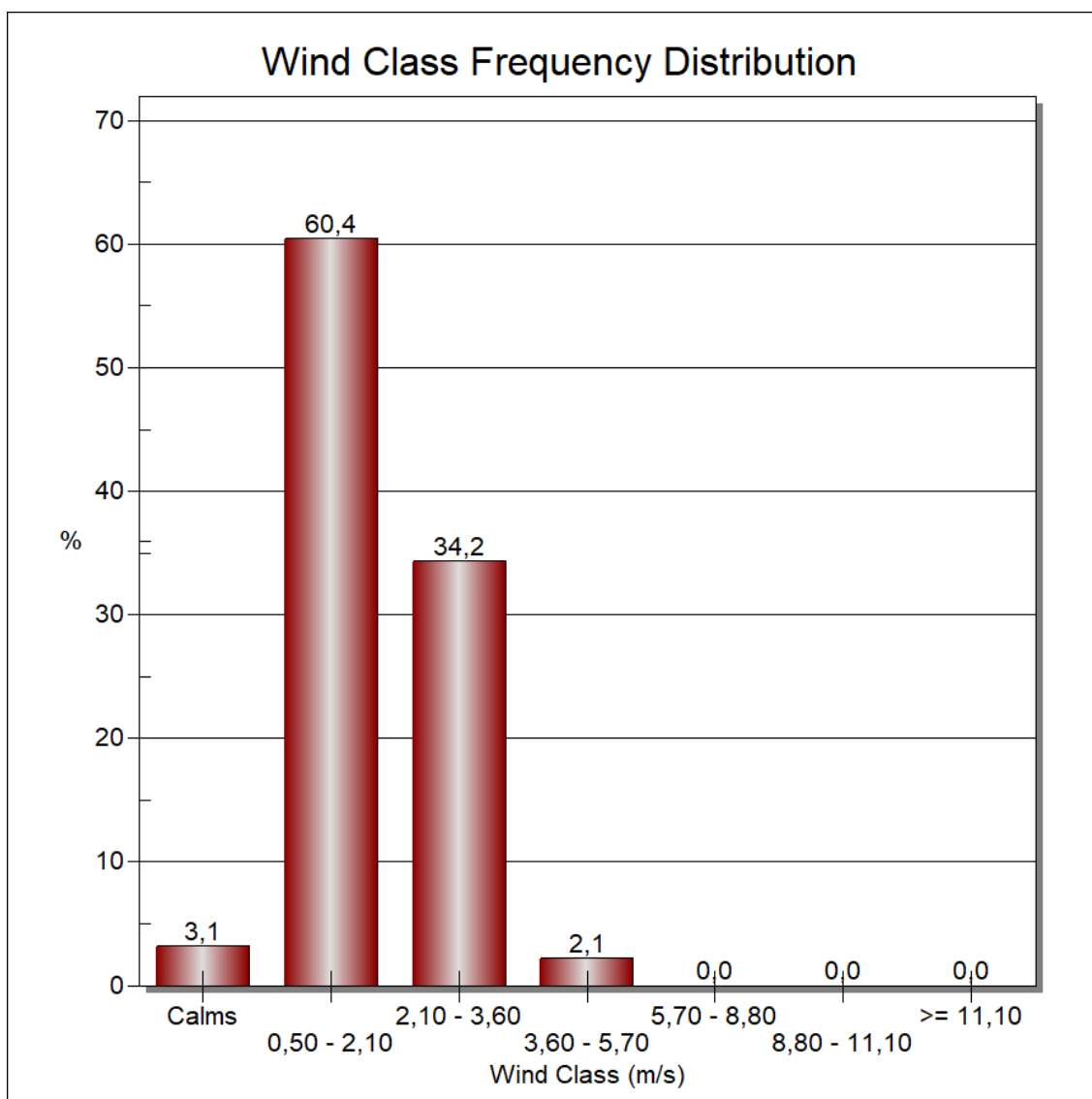
Fonte: Wrplot View.

Gráfico 9 – Jaú/2021



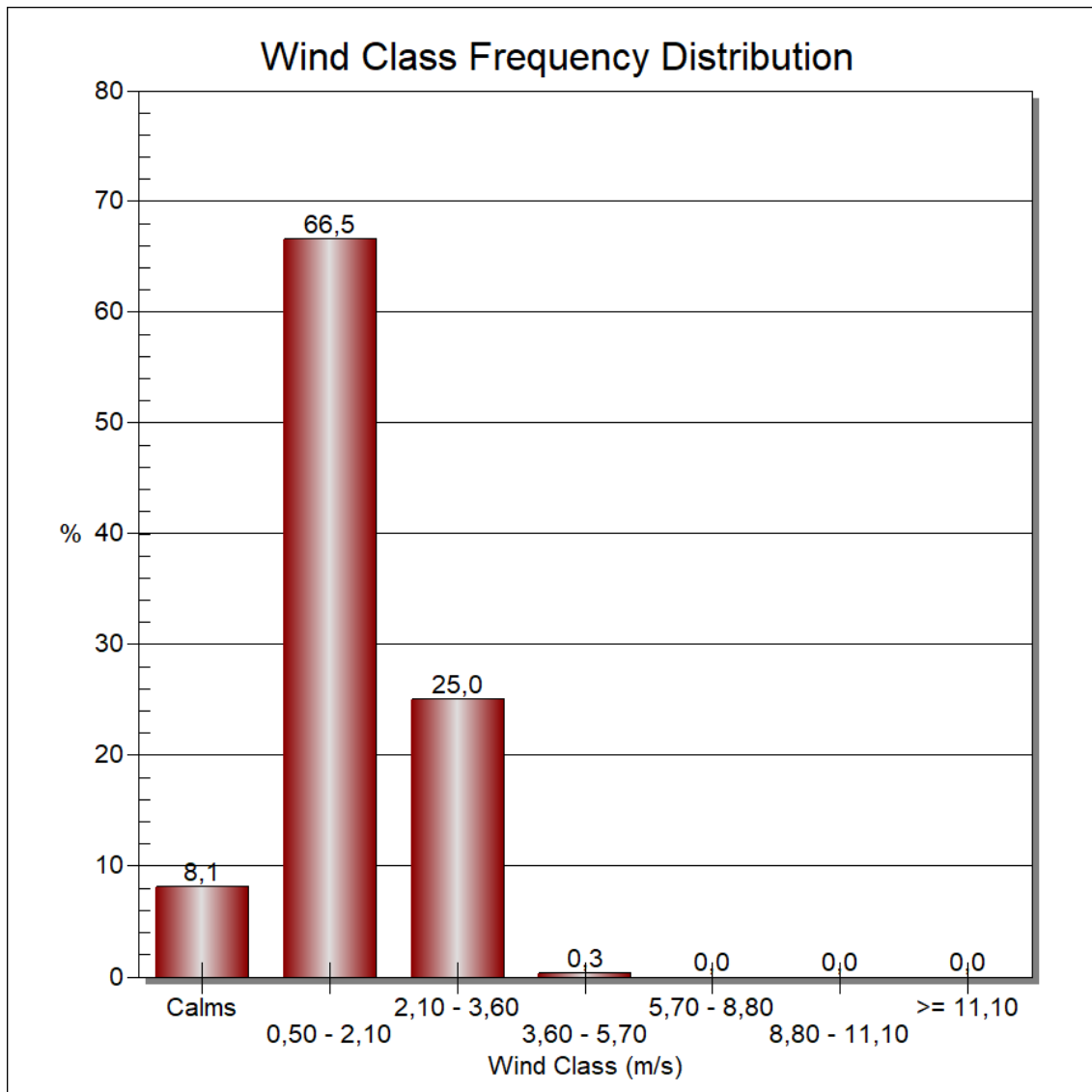
Fonte: Wrplot View.

Gráfico 10 – Marília/2018



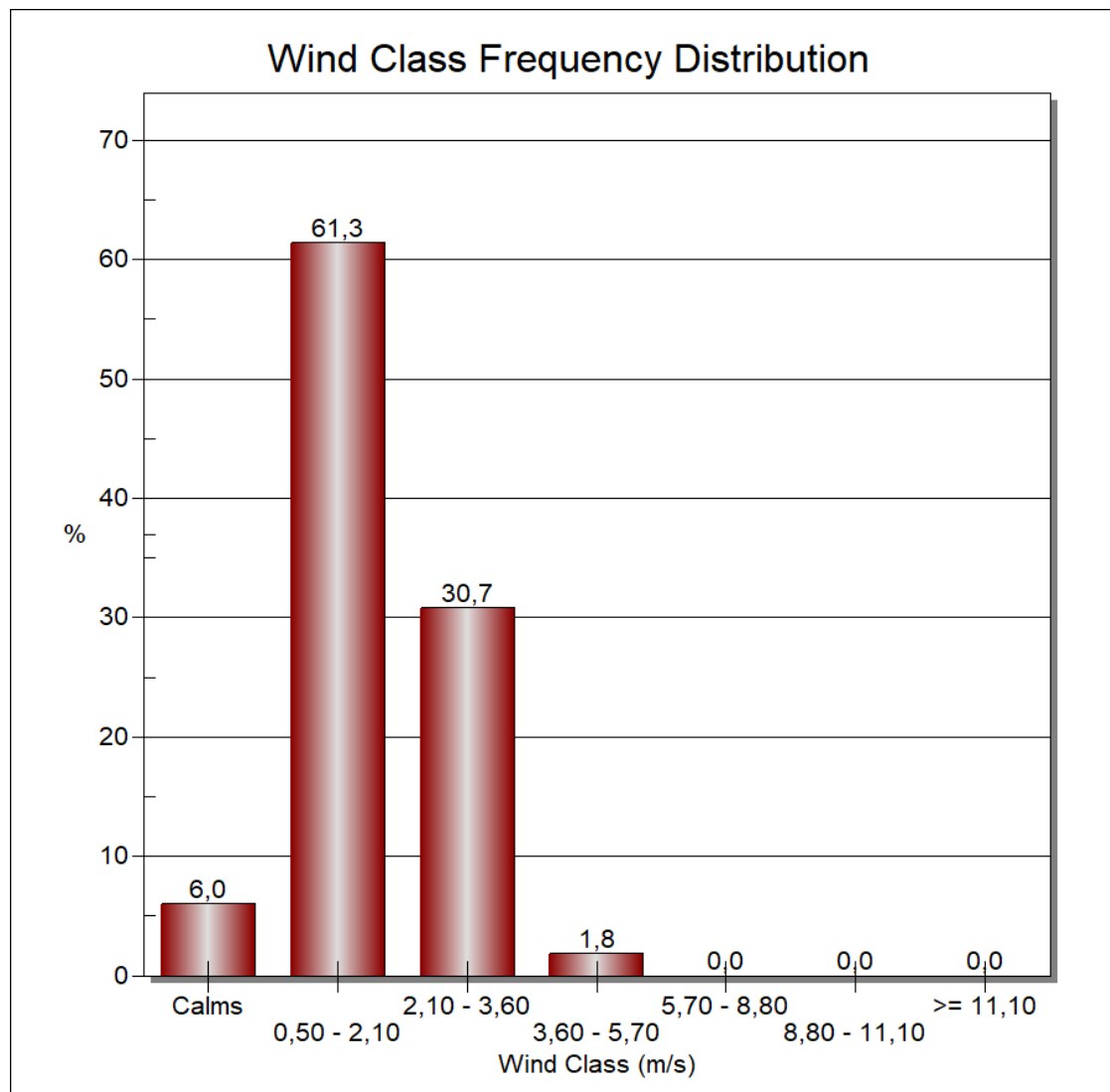
Fonte: Wrplot View.

Gráfico 11 – Marília/2019



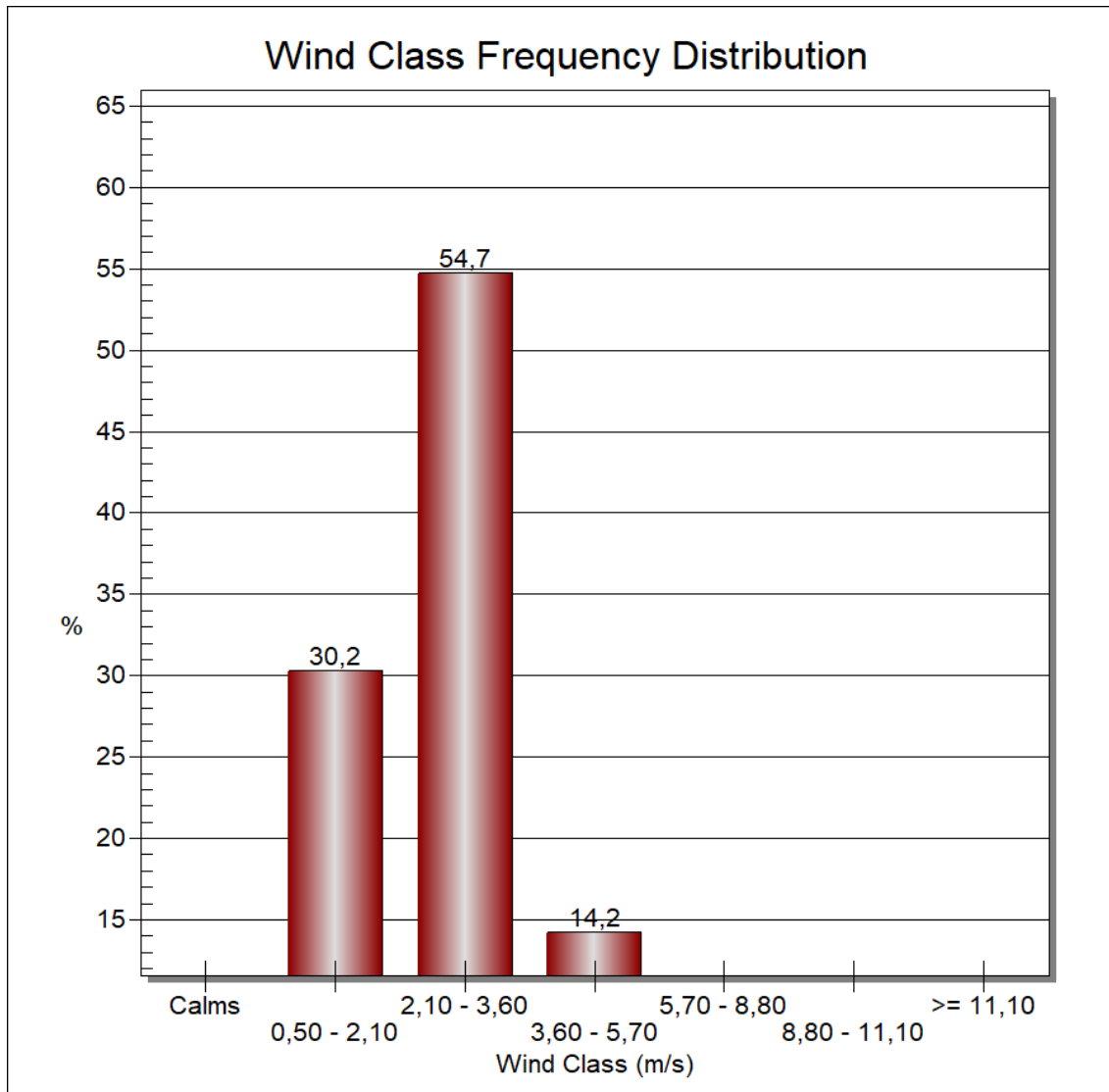
Fonte: Wrplot View.

Gráfico 12 – Marília/2020



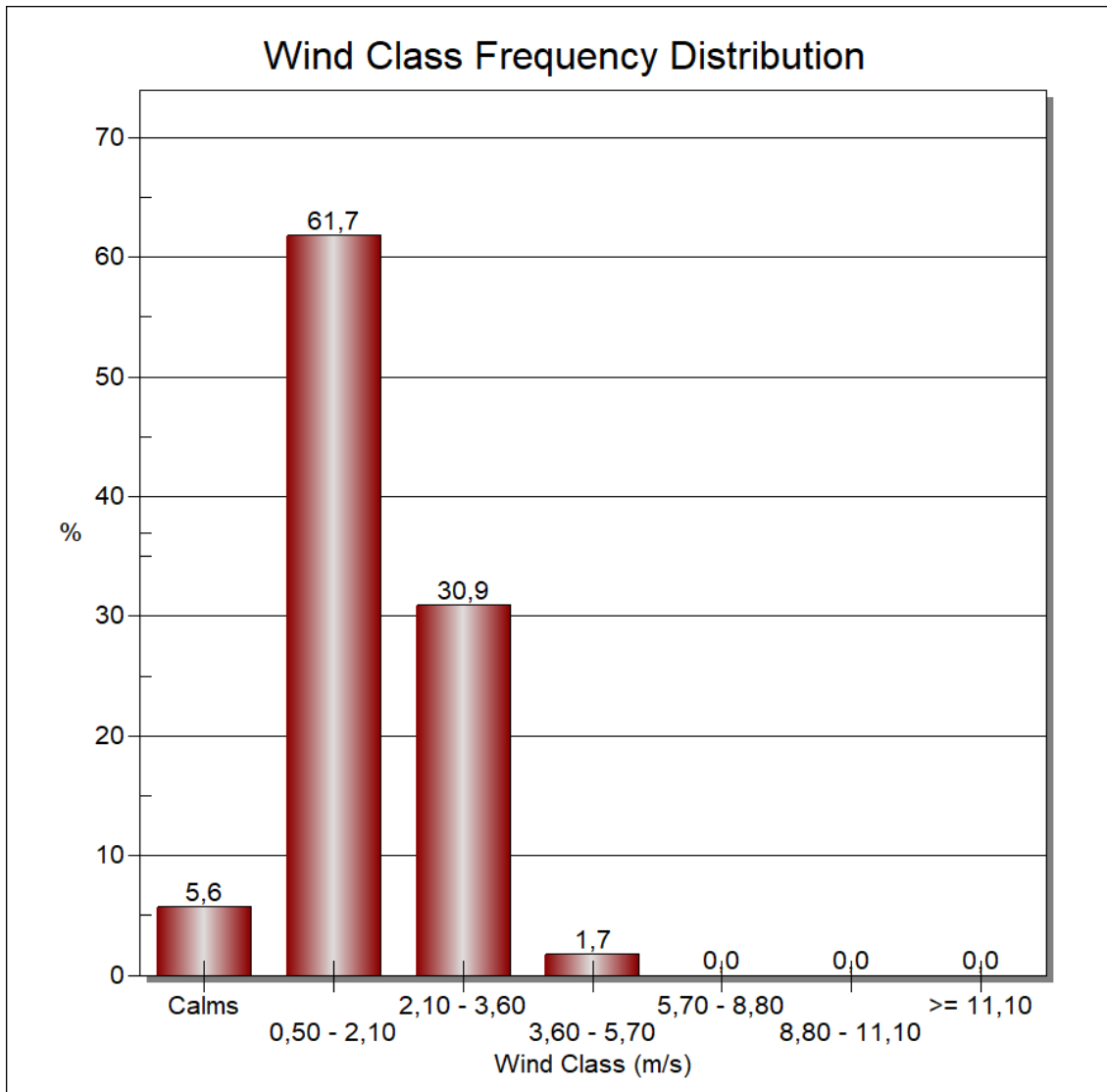
Fonte: Wrplot View.

Gráfico 13 – Marília/2021



Fonte: Wrplot View.

Gráfico 14 – Marília/2022



Fonte: Wrplot View.