REVISTA HYGEIA **ISSN: 1980-1726**
https://seer.ufu.br/index.php/hygeia DOI: https://doi.org/10.14393/Hygeia73366

POLUIÇÃO DO AR E COVID-19: ANÁLISE DA MORTALIDADE NA REGIÃO NORTE DO BRASIL

AIR POLLUTION AND COVID-19: ANALYSIS OF MORTALITY IN THE NORTHERN REGION OF BRAZIL

Reizane Maria Damasceno da Silva
Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil
https://orcid.org/0000-0003-0387-2974
reizanemaria1@gmail.com

Mariana Andreotti Dias
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil
https://orcid.org/0000-0002-9220-8057
mariana_andreotti_d@hotmail.com

Vitória Rodrigues Ferreira Barbosa
Universidade de Brasília, Brasília, Brasil
https://orcid.org/0000-0001-6305-0038
vitoriarfb@gmail.com

Francisco Jablinski Castelhano
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil
https://orcid.org/0000-0002-6747-3545
fjcastelhano@gmail.com

Weeberb João Réquia
Fundação Getúlio Vargas, Brasília, Brasil
https://orcid.org/0000-0002-7564-3364
weeberb.requia@fgv.br

RESUMO

A poluição do ar é problemática presente em muitos contextos socioespaciais afetando milhões de pessoas anualmente no mundo. A intensa urbanização e os riscos socioambientais estão atrelados a mortalidade por doenças cardiorrespiratórias agravadas por contextos atípicos, como o da pandemia da Covid-19. Por meio de dados de mortalidade do Ministério da Saúde e poluentes atmosféricos buscou-se identificar a relação entre a exposição à poluição do ar e os óbitos por Covid -19 na região Norte do Brasil. Utilizamos um modelo estatístico misto binomial negativo com inflação de zero (ZINB) para os óbitos por Covid-19 em nível de município como desfecho, e para a média de longo prazo, poluentes atmosféricos ($PM_{2,5}$, NO_2 e O_3). Foram incluídos variáveis-controles - climáticas, demográficas e oferta de equipamentos e profissionais de saúde. Os resultados evidenciam associação positiva entre as mortes por Covid-19 e material particulado ($PM_{2,5}$) com incremento de cerca de 1,15 µg/m³ no modelo principal, assim como, para os modelos bipoluentes (O_3 e NO_2) e ($PM_{2,5}$ e O_3). A análise geral confirma o incremento de poluentes atmosféricos no agravamento e consequente mortalidade por Covid-19 para todos os municípios da Região Norte. Contexto atrelado também a baixa escolaridade, a baixa renda, a baixa oferta de leitos e profissionais de saúde, indicando a seletividade espacial existente, principalmente, para populações vulnerabilizadas.

Palavras-chave: Poluição do ar. SARS-CoV-2. Doenças cardiorrespiratórias. Mortalidade Norte do Brasil.

ABSTRACT

Air pollution is a problem present in all socio-spatial contexts, affecting millions of people annually around the world. Intense urbanization and socio-environmental risks are linked to mortality from cardiorespiratory diseases aggravated by atypical contexts, such as the COVID-19 pandemic. Using mortality data from the Ministry of Health and atmospheric pollutants, we sought to identify the relationship between exposure to air pollution and deaths from COVID-19 in the Northern region of Brazil. The negative binomial mixed statistical model, with zero inflation (ZINB), was used for deaths from Covid-19 at the municipal level as a stage, and for

Recebido em: 06/12/2023
Aceito para publicação em: 04/03/2024.

the long-term average, atmospheric emissions ($PM_{2,5}$, NO_2, and O_3). Included in the model are control variables, such as harmful, demographic, and health equipment variables. The results showed a positive association between deaths from COVID-19 and particulate matter ($PM_{2,5}$) with an increase of around 1.15 µg/m³, as well as for the bipollutant models (O_3 and NO_2) and ($PM_{2,5}$ and O_3). The general analysis confirms the increase in atmospheric emissions without worsening and consequent mortality from COVID-19 for all municipalities in the Northern Region. The context also linked to low education, low income, low supply of beds and health professionals, goes back to the existing spatial selectivity, mainly for vulnerable populations.

Keywords: Air pollution. SARS-CoV-2. Cardiorespiratory diseases. Mortality North of Brazil.

INTRODUÇÃO

A contaminação ambiental das águas, áreas de verdes, dos solos e toda a biodiversidade - impacta seriamente as diversas dimensões (sociais, psíquicas, fisiológicas) da saúde humana (FULLER et al., 2022; KULSHRESHTHA, 2019; WEIMANN et al., 2015) e a poluição do ar tem se apresentado como um dos maiores problemas e impactos à saúde afetando milhões de pessoas em todo o mundo (ANDERSON et al., 2012; INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL HEALTH SCIENCES, 2020).

Cerca de 99% da população mundial inala poluentes atmosféricos que excedem os limites de qualidade do ar estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS) (OPAS, 2022). A poluição do ar é um dos mais ocultos e insidiosos problemas de saúde nos países de média e alta urbanização, colocando o Brasil neste contexto também. Estimativas indicam para o período de 2018 a 2025, que em apenas seis regiões metropolitanas do Brasil, onde residem 23% da população brasileira, a poluição do ar matará, “silenciosamente”, quase 128 mil pessoas (ANDRÉ SANT’ANNA, 2021).

A rápida urbanização e outros agravantes, como queima de combustíveis, queimadas, mineração, desmatamentos, intensificados nos últimos dez anos, aumentou a exposição aos poluentes atmosféricos, como ozônio (O_3), material particulado (PM) de diferentes diâmetros – $PM_{2,5}$ µm, PM10 µm -, dióxido de nitrogênio (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO) e chumbo (Pb). Todos esses fatores contribuem para o aumento da poluição do ar (SANTANA et al., 2012) e o agravamento de doenças cardiorrespiratórias.

Os poluentes atmosféricos estão associados a um risco elevado de doenças cardiorrespiratórias, incluindo doença cardíaca coronária, acidente vascular cerebral e infecções respiratórias inferiores (YANG XIE, 2021); (THOMAS MÜNZEL, 2021). Atenção especial é dada às pequenas partículas de poeira (PM10 e $PM_{2,5}$) pois elas penetram no trato respiratório inferior (EPA, 2011), onde estão os órgãos do sistema respiratório humano, como pulmões, traqueia e brônquios, podendo levar à morbidade e mortalidade cardiovascular, bem como ao aumento de internações e despesas hospitalares.

Em países de alta renda, as exposições a esses poluentes têm sido associadas a riscos e vulnerabilidades que incidem em uma crescente de problemas respiratórios crônicos, incluindo bronquite crônica, asma e rinite alérgica (DE LA FUENTE et al., 2020; ID et al., 2017; RICHARDSON & MITCHELL, 2010; SEO et al., 2019; TAMOSIUNAS et al., 2014; VILLENEUVE et al., 2012). Entretanto, tais situações estão presentes em todos os países e contextos socioeconômicos do mundo.

No Brasil, a poluição do ar regional tem sido um grande problema ambiental nas últimas décadas devido à expansão urbana e à industrialização (CAMPELLO, 2023; DAIELLO et al., 2020; SUZIGAN, 2012). Altas concentrações de $PM_{2,5}$ (particulate matter, partículas finas com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 µm) e concentrações elevadas de ozônio, têm impactos adversos na saúde pública, especialmente em regiões densamente populacionais (LEI et al., 2019; OSTRO e ROTHSCHILD, 1989).

Atrelado a contextos extremos, como o vivenciado com a pandemia de COVID-19, e ao isolamento social - resultou em uma interrupção repentina de grande parte das atividades econômicas, como nos fluxos modais, nas redes de transporte de carga, nas atividades industriais, etc. -, a qualidade do ar tende a aumentar, como indicaram os estudos nas cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Fortaleza,

Brasília e Belo Horizonte (URRUTIA-PEREIRA et. al., 2020) chegando a uma redução de até 50% nos níveis de ozônio Troposférico, Dióxido de nitrogênio e material particulado de 2,5 µm.

Entretanto, apesar do isolamento social e a diminuição das atividades humanas auxiliarem na qualidade do ar, em locais em que a diminuição não ocorreu, a poluição do ar se mostrou como facilitadora da infecção por COVID-19 e agravadora dos quadros clínicos, já que os poluentes diminuem a resposta imune, facilitando a entrada viral (HYMAN et al., 2023; URRUTIA-PEREIRA et al., 2020).

Nesse sentido, o objetivo do presente estudo foi avaliar a associação entre a exposição prolongada a poluentes atmosféricos ($PM_{2,5}$), (O_3) e (NO_2) e os óbitos por COVID-19 na região Norte do Brasil, considerando na análise estatística variáveis meteorológicas, características demográficas, aspectos socioeconômicos e condições de saúde a fim de compreender a atuação da poluição do ar na saúde da população.

Justifica-se a escolha pela área de estudo, pois a região Norte do Brasil e seus estados - Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins - enfrentaram desafios significativos e bastante dispares do resto do país em relação à pandemia de COVID-19 (MENDONÇA et al., 2020 ; BARRETO et al., 2021), alguns deles - a falta de profissionais da saúde, leitos de UTI e instrumentos, como respiradores - algo que alavancou os coeficientes de incidência de COVID-19 e os números de óbitos, principalmente no Amazonas, Amapá e Roraima.

Além disso, a região também apresenta uma das maiores desigualdades de acesso aos serviços básicos (NERI, 2020) do país, e tal condição foi intensificada com a pandemia de COVID-19. Muitos residentes, particularmente aqueles que vivem na estratificação social de extrema pobreza e residem em assentamentos subnormais, enfrentaram dificuldades no acesso aos equipamentos de saúde, instalações sanitárias, água potável, e de rendimento, já que a queda no turismo, prejudicado com o isolamento social e as restrições de viagem (ROSA, 2021) conduziu à perda de postos de trabalho e a uma maior disparidade de rendimentos e ao aumento dos níveis de pobreza (NERI, 2020).

Ademais, investiga-se a região, pois a exposição à poluição do ar é alavancada por sua economia com atividades industriais, agrícolas, e de mineração. Sendo assim, hipotetiza-se que os residentes da região Norte do país, por todos os aspectos apresentados, estejam dentro do grupo dos mais vulneráveis ao vírus (MENDONÇA et al., 2020) e em risco de vida.

Como estratégia metodológica assumiu-se uma combinação de métodos estatísticos e analíticos utilizando uma serie de dados: - Dados de mortalidade disponibilizadas pelo Ministério da Saúde para o intervalo de 1 de março de 2020 a 30 de abril de 2021; - Variáveis de poluição do ar - $PM_{2,5}$, NO_2 e O_3, extraídos de modelo de reanálise global.

Utilizou-se um modelo estatístico misto binomial negativo, com inflação de zero, para os óbitos por COVID-19 em nível de município como desfecho, e para a média de longo prazo, os poluentes atmosféricos. Fora adicionada uma interceptação aleatória, por estado, para contabilizar possíveis correlações entre comunidades dentro do mesmo estado, sendo ajustados para potenciais confundidores, incluindo variáveis meteorológicas, características demográficas, aspectos socioeconômicos e condições de saúde.

Aplicaram-se modelos de controle com o intuito de identificar o comportamento dos poluentes - ora, um poluente por vez, como exposição; ora, um poluente como exposição e outro como covariável; e ora, modelos considerando um poluente como exposição e os dois outros como covariáveis, para estimar os efeitos de cada poluente do ar sem e com controle de copoluentes.

Dessa forma, o estudo está organizado, inicialmente pela apresentação do referencial teórico acerca dos poluentes atmosféricos e sua relação com as doenças cardiorrespiratórias e mortalidade; após, a estratégia metodológica e descrição dos dados; a seguir expõem-se os resultados e discussões; e por fim, as considerações do estudo e novas perspectivas para a temática.

ASSOCIAÇÃO ENTRE POLUIÇÃO DO AR E MORTALIDADE POR DOENÇAS CARDIORRESPIRATÓRIAS

As doenças cardiorrespiratórias representam um grupo de condições de saúde que afetam o sistema cardiovascular e respiratório, podendo resultar em complicações graves e até fatais. Os contributos para o surgimento e a disseminação, compreendem hábitos de vida, fatores genéticos e ambientais. Ademais, estudos (GONÇALVES CWB, 2020) têm mostrado que a poluição do ar tem efeitos nocivos

na saúde humana, levando ao aumento da mortalidade e morbidade, particularmente por doenças cardiovasculares e respiratórias, com maior ocorrência em homens idosos e mulheres na idade economicamente ativa (OLIVEIRA, 2011).

Além disso, descobriu-se que a exposição a poluentes voláteis está associada as internações hospitalares respiratórias (COSTA, 2019). Os altos níveis de poluição do ar da região podem contribuir para a prevalência de doenças como a gastroenterite aguda causada por outros vírus, como o rotavírus (BENEDETTI, 2019).

Outro ponto de análise sobre as doenças cardiorrespiratórias é a distribuição geográfica que tem sido importante fator que implicará em maiores riscos e vulnerabilidades. Caso, por exemplo, de países como Brasil, Índia e China que tiveram uma rápida e crescente urbanização, não acompanhada por saneamento básico e acesso universal à saúde. Assim como, cidades com índice de desenvolvimento humano alto ou muito alto, que apesar de os municípios desenvolvidos serem menos propensos à morbidade hospitalar cardiorrespiratória (WILL, 2021) a exposição à poluição do ar é maior.

Estudos realizados para outras regiões do país, como a Sul e Sudeste, considerou-se que a presença de poluentes no meio ambiente também pode desempenhar um papel na ocorrência de câncer de pulmão, com diferenças observadas entre áreas urbanas e rurais (CASTRO, 2011); (WILL, 2021); (OLIVEIRA, 2011).

Já a relação entre mortalidade por COVID-19 e exposição a poluentes atmosféricos, foi amplamente identificada em diversas localidades do mundo (AMNUAYLOJAROEN & PARASIN, 2021; BRANDT et al., 2020; HOANG & TRAN, 2021; KEPHART et al., 2021; PRINZ & RICHTER, 2021; URRUTIA-PEREIRA et al., 2020; WOODBY et al., 2021).

Entre todos os poluentes conhecidos com efeitos negativos na saúde respiratória, os que mais têm sido relacionados à mortalidade por COVID-19 são os materiais particulados (Fine Particulate Matter); TUNG et al., 2021; YAO et al., 2020) e os poluentes atmosféricos contendo nitrogênio e ozônio (AKAN, 2022; CONTICINI et al., n.d.; KOGEVINAS et al., 2021; MARQUÈS et al., 2021). Em estudos, realizados em diferentes locais do mundo, pesquisadores investigaram a exposição a longo prazo à poluição do ar e à gravidade do COVID-19, foi o caso de Chen et al., (2022) na Califórnia, EUA, onde descobriram um aumento na exposição média de $PM_{2,5}$ em 1 ano associado ao aumento do risco de morte relacionadas a COVID-19. Ou ainda, os achados de estudo baseado em dados individuais na Cidade do México (LÓPEZ-FELDMAN et al., 2021), que estimou uma relação positiva entre os óbitos por COVID-19 e $PM_{2,5}$ ajustando para características individuais e municipais.

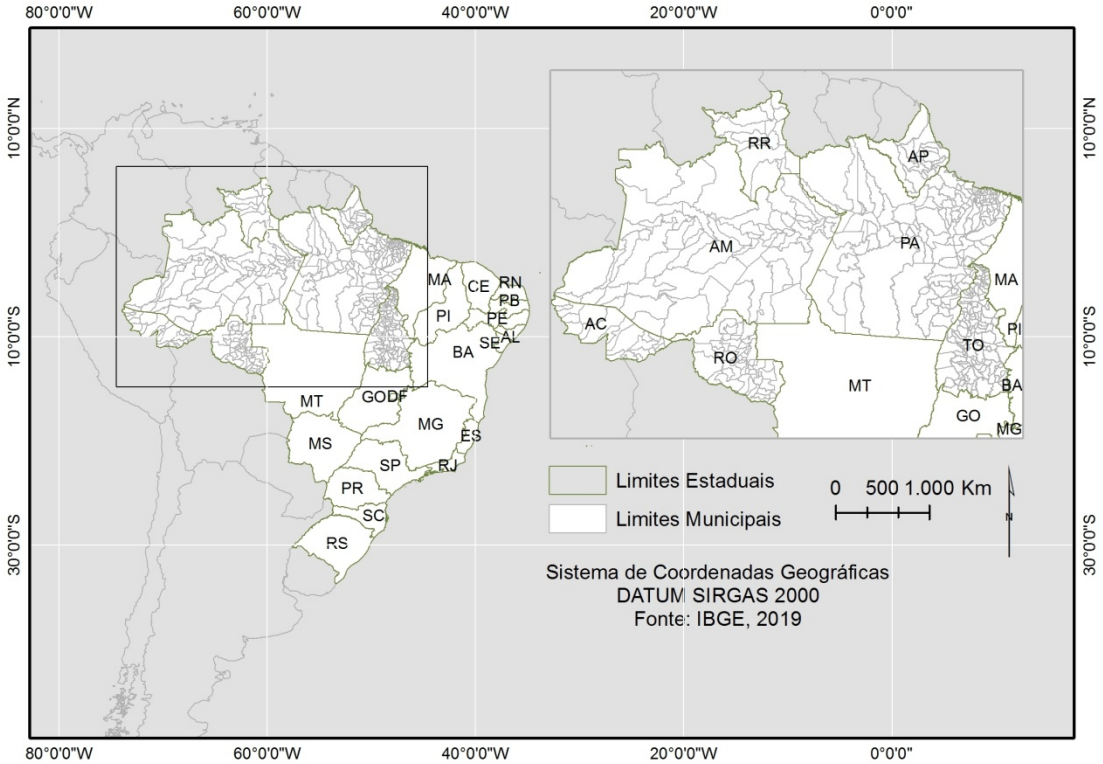
Dentre os poluentes atmosféricos relacionados à mortalidade cardiorrespiratória, o mais problemático e que tem sido associado a várias doenças na região Norte do Brasil é o $PM_{2,5}$ - material particulado fino de diâmetro inferior a 2,5 micrometros (µm).

No geral, ao considerar entraves sociais, econômicos, ambientais bastante latentes na região Norte do país, deve-se considerar também o impacto do, ($PM_{2,5}$), (NO_2) e (O_3) na saúde na região, já que tais poluentes são comprovadamente tidos como agravantes as doenças cardiorrespiratórias, principalmente em localidades de elevada urbanização e ausência de controle químico-físico, diretrizes governamentais de proteção à saúde humana e à natureza.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo de caso concentra-se no universo populacional da Região Norte do Brasil (Figura 1), compreendida por sete estados – Amazonas (AM), Pará (PA), Acre (AC), Roraima (RR), Rondônia (RO), Amapá (AP) e Tocantins (TO) – e 450 municípios.

Figura 1 – Área de estudo



Fonte: Organizado pelos autores (2023).

A população total na região está em 17.834.762 pessoas (8,58% da população brasileira), sendo o estado do Pará o mais populoso (8.442.962 total e sua capital, Belém 1.367.336), seguido pelo Amazonas (3.952.262 total e sua capital, Manaus com 2.054.731) e Rondônia (1.616.379 total e sua capital, Porto Velho com 461.748) (IBGE, Censo Demográfico, 2022).

A autodeclaração por raça/cor concentra-se, majoritariamente, por pardos (10.659.535 indivíduos), seguida por brancos (3.686.144 indivíduos), pretos (1.033.504 indivíduos), indígenas (305.152 indivíduos) e amarelos (176.721 indivíduos) (IBGE, Censo Demográfico, 2022).

A esperança de vida para a região (75 anos) é próxima da média nacional (78,2 anos). A taxa de desocupação está em 15%, cerca de 1,2 milhão de pessoas desempregadas; e Taxa de informalidade em 55,6% (IBGE, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua, 2021).

DADOS DE MORTALIDADE POR COVID-19

Os dados de mortalidade por Covid-19 foram extraídos de fontes oficiais disponibilizadas pelo Ministério da Saúde (COTA, 2022) para o intervalo de 1 de março de 2020 a 30 de abril de 2021. Nos dados constam a quantidade de casos e óbitos registrados diariamente em cada município brasileiro, bem como os casos e óbitos acumulados em cada município.

A disponibilidade de leitos hospitalares e profissionais de saúde em cada município brasileiro também foi acrescida ao modelo. Os dados foram extraídos do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil, o DATASUS.

DADOS DE POLUIÇÃO DO AR

As variáveis de poluição do ar utilizadas foram: ($PM_{2,5}$), (NO_2) e (O_3) extraídos do modelo de reanálise global *Copernicus Atmosphere Monitoring Service* (CAMS - Near Real Time). O modelo consiste em resultados diários de análise e previsão da composição atmosférica global em tempo quase-real. O CAMS-Near Real Time tem uma cobertura temporal de julho de 2012 até o presente, com uma cobertura horizontal global e uma resolução horizontal de aproximadamente 12 km.

Embora as estações de monitoramento sejam uma fonte confiável de dados locais, sua representatividade espacial geralmente é limitada (MIRCEA et al., 2014) e não captura a variabilidade espacial das concentrações de poluentes do ar em escalas maiores (YATKIN et al., 2020). Produtos recentes de sensoriamento remoto de alta resolução, como o *Tropospheric Monitoring Instrument Onboard Sentinel-5p*, e o *Copernicus Atmosphere Monitoring Service* (CAMS) Near-Real-Time são fontes de dados promissoras, que não foram totalmente empregadas para tais estudos.

COVARIÁVEIS AMBIENTAIS

Como variáveis de controle, utilizou-se dados climáticos extraídos do modelo CAMS-Near Real Time. De forma padrão, o modelo disponibiliza 51 variáveis como temperatura, precipitação, umidade, alta cobertura de nuvens, material particulado, ozônio, coluna total propano, entre outras. Para o presente estudo, as variáveis utilizadas foram de temperatura, precipitação e velocidade do vento.

Algumas variáveis sociodemográficas também foram utilizadas para controle do modelo: anos de estudo, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), densidade demográfica, índice de GINI, oferta de leitos hospitalares e profissionais de saúde e Rendimento Domiciliar per capita (RDPC), todas advindas do Censo demográfico de 2010.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as análises foram conduzidas em ambiente RStudio, com ajuste de modelo estatístico usando o pacote NBZIMM.

A contagem de óbitos por Covid-19 a partir do dia 1 de março de 2020, início da pandemia de Covid-19, possui um número considerável de zeros amostrais nos municípios menos populosos, até o número de casos e óbitos se tornar mais homogêneo em todas as regiões. Em pesquisas do campo da saúde pública e epidemiologia, dados de contagem com uma grande proporção de zeros são frequentes. Para contornar o problema dos zeros excessivos, podem ser especificados os chamados modelos zero-inflated. Com base em estudos e testes estatísticos (SILVA, 2015) o Modelo de Regressão Binomial Negativa Inflacionado de Zeros (ZINB) foi utilizado para examinar as relações entre exposições de interesse (poluição do ar) e a contagem de óbitos por Covid-19 superdispersos.

Foram aplicados modelos considerando um poluente por vez, como exposição; modelos considerando um poluente como exposição e outro como covariável; e modelos considerando um poluente como exposição e os dois outros como covariáveis para estimar os efeitos de cada poluente do ar sem e com controle de copoluentes.

Adicionou-se um intercepto aleatório para os estados da região Norte para dar conta da possível correlação de observações entre municípios pertencentes ao mesmo estado. O modelo foi ajustado para os potenciais fatores de confusão e covariáveis (conforme descrito acima).

Os resultados serão relatados como variação percentual no risco (e IC de 95%) das taxas de mortalidade por COVID-19 (Mortalidade Risco Relativo - MRR), associadas a um aumento em cada poluente do ar.

ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

Para testar a robustez do modelo e a influência de cada potencial fator de confusão, algumas análises de sensibilidade foram aplicadas. Ao todo, nove análises de sensibilidade:

1 - (Sem 2021) considerando apenas os óbitos por COVID-19 de 2020 (de 1° de março de 2020 a 31 de dezembro de 2020);

2 - (Sem 2020) considerando apenas os óbitos por COVID-19 de 2021 (de 1° de janeiro de 2021 a 30 de abril de 2021);

3 - (Sem GINI) considerando apenas observações dos municípios com índice de GINI menor que 0,5;

4 - (Sem IDHM baixo) considerando apenas observações dos municípios com IDHM acima de 0,5;

5 - (Sem IDHM alto) considerando apenas observações dos municípios com IDHM inferior ou igual a 0,5;

6 - (Sem Social) desconsiderando as variáveis sociodemográficas (IDHM, densidade demográfica, índice de GINI e RDPC);

7 - (Sem educacional) desconsiderando a variável de educação (anos de estudo);

8 - (Sem climáticas) desconsiderando as variáveis climáticas (temperatura, precipitação, e velocidade do vento);

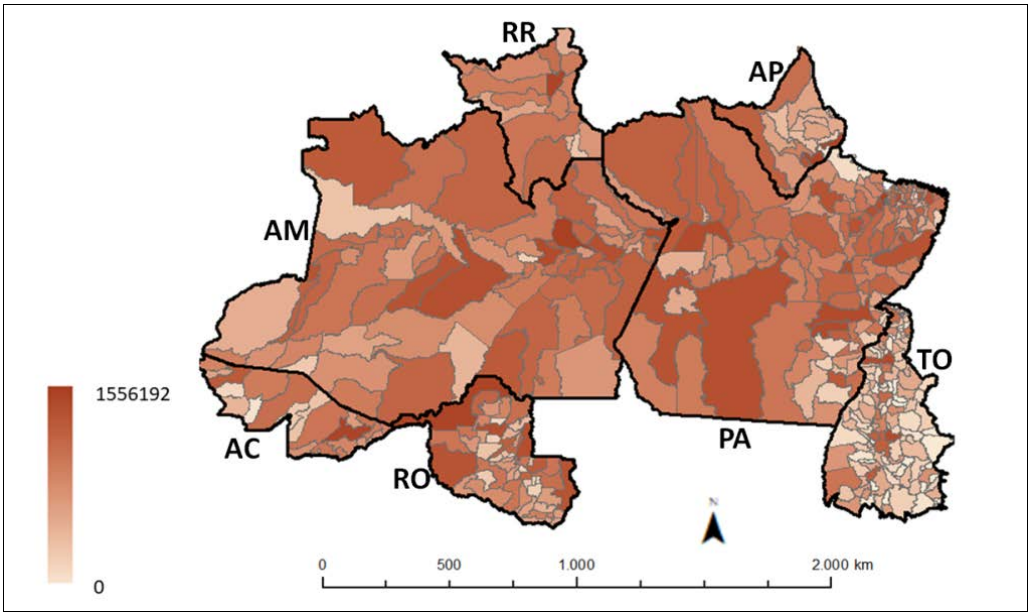
9 - (Sem leitos) desconsiderando as variáveis de oferta de leitos hospitalares e profissionais de saúde disponíveis em cada município brasileiro.

As análises de sensibilidade servem para identificar o quão diferente é o comportamento das diversas variáveis quando estão implicando na mortalidade de forma isolada ou conjunta. Isso impera para uma plausibilidade maior do estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao todo, 165.773 óbitos por COVID-19 de 01 de março de 2020 a 30 de abril de 2021 foram registrados na região Norte do Brasil. A distribuição espacial dos óbitos para cada município está representada na Figura 2.

Figura 2 – Distribuição dos óbitos por COVID-19 por municípios da Região Norte do Brasil



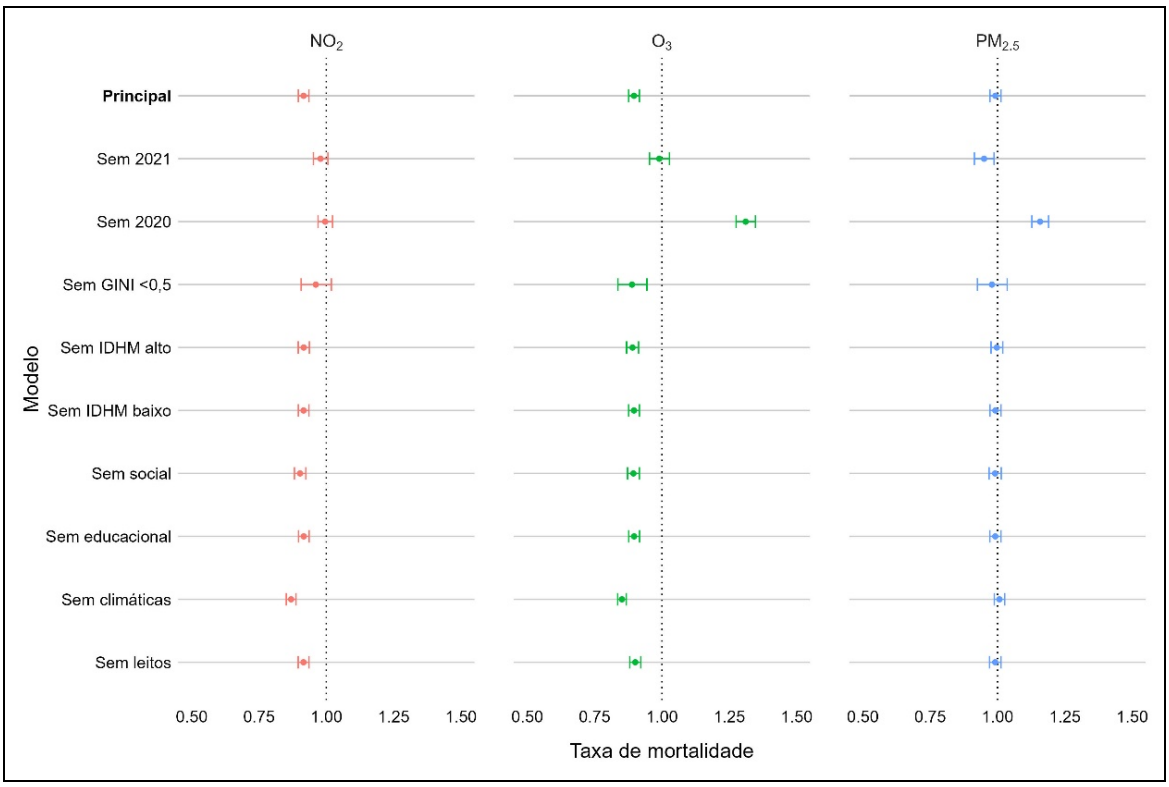
Fonte: Organizado pelos autores (2023).

A espacialização da quantidade de óbitos por COVID-19 indica uma maior concentração na parte central da região Norte, e em áreas que possuem uma taxa de urbanização mais baixa, caso do estado do Pará (69,85%) com a menor urbanização de toda a região (FAPESPA, 2015).

No mesmo estado, o município de Altamira, Itaituba, Paragominas apresentaram as maiores mortalidades; no estado do Amazonas, os números mais elevados ficaram nos municípios de Coari, Tefé, Manaus e Itacoatiara; no estado do Acre, os municípios de Cruzeiro do Sul e Rio Branco ficaram com as maiores mortalidades; no estado de Rondônia, os municípios Porto Velho, Ariquemes, Guarajá-Mirim e Vilhena; em Roraima, a capital Boa Vista foi a que mais apresentou mortes; e em Tocantins, os municípios de Palmas e Araguaina tiveram as maiores mortalidades.

Os resultados dos Modelos de Regressão Binomial Negativa Inflado com Zero (ZINB) são apresentados nas Figura 3, Figura 4 e Figura 5.

Figura 3 – Comparações de Monopoluentes e todas as Covariáveis

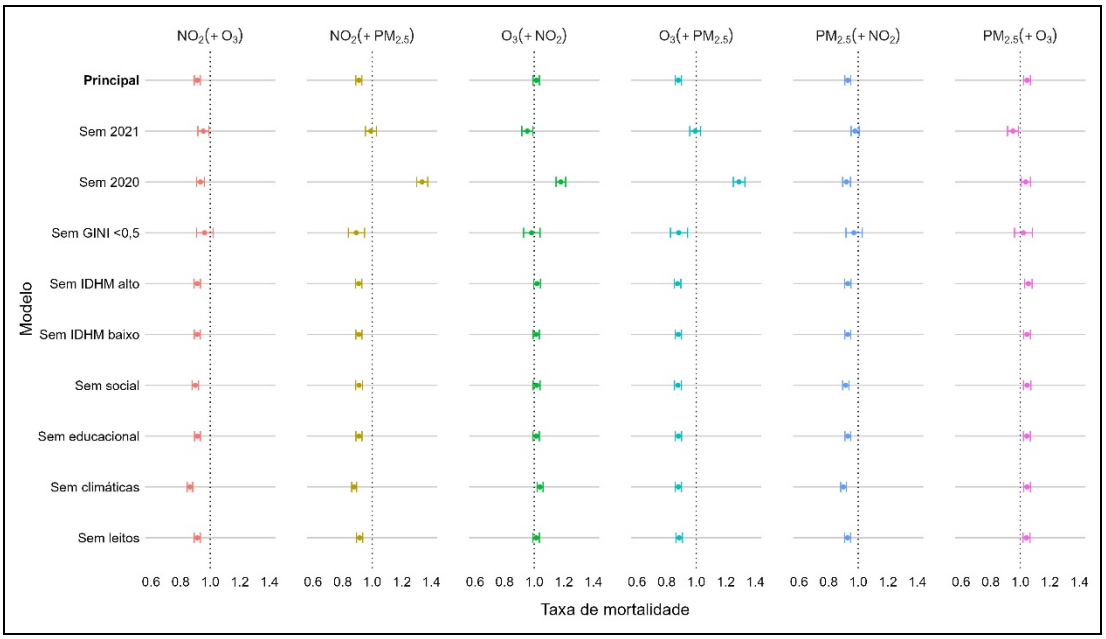


Fonte: Organizado pelos autores (2023).

Na análise principal, nos modelos monopoluentes que consideram um poluente como exposição por vez e com todas as covariáveis (Figura 3), os poluentes NO_2 e O_3 apresentaram efeito negativo no aumento dos óbitos. Comportamentos semelhantes foram encontrados nas análises de sensibilidade, exceto para a análise que considera apenas as observações de óbitos por COVID-19, ocorridos entre 1 de janeiro de 2021 a 30 de abril de 2021 (Sem 2020). Sem as observações do ano de 2020, O_3 e $PM_{2,5}$ apresentam influência nos óbitos por COVID-19.

Quanto aos modelos usando bipoluentes, modelos de regressão que consideravam um poluente como exposição e acrescia um outro poluente como covariável (Figura 4) a influência da poluição do ar nos óbitos apresentou um comportamento distinto dos modelos monopoluentes acima ilustrado. O modelo que considera o O_3 como exposição e acrescenta o NO_2 como covariável apresenta influência nos óbitos por COVID-19. O modelo que considera o $PM_{2,5}$ como exposição e o O_3 como uma das covariáveis também apresenta influência nos óbitos por COVID-19. A análise de sensibilidade que mais se destaca é a que descarta as observações do ano de 2020 (Sem 2020).

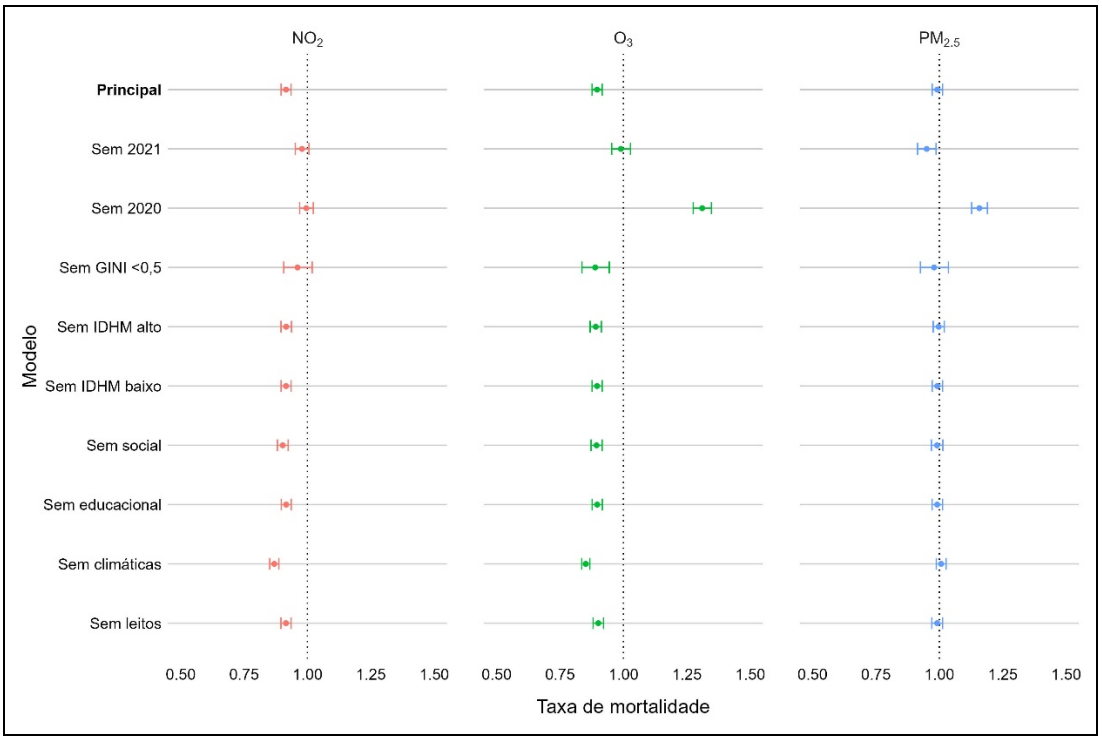
Figura 4 – Comparações entre Bipoluentes e todas as Covariáveis



Fonte: Organizado pelos autores (2023).

Tendências semelhantes aos modelos monopoluentes foram encontradas nos modelos tripoluentes (Figura 5), modelos que consideram um poluente como exposição e acrescenta dois outros poluentes como covariáveis.

Figura 5 – Comparações entre Tripoluentes e todas as Covariáveis



Fonte: Organizado pelos autores (2023).

A análise de sensibilidade sem as observações de 1 de março de 2020 a 31 de dezembro de 2020 (Sem 2020) também apresenta influência nos óbitos por Covid-19.

Os estados da região Norte do Brasil sofreram severamente com o início da pandemia do novo coronavírus. Em 2020, a média de crescimento da taxa de casos de Covid-19 por milhão de habitantes no Brasil foi de 7 vezes, um valor elevado se comparar com as demais localidades do mundo durante o mesmo período. No entanto, ao analisar as taxas para os estados da região Norte, verifica-se um crescimento de quase 50 vezes. Em exemplo, em maio de 2020, no estado de Tocantins, o aumento foi de 49,8 da taxa de casos de Covid-19 (FIOCRUZ, 2020).

Na ausência de serviços e equipamentos de saúde oferecidos pelo Sistema Único de Saúde (SUS), normalmente, a saúde suplementar (planos de saúde da rede privada) representa um pilar de sustentação para a população, no entanto, a oferta na região Norte é escassa (FONSECA NETO et al., 2015). E em comparação com as demais regiões brasileiras, a região Norte é a que tem a menor taxa de cobertura à população por planos privados (OPGH, 2019), além dos vazios assistenciais, como pelos leitos hospitalares, predominantes na região.

As unidades de saúde com atendimento de urgência e internações atende um número inferior de municípios na região Norte em comparação com a região Centro-Sul do Brasil (FONSECA NETO et al., 2015). Os estados, brasileiros, com maior percentual de vazios assistenciais foram o estado do Amazonas, com 67% de vazios assistenciais e Roraima, com 50% de vazios assistenciais (OLIVEIRA & SILVA, 2016).

As razões de tais entraves podem ser hipotetizadas, como a barreira física-geográfica que dificulta o acesso de determinados insumos e estruturas, a reduzida mobilidade e precárias redes de tráfego dos usuários até os serviços e equipamentos de saúde, as distâncias entre a residência do usuário e a localização da oferta de saúde, entre outros (AMARAL et al., 2012). Ademais, também deve-se considerar que a região Norte possui um problemático contexto histórico de ocupação e explorações criminosas, algo que, por vezes, desestimula a chegada e permanência de profissionais da saúde, educadores, agentes de segurança, ou seja, indivíduos com qualificação/escolaridade superior.

Entretanto, tais entraves não deveriam condicionar a saúde das populações do Norte, a ação do poder público, efetivamente planejada pelo Estado, deve ser mais bem articulada e incrementada, principalmente para as localidades de maiores riscos e vulnerabilidades, como as evidenciadas com a identificação dos municípios com as maiores mortalidades por COVID-19.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados no estudo são consistentes e corroboram com outros estudos, tanto em relação ao Modelo de Regressão Binomial Negativa Inflacionado de Zeros (ZINB) utilizado, quanto aos dados de contagem e sua análise relacional com os poluentes atmosféricos.

Estudos que investigaram a exposição a longo prazo à poluição do ar e à gravidade do COVID-19, e sua mortalidade por doenças cardiorrespiratórias, fortalecem os achados do presente estudo, entretanto, eles não haviam realizado a associação com as diversas variáveis sociodemográficas (anos de estudo, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), densidade demográfica, oferta de leitos hospitalares e profissionais de saúde, índice de GINI e Rendimento Domiciliar per capita (RDPC)), algo que posiciona o presente estudo como análise e metodologia que avança no estado da arte da temática, assim como, no diagnóstico da área de estudo.

Entretanto, acredita-se que o presente estudo possui fragilidades, já que não fez uso de outras variáveis importantes, como renda e identificações etárias. Tais indicadores podem ser incluídos no modelo para que diagnósticos mais precisos sejam realizados. Ademais, também deve-se levar em consideração o refinamento da escala de estudo, prospectando que a menor medida espacial de análise, como a escala dos setores censitários, contribuirá para a identificação plausível das populações mais vulnerabilizadas e em risco de mortalidade por doenças cardiorrespiratórias associadas à poluição do ar.

REFERÊNCIAS

AKAN, A. P. Transmission of COVID-19 pandemic (Turkey) associated with short-term exposure of air quality and climatological parameters. **Environmental Science and Pollution Research**, 1, 1–18, 2022. https://doi.org/10.1007/S11356-021-18403-4/TABLES/7

AMARAL, F. L. J. DOS S., MOTTA, M. H. A., SILVA, L. P. G., & ALVES, S. B. Fatores associados com a dificuldade no acesso de idosos com deficiência aos serviços de saúde. **Ciência & Saúde Coletiva,** 2012.

AMNUAYLOJAROEN, T., & PARASIN, N. The Association Between COVID-19, Air Pollution, and Climate Change. **Frontiers in Public Health,** 9, 662499, 2021. https://doi.org/10.3389/FPUBH.2021.662499

ANDERSON, J. O., THUNDIYIL, J. G., & STOLBACH, A. Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. **Journal of Medical Toxicology**, 8(2), 166–175. https://doi.org/10.1007/S13181-011-0203-1/TABLES/5, 2012.

ANDRÉ SANT'ANNA. O estado da qualidade do ar no Brasil. Figueiredo de Simoni (coordenação). **WRI Brasil**, 2021.

BARRETO, I. C. DE H. C., COSTA FILHO, R. V., RAMOS, R. F., OLIVEIRA, L. G. DE, MARTINS, N. R. A. V., CAVALCANTE, F. V., ANDRADE, L. O. M. DE, & SANTOS, L. M. P. Colapso na saúde em Manaus: o fardo de não aderir às medidas não farmacológicas de redução da transmissão da Covid-19. **Saúde debate**, 2021. https://doi.org/10.1590/0103-1104202113114

BRANDT, E. B., BECK, A. F., & MERSHA, T. B. Air pollution, racial disparities, and COVID-19 mortality. **The Journal of Allergy and Clinical Immunology**, 146(1), 61–63, 2020. https://doi.org/10.1016/J.JACI.2020.04.035

BENEDETTI, M. S. Evaluation study of the garbage codes research project in the Northern region of Brazil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, 2019.

CASTRO, H. A. Air Pollution and Outpatient Treatment and Hospital Admissions for Respiratory Diseases in Children in Southeast Region of Brazil. In: A. M. Moldoveanu, **Advanced Topics in Environmental Health and Air Pollution Case Studies**, 2011.

COSTA, L. C. Molecular and evolutionary characterization of norovirus GII.17 in the northern region of Brazil. **BMC Infectious Diseases** (BioMed Central), Vol. 19, Iss: 1, pp 1-1, 2019.

CAMPELLO, F. A. **Poluição: Causas, conseqüências e soluções** (1st ed.). Editora Senac, 2023.

CHEN, C., WANG, J., KWONG, J., KIM, J., VAN DONKELAAR, A., MARTIN, R. V., HYSTAD, P., SU, Y., LAVIGNE, E., KIRBY-MCGREGOR, M., KAUFMAN, J. S., BENMARHNIA, T., & CHEN, H. Association between long-term exposure to ambient air pollution and COVID-19 severity: a prospective cohort study. **Canadian Medical Association Journal,** 194(20), E693–E700, 2022. https://doi.org/10.1503/cmaj.220068

CONTICINI, E., FREDIANI, B., & CARO, D. Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy? **Elsevier Enhanced Reader**, 2022.

COTA, W. **Monitoramento do número de casos de COVID-19 no Brasil**, 2022. https://covid19br.wcota.me

DAIELLO, J. R., CESA, L. L., SILVA, L. F. DA, ALVES, R., & JUNIOR, R. A. M. Estudo de Dispersão de Poluentes Industriais na Região Metropolitana de Porto Alegre. **Congresso Internacional de Engenharia Ambiental & 10a Reunião de Estudos Ambientais**, Volume 7, 2020.

DASPETT MENDONÇA, F., SOARES ROCHA, S., PIMENTA PINHEIRO, D. L., & VILGES DE OLIVEIRA, S. Região Norte do Brasil e a pandemia de COVID-19: análise socioeconômica e epidemiológica. **Journal Health NPEPS**, 5(1), 20–37, 2020. https://doi.org/10.30681/252610104535

FAPESPA. **Pará no Contexto Nacional**, 2015. https://www.fapespa.pa.gov.br/sistemas/pcn2015/tabelas/02_demografia/03_taxa_de_urbanizacao_segundo_regioes_e_unidades_da_federacao_2004_2008_2012.htm

FUENTE, F. DE LA., SALDÍAS, M. A., CUBILLOS, C., MERY, G., CARVAJAL, D., BOWEN, M., & BERTOGLIA, M. P. Green Space Exposure Association with Type 2 Diabetes Mellitus, Physical Activity, and Obesity: A Systematic Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Vol. 18, Page 97, 18(1), 97, 2021. https://doi.org/10.3390/IJERPH18010097

EPA, U. S. E. P. Particulate Matter (PM) Pollution, **US EPA**, 2011. https://www.epa.gov/pm-pollution

FELIN, B. Veja onde é feito o monitoramento da qualidade do ar no Brasil | **WRI Brasil**, 2019. https://wribrasil.org.br/pt/blog/2019/06/veja-onde-e-feito-o-monitoramento-da-qualidade-do-ar-no-brasil

FONSECA NETO, A. H. DA, HESPANHOL, C. R. C., ARRUDA, C. J., GOMES, F. R. A. N., NASCIMENTO, J. D. O. DO, SILVA, L. P., BARBOSA, L. H., ASSIS, M. F. DE, LUCAS FILHO, M. D., & MENDONÇA, M. V. Rede assistencial e garantia de acesso na saúde suplementar**. Agência Nacional de Saúde Suplementar**, 2015.

FULLER, R., LANDRIGAN, P. J., BALAKRISHNAN, K., BATHAN, G., BOSE-O'REILLY, S., BRAUER, M., CARAVANOS, J., CHILES, T., COHEN, A., CORRA, L., CROPPER, M., FERRARO, G., HANNA, J., HANRAHAN, D., HU, H., HUNTER, D., JANATA, G., KUPKA, R., LANPHEAR, B., … YAN, C. Pollution and health: a progress update. **The Lancet Planetary Health**, 6(6), e535–e547, 2022, https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00090-0

FIOCRUZ. Fundação Oswaldo Cruz. Estudo aponta maior aceleração da covid-19 em estados do Norte e Nordeste. **Fundação Oswaldo Cruz.** https://portal.fiocruz.br/noticia/estudo-aponta-maior-aceleracao-da-covid-19-em-estados-do-norte-e-nordeste, 2020.

GONÇALVES CWB, G. D. Incidence of COVID-19 in the states of the northern region of Brazil**. Rev Pre Infec e Saúde**, 2020. https://doi.org/10.26694/repis.v6i0.10489

GOUVEIA, N., AZEVEDO, G., MENDONÇA, S., EMILIE, J., CORREIA, M., JUNGER, W. L., UMBELINO DE FREITAS, C., PARA, E., DAUMAS, R. P., MARTINS, L. C., GIUSSEPE, L., CONCEIÇÃO, G. M. S., MANERICH, A., & CUNHA-CRUZ, J. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras**. Epidemiologia e Serviços de Saúde**, 12(1), 29–40, 2003. https://doi.org/10.5123/S1679-49742003000100004

HARVARD EDUCATION. **Fine particulate matter and COVID-19 mortality in the United States**. (n.d.). Retrieved December 7, from https://projects.iq.harvard.edu/covid-pm, 2021.

HOANG, T., & TRAN, T. T. A. Ambient air pollution, meteorology, and COVID-19 infection in Korea. **Journal of Medical Virology**, 93(2), 878–885, 2021. https://doi.org/10.1002/JMV.26325

HYMAN, S., ZHANG, J., ANDERSEN, Z. J., CRUICKSHANK, S., MØLLER, P., DARAS, K., WILLIAMS, R., TOPPING, D., & LIM, Y. H. Long-term exposure to air pollution and COVID-19 severity: A cohort study in Greater Manchester, United Kingdom. **Environmental Pollution**, 327, 2023. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121594

ID, H. T., ZINZI, M., & SANTAMOURIS, M. Influence of Urban Green Area on Air Temperature of Surrounding Built-Up Area. **Climate**, Vol. 5, Page 60, 5(3), 602017. https://doi.org/10.3390/CLI5030060

INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL HEALTH SCIENCES, N. **Air Pollution and Your Health**. 1–2, 2020. https://niehs.nih.gov

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**, 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**, 2021.

KASHYAP, R., KUTTIPPURATH, J., & PATEL, V. K. Improved air quality leads to enhanced vegetation growth during the COVID–19 lockdown in India. **Applied Geography**, 151, 102869, 2023. https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2022.102869

KEPHART, J. L., AVILA-PALENCIA, I., BILAL, U., GOUVEIA, N., CAIAFFA, W. T., & DIEZ ROUX, A. V. COVID-19, Ambient Air Pollution, and Environmental Health Inequities in Latin American Cities. **Journal of Urban Health**, 98(3), 428–432, 2021. https://doi.org/10.1007/S11524-020-00509-8/FIGURES/1

KOGEVINAS, M., CASTAÑO VINYALS, G., KARACHALIOU, M., ESPINOSA, A., DE CID, R., GARCIA AYMERICH, J., O'CALLAGHAN GORDO, C., MONCUNILL, G., DOBAÑO, C., & TONNE, C. Ambient air pollution and risk of SARS-CoV-2 infection and of COVID-19 disease in a cohort study in Catalonia (COVICAT Cohort). **ISEE Conference Abstracts,** 1–10, 2021. https://doi.org/10.1289/isee.2021.o-to-177

KULSHRESHTHA, P. Effects of air pollution on human health. **Air pollution: sources, impacts and controls** (Vol. 46, pp. 135–151), 2019. https://doi.org/10.1079/9781786393890.0135

LEI, R., ZHU, F., CHENG, H., LIU, J., SHEN, C., ZHANG, C., XU, Y., XIAO, C., LI, X., ZHANG, J., DING, R., & CAO, J. Short-term effect of $PM_{2,5}$/ O_3 on non-accidental and respiratory deaths in highly polluted area of China. **Atmospheric Pollution Research**, 10(5), 1412–1419, 2019. https://doi.org/10.1016/J.APR.2019.03.013

LÓPEZ-FELDMAN, A., HERES, D., & MARQUEZ-PADILLA, F. Air pollution exposure and COVID-19: A look at mortality in Mexico City using individual-level data. **Science of the Total Environment**, 756, 2021. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143929

MARQUÈS, M., ROVIRA, J., NADAL, M., & DOMINGO, J. L. Effects of air pollution on the potential transmission and mortality of COVID-19: A preliminary case-study in Tarragona Province (Catalonia, Spain). **Environmental Research**, 192(October 2020), 110315, 2021. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110315

MENDONÇA, F. D., ROCHA, S. S., PINHEIRO, D. L. P., & OLIVEIRA, S. V. de. Região Norte do Brasil e a pandemia de COVID-19: análise socioeconômica e epidemiológica/ North region of Brazil and the COVID-19 pandemic: socioeconomic and epidemiologic analysis/ Región Norte de Brasil y la pandemia de COVID-19: análisis. **Journal Health NPEPS,** 5(1), 20–37, 2020. https://periodicos.unemat.br/index.php/jhnpeps/article/view/4535

MIGUEL, A. H. **Poluição atmosférica urbana no Brasil: Uma visão geral**, 1992. http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/1992/vol15n2/v15_n2_%20(2).pdf

MIRCEA, M., CIANCARELLA, L., BRIGANTI, G., CALORI, G., CAPPELLETTI, A., CIONNI, I., COSTA, M., CREMONA, G., D'ISIDORO, M., FINARDI, S., PACE, G., PIERSANTI, A., RIGHINI, G., SILIBELLO, C., VITALI, L., & ZANINI, G. Assessment of the AMS-MINNI system capabilities to simulate air quality over Italy for the calendar year 2005. **Atmospheric Environment**, 84, 178–188, 2014. https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2013.11.006

NERI, M. **Mapa da Nova Pobreza**, 2020. https://cps.fgv.br/MapaNovaPobreza

OLIVEIRA, M. S. Associação entre poluição do ar e morbimortalidade por doenças cardiorespiratórias no município de Volta Redonda, RJ, BRASIL. **Fundação Oswaldo Cruz**. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.

OLIVEIRA, ANTONIO G., & SILVA, C. L. DA. Governança Pública Em Saúde e Os Vazios Assistenciais – **Territorialização Para O Planejamento E Ações Do Estado Public Governance in Health and the Gaps in Social Assistances**, 2016. https://doi.org/10.48075/igepec.v20i2.14459

OPAS, O. P. A. da S. **Novos dados da OMS revelam que bilhões de pessoas ainda respiram ar insalubre**, 2022. https://www.paho.org/pt/noticias/4-4-2022-novos-dados-da-oms-revelam-que-bilhoes-pessoas-ainda-respiram-ar-insalubre

OPGH. Painel Hospitalar da Saúde Suplementar - Brasil, 2019. **Observatório de Política e Gestão Hospitalar**. http://tabnet.fiocruz.br/dash/tiss01.html, 2019.

OSTRO, B. D., & ROTHSCHILD, S. Air pollution and acute respiratory morbidity: An observational study of multiple pollutants. **Environmental Research**, 50(2), 238–247,1989. https://doi.org/10.1016/S0013-9351(89)80004-0

PRINZ, A. L., & RICHTER, D. J. Long-term exposure to fine particulate matter air pollution: An ecological study of its effect on COVID-19 cases and fatality in Germany. **Environmental Research**, 204, 111948, 2021. https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.111948

REN, Y. S., NARAYAN, S., & MA, C. QUN. Air quality, COVID-19, and the oil market: Evidence from China's provinces. **Economic Analysis and Policy**, 72, 58–72, 2021. https://doi.org/10.1016/j.eap.2021.07.012

RIBEIRO, H. Queimadas de cana-de-açúcar no Brasil: efeitos à saúde respiratória. **Rev. Saúde Pública**, 2008. https://www.scielosp.org/pdf/rsp/v42n2/6804.pdf

RICHARDSON, E. A., & MITCHELL, R. Gender differences in relationships between urban green space and health in the United Kingdom. **Social Science & Medicine**, 71(3), 568–575, 2010. https://doi.org/10.1016/J.SOCSCIMED.2010.04.015

ROSA, S. S. Pobreza multidimensional e dinâmica espaço-temporal na Região Norte do Brasil **Tese (Doutorado),** PUC RS, 2021.

SANTANA, E., CUNHA, K. B., FERREIRA, A. L., & ZAMBONI, A. **Padrões de qualidade do ar** (1st ed.), 2012. https://iema-site-staging.s3.amazonaws.com/padroes-final01.pdf

SANT'ANNA, A., ALENCAR, A., PINHEIRO, B., ARAÚJO, C., VORMITTAG, E., WICHER, H., BORGES, K., FARIA, M., ANDRADE, M. D. E. F., PORTO, P., ARTAXO, P., ROCHA, R., ESTURBA, T., & SIMONI, W. F. DE. O Estado Da Qualidade Do Ar No Brasil. **Wri Brasil**, 1–32, 2020.

SEO, S., CHOI, S., KIM, K., KIM, S. M., & PARK, S. M. Association between urban green space and the risk of cardiovascular disease: A longitudinal study in seven Korean metropolitan areas. **Environment International**, 125, 51–57, 2019. https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2019.01.038

SICILIANO, B., DANTAS, G., DA SILVA, C. M., & ARBILLA, G. Increased ozone levels during the COVID-19 lockdown: Analysis for the city of Rio de Janeiro, Brazil. **Science of The Total Environment**, 737, 139765, 2020. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.139765

SILVA, T. N. Modelagem de Dados de Contagem com Excesso de Zeros: Uma aplicação com Sintomas Respiratórios. **Monografia de Conclusão de Curso** - Estatística, Universidade Federal Fluminense, 2015.

SUZIGAN, W. Industrialização brasileira em perspectiva histórica. **História Econômica & História de Empresas**, 3(2). https://doi.org/10.29182/hehe.v3i2.143, 2012.

TAMOSIUNAS, A., GRAZULEVICIENE, R., LUKSIENE, D., DEDELE, A., REKLAITIENE, R., BACEVICIENE, M., VENCLOVIENE, J., BERNOTIENE, G., RADISAUSKAS, R., MALINAUSKIENE, V., MILINAVICIENE, E., BOBAK, M., PEASEY, A., & NIEUWENHUIJSEN, M. J. Accessibility and use of urban green spaces, and cardiovascular health: Findings from a Kaunas cohort study. **Environmental Health: A Global Access Science Source**, 13(1), 1–11, 2014. https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-20/TABLES/5

THOMAS MÜNZEL, O. H. Air pollution and cardiovascular diseases**. Urban & Schwarzenberg**. 120-128, 2021.

TUNG, N. T., CHENG, P. C., CHI, K. H., HSIAO, T. C., JONES, T., BÉRUBÉ, K., HO, K. F., & CHUANG, H. C. Particulate matter and SARS-CoV-2: A possible model of COVID-19 transmission. **Science of The Total Environment**, 750, 141532, 2021. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141532

URRUTIA-PEREIRA, M., MELLO-DA-SILVA, C. A., & SOLÉ, D. COVID-19 and air pollution: A dangerous association? **Allergologia et Immunopathologia**, 48(5), 496, 2020. https://doi.org/10.1016/J.ALLER.2020.05.004

VILLENEUVE, P. J., JERRETT, M., G. SU, J., BURNETT, R. T., CHEN, H., WHEELER, A. J., & GOLDBERG, M. S. A cohort study relating urban green space with mortality in Ontario, Canada. **Environmental Research**, 115, 51–58, 2012. https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2012.03.003

WEIMANN, H., RYLANDER, L., ALBIN, M., SKÄRBÄCK, E., GRAHN, P., ÖSTERGREN, P. O., & BJÖRK, J. Effects of changing exposure to neighbourhood greenness on general and mental health: A longitudinal study. **Health and Place**, 33, 48–56, 2015. https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2015.02.003

WILL, R. Influência social, meteorológica e da poluição atmosférica na hospitalização por doenças cardiorrespiratórias: um estudo de caso no sul do Brasil. **Dissertação (mestrado)** - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2021.

WOODBY, B., ARNOLD, M. M., & VALACCHI, G. SARS-CoV-2 infection, COVID-19 pathogenesis, and exposure to air pollution: What is the connection? **Annals of the New York Academy of Sciences**, 1486(1),15, 2021. https://doi.org/10.1111/NYAS.14512

YAO, Y., PAN, J., WANG, W., LIU, Z., KAN, H., MENG, X., WANG, W., UNIVERSITY, F., & CHINA, S. Spatial Correlation of Particulate Matter Pollution and Death Rate of COVID-19. **MedRxiv,** 2020. https://doi.org/10.1101/2020.04.07.20052142

YANG XIE, Z. L. Short-Term Ambient Particulate Air Pollution and Hospitalization Expenditures of Cause-Specific Cardiorespiratory Diseases in China: A Multicity Analysis. **Research Paper**, 100232, 2021.

YATKIN, S., GERBOLES, M., BELIS, C. A., KARAGULIAN, F., LAGLER, F., BARBIERE, M., & BOROWIAK, A. Representativeness of an air quality monitoring station for $PM_{2,5}$ and source apportionment over a small urban domain. **Atmospheric Pollution Research,** 11(2), 225–233, 2020. https://doi.org/10.1016/J.APR.2019.10.004