

## O PADRÃO ESPACIAL DA MORTALIDADE POR COVID-19 EM UM MUNICÍPIO COM ALTA DENSIDADE POPULACIONAL

### THE SPATIAL PATTERN OF COVID-19 MORTALITY IN A DENSELY POPULATED MUNICIPALITY

**Keila Valente de Souza de Santana**

Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina, São Paulo, SP, Brasil  
[keilla@usp.br](mailto:keilla@usp.br)

**Aluizio Marino**

University of Antwerp, Institute of Development Policy, Antuérpia, Bélgica  
[aluizio.marino@uantwerpen.be](mailto:aluizio.marino@uantwerpen.be)

**Dácio de Lyra Rabello Neto**

Secretaria de Vigilância em Saúde, Ministério da Saúde, Brasília, DF, Brasil  
[dacio.rabello@saude.gov.br](mailto:dacio.rabello@saude.gov.br)

**Flávia Prado Corrallo**

Núcleo de Vigilância em Saúde Ambiental do Município de Diadema, Diadema, SP, Brasil  
[fcorrallo@gmail.com](mailto:fcorrallo@gmail.com)

**Francisco Chiaravalloti Neto**

Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, SP, Brasil  
[franciscochiara@usp.br](mailto:franciscochiara@usp.br)

**Gabriela Rosa Martins**

Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, SP, Brasil  
[gmartins@usp.br](mailto:gmartins@usp.br)

**Pedro Henrique Barbosa Muniz Lima**

Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, SP, Brasil  
[pedro.barbosa.lima@usp.br](mailto:pedro.barbosa.lima@usp.br)

**Pedro Henrique Rezende Mendonça**

Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, SP, Brasil  
[pedro.rezende.mendonca@alumni.usp.br](mailto:pedro.rezende.mendonca@alumni.usp.br)

**Raquel Rolnik**

Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, SP, Brasil  
[raquelrolnik@usp.br](mailto:raquelrolnik@usp.br)

#### RESUMO

A densidade populacional foi apontada como um desafio no controle do contágio da COVID-19. Logo, o estudo analisou o padrão espacial da mortalidade por COVID-19, durante a pandemia, em um município com alta densidade populacional, enquanto observou correlações espaciais com indicadores socioeconômicos e demográficos. Para isso, utilizou métodos de mapeamento dasimétrico da densidade populacional, na escala de setores censitários (SC); suavização das taxas padronizadas de óbitos por COVID-19, de março de 2020 a fevereiro de 2022; índices de Moran global e local bivariados e análise de regressão do erro espacial para análise de fatores de risco associados. As maiores taxas de mortalidade se concentraram em SC localizados próximos a municípios vizinhos. A distribuição espacial da mortalidade e dos indicadores de renda e raça revelou a formação de clusters nessas mesmas regiões, confirmando uma correlação espacial entre mortalidade e indicadores socioeconômicos. A mortalidade exibiu um padrão sazonal, com picos marcantes no primeiro e terceiro períodos e uma queda significativa no período final da pandemia. Uma associação negativa foi encontrada entre mortalidade por COVID-19 e densidade demográfica ( $p <$

0,001), que deve ser melhor compreendida com base nas práticas sociais cotidianas que podem ser moldadas pela morfologia urbana.

**Palavras-chave:** Fatores socioeconômicos. Diadema. Clusters. Taxa padronizada.

## ABSTRACT

Population density was recognized as a key challenge in controlling the spread of COVID-19. This study examined the spatial distribution of COVID-19 mortality in a highly populated municipality and investigated its spatial association with socioeconomic and demographic indicators. Dasymetric mapping was applied to estimate population density at the census tract (CT) level, standardized mortality rates were smoothed for the period from March 2020 to February 2022, and bivariate global and local Moran's indices were computed. In addition, spatial error regression models were employed to identify risk factors associated with mortality. Elevated mortality rates were concentrated in CTs located near the boundaries with neighboring municipalities. The spatial distribution of mortality, income, and racial indicators revealed the formation of clusters in these same areas, confirming a spatial correlation between mortality and socioeconomic conditions. Mortality demonstrated a seasonal pattern, with marked peaks in the first and third periods and a substantial reduction during the final period of the pandemic. A negative association was identified between COVID-19 mortality and demographic density ( $p < 0.001$ ), a finding that warrants further investigation in light of daily social practices influenced by urban morphology.

**Keywords:** Socioeconomic factors. Diadema. Clusters. Standardized rate.

## INTRODUÇÃO

A COVID-19 (Coronavirus Disease 2019) é uma doença infecciosa altamente transmissível que emergiu em dezembro de 2019 na República Popular da China. Em 11 de março de 2020, sua rápida disseminação foi caracterizada pela Organização Mundial da Saúde – OMS como uma pandemia (WHO, 2020). No mesmo período, a transmissão comunitária no Brasil do novo coronavírus SARS-CoV-2 (Severe Acute Respiratory Syndrome - Coronavirus - 2) foi reconhecida pelo Ministério da Saúde (Brasil, 2020). Diversos entraves afetaram o desenvolvimento de ações de controle da pandemia, como a falta de um panorama territorial de transmissão/mortalidade da doença, com a identificação de áreas de alto risco e fatores associados (Siqueira *et al.*, 2021; Tchicaya *et al.*, 2021). A complexa interação de diferentes determinantes, como classe social, raça/cor, gênero, rápido crescimento populacional e urbanização resultou em variações espaciais e espaço-temporais nas infecções por COVID-19 (Moraes *et al.*, 2024). Tendo em vista que a disseminação da pandemia da COVID-19 foi heterogênea ao redor do mundo, ainda é preciso compreender como a dinâmica urbana local, influenciada por fatores regionais e globais, impulsionou tais variações espaciais e temporais.

A maior percepção de aspectos locais de disseminação do óbito pela COVID-19 e dos fatores associados podem produzir novos insights sobre as medidas descentralizadas de controle que produziram diferentes padrões de transmissão da doença em todo mundo. No Brasil, estudos realizados em escala de maior detalhe e a nível municipal fornecem um valioso recurso para o alcance dos princípios organizativos do Sistema Único de Saúde (SUS) de regionalização, descentralização, hierarquização, comando único e participação popular (Gonzaga; Ferreira, 2017).

Métodos de análise espacial podem ajudar na construção de planos de ação em saúde pública direcionados e em intervenções guiadas em áreas com risco de doença maior do que o esperado (Carvalho; Souza-Santos, 2005). Ademais, a construção e publicação de mapas de fácil compreensão sobre a situação epidemiológica podem contribuir nos aspectos relacionados à comunicação, fator que teve um papel fundamental desde o início da pandemia de COVID-19. Ao

mesmo tempo, podem fortalecer medidas preventivas coletivas, motivando práticas de proteção da população com o conhecimento avançado das características etiológicas da doença.

Dessa forma, o estudo tem por objetivo analisar se houve padrão espacial e/ou temporal da mortalidade por COVID-19 no município com a segunda maior densidade populacional do Brasil, Diadema, município da Região Metropolitana de São Paulo, considerando aspectos demográficos e condições socioeconômicas, além de possíveis correções espaciais. Nossa hipótese é que a mortalidade por COVID-19 teve um padrão espacial fortemente influenciado pelas desigualdades sociais e dinâmicas urbanas de moradia e locomoção, apesar das políticas de *lockdown* extensivo para toda população. O modelo de análise espacial desenvolvido no presente estudo visa contribuir para ações intersetoriais em saúde, nas diferentes escalas de gestão governamental, ao integrar aspectos da vida em sociedade expressas nas dinâmicas centro-periferia das cidades.

### **Área de estudo**

Localizada no estado de São Paulo, Brasil, Diadema é caracterizada por ser um município com alta densidade demográfica. Desde o Censo de 1980, está entre as três cidades do Brasil com a maior densidade populacional (Coelho, 2008). Faz parte de uma região industrial, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), conhecida como ABC, que é composta por: Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul, Diadema, Mauá, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra desde 1960 (Figura 1). A atração da população se deu pela proximidade com a capital, São Paulo, e das cidades do ABC, além do crescente mercado de trabalho industrial. Contudo, o crescimento populacional urbano superou a velocidade de desenvolvimento da infraestrutura urbana básica e implantação de equipamentos e serviços públicos essenciais.

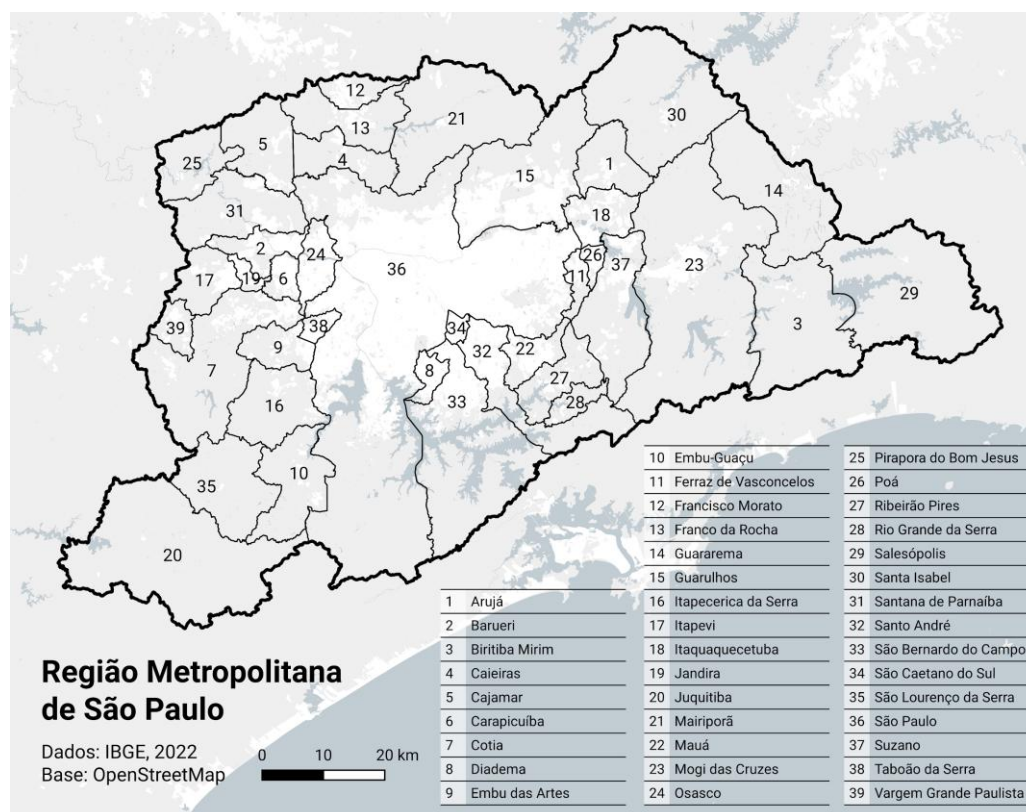
De acordo com o Censo de 2022, a cidade tem 393.237 habitantes, com a segunda maior densidade demográfica do país, 12.796 habitantes/km<sup>2</sup>. O percentual da população com rendimento nominal mensal per capita de até 1/2 salário mínimo no município é de 34,6% e cerca de 54% da população se declara preta ou parda (IBGE, 2022). No censo de 2010 a população era de 386.039 habitantes e a densidade demográfica 12.574 habitantes/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). De acordo com essas informações, não houve um percentual significativo no aumento da densidade populacional na escala municipal.

O município está dividido em 20 áreas de abrangência (AA) cuja responsabilidade do setor saúde está atribuída a uma unidade básica de saúde (UBS). As AA atendem diferentes quantidades de população e permitem ao gestor de saúde local conhecer as condições específicas de cada território. Em Diadema, a Rede de Atenção Básica está 100% organizada como estratégia do Programa de Saúde da Família (PSF), contando com 95 equipes, sendo atendidas 3500 a 4000 pessoas por equipe. A alta densidade demográfica tem levado a limitações físicas, devido à falta de terreno para ampliação das UBS. O Hospital Municipal de Diadema, localizado na AA Piraporinha, é o único hospital de porta aberta na cidade, ou seja, por livre demanda. Na época da pandemia, não houve a constituição de hospital de campanha em Diadema, mas quando necessário, foram disponibilizados leitos nas cidades de São Bernardo do Campo, Santo André e São Paulo. Também nesse período, devido a limitação de espaços físicos das UBS, espaços culturais e comerciais foram utilizados para vacinação contra COVID-19 (Prefeitura Municipal de Diadema, 2024).

O padrão espacial da mortalidade por covid-19 em um município com alta densidade populacional

Keila Valente de Souza de Santana  
Aluizio Marino  
Dácio de Lyra Rabello Neto  
Flávia Prado Corrallo  
Francisco Chiaravalloti Neto  
Gabriela Rosa Martins  
Pedro Henrique Barbosa Muniz Lima  
Pedro Henrique Rezende Mendonça  
Raquel Rolnik

Figura 1 – Mapa com todos os municípios da RMSP. Observação: Diadema é o município de número 8 na legenda / mapa



Elaboração: os autores, 2020.

## MÉTODO

O delineamento do estudo foi ecológico. As análises foram realizadas com o banco de dados secundário municipal utilizado fornecido pela Secretaria de Saúde de Diadema, formado por meio da compatibilização de informações de diferentes fontes de dados oficiais públicas e privadas (sistemas oficiais do governo, hospitais públicos e privados e laboratórios). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Psicologia da USP, protocolo número CAAE: 71605223.2.0000.5561, 14 de agosto de 2023.

As unidades de análise foram os 520 setores censitários (SC), versão de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do município de Diadema. O período analisado foi de março de 2020 a fevereiro de 2022. Destaca-se que do total de 520 SC, 16 foram ignorados, pois eram áreas sem população ou com população muito reduzida. A variável resposta analisada foi a mortalidade por COVID-19 e as covariáveis analisadas foram renda per capita, porcentagem de raça / pretos, pardos e indígenas (Raça / PPI) e densidade demográfica.

### Mortalidade por COVID-19

As informações referentes aos óbitos por COVID-19 foram obtidas já geocodificadas e agregadas por SC através da parceria firmada com a Secretaria de Saúde de Diadema. Na época da pandemia, essa base era atualizada diariamente compatibilizando informações de diferentes fontes de dados de instituições públicas e privadas.

As taxas de mortalidade foram padronizadas por idade e sexo, utilizando o método direto, considerada a mais adequada para países em desenvolvimento, e como população padrão, a

população total de diadema por faixa etária e sexo. Todas as taxas de mortalidade referidas têm a grandeza “por 10 mil pessoas-ano”. As análises foram para os primeiros dois anos da pandemia, de março de 2020 a fevereiro de 2022.

### **Análise temporal**

Foi realizada uma análise temporal mensal da mortalidade por meio dos gráficos de linha e *boxplot*. No gráfico de linhas foram utilizadas taxas padronizadas de mortalidade por COVID-19 conforme AA, enquanto no *boxplot* foram utilizadas as taxas padronizadas de mortalidade conforme SC. Foi procurado identificar períodos que caracterizassem a pandemia, como o advento de variantes do SARS-CoV-2. Por fim, foi verificada a existência de mudanças no padrão espacial das taxas de mortalidade padronizadas conforme os períodos identificados.

### **Análise das covariáveis**

As variáveis explicativas – densidade demográfica, renda per capita, Raça / PPI e pessoas por domicílios – foram escolhidas com base nas referências bibliográficas que analisaram a relação entre a disseminação da COVID-19 e fatores socioeconômicos (Chiaravalloti Neto *et al.*, 2023; Aguilar-Palacio *et al.*, 2021; Arif; Sengupta, 2021; Drefahl, 2020). Ademais, na análise exploratória espacial dos indicadores socioeconômicos como os formados pelos dados de infraestrutura de saneamento, coleta de lixo e distribuição de água pela rede geral, não foram encontradas diferenças nos padrões, os setores apresentaram mais de 90% de casas atendidas pelos serviços. Todas covariáveis foram calculadas com base nos dados do IBGE para o censo de 2010, último ano de disponibilidade dos dados na escala de SC no ano de realização do estudo.

Para análise da densidade demográfica de Diadema foram utilizadas técnicas de mapeamento dasimétrico, que visa subdividir zonas de origem em unidades espaciais menores que possuam maior consistência interna da variável que está sendo mapeada (Petrov, 2012). No presente estudo, a densidade demográfica foi calculada dividindo-se a quantidade de habitantes do SC pelo tamanho da área construída para a finalidade de moradia em que estão distribuídos. Para isso, foi utilizado o *Google Open Buildings*, um conjunto de dados abertos em grande escala que contém a vetorização dos contornos de telhados de edifícios derivados de um modelo de *deep learning* que foi treinado para determinar as áreas dos edifícios a partir de imagens de satélite de alta resolução. Os dados são compartilhados sob a licença *Creative Commons Attribution* (CC BY-4.0) e a *licença Open Data Commons Open Database License* (ODbL) v1.0 (Open Buildings, 2024).

Por meio do Software QGIS, foi realizado o recorte para a cidade de Diadema, bem como, a sobreposição com os SC. A população total por SC foi obtida por meio do censo 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE). A estimativa de densidade populacional foi então realizada por meio da razão entre o total da população por SC e as áreas dos edifícios e casas também por SC. Foi revisada detalhadamente a vetorização dos telhados das edificações com aspecto de casa e condomínio de moradia em toda a extensão de Diadema, por meio do plano diretor da cidade e pela visualização no *Google Satellite Hybrid*, que combina a imagem de satélite de alta resolução com informações tradicionais do *Google Maps*, como os nomes dos logradouros e etiquetas indicando do que se trata o edifício em questão (condomínios, indústrias, escolas, prédios públicos, etc).

### **Mapeamento e análise dos dados**

Os mapas foram representados pelo método de suavização de taxas conhecido como Bayesiano empírico local, elaborado a partir da matriz de vizinhança de SC que compartilham fronteira comum, com o critério de contiguidade tipo Queen, utilizando-se os óbitos esperados, padronizados por idade e sexo, como o evento de interesse no numerador para cada ano do estudo. A estimativa para a obtenção dos óbitos esperados foi calculada pela multiplicação da população observada, em determinado setor censitário e período de estudo, pelo valor da taxa padronizada correspondente, dividida por 10 mil. Enquanto no denominador foi utilizada a população de 2010, fornecida pelo censo. Não é comumente descrita na literatura a padronização por idade e sexo para o método de suavização Bayesiano local (Bermudi *et al.*, 2020). Porém,

devido as diferenças etárias entre as populações, foi necessária a padronização por idade e sexo que são importantes fatores de confusão no estudo da COVID-19.

Para verificar a existência de aglomeração espacial entre as taxas de mortalidade padronizadas por COVID-19, foram calculados os índices de Moran global e local. O valor da significância foi calculado pelo método FDR (*False Discovery Rate*, em tradução livre, Taxa de descoberta falsa), com 99999 replicações aleatórias (considerado significativo se inferior ao fornecido pelo FDR) (Castro; Singer, 2006). Por final, foi gerado um modelo de regressão espacial de forma a analisar a associação entre as variáveis do estudo.

A análise de regressão linear múltipla foi aplicada para analisar o impacto da densidade demográfica e dos fatores socioeconômicos na mortalidade por COVID-19 nas áreas incluídas neste estudo. Uma análise exploratória foi realizada com as covariáveis para avaliar a presença de outliers usando gráficos de pontos (Zuur *et al.*, 2010). A análise de correlação de Pearson foi aplicada para investigar as correlações entre todos os pares de variáveis selecionadas. O fator de inflação de variância (VIF) foi usado para detectar multicolinearidade e, portanto, os fatores mais não correlacionados foram selecionados como entrada dos modelos. A homogeneidade dos resíduos foi avaliada usando o gráfico de nível de spread. A autocorrelação espacial dos resíduos finais do modelo foi avaliada com o teste I de Moran, utilizando uma matriz de vizinhança por contiguidade do tipo Queen (Zuur *et al.*, 2010).

Quando verificada a autocorrelação espacial, recorreu-se a modelos com efeitos espaciais globais, que foram desenhados para capturar a estrutura ou correlação espacial em apenas um parâmetro e adicioná-la ao modelo de regressão linear. Foi utilizado o modelo de defasagem espacial, que atribui a correlação espacial ignorada à variável dependente, e o modelo de erro espacial, que considera os efeitos espaciais como um elemento a ser removido. Foi escolhido o modelo com o maior valor de log-verossimilhança, que pode ser interpretado como o teste de uma hipótese que compara a qualidade do ajuste entre dois modelos. Já o critério de informação de Akaike (AIC) compara a qualidade de um conjunto de modelos estatísticos. Por fim, os resíduos do modelo selecionado foram analisados por meio do Índice de Moran para verificar se a autocorrelação espacial foi eliminada após a utilização do modelo espacial (Queiroz *et al.* 2020).

A matriz de vizinhança, as taxas Bayesianas empíricas locais e os índices de Moran local e global bivariados foram obtidos no software Geoda. No software R, versão 4.3.2, foram realizadas: a construção do modelo de regressão espacial, a manipulação dos bancos de dados e os cálculos das taxas padronizadas de notificação e mortalidade por idade e sexo. Os mapas temáticos foram feitos no software QGIS versão 3.34 e utilizaram a categoria de “quebras naturais”, exceto o mapa com os índices de Moran, que foi apresentado com o critério “categórico”.

## RESULTADO

O município teve uma taxa de mortalidade por COVID-19 global de 42 por 10.000 habitantes, considerando todo o período analisado no estudo. Entre as mulheres a taxa foi de 39 por 10.000 habitantes, enquanto entre os homens foi de 44 por 10.000 habitantes. A taxa de mortalidade entre os idosos, maiores de 60 anos de idade, foi de 349 por 10.000 habitantes, quase 5 vezes maior que a taxa de mortalidade da população na faixa etária de 50 a 59 anos.

### **Mapeamento das taxas bayesianas e dos indicadores socioeconômicos e demográficos**

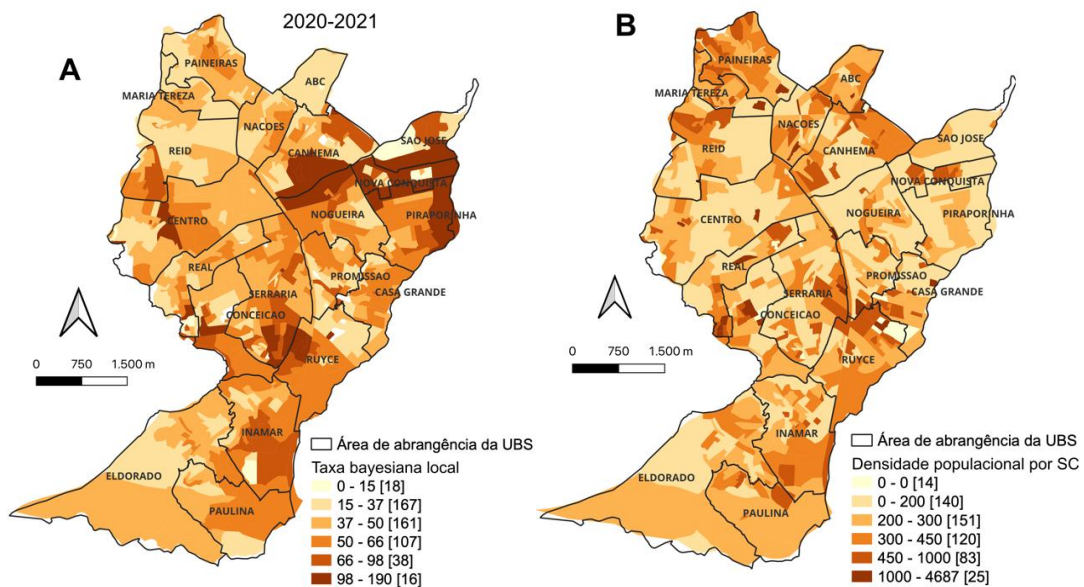
Na Figura 2A é apresentado o mapa das taxas de mortalidade Bayesiana empíricas local por COVID-19 segundo SC em todo o período de estudo, março de 2020 a fevereiro de 2022. As maiores taxas de mortalidade se concentraram nos SC que fazem fronteira com São Bernardo do Campo – município com o 16º maior Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro – que exerce forte influência sobre Diadema. Também se verificou uma concentração de SC com taxas elevadas de mortalidade localizados na região centro-sul do município, nas AA Ruyce e Serraria, seguido por SC com altas taxas em Conceição e Inamar.

Na Figura 2B é apresentada a densidade demográfica dasimétrica segundo SC. As AA Centro, Nogueira, Piraporinha, São José e parte de Nova Conquista, região mais central do município, se

O padrão espacial da mortalidade por covid-19 em um município com alta densidade populacional

destacam por apresentar cores mais claras no mapa, demonstrando assim serem locais onde os SC têm menor densidade demográfica. Observa-se que nos SC menos densos, aparentemente, houve maior taxa de mortalidade por COVID-19.

Figura 2 – Município de Diadema: A) Distribuição espacial das taxas padronizadas de óbito por COVID-19 por meio do método de alisamento bayesiano conforme SC; B) Densidade demográfica dasimétrica conforme SC

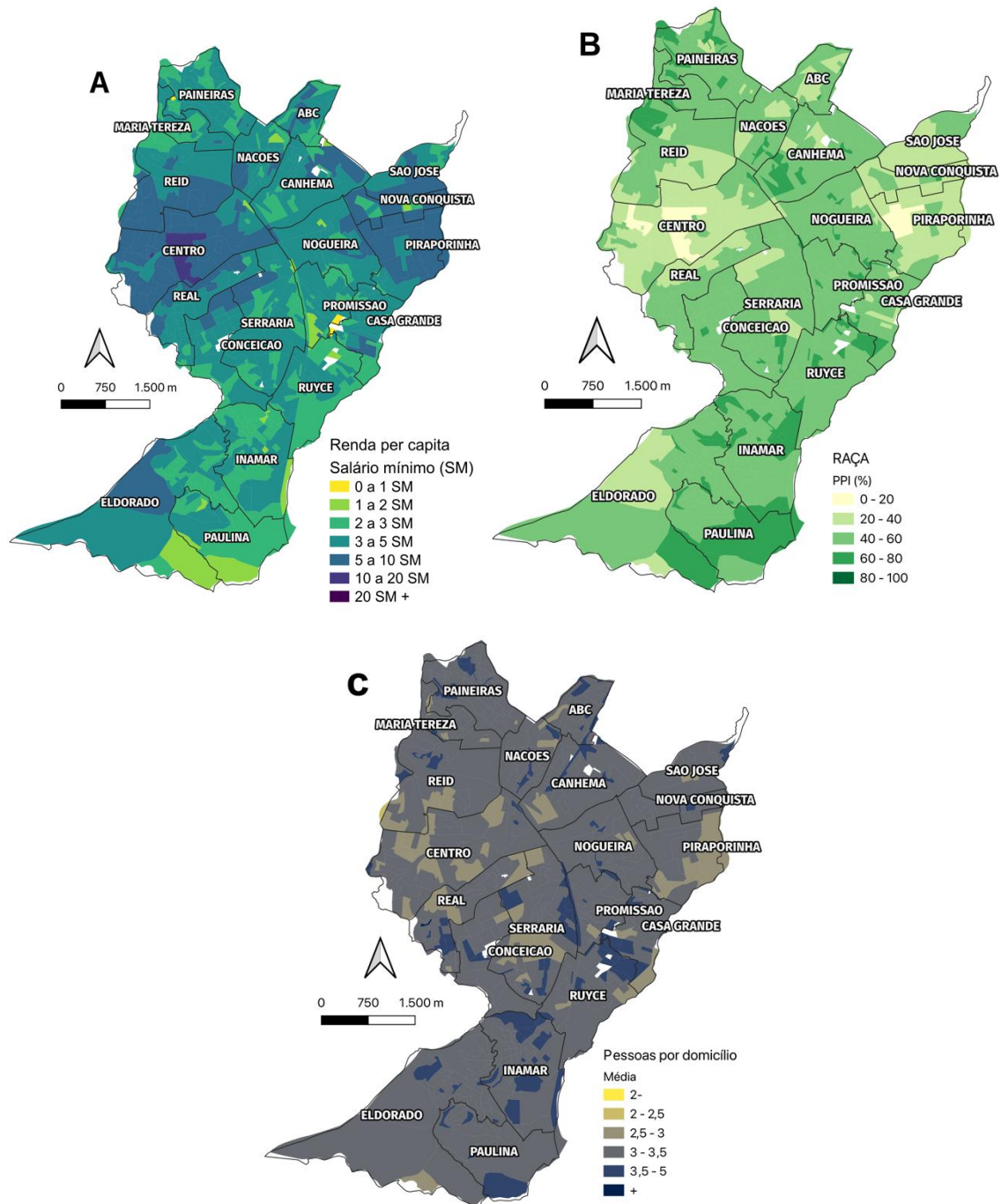


Fonte: A) Secretaria de Saúde de Diadema, 2023; B) IBGE, 2010. Elaboração: os autores, 2020.

Nas figuras 3A, 3B e 3C são apresentadas as distribuições espaciais dos indicadores socioeconômicos: percentual de Raça / PPI, renda per capita e número de pessoas por domicílio. Observa-se que os bairros do Centro e Piraporinha se destacam tanto na maior proporção de SC com renda per capita maior a 5 salários mínimos (SM), como na maior proporção de SC com menor percentual de Raça / PPI.

O padrão espacial da mortalidade por covid-19 em um município com alta densidade populacional

Figura 3 – Município de Diadema: Distribuição espacial dos indicadores de Renda (A), Raça / PPI (B) e Pessoas por domicílio (C)



Fontes: IBGE, 2010. Elaboração: os autores, 2020.

### ***Índice de Moran Global e Local***

O Moran Global da taxa de mortalidade por COVID-19 padronizada bayesiana foi de 0,32. As bivariadas globais com a renda per capita, percentual de Raça / PPI, pessoas por domicílio e densidade demográfica foram, respectivamente: 0,005, 0,002, -0,026 e -0,023.

Na figura 4A, 4B e 4C são apresentados os aglomerados espaciais do Índice de Moran Local Bivariado das taxas de mortalidade padronizadas por idade e sexo, em relação à Raça / PPI, renda per capita e média de pessoas por domicílio segundo Setor Censitário no município de Diadema, nos anos de 2020 e 2021. Não foram formados aglomerados significantes entre a taxa de mortalidade por COVID-19 padronizada bayesiana e a densidade demográfica.

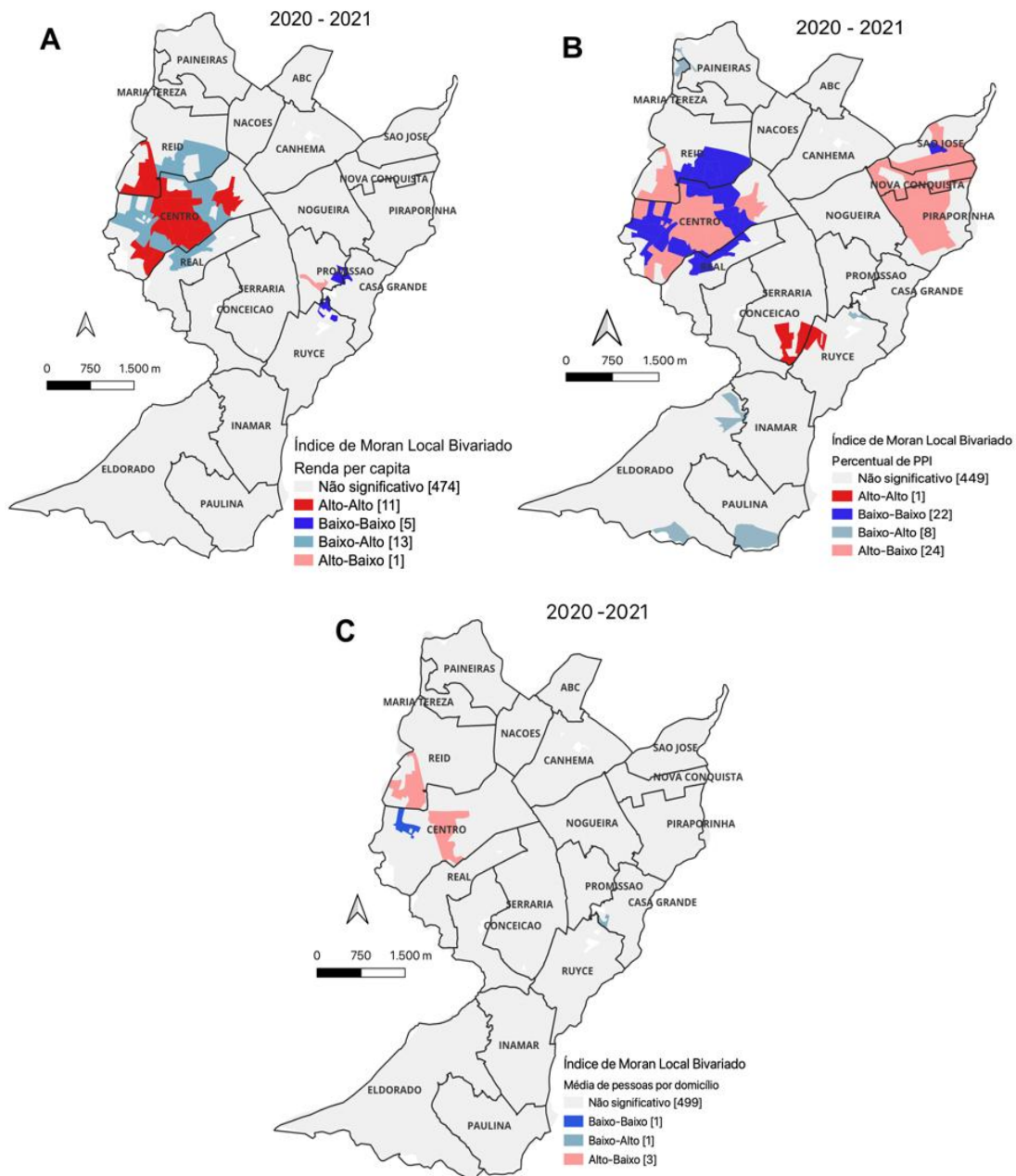
Na Figura 4A foi observado uma relação positiva e significativa entre elevada mortalidade por COVID-19 e renda per capita mais alta nos setores localizados na área mais central da AA Centro com fronteira com SC da AA Reid e uma relação negativa e significativa com os SC localizados nas bordas das mesmas AA, ou seja, SC com baixas taxas padronizadas de óbito por COVID-19 com vizinhos com alta renda per capita. Observa-se nessa região um padrão semelhante ao encontrado na Figura 4A, onde setores localizados nas áreas mais centrais apresentaram um comportamento diferente do que foi encontrado nas bordas. Também foram observados, mas em menor proporção, aglomerados de SC do tipo baixo-baixo nas AA Promissão, Casa Grande e Ruyce, e somente 1 Alto-Baixo também na AA Promissão.

Na Figura 4B foi observada uma relação positiva e significativa entre a mortalidade por COVID-19 e o percentual de PPI em setores das AA Conceição e Ruyce, onde os setores com elevadas taxas de mortalidade por COVID-19 possuíam vizinhos com alto percentual de Raça / PPI. Em contraponto, nos SC das AA do Piraporinha, São José e Nova Conquista houve uma relação negativa e significativa, onde setores com elevadas taxas de mortalidade por COVID-19 possuíam vizinhos com baixo percentual de PPI. Nas AA do Centro e Reid foram observados setores nas áreas mais centrais com elevadas taxas de mortalidade por COVID-19 e baixo percentual de Raça / PPI, havendo nas bordas uma relação positiva e significativa, onde setores com baixas taxas de mortalidade possuíam áreas vizinhas com baixo percentual de Raça / PPI.

Em relação à Figura 4C, nenhum aglomerado do tipo Alto-Alto significativo foi observado, ou seja, nenhum setor com elevadas taxas de mortalidade por COVID-19 possuía vizinhos com elevadas médias de moradores por domicílio. Também não foram observados aglomerados do tipo Baixo-Baixo ou Baixo-Alto, sendo encontrados somente 1 setor significativo para cada. Um pequeno aglomerado do tipo Alto-Baixo foi encontrado na AA do Centro, ou seja, setor com altas taxas de mortalidade com vizinhos com baixa média de pessoas por domicílio. Não foi observada a formação de aglomerados significativos da relação entre taxas padronizadas de óbito por COVID-19 e densidade demográfica.

O padrão espacial da mortalidade por covid-19 em um município com alta densidade populacional

Figura 4 – Município de Diadema: Clusters de SC das taxas de mortalidade padronizadas por COVID-19, em relação a renda per capita (A), percentual de Raça / PPI (B) e média de pessoas por domicílio (C)



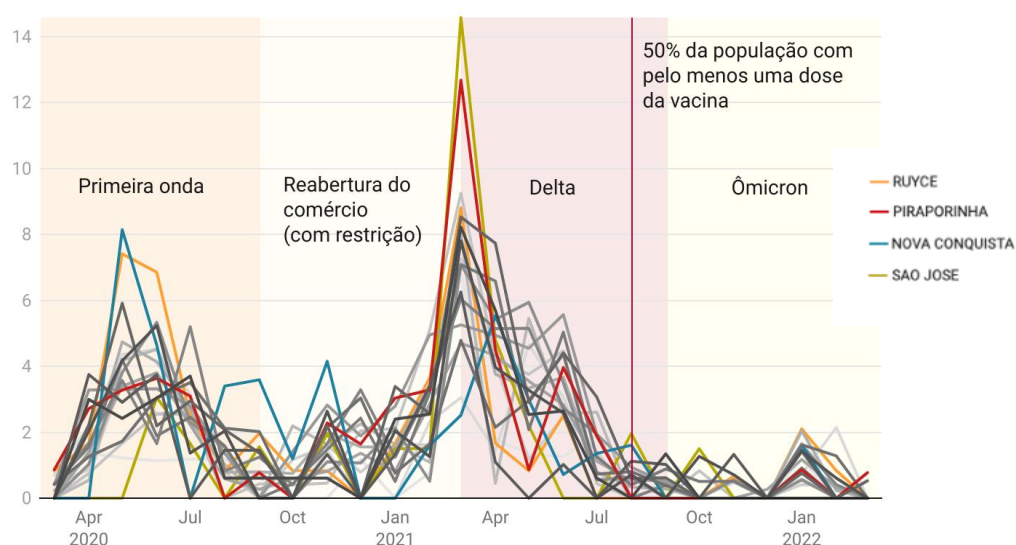
Fontes: IBGE, 2010. Elaboração: os autores, 2020.

### **Análise da mortalidade por COVID-19 por períodos**

As Figuras 5 e 6 mostram a evolução temporal das taxas de mortalidade por COVID-19 padronizada, em Diadema. Na figura 4 as taxas são apresentadas segundo as AA em que são observados quatro períodos com características marcantes:

- i. primeiro período – março a agosto de 2020 – início da pandemia e caracterizado pela primeira onda da COVID-19, bem como, pelo primeiro pico das taxas de óbito que ocorreu no mês de maio;
- ii. segundo período – setembro de 2020 a fevereiro de 2021 – período de reabertura com restrição do comércio e também caracterizado pelas taxas mensais aparentemente mais baixas;
- iii. terceiro período – março a agosto de 2021 – caracterizado pelo início da vacinação no Brasil e pelo advento da variante Delta, com altas taxas e marcado pelo o maior pico de óbito de toda pandemia, ocorrido em março;
- iv. quarto período – setembro de 2021 a fevereiro de 2022 – quando cerca de 50% da população do estado de São Paulo haviam tomado, pelo menos, uma dose da vacina contra COVID-19, sendo caracterizado pelas taxas de mortalidade mais baixas, mesmo com o advento da variante Ômicron.

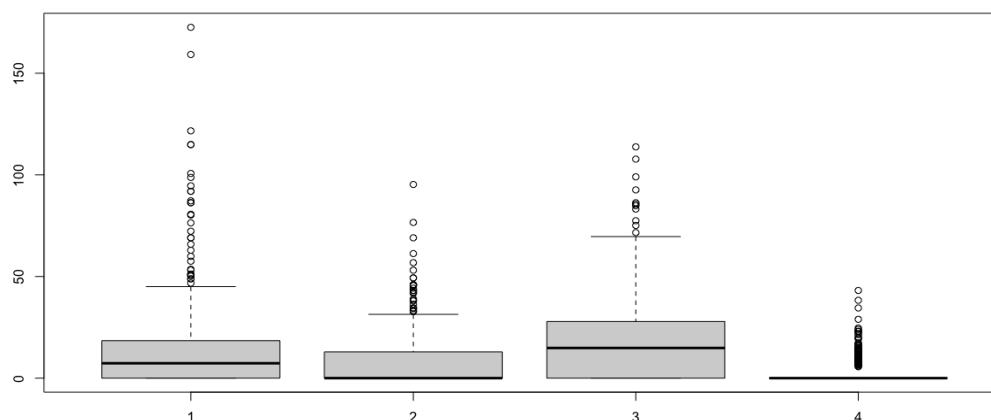
Figura 5 – Município de Diadema: Taxas padronizadas de mortalidade por COVID-19 por AA de março de 2020 a fevereiro de 2022



Fontes: Secretaria de Saúde de Diadema, 2023. Elaboração: os autores, 2020.

Na Figura 6 são apresentados *boxplot* das taxas padronizadas por SC conforme os quatro períodos analisados. Foi possível identificar uma grande variabilidade dos dados, com maior amplitude no primeiro e terceiro período em que ocorreram os picos. No segundo e no quarto período foi identificada uma queda da amplitude dos valores *outliers*, sendo mais expressivo no último período. No terceiro período da pandemia houve um aumento expressivo do valor da mediana, além do alargamento da distância entre o primeiro e o terceiro quartis.

## 6 – Município de Diadema: distribuição das taxas padronizadas de mortalidade por COVID-19 dos SC nos quatro períodos da pandemia

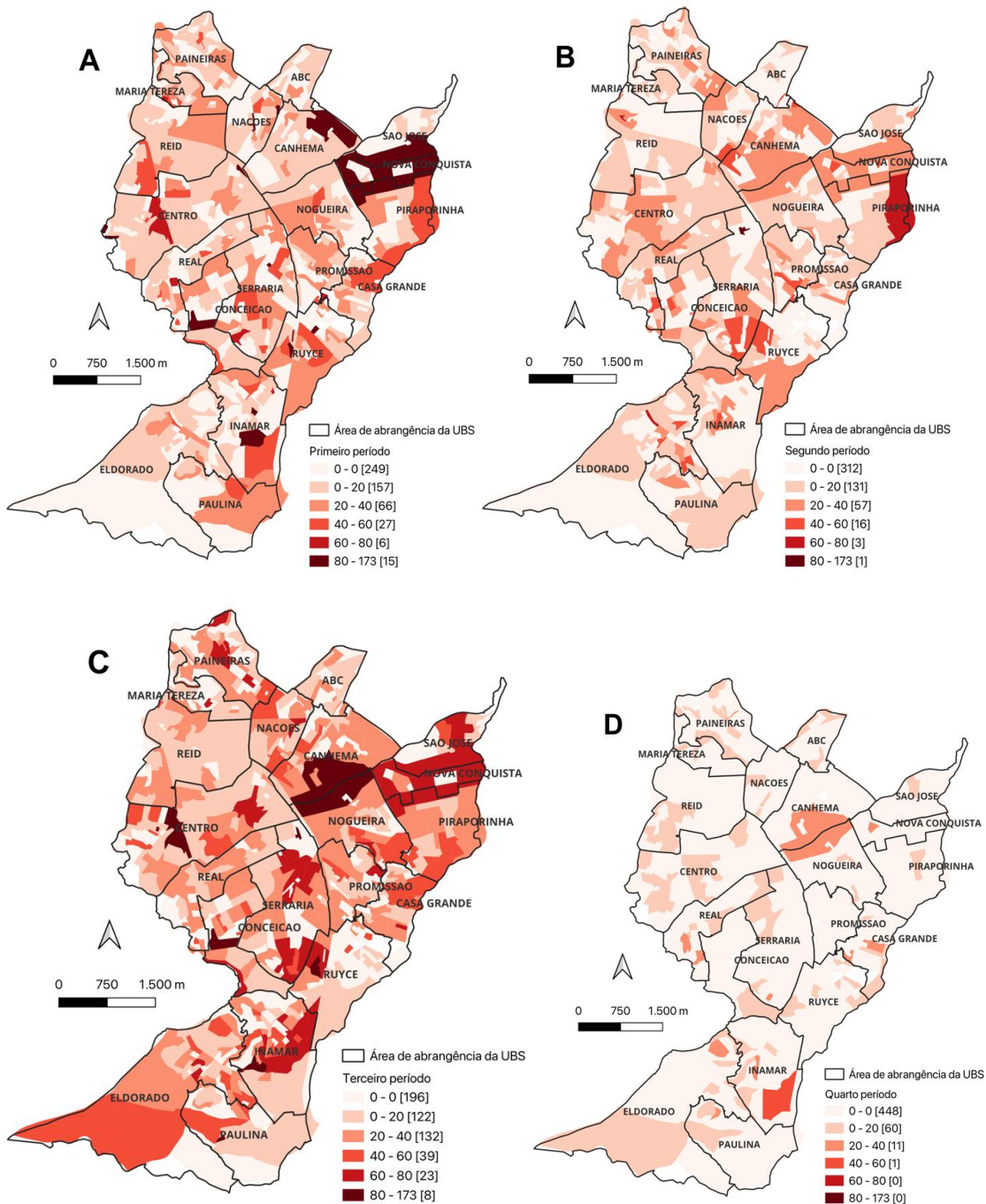


Fontes: Secretaria de Saúde de Diadema, 2023. Elaboração: os autores, 2020.

Na Figura 7 são apresentados mapas da evolução temporal, segundo SC, das taxas padronizadas de mortalidade por COVID-19. O padrão de distribuição espacial da mortalidade por COVID-19 não foi constante. A quantidade de SC com taxa zero é alta até mesmo no terceiro período, caracterizado por ter maior quantidade de setores com taxas maiores. As últimas duas classes de análise, taxas acima de 60 óbitos por 10 mil habitantes, representada pelas as duas cores mais escuras nos mapas, podem ser caracterizadas por apresentarem SC com taxas mais elevadas e *outliers*, sendo estas predominantes no primeiro e no segundo semestre. Adicionalmente, é observado que o terceiro semestre pandemia foi o mais letal, não observado em nenhum outro momento pandêmico, com uma grande quantidade de SC com taxas acima de 20 óbitos por 10 mil habitantes. Apesar de aparentemente o segundo semestre apresentar taxas mais baixas devido a uma maior prevalência de cores mais claras no mapa, ainda foi expressiva a quantidade de SC com taxas superiores a 20 óbitos por 10 mil habitantes. Somente no quarto semestre da pandemia, após extensa vacinação da população contra COVID-19, foi que as taxas declinaram, com poucos SC com taxas superiores a 20 óbitos por 10 mil habitantes e a grande maioria dos setores com taxas iguais a zero.

O padrão espacial da mortalidade por covid-19 em um município com alta densidade populacional

Figura 7 – Município de Diadema: distribuição espacial das taxas padronizadas de mortalidade por COVID-19 dos SC nos quatro períodos da pandemia



Fonte: Secretaria de Saúde de Diadema, 2023. Elaboração: os autores, 2020.

### Modelo de regressão com efeitos espaciais

A renda per capita teve alta correlação inversa com Raça / PPI ( $r^2 = 0,69$ ) e pessoa por domicílio ( $r^2 = 0,6$ ). Dessa forma, o modelo teve por desfecho a taxa bayesiana de mortalidade por COVID-19 e foi então composto pelas covariáveis: 'Renda per capita' e 'Densidade demográfica' (Tabela 1). O modelo de regressão linear múltipla revelou uma relação estatisticamente significativa entre a densidade populacional e as taxas de mortalidade por COVID-19 ( $R^2 = 0,02$ ;  $p = 0,002$ ). A análise dos resíduos do modelo usando Moran's I ( $I = 0,33$ ,  $p < 0,001$ ) revelou uma autocorrelação espacial. O modelo de regressão linear não era portanto apropriado, considerando a necessidade de introduzir efeitos espaciais. Por esse motivo, foram adotados modelos de defasagem espacial e erro espacial. O modelo de erro espacial foi escolhido por apresentar o maior valor de log-verossimilhança e menor AIC. O modelo de erro espacial mostrou relação significativa entre densidade populacional e mortalidade por COVID-19. Para os resultados obtidos com erro espacial, o  $R^2$  foi de 0,02. O modelo de erro espacial foi escolhido por apresentar o maior valor de log-verossimilhança e menor AIC.

Tabela 1 – Diadema (SP): Covariáveis associadas à taxa padronizada bayesiana de mortalidade por COVID-19, 2020 a 2022

	Modelo de regressão linear		Modelo final (spatial error)		
	Estimativa	P-valor	Estimativa	P-valor	Intervalo de confiança
Intercepto	61,8	<0,001	61	<0,001	
Renda per capita (raiz)	-0,1	0,62	0,03	0,87	-0,49 - 0,29
Densidade demográfica (log)	-4,2	0,002	-5,6	<0,001	-7,95 - -3,25
Lambda ( $\lambda$ )			0,5	<0,001	
$R^2$	0,02		0,02		
Log likelihood			-2207,18		
AIC	4514.7		4424.4		

Fontes: IBGE, 2010; Secretaria de Saúde de Diadema, 2023. Elaboração: os autores, 2024.

## DISCUSSÃO

O município de Diadema é fortemente influenciado pela perspectiva de trabalho nos municípios fronteiriços, a capital São Paulo e os municípios do ABC paulista. Foi na região próxima aos municípios vizinhos, São Paulo e São Bernardo do Campos, que se concentraram os SC com as maiores taxas de mortalidade por COVID-19. Essa região apresenta maior movimento populacional e estão localizados os principais centros rodoviários e de interligação com o metrô e o trem. Também são nesses locais que há maior dinamismo econômico e presença de equipamentos urbanos como: hospitais, comércios e serviços. Dessa forma, foram as regiões com maior fluxo de população que se destacaram em relação à mortalidade pela doença, reforçando o cenário de que a circulação de pessoas e o inerente fluxo no território têm uma relação causa-efeito para a velocidade de contaminação do vírus (Matos *et al.*, 2022). Além disso, a distribuição espacial da mortalidade por COVID-19 nos quatro períodos analisados (março a agosto de 2020, setembro de 2020 a fevereiro de 2021, março a agosto de 2021, setembro de 2021 a fevereiro de 2022) mostrou que alguns SC do interior do município se destacaram pelas altas taxas de mortalidade. Isso ocorreu principalmente no terceiro período, quando foram obtidas as maiores taxas de mortalidade da pandemia e com advento da variante Delta.

Foi observado que o padrão racial e socioeconômico que se expressa no território deve ser compreendido enquanto parte de um padrão de segregação metropolitana, pois Diadema se situa

numa situação periférica em relação a São Paulo e o ABC, tendo a cidade uma das maiores concentrações de população negra da RMSP (IBGE, 2022). No município, há o predomínio do espaço urbano que retrata as iniquidades relacionadas à extrema desigualdade da distribuição de renda. As regiões centrais concentram os SC com as maiores rendas per capita e menor percentual de Raça / PPI. Apesar de existirem alguns enclaves de áreas de baixa renda na região central, é no interior que há maior concentração de SC com população de baixa renda per capita e maior percentual de Raça / PPI.

O estudo demonstrou que houve correlação espacial entre a mortalidade pela doença e indicadores socioeconômicos no período estudado. Houve formação de cluster do tipo alta mortalidade e alta renda per capita e clusters do tipo baixa mortalidade e alta renda per capita nas regiões centrais denominadas Centro e Piraporinha. Houve também a formação de clusters semelhantes entre a taxa de mortalidade por COVID-19 e o percentual de Raça / PPI. A heterogeneidade das correlações pode estar associada à abrangência do período do estudo que perpassou por diversas ondas da pandemia. Nesse período foram adotadas diferentes medidas pelos gestores a fim de minimizar o impacto da doença. Outro ponto a ser considerado é o desalinhamento e a descoordenação entre União, estados e municípios no enfrentamento da pandemia no Brasil, desde a fase inicial até a execução do Plano Nacional de Imunização, com a escassez de doses de vacinas e divergência de calendários vacinais (Moraes *et al.* 2024).

Os meses de maio de 2020, um mês após o anúncio do início da pandemia, e março de 2021, um mês após o início da vacinação, foram os que apresentaram os maiores picos de mortalidade por COVID-19. Na primeira grande onda, a rápida disseminação sugere que a introdução de estratégias de enfrentamento e detecção foram tomadas de forma tardia, sendo esse processo de transmissão da doença não muito diferente das demais cidades brasileiras (Moraes *et al.* 2024). Apesar da confirmação da propagação ser detectada a partir dos casos notificados, não houve uma infraestrutura de testagem em larga escala no Brasil, principalmente no início da pandemia (Silva *et al.*, 2021). Podem ter contribuído para a segunda grande onda de mortalidade por COVID-19, março de 2021, a chegada das novas variantes do vírus, imunização incompleta, abertura dos serviços e comércios, especialmente no período de Natal e Carnaval, e o afrouxamento da adoção e adesão da população às medidas não farmacológicas de prevenção da doença, além das vulnerabilidades sociais já existentes e da estrutura de saúde (Spinella, 2021).

Desde o início da pandemia, a densidade populacional foi apontada como o principal desafio no controle do contágio da COVID-19 (Arif; Sengupta, 2021; Costa; Costa, 2020). Até onde sabemos, este é um dos primeiros estudos que avaliou a densidade demográfica ao nível de maior detalhe por meio do mapeamento dos contornos de edifícios e casas derivados de imagens de satélite de alta resolução. O mapeamento da densidade populacional apontou que as áreas com as maiores densidades se localizaram em SC isolados e não necessariamente nas regiões centrais. Havia importantes concentrações em áreas do interior do município, como na áreas do Ruyce, Serraria e Conceição. O estudo demonstrou que não houve associação espacial entre renda per capita e taxa de mortalidade por COVID-19, enquanto a densidade teve uma associação inversa, mas com baixo R<sup>2</sup>. Entre os estudos que analisaram essa relação, houve os que a densidade demográfica foi um fator de transmissão espacial da COVID-19 (Arif; Sengupta, 2021), e os que não foi encontrado associação entre densidade demográfica e a disseminação espacial da doença (Federgruen, 2021; Carozzi, 2020).

Entre as limitações que envolvem o presente estudo está o uso de dados agregados das áreas correspondentes, sem controle das condições individuais dos pacientes (Cressie, 2015). Contudo, nosso estudo incluiu um grande tamanho da amostra, obtendo grande representatividade da mortalidade da doença durante a pandemia. Além disso, foi realizada a padronização de taxas, cujos resultados não são influenciadas pela estrutura da população quanto à idade e ao sexo, possibilitando uma compreensão comparativa do fenômeno. Outra limitação foi a utilização de dados do censo do ano de 2010. Os dados do censo 2022 ainda não haviam sido disponibilizados na escala de SC e o censo de 2010 era a única informação disponível até o momento. Tal limitação representa um desafio para estudos cuja única fonte de dados em escala detalhada é o censo demográfico, realizado decenalmente e sujeito a atrasos por questões políticas e estruturais. No

presente estudo, o atraso na disponibilidade dos dados foi agravado pela pandemia. No entanto, esses fatores não interferiram na qualidade dos resultados apresentados, uma vez que, por meio dos dados utilizados, foi possível identificar correlações espaciais entre as variáveis independentes e a mortalidade por covid-19, verificando a heterogeneidade intra urbana do município de Diadema.

O estudo demonstrou que os determinantes da saúde que envolvem fatores individuais e comunitários apresentam uma relação complexa com o território. A alta densidade de habitantes por casa, uso de transportes coletivos e fragilização do vínculo empregatício foram situações de vulnerabilidade em saúde no que tange a transmissão do vírus SARS-CoV-2, bem como, condições de doenças crônicas e idade (Carozzi, 2020; Federgruen; Naha, 2021). Nesse contexto, a pandemia da COVID-19 realçou as disparidades entre as classes sociais, uma vez que trabalhadores autônomos e do setor de serviços e comércio, em função da natureza de seu trabalho, não tinham condições de permanecer em casa. Morar em áreas economicamente desfavorecidas, aumentou o risco de mortalidade durante a pandemia (Aguilar-Palacio *et al.*, 2021; Drefahl *et al.*, 2020; Leveau, 2020), sendo o rendimento o principal fator das disparidades espaciais, após ajuste para idade e sexo (Chiaravalloti Neto *et al.*, 2023). Para prevenir transmissões secundárias era preciso um maior controle da pandemia por meio da identificação rápida de casos, medidas de quarentena e distanciamento físico, se atentando para as iniquidades em saúde relacionadas à classe social, gênero e raça/cor (Brasil, 2020; Silva *et al.*, 2021).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo proposto estabelece métodos de análise espacial que podem ser utilizados para monitorar as estratégias de resposta dos sistemas de saúde a epidemias de alta capacidade de transmissão comunitária, visando mitigar seus impactos de forma territorializada e engajar de forma mais efetiva os mais afetados. O estudo demonstrou que o fator escala geográfica de análise é algo a ser considerado nas análises sobre densidade populacional e transmissibilidade de doenças contagiosas. A adoção do mapeamento dasimétrico demonstrou ser um método apropriado cuja escala de análise foi intraurbana. O uso das áreas voltadas para moradia tornaram os resultados do cálculo da densidade populacional mais precisos. Muitos dos SC com maior densidade populacional eram compostos por blocos de prédios, cujas dinâmicas tendem a favorecer maior isolamento social, o que sugere que as associações epidemiológicas observadas refletem práticas sociais cotidianas influenciadas pela morfologia urbana. Há necessidade de avaliar, por meio de estudos adicionais utilizando o método de mapeamento dasimétrico, a associação entre densidade populacional e risco de transmissão da doença, em conjunto com as políticas de acesso aos serviços de saúde e aos meios de subsistência, como estratégia para o controle de uma crise sanitária.

A análise da disseminação da COVID-19 por meio de gráficos e mapas das taxas padronizadas e taxas padronizadas bayesianas, como aqui realizada, é um método de rápido aprendizado e absorção pelo poder público que poderia ser incorporado no processo de prevenção não farmacológica da disseminação da doença. A análise contribuiu para melhor compreensão do padrão espacial da pandemia em um município com alta densidade populacional, enquanto a análise de correlações espaciais entre indicadores socioeconômicos e demográficos e a mortalidade por COVID-19 contribuiu para melhor compreensão dos fatores de risco associados. Recomenda-se a continuação de estudos em escala local sobre padrão espacial de doenças com alto poder de dispersão e sua relação com as redes de mobilidade urbana e densidade do fluxo de transporte, principalmente as de transmissão respiratória. Porém, em regiões metropolitanas, tornam-se ainda mais fundamentais estudos que relacionem a escala local com a regional de transmissão da doença e dos fatores associados.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - Fapesp, pelo financiamento do projeto e bolsas de pesquisa. Agradecemos também à equipe do Núcleo de Vigilância em Saúde Ambiental do Município de Diadema pelo apoio imprescindível à execução da pesquisa.

## REFERÊNCIA

- AGUILAR-PALACIO, I. *et al.* COVID-19 inequalities: individual and area socioeconomic factors (Aragón, Spain). **International journal of environmental research and public health**, 18, n. 12, p. 6607, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126607>
- ARIF, M.; SENGUPTA, S. Nexus between population density and novel coronavirus (COVID-19) pandemic in the south Indian states: A geo-statistical approach. **Environment, Development and Sustainability**, 23, n. 7, p. 10246-10274, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01055-8>
- BERMUDI, P. M. M. *et al.* Padrão espacial da mortalidade por câncer de mama e colo do útero na cidade de São Paulo. **Revista de Saúde Pública**, 54, p. 142, 2020. <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2020054002447>
- BRASIL. **Ministério da Saúde declara transmissão comunitária nacional**. 2020.
- CAROZZI, F. Urban density and COVID-19. **IZA Discussion Paper**, n. 13440, 2020. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3643204>
- CARVALHO, M. S.; SOUZA-SANTOS, R. Análise de dados espaciais em saúde pública: métodos, problemas, perspectivas. **Cadernos de Saúde Pública**. V. 21, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2005000200003>
- CASTRO, M. C.; SINGER, B. H. Controlling the false discovery rate: a new application to account for multiple and dependent tests in local statistics of spatial association. **Geographical Analysis**, 38, n. 2, p. 180-208, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2006.00682.x>
- CHIARAVALLOTTI NETO, F. *et al.* Covid-19 hospital mortality using spatial hierarchical models: cohort design with 74,994 registers. **Revista de Saúde Pública**, 57, p. 2, 2023. <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2023057004652>
- COELHO, M. C. S. **Espaço de direitos é mais que direito a espaço: o processo de urbanização de favelas em Diadema (1983-2008)**. 2008. 179 p. Dissertação (Mestrado em Serviço Social) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo. 2008.
- COSTA, E. M.; COSTA, N. M. A pandemia Covid-19 em Portugal continental: uma análise geográfica da evolução verificada nos meses de março e abril. **Hygeia-Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, n. Edição Especial: Dossiê COVID-19, p. 72-79, 2020. <https://doi.org/10.14393/Hygeia0054396>
- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. John Wiley & Sons. 1119115183. 2015
- DREFAHL, S. *et al.* A population-based cohort study of socio-demographic risk factors for COVID-19 deaths in Sweden. **Nature communications**, 11, n. 1, p. 5097, 2020.
- FEDERGRUEN, A.; NAHA, S. Crowding effects dominate demographic attributes in COVID-19 cases. **International Journal of Infectious Diseases**, 102, p. 509-516, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.10.063>
- GONZAGA, C. B.; FERREIRA, G. N. Redes de Atenção à Saúde: Um Caminho na Garantia da Integralidade da Atenção no SUS. **Revista Internacional de Debates da Administração & Pública-RIDAP**. v. 2, n. 1, p. 12-26, 2017.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Portal Cidades: censo 2010**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/diadema/panorama>. Acesso em 7 mar. 2023.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Portal Cidades: censo 2022**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/diadema/panorama>. Acesso em 7 mar. 2023.
- LEVEAU, C. M. Spatiotemporal variations in mortality from COVID-19 in neighborhoods of the Autonomous City of Buenos Aires, Argentina. 2020. **SciELO Preprints**. <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.1445>

MATOS, M. et al. Compassion Protects Mental Health and Social Safeness During the COVID-19 Pandemic Across 21 Countries. *Mindfulness*, v. 13, p. 863-880, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12671-021-01822-2>

MORAES, A. I. S.; CORRÊA, A. P. V.; PEREIRA, A. N. S.UEHARA, C.S. A. Correlação espacial: padrão heterogêneo de mortalidade por covid-19 no Brasil. **Saúde Debate**, Rio de Janeiro, V. 48, N. 142, e9255, 2024. <https://doi.org/10.1590/2358-289820241429255P>

OPEN BUILDINGS. **A dataset of building footprints to support social good applications**. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE DIADEMA. **Sua vida importa para mim: Diadema contra o coronavírus**.

QUEIROZ, A. A. R. *et al.* Effect of social development in reducing tuberculosis mortality In northeastern Brazil areas. The **Journal of Infection in Developing Countries**, 14(8):869-877. 2020. <https://doi.org/10.3855/jidc.12196>

SILVA, R. R. D. *et al.* Interiorização da COVID-19 nos municípios do Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil**, 21, p. 109-120, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9304202100S100006>

SIQUEIRA, T. S. *et al.* Spatial clusters, social determinants of health and risk of maternal mortality by COVID-19 in Brazil: a national population-based ecological study. **The Lancet Regional Health–Americas**, 3, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2021.100076>

SPINELLA, C; MIO, A. M. Simulation of the impact of people mobility, vaccination rate, and virus variants on the evolution of Covid-19 outbreak in Italy. **SciRep**. 11(1):23225. 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02546-y>

TCHICAYA, A. *et al.* COVID-19 mortality with regard to healthcare services availability, health risks, and socio-spatial factors at department level in France: a spatial cross-sectional analysis. **PloS one**, 16, n. 9, p. e0256857, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256857>

WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). **Coronavirus disease 2019 (COVID-19): situation report**. 73., 2020.

ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; ELPHICK, C. S. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. **Methods in ecology and evolution**, 1, n. 1, p. 3-14, 2010.