

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA PANDEMIA DA COVID-19 EM MINAS GERAIS

Bruna Gouvêa Abrantes¹
Klaus Chaves Alberto²
Sabrina Andrade Barbosa³

Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

RESUMO: Esse estudo descreve o padrão da distribuição espacial da Covid-19 em Minas Gerais nos anos de 2020 e 2021 de forma a identificar aglomerados espaciais significativos considerando a incidência de casos e sua correlação com a densidade populacional e a taxa de urbanização. Para o tratamento dos dados e aplicação do teste do Índice de Moran uni e bivariado foi utilizado o software GeoDa. Os resultados indicam que a incidência possui dependência espacial positiva moderada com formação de clusters alto-alto que se difundiram ao longo do território. Foi encontrada ainda correlação bivariada positiva e de baixa magnitude entre a incidência e sua relação com a densidade populacional e a taxa de urbanização.

PALAVRAS-CHAVE: Covid-19; Análise espacial; Índice de Moran.

ABSTRACT: This study describes the spatial distribution pattern of Covid-19 in Minas Gerais in the years 2020 and 2021 in order to identify significant spatial clusters considering the cases incidences and their correlation with population density and urbanization rate. GeoDa software was used to apply the uni and bivariate Moran Index test and ArcGis for the representation of thematic maps. The results indicate that the incidence has moderate positive spatial dependence and the formation of high-high clusters that have spread throughout the territory. There was a positive low-magnitude bivariate correlation between the incidence and its relationship with density and urbanization rate.

KEYWORDS: Covid-19. Spatial Analysis. Moran's I.

¹ Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). E-mail de contato: bruna.abrantes@estudante.ufjf.br.

² Professor associado do curso de Arquitetura e Urbanismo e do Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). E-mail de contato: klaus.alberto@ufjf.edu.br

³ Professora adjunta do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e professora colaboradora do Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído (PROAC-UFJF). E-mail de contato: s.andradebarbosa@gmail.com

Introdução

No final de dezembro de 2019, a representação da Organização Mundial de Saúde (OMS) na China foi comunicada sobre aglomerados de casos de pneumonia de etiologia desconhecida detectados na cidade chinesa de Wuhan, província de Hubei. Até o dia 3 de janeiro de 2020, 44 casos de pacientes diagnosticados com doença respiratória foram informados à OMS pelas autoridades chinesas (WHO, 2020). Pouco tempo depois, o surto foi associado à exposição a um mercado de frutos do mar na cidade de Wuhan (BULUT; KATO, 2020; WHO, 2020); o vírus foi identificado como SARS-CoV-2 e a doença denominada Covid-19 (ASHOUR et al., 2020; OPAS, 2020). Em razão da alta capacidade de transmissão e do grande fluxo de viagens internacionais, o vírus difundiu-se mundialmente (HU et al., 2021) e em 20 janeiro de 2020, 282 infecções já haviam sido reportadas em quatro países: China (287 casos), Tailândia (2 casos), Japão (1 caso) e República da Coreia (1 caso) (WHO, 2020). Com o aumento expressivo do número de novos casos, a OMS caracterizou o surto como uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII) em 30 de janeiro e em 11 de março de 2020, declarou a situação de pandemia (OPAS, 2020).

Cerca de dois meses após a descoberta dos primeiros casos de infecção em Wuhan, o Brasil notificou o primeiro caso positivo para Covid-19 em São Paulo. De fevereiro de 2020 a 5 de fevereiro de 2022 foram registrados 26.473.273 casos infectados e 631.802 óbitos por Covid-19 (BRASIL, 2021a). A região Sudeste apresentava, até o dia 27 de fevereiro de 2022, o maior número de casos e óbitos pela doença, representando, respectivamente, 39% e 47% do total de notificações do país. O estado de São Paulo apresentou o maior número de casos, seguido por Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo. Em relação ao número de óbitos, Minas Gerais assumiu a terceira posição. Quanto ao risco de difusão, Minas Gerais foi classificada, ao lado de São Paulo, Rio de Janeiro, Distrito Federal, Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, como uma das Unidades Federativas (UF) com maiores chances de disseminação do vírus (GUIMARÃES; ELEUTERIO; MONTEIRO-DA-SILVA, 2020). O Estado confirmou o primeiro caso positivo para Covid-19 no dia 08 de março de 2020 em uma mulher de 47 anos, residente na cidade de Divinópolis com histórico de viagem nas últimas semanas. Entre o dia 08 de março a 31 de dezembro de 2020, o Estado acumulava 539.783 casos e 11.804 óbitos. Até o final de dezembro de 2020 todos os municípios mineiros foram acometidos pela Covid-19. Em 2021 foram contabilizados 2.219.719 casos e 56.270 óbitos, representando um aumento de 311%. Dois anos após a primeira notificação no estado, a

Secretaria de Saúde de Minas Gerais registrou, através do Boletim Epidemiológico, 3.240.962 casos e 59.999 óbitos (MINAS GERAIS, 2020).

Considerando o contexto da pandemia da Covid-19, diversas investigações buscam compreender quais fatores estão associados à disseminação da doença a partir de diferentes modelos de análise. Dentre as técnicas adotadas, a estatística espacial surgiu como uma ferramenta apropriada para a análise epidemiológica, considerando o mapeamento e análise estatística das incidências espaciais e espaço-temporais de diferentes vírus (RAMÍREZ-ALDANA; GOMEZ-VERJAN; BELLO-CHAVOLLA, 2020). A análise espacial favorece a compreensão da propagação de doenças infecciosas, a diminuição de novas transmissões (KANG et al., 2020) e o planejamento e a avaliação de ações em saúde (MACEDO et al., 2021). Embora exista uma literatura extensa que investiga fatores que contribuam para a disseminação espacial da Covid-19, ainda há lacunas a serem consideradas. Até o momento, não foram encontrados estudos espaço-temporais da Covid-19 em Minas Gerais que analisam os dados dos dois primeiros anos de pandemia de forma a estabelecer um comparativo no padrão da distribuição e suas associações, uma vez que grande parte das pesquisas se baseiam apenas em recortes temporais mais curtos. Sendo assim, em razão do impacto da pandemia no estado mineiro, o objetivo desse estudo consiste em descrever estatisticamente o padrão de distribuição espacial da Covid-19 em Minas Gerais nos anos de 2020 e 2021, identificando aglomerados espaciais significativos considerando a incidência dos casos e sua correlação com a densidade populacional e com a taxa de urbanização. Parte-se do pressuposto que a incidência de Covid-19 de um município é afetada pela taxa de casos dos municípios vizinhos e que a incidência acumulada até o ano de 2021 possui autocorrelação espacial com as variáveis demográficas e urbanas.

A pandemia da Covid-19 apresenta-se como um dos maiores desafios sanitários em escala global deste século (WERNECK; CARVALHO, 2020) e o seu espraiamento tem características geográficas que, mediante a análise da distribuição espacial de infectados, suspeitos e recuperados, bem como a observação de outras variáveis, permitem a compreensão da sua dinâmica no espaço (FERREIRA et al., 2020). Logo, a compreensão da disseminação do vírus por meio da dinâmica espacial se torna fundamental para a articulação de estratégias de controle da doença e de políticas públicas associadas ao planejamento urbano.

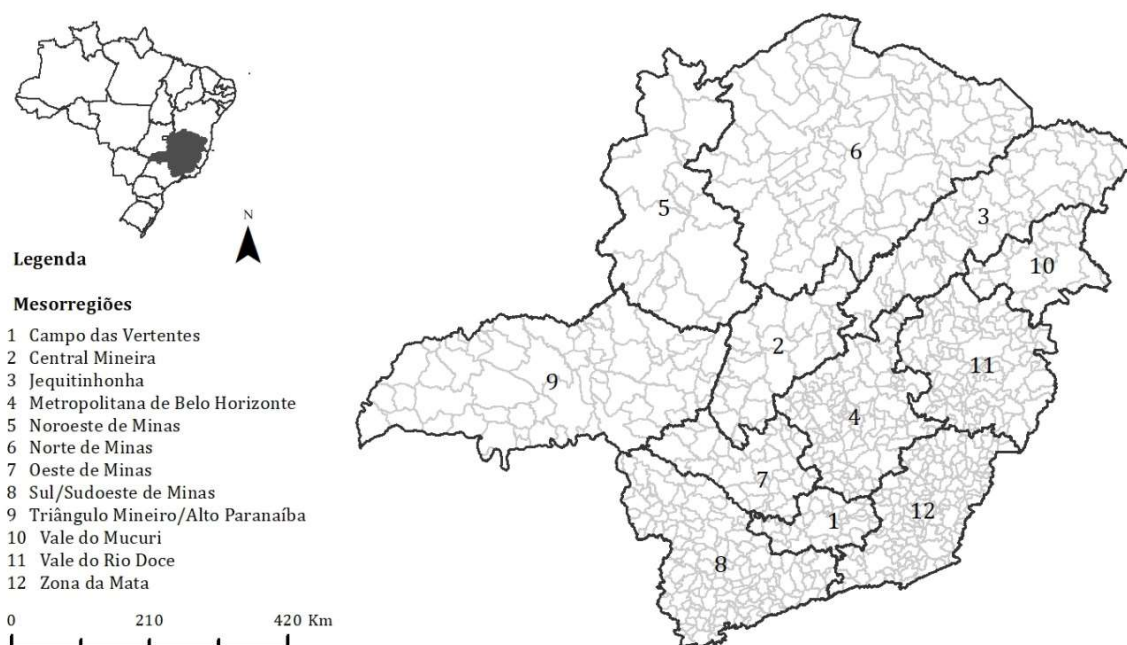
Método

Essa pesquisa utiliza os 853 municípios mineiros como unidade de análise. Para compreender a associação espacial da incidência de Covid-19 em 2020 e 2021 e suas relações com as variáveis explicativas utilizou-se a estatística espacial através da aplicação do teste do Índice I de Moran Global e Local uni e bivariado, respectivamente.

Caracterização da área de estudo

O estado de Minas Gerais, localizado na região Sudeste do Brasil, é uma das 27 Unidades da Federação brasileira. O território mineiro abrange uma área de 586.513,993 km² e ocupa o primeiro lugar entre os estados da região e o quarto entre os estados brasileiros com maior extensão territorial (IBGE, 2021). A região é a segunda mais populosa do território nacional, com população estimada de 21.411.923 habitantes em 2020 e densidade demográfica de 33,41hab/km² em 2010 (IBGE, 2021). Minas Gerais é o estado com o maior número de municípios do Brasil. As 853 cidades estão distribuídas em 12 mesorregiões: Campo das Vertentes, Central Mineira, Jequitinhonha, Região Metropolitana de Belo Horizonte, Noroeste de Minas, Norte de Minas, Oeste de Minas, Sul/Sudoeste de Minas, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce e Zona da Mata (Figura 1).

Figura 1 - Estado de Minas Gerais, Região Sudeste do Brasil e a distribuição dos 853 municípios entre as 12 mesorregiões.



Fonte: Autores (2022).

Caracterização da área de estudo

Variáveis e fonte de dados

Os dados epidemiológicos empregados nesse estudo foram coletados do Painel de Casos de Doença pelo Coronavírus 2019 (COVID-19) no Brasil (BRASIL, 2021b). A base de dados disponibiliza a quantidade diária de novos casos e óbitos, notificações acumuladas, casos recuperados e em acompanhamento, além do nome do município, a data da notificação e a semana epidemiológica. Para esse estudo, foram extraídas as notificações de casos acumulados registradas até o dia 31 de dezembro de 2021 dos 853 municípios.

O conjunto de dados das cidades mineiras foi coletado na base de dados de indicadores do Índice Mineiro de Responsabilidade Social elaborado pela Fundação João Pinheiro. A escolha das variáveis baseou-se na literatura, selecionando aquelas que foram mais frequentemente associadas ao contágio da Covid-19.

A incidência de Covid-19 nos municípios mineiros foi obtida pela fração entre o número de casos confirmados e a população residente total. Para facilitar as comparações de séries temporais, a variável foi padronizada considerando uma base populacional de 1000 habitantes. O cálculo do coeficiente foi realizado para duas situações analíticas: a primeira (análise univariada) considerou separadamente os casos acumulados até o dia 31 de dezembro de 2020 e de 2021. Para a segunda situação (análise bivariada), foi considerada a soma casos acumulados nos dois últimos anos. Os dados disponíveis foram coletados e organizados por meio do software Microsoft Office Excel 2007. As variáveis utilizadas na aplicação do método foram descritas no Quadro 1.

Quadro 1 – Variáveis utilizadas para aplicação do método

Variável	Descrição	Fonte
Número de infectados	Total de infecções registradas por Covid-19	Ministério da Saúde
População	População residente total	IMRS
Densidade	Razão entre o número total de pessoas residentes no município e sua área total, em habitantes/km ²	IMRS
Taxa de urbanização	Razão entre o número total de pessoas residentes na área urbana do município e sua população residente total	IMRS

Fonte: Autores (2022).

Análise espacial

A análise exploratória de dados espaciais (AEDE) é um conjunto de técnicas para descrever e visualizar distribuições espaciais, identificar localidades atípicas, conhecer padrões de associação espacial e sugerir diferentes regimes espaciais e outras formas de instabilidade espacial (ANSELIN, 1999 apud ALMEIDA, 2012). Para esse estudo, utilizou-se a metodologia espacial para descrever estatisticamente o padrão de distribuição espacial da Covid-19 no estado de Minas Gerais nos anos de 2020 e 2021, identificando aglomerados espaciais significativos considerando a incidência dos casos e sua correlação com a densidade populacional e com a taxa de urbanização. Assim, a AEDE foi desenvolvida por meio da estatística I de Moran uni e bivariada.

A dependência espacial da incidência da Covid-19 foi estimada a partir do cálculo da autocorrelação global univariada. Esse modelo determina se há uma similaridade ou dissimilaridade entre os valores e a localização do evento e a significância estatística do modelo ($p < 0,05$) (ALMEIDA, 2012). A autocorrelação entre a incidência de Covid-19 e as variáveis densidade populacional e taxa de urbanização até o final de 2021 foi calculada a partir da análise espacial bivariada, cuja intenção é descobrir se os valores de uma variável em uma região associam-se com os valores de outra variável das regiões vizinha (ALMEIDA, 2012).

Para identificar a presença de aglomerados espaciais e o grau de correlação no contexto uni e bivariado, utilizou-se o indicador LISA (Local Indicators of Spatial Association - Indicadores Locais de Associação Espacial). O mapa de significância exibe os municípios com estatísticas significativas e o mapa de cluster ilustra os agrupamentos de acordo com o tipo de associação espacial:

Alto-alto: municípios com alta frequência circundados por outros municípios com alta frequência;

Baixo-baixo: municípios com baixa frequência circundados por outros municípios com baixa frequência;

Alto-baixo: municípios com alta frequência circundados por outros municípios com baixa frequência;

Baixo-alto: municípios com baixa frequência circundados por outros municípios com alta frequência.

A análise espacial foi realizada no software Geoda versão 1.20.0.8 e a representação gráfica dos resultados no software ArcGis (Geographic Information System) versão 10.5. Para

a representação gráfica dos mapas temáticos, utilizou-se o arquivo em formato shapefile da malha territorial de Minas Gerais coletada na base de dados de georreferenciamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Resultados

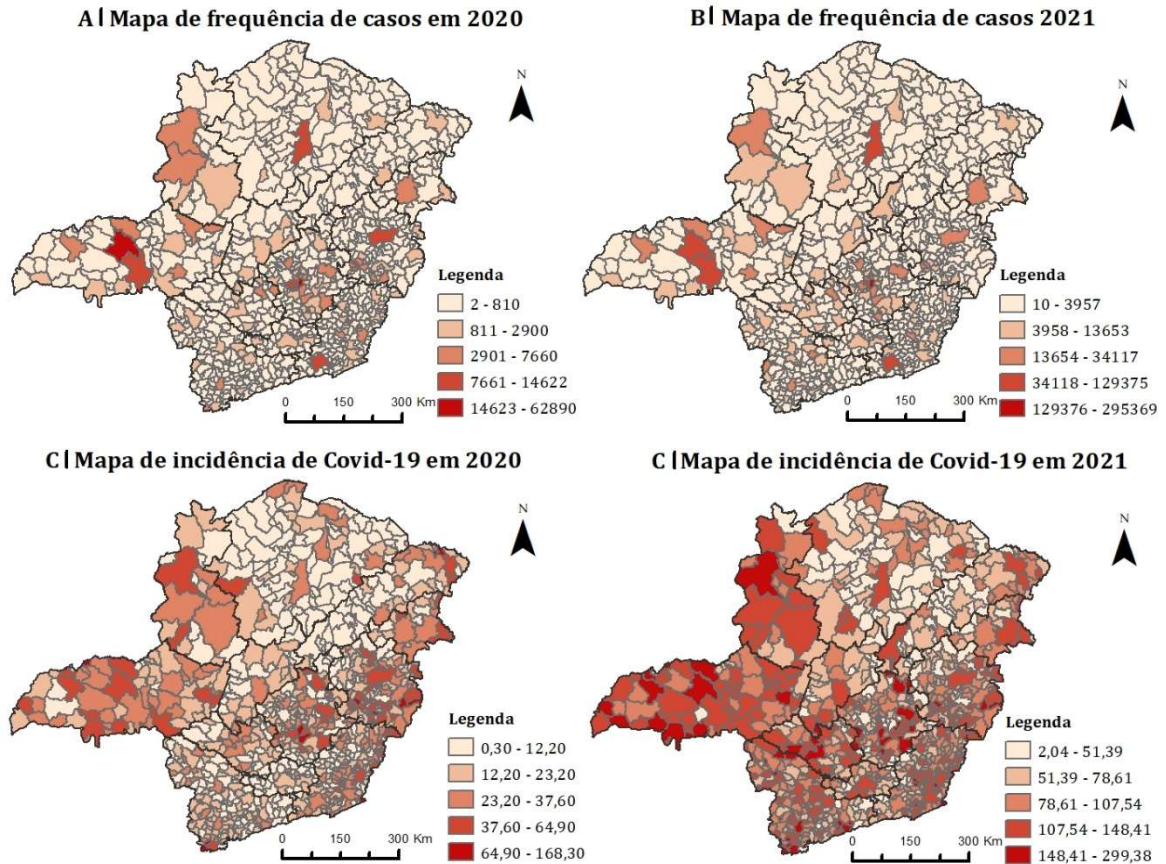
Os resultados estão divididos em três subitens. Primeiramente, é apresentada a análise descritiva dos dados que avalia a frequência absoluta e a incidência de casos em todos os municípios. Os itens seguintes tratam das análises espaciais uni e bivariada para a incidência da Covid-19 e sua relação com a densidade populacional e com a taxa de urbanização. A discussão dos resultados foi feita em seguida.

Análise descritiva

A cidade de São Thomé das Letras, localizada na mesorregião Sul/Sudoeste de Minas Gerais registrou apenas dois casos positivos em 2020, o menor número no estado. Em contrapartida, o município de Belo Horizonte contabilizou o maior número de casos, registrando 62.890 no mesmo ano, seguido por Uberlândia (42.420), Ipatinga (14.622), Montes Claros (14.463) e Juiz de Fora (13.444). No ano seguinte, Miravânia, no Norte de Minas, acumulou o menor número de infecções, com 10 casos positivos e a capital mineira assumiu novamente a liderança com 295.369 infectados, seguida por Uberlândia (129.375), Contagem (49.395), Juiz de Fora (48.573) e Uberaba (46.365).

Considerando a incidência no estado, os municípios de Rio Doce (168,3/1000 hab.), Araporã (146,9/1000 hab.), Santa Rita do Itueto (119,3/1000 hab.), Itueta (111,2/1000 hab.) e Extrema (94,7/1000 hab.) registraram as maiores incidências em 2020. Já em 2021, os municípios com maior número de casos foram Araporã (299,38/1000 hab.), Itabirito (270,91/1000 hab.), Extrema (246,25/1000 hab.), Pirapetinga (240,72/1000 hab.) e Mateus Leme (220,16/1000 hab.). Os valores absolutos e a incidência a cada 1.000 habitantes por ano estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Número absoluto de casos e taxa incidência/1000 habitantes para os municípios mineiros nos anos de 2020 e 2021.



Fonte: Autores (2022).

Observa-se pela Figura 2 (A e B) que o padrão da distribuição dos casos no estado foi semelhante para 2020 e 2021. A Região Metropolitana de Belo Horizonte contabilizou o maior número de casos, representando 31,10% e 30,80% do total do estado nos anos de 2020 e 2021, respectivamente, seguido pelo Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba que responde por 17,53% no primeiro ano e 16,08% no segundo ano. Os municípios de Belo Horizonte, Uberlândia, Contagem, Juiz de Fora e Betim, que estão entre as cidades com maior número de casos registrados, são também os centros urbanos com maiores concentrações populacionais e maiores infraestruturas.

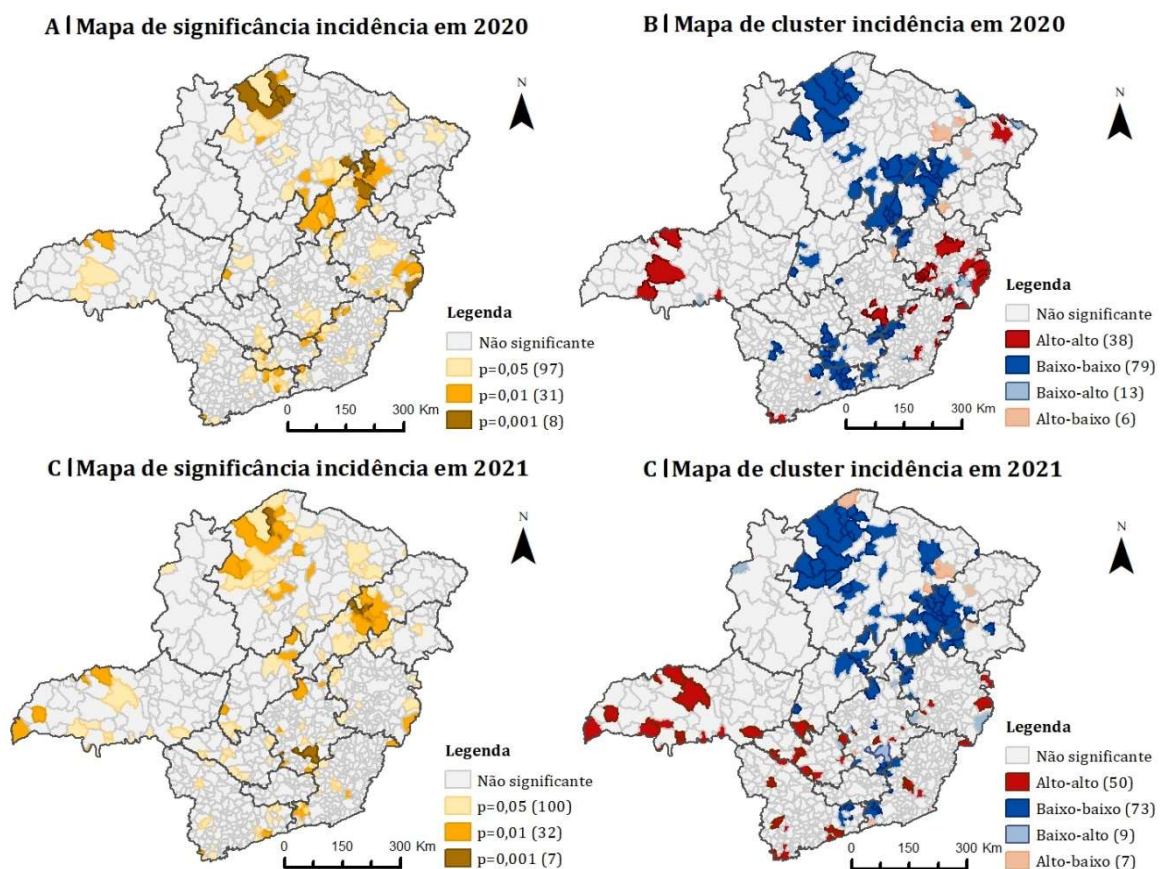
Em relação à incidência da Covid-19 no estado (Figura 2C e Figura 2D), nota-se um padrão desigual na distribuição das taxas no território mineiro nos dois anos analisados e um aumento significativo de 2020 para 2021 em todas as mesorregiões, principalmente no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Noroeste de Minas, Oeste de Minas e Sul/Sudoeste de Minas.

Análise espacial univariada

Na análise espacial para a incidência de Covid-19 no estado, os municípios mineiros apresentaram autocorrelação significativa de magnitude moderada para os anos de 2020 ($I=0,3$; $p<0,05$) e 2021 ($I=0,4$; $p<0,05$), indicando similaridade entre os coeficientes de incidência e a localização espacial do evento com potencial de agrupamento entre municípios e vizinhos próximos com as mesmas características.

A Figura 3 ilustra os mapas de significância para a estatísticas I de Moran e os mapas de clusters com a formação de agrupamentos espaciais de acordo com o grau de associação. As relações do tipo alto-alto indicam que municípios com altas taxas de incidência tendem a estar circundados por municípios com altos valores da mesma variável e as associações do tipo baixo-baixo indicam que municípios com baixas taxas de incidência tendem a estar circundados por vizinhos com valores similares. As relações do tipo alto-baixo e baixo-alto representam associações contrárias entre os municípios para a mesma variável e, portanto, constituem-se de outliers.

Figura 3 –Mapa de significância e de cluster para a incidência/1000 habitantes no estado de Minas Gerais em 2020 e 2021.



Fonte: Autores (2022).

O Mapa de *clusters* de 2020 (Figura 3B) sugere a formação de aglomerados espaciais com indicativo de agrupamentos de municípios com altas taxas de incidência no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, na Região Metropolitana de Belo Horizonte, na Zona da Mata, no Vale do Rio Doce, Jequitinhonha e no Sul/Sudoeste de Minas e grupos de municípios com baixas taxas de incidência, principalmente no Norte de Minas e Jequitinhonha. Os *clusters* da mesorregião do Vale do Rio Doce atingiram 18 municípios classificados como alto-alto, o maior no estado. Em contrapartida, a formação dos *clusters* da Região Norte atingiu 17 municípios classificados como baixo-baixo.

No ano seguinte (Figura 3D), os *clusters* de baixa incidência localizados no Norte de Minas e Jequitinhonha dispersaram-se entre as regiões e para a área central do território e os agrupamentos formados no Sul/Sudoeste de Minas e no Campo das Vertentes sofreram uma redução na quantidade. Por outro lado, o número de aglomerados alto-alto cresceu consideravelmente em direção às regiões do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Sul/Sudoeste de Minas, Central Mineira e Oeste de Minas em razão do aumento das taxas de incidência dos municípios localizado nesses locais. Nesse período, apenas a região Noroeste de Minas não apresentou agrupamentos espaciais de alta ou baixa incidência.

Os resultados da análise indicam que os agrupamentos espaciais significativos do tipo alto-alto e baixo-baixo distribuídos pelo território mineiro sofreram variações no padrão de distribuição e na disseminação entre os anos de 2020 e 2021, com destaque para as regiões do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Sul/Sudoeste de Minas e Oeste de Minas, Metropolitana de Belo Horizonte e Zona da Mata, que apresentam *clusters* com altas taxas de incidência.

Análise espacial bivariada

Os resultados da análise bivariada confirmam que o coeficiente de incidência da Covid-19 até o ano de 2021 teve autocorrelação espacial positiva de fraca magnitude com a densidade populacional ($I=0,04$; $p<0,05$) e a taxa de urbanização ($I=0,2$; $p<0,05$) (Figura 4). Esses valores sugerem uma distribuição espacial dos resultados de forma não aleatória, com a possibilidade de formação de agrupamentos.

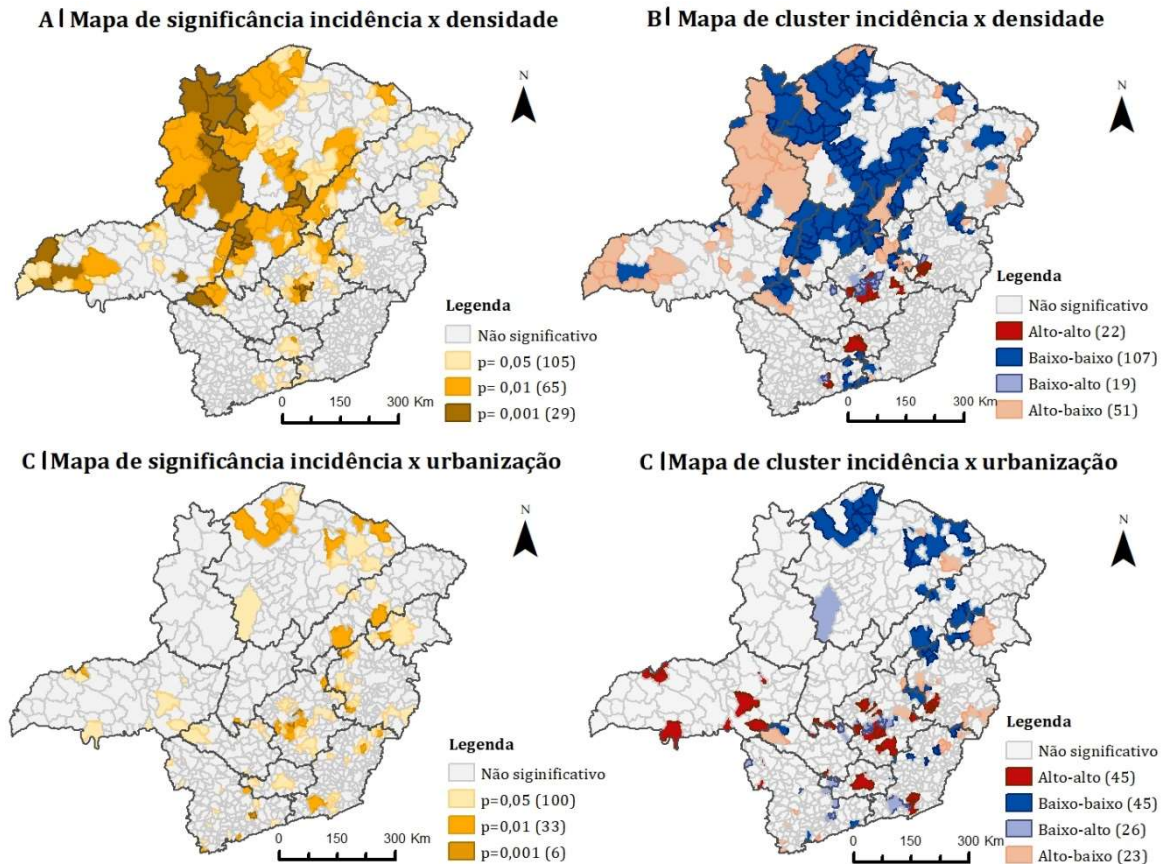
Os municípios com estatísticas I de Moran significativas para a densidade (Figura 4A) e taxa de urbanização (Figura 4C) foram agrupados conforme a associação espacial existente entre eles. As relações do tipo alto-alto indicam que municípios com altas taxas de incidência de casos da Covid-19 tendem a estar circundados por municípios com alta densidade e taxa de

urbanização; e as associações do tipo baixo-baixo indicam que municípios com baixas taxas de incidência tendem a estar circundados por vizinhos com valores baixos para a densidade e a taxa de urbanização. As relações do tipo alto-baixo e baixo-alto representam associações contrárias entre os municípios para as variáveis e, portanto, constituem-se de outliers.

O Mapa de clusters (Figura 4B) ilustra a formação de um aglomerado espacial bivariado do tipo alto-alto nos municípios com valores elevados para incidência e densidade que fazem parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Sul/Sudoeste de Minas, Campo das Vertentes e Vale do Rio Doce. Por outro lado, as relações do tipo alto-baixo estavam presentes nos municípios da região Oeste de Minas e do Triângulo Mineiro que, apesar do alto coeficiente de incidência nos dois últimos anos, apresentaram densidades mais baixas. Os clusters baixo-baixo constituíram-se pelos municípios da Região Norte e Central de Minas que apresentaram valores baixos para a incidência de Covid-19 e densidade.

Associações espaciais entre municípios também foram encontradas no modelo bivariado para a incidência de Covid-19 e a taxa de urbanização (Figura 4D). Relações do tipo alto-alto foram observadas nos municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Sul/Sudoeste de Minas, Campo das Vertentes, Vale do Rio Doce, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e Zona da Mata, sendo que, nas duas últimas mesorregiões, os clusters foram formados por municípios próximos a Uberaba e Uberlândia e Juiz de Fora, respectivamente. Outras relações do tipo alto-baixo e baixo-baixo foram observadas em menor quantidade.

Figura 4 - Mapa de significância e de cluster para a densidade e a taxa de urbanização no estado de Minas Gerais em 2020 e 2021



Discussão

Em Minas Gerais, a distribuição espacial da frequência de casos absolutos e da incidência da Covid-19 nos municípios apresentaram-se semelhantes para o ano de 2020 e 2021, apesar do aumento nas estatísticas entre os dois anos. O elevado número de casos e as altas taxas de incidência mantiveram-se concentrados nas mesorregiões do Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba, Noroeste de Minas, Oeste de Minas e Sul/Sudoeste de Minas, com ocorrência não apenas na capital, mas em cidades próximas às divisas do estado. Este achado coincide com os resultados apontados por Amaral et al. (2020) quando previram a evolução da epidemia da Covid-19 para o ano 2020.

Estudos recentes apontam que a difusão da Covid-19 no Brasil iniciou-se a partir das metrópoles, considerando as suas possibilidades de conexões em nível internacional e, pouco tempo depois, dispersou-se pelo território brasileiro, com fortes relações com a rede urbana (BATELLA; MIYAZAKI, 2020; LIMA; FONSECA; SANTOS, 2020). Tais associações foram encontradas no Espírito Santo (CATÃO et al., 2020), Pará (SOUZA; FERREIRA JÚNIOR,

2020), Rio Grande do Sul (COCCO; COLLISCHONN; MEURER, 2020), Tocantins (BESSA; LUZ, 2020) e Maranhão (JARDIM; PEREIRA; RODRIGUES, 2022). Para o caso mineiro, além da forte centralidade da capital Belo Horizonte, o estado possui outros centros e regiões que pertencem a área de influência de outras metrópoles brasileiras em razão das linhas rodoviárias com alto fluxo, que conectam centros de influência do estado e do Brasil (BATELLA; MIYAZAKI, 2020). Dessa forma, a distribuição heterogênea da Covid-19 no território mineiro pode estar associada às diferentes datas de introdução do vírus nos municípios devido a dinâmica de fluxos regionais e inter-regionais de pessoas (SILVA JUNIOR et al., 2020).

Os resultados da análise espacial univariada confirmaram a influência territorial na transmissão do vírus. A dependência espacial significativa e de magnitude moderada para a incidência da Covid-19 com destaque para agrupamentos nas regiões do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Sul/Sudoeste de Minas e Oeste de Minas, Metropolitana de Belo Horizonte e Zona da Mata – se assemelham com os resultados de Coura-Vital et al. (2021). Segundo os autores, a difusão dos agrupamentos dos focos endêmicos nas primeiras semanas de pandemia ocorreu a partir das mesorregiões Metropolitana de Belo Horizonte e Vale do Rio Doce, que apresentaram municípios com padrões alto-alto na primeira quinzena de 2020 e se expandiu para os municípios do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Sul/Sudoeste de Minas, Oeste de Minas, Central Mineira, Zona da Mata e Metropolitana de Belo Horizonte à medida que o número de municípios classificados como alto-alto aumentou no estado. A região Norte de Minas e Campo das Vertentes, que não apresentaram clusters alto-alto até julho de 2020, mantiveram esse padrão durante a análise do ano 2020 e 2021.

Na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba foi observado um aumento na incidência da Covid-19 e nas relações do tipo alto-alto entre os anos de 2020 e 2021. A concentração de casos na região do Triângulo Mineiro, principalmente em Uberaba e Uberlândia, pode estar associada à influência que esses centros urbanos exercem na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (LIMA; FONSECA; SANTOS, 2020) e ao eixo rodoviário entre São Paulo e Goiânia/Brasília que atravessa a região (BATELLA; MIYAZAKI, 2020).

No Sul de Minas, relações espaciais do tipo alto-alto permanecem entre os municípios de Extrema e Cambuí. Ambas as localidades estão inseridas no principal eixo rodoviário de Fernão Dias, que conecta São Paulo a Belo Horizonte. Embora não sejam as cidades localizadas nas mais altas hierarquias na rede urbana da região, elas demonstram a importância do contágio por

vizinhança, como observado por Teixeira e Souza (2020). Uma das especulações a serem testadas pelos autores é a influência dos estabelecimentos localizados às margens das rodovias de grande fluxo, como postos de gasolina, conveniência, restaurantes, borracharias na transmissão da Covid-19.

Apesar do aumento das taxas de incidência no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Sul/Sudoeste de Minas, Central Mineira e Oeste de Minas, também foram observadas uma dispersão entre aglomerados alto-alto e baixo-baixo em direção ao interior do estado. Essa movimentação também foi observada por Coura-Vital et al. (2021) nas primeiras semanas. Segundo o autor, o deslocamento do vírus para o interior de Minas Gerais possivelmente seguiu a seguinte dinâmica: o vírus infectou uma cidade polo, levando a adoção de medidas de contenção e, conseqüentemente, reduzindo a circulação da carga viral. Quando a população da cidade polo retomou as atividades, o vírus foi transmitido para os vizinhos mais próximos que iniciam ou retomaram as estratégias de mitigação. Entretanto, ao recomeçarem as atividades, os vizinhos de segunda e terceira ordem foram infectados. Deste modo, a Covid-19 foi difundida a partir de cidades polos para as pequenas cidades polarizadas em suas redes urbanas (LIMA; FONSECA; SANTOS, 2020).

Outros fatores associados às cidades, além das redes urbanas, podem contribuir para a influência espacial na transmissão do vírus. Nesse estudo, os resultados da análise bivariada apontaram uma correlação espacial significativa, apesar de baixa magnitude, entre a incidência de Covid-19 e a densidade populacional e a taxa de urbanização. Os clusters com municípios com alta incidência circundados por vizinhos com alta densidade estão localizados nas mesorregiões com as maiores médias para a densidade populacional, com destaque para os municípios de Caxambu no Sul/Sudoeste de Minas, Belo Horizonte, Nova Lima, Mateus Leme, na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Tiradentes e São Joao Del Rei no Campo das Vertentes e Ipatinga, Timóteo e Coronel Fabriciano no Vale do Rio Doce. As relações do tipo alto-alto com municípios com alta incidência circundados por municípios com altas taxas de urbanização localizaram-se, principalmente, nas duas mesorregiões mais com maiores taxas urbanas: Região Metropolitana de Belo Horizonte e Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba.

Correlações semelhantes foram observadas em outros estados. No Paraná, Banhos et al. (2021) observaram que a variável urbanização esteve correlacionada, embora com intensidade fraca, com o coeficiente de incidência de casos de Covid-19. As análises de Quinino, et al. (2021) para o estado de Pernambuco demonstraram que na Região Metropolitana de Recife,

quanto maior a população e a densidade e quanto menor o índice de desenvolvimento humano e a taxa de urbanização, maior o número de casos e no interior, quanto mais populoso, com maior densidade e taxa de urbanização e quanto menor a área, maior o número de casos. Em Alagoas, Ribeiro e Silvia (2020) também indicaram uma possível relação entre a dinâmica espacial da doença e o deslocamento de pessoas para outras regiões em busca de serviços, principalmente os de saúde, em áreas com considerável densidade populacional. Em São Paulo, Rex, Borges e Kafer (2020) identificaram alta incidência de Covid-19 na região metropolitana, que é composta pelas maiores densidades populacionais do estado, além de ser uma área de maior probabilidade de novos casos.

Essas descobertas contribuem para a compreensão da dinâmica espaço-temporal da Covid-19 no estado de Minas Gerais potencializando o entendimento da mesma no Brasil. Os resultados das análises espaciais permitem a identificação de áreas de risco com grande potencial de infecção e auxiliam o planejamento de estratégias de contenção.

Conclusão

Esse estudo analisou a distribuição da incidência Covid-19 nos municípios mineiros e sua relação com a densidade populacional e a taxa de urbanização por meio de ferramentas de análises espaciais. O mapeamento dos casos e a observação das variáveis complementares permitiram a compreensão da dinâmica do vírus.

Os resultados indicaram que a incidência de Covid-19 possui dependência espacial com correlação positiva moderada e formação de clusters do tipo alto-alto pelo estado, com destaque para as regiões do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Sul/Sudoeste de Minas e Oeste de Minas, Metropolitana de Belo Horizonte e Zona da Mata. Além disso, foram encontradas correlações positivas de magnitude fraca para a incidência de Covid-19 e sua relação com a densidade e a taxa de urbanização. Os resultados indicaram que a dinâmica da distribuição espacial da Covid-19 em Minas Gerais pode estar associada à hierarquia das cidades nas redes urbanas em razão dos numerosos e importantes eixos rodoviários que conectam os principais polos urbanos do território aos outros municípios mineiros e aos polos urbanos de outros estados, como São Paulo e Rio de Janeiro.

O mapeamento espacial do novo coronavírus é uma técnica essencial para a compreensão da dinâmica de transmissão e dos fatores associados a ela, bem como para o planejamento e adoção de estratégias de mitigação. Embora, os achados sugerem uma relação entre a incidência

de Covid-19 e a densidade e a taxa de urbanização do território, outros fatores urbanos, como presença de centro comerciais e de serviços e aeroportos, são ainda importantes para compreender as variáveis que mais influenciam no espriamento do vírus. É importante observar que esse estudo se limita a um recorte espacial que considera o estado de Minas Gerais, não contemplando indicadores dos municípios de estados vizinhos. Portanto, sugere-se que novas análises incluam os municípios adjacentes e abordem outras variáveis urbanas e sociais para acompanhar o padrão de dispersão da Covid-19 no estado.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, E. *Econometria Espacial Aplicada*. 1. ed. Campinas: Alínea, 2012.

AMARAL, PH. R. et al. *Impact of COVID-19 in Minas Gerais, Brazil: Excess deaths, sub-notified cases, geographic and ethnic distribution*. *Transboundary and emerging diseases*, v. 68, n. 4, p. 2521-2530, 2021.

ASHOUR, H. M. et al. Insights into the Recent 2019 Novel Coronavirus (SARS-CoV-2) in *Light of Past Human. Pathogens*, v. 9, n. 3, p.1-15, 2020.

BANHOS, N. G. et al. *Análise temporo-espacial da evolução da COVID-19 no Estado do Paraná no período de março a setembro de 2020*. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 4, p. 40520-40539, 2021.

BATELLA, W.; MIYAZAKI, V. *Relações entre rede urbana e COVID-19 em Minas Gerais*. *Hygeia-Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, p. 102-110, 2020.

BESSA, K.; LUZ, R. A. da. A pandemia de Covid-19 e as particularidades regionais da sua difusão no segmento de rede urbana no estado do Tocantins, Brasil. *Ateliê Geográfico*, v. 14, n. 2, p. 6-28, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. *Boletim Epidemiológico Especial/ Doença pelo Coronavírus COVID-19: Semana Epidemiológica 5 30/1 a 5/2/2022*. Brasília: Ministério da Saúde, [2021a]. Disponível em: static.poder360.com.br/2022/02/Boletim-Epidemiologico-covid-coronavirus-99-11fev2022.pdf. Acesso em: 20 jan. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. *Painel de casos de doença pelo coronavírus 2019 (COVID-19) no Brasil pelo Ministério da Saúde*. Brasília: Ministério da Saúde, [2021b]. Disponível em: static.poder360.com.br/2022/02/Boletim-Epidemiologico-covid-coronavirus-99-11fev2022.pdf. Acesso em: 20 jan. 2021.

BULUT, C.; KATO, Y. Epidemiology of COVID-19. *Turkish journal of medical sciences*, v. 50, n. 9, p. 563-570, 2020.

CATÃO, R. de C. et al. *Difusão espacial da Covid-19 no Espírito Santo: uma abordagem inicial*. *Hygeia- Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, p. 349-360, 2020.

COCCO, R. G.; COLLISCHONN, E.; MEURER, M. *Relações entre a distribuição espacial da COVID-19 e a dinâmica de interações espaciais no estado do Rio Grande do Sul*. Hygeia- Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, p. 183–192, 2020.

COURA-VITAL, W. et al. *Spatiotemporal dynamics and risk estimates of COVID-19 epidemic in Minas Gerais State: analysis of an expanding process*. Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo, v. 63, 2021.

FERREIRA, R. V. et al. *COVID-19 na região de saúde Triângulo Sul, MG: uma perspectiva cartográfica*. Hygeia- Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, p. 49-59, 2020.

FJP – Fundação João Pinheiro.. *IMRS: Índice Mineiro de Responsabilidade Social. Consultas: Dados do IMRS*. Minas Gerais: IMRS, [2022]. Disponível em: <http://imrs.fjp.mg.gov.br/>. Acesso em 18 mai. 2021

GUIMARÃES, R. M.; ELEUTERIO, T. de A.; MONTEIRO-DA-SILVA, J. H. C. *Estratificação de risco para predição de disseminação e gravidade da Covid-19 no Brasil*. Revista Brasileira de Estudos de População, v. 37, 2020.

HU, B. et al. Characteristics of SARS-CoV-2 and COVID-19. *Nature Reviews Microbiology*, v. 19, n. 3, p. 141-154, 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades e Estados: Minas Gerais. Rio de Janeiro: IBGE*, [2021]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg.html>. Acesso em: 10 fev. 2022.

JARDIM, R. O.; PEREIRA, C. R. P.; RODRIGUES, Z. M. R. *Rotas da Covid-19 no Estado do Maranhão, BR*. Hygeia- Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, v. 18, p. 14-28, 2022.

KANG, D. et al. *Spatial epidemic dynamics of the COVID-19 outbreak in China*. International Journal of Infectious Diseases, v. 94, p. 96-102, 2020.

LIMA, S. do C.; FONSECA, E. da S. ; SANTOS, F. de O. *Situação Epidemiológica e Difusão da COVID-19 pela Rede Urbana em Minas Gerais, Brasil*. Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, p. 243–250, 2020.

MACEDO, G. B. et al. *Análise epidemiológica e espacial da COVID-19 no Estado do Piauí*. Research, Society and Development, v. 10, n. 5, p. e55010515313-e55010515313, 2021.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Saúde. *Boletim epidemiológico/ COVID-19: Doença causada pelo coronavírus-19. Minas Gerais: Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais*, [2022]. Disponível em: https://coronavirus.saude.mg.gov.br/images/anexos/COVID-19_-_BOLETIM20220308_-_RETIFICADO.pdf. Acesso em: mar. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Saúde. *Confirmação do primeiro caso de Coronavírus (Covid-19) em Minas Gerais. Minas Gerais: Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais*, [2020]. Disponível em: <https://www.saude.mg.gov.br/component/gmg/story/12233-confirmacao-do-primeiro-caso-de-coronavirus-covid-19-em-minas-gerais>. Acesso em: fev. 2021.

OPAS. Organização Pan-Americana de saúde. *Histórico da pandemia de COVID-19*. [S. I], 2020. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/covid19/historico-da-pandemia-covid-19>. Acesso em 20 de jan. 2022.

- QUININO, L. R. de M. et al. *Aspectos espacial e temporal e fatores associados à interiorização da Covid-19 em Pernambuco, Brasil*. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 26, p. 2171-2182, 2021.
- RAMÍREZ-ALDANA, R.; GOMEZ-VERJAN, J. C.; BELLO-CHAVOLLA, O. Y. *Spatial analysis of COVID-19 spread in Iran: Insights into geographical and structural transmission determinants at a province level*. *PLoS neglected tropical diseases*, v. 14, n. 11, p. e0008875, 2020.
- REX, F. E.; BORGES, C. A. de S.; KÄFER, P. S. *Spatial analysis of the COVID-19 distribution pattern in São Paulo State, Brazil*. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 25, n. 9, p. 3377-3384, 2020.
- RIBEIRO, D. D. De M.; SILVA, H. S. da. *Sistema de informações geográficas aplicado à análise espacial da Covid-19 no estado de Alagoas, nordeste do Brasil*. *Hygeia- Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, v. 16, p. 397-407, 2020.
- SILVA-JÚNIOR, M. J. da. et al. *Analysis of the spatial-temporal dynamics of incidence, mortality and test rates (rapid and RT-PCR) of COVID-19 in the state of Minas Gerais, Brazil*. *Scielo Preprints*, p. 1-16, 2020.
- SOUZA, M. V. M. de; FERREIRA JÚNIOR, D. B. *Rede urbana, interações espaciais e a geografia da saúde: análise da trajetória da Covid-19 no estado do Pará. Espaço e Economia*. *Revista brasileira de geografia econômica*, n. 18, 2020.
- TEIXEIRA, S. H. de O.; SOUZA, A. L. de. *Análise da distribuição geográfica de COVID-19 na mesorregião sul/sudoeste de Minas Gerais*. *Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, v. 16, 2020.
- WERNECK, G. L.; CARVALHO, M. S. *The Covid-19 pandemic in Brazil: chronicle of a health crisis foretold*. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 36(5), p. e00068820, 2020.
- WHO. World Health Organization. *Novel Coronavirus (2019-Ncov): situation report - 1*. [S. I], 2020. Disponível em: www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200121-sitrep-1-2019-ncov.pdf. Acesso em: 20 jan. 2022.