

Ministério da Saúde

FIOCRUZ
Fundação Oswaldo Cruz



ESCOLA NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA
SERGIO AROUCA
ENSP

Gustavo Menezes Silva Damasceno

**Identificação de aglomerados espaço-temporais emergentes de COVID-19 e sua
relação com desenvolvimento humano e vulnerabilidade social nos municípios
brasileiros em 2020-2021**

Rio de Janeiro

2022

Gustavo Menezes Silva Damasceno

**Identificação de aglomerados espaço-temporais emergentes de COVID-19 e sua
relação com desenvolvimento humano e vulnerabilidade social nos municípios
brasileiros em 2020-2021**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente, da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, na Fundação Oswaldo Cruz, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Epidemiologia Ambiental. Linha de Pesquisa: Epidemiologia das doenças Transmissíveis.

Orientadora: Prof.^a Dra. Andréa Sobral de Almeida.

Coorientadora: Prof.^a Dra. Beatriz Fátima Alves de Oliveira.

Rio de Janeiro

2022

Título do trabalho em inglês: Identification of emerging space-time clusters of COVID-19 and their relation with human development and social vulnerability in Brazilian municipalities in 2020-2021.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Catálogo na fonte
Fundação Oswaldo Cruz
Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde
Biblioteca de Saúde Pública

D155i Damasceno, Gustavo Menezes Silva.
Identificação de aglomerados espaço-temporais emergentes de COVID-19 e sua relação com desenvolvimento humano e vulnerabilidade social nos municípios brasileiros em 2020-2021 / Gustavo Menezes Silva Damasceno. -- 2022.
110 f. : il. color. ; graf. ; mapas ; tab.

Orientadora: Andréa Sobral de Almeida.
Coorientadora: Beatriz Fátima Alves de Oliveira.
Dissertação (mestrado) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2022.

1. COVID-19. 2. Monitoramento Epidemiológico. 3. Análise Espacial. 4. Análise Espaço-Temporal. 5. Mortalidade. I. Título.

CDD – 23.ed. – 616.2

Gustavo Menezes Silva Damasceno

Identificação de aglomerados espaço-temporais emergentes de COVID-19 e sua relação com desenvolvimento humano e vulnerabilidade social nos municípios brasileiros em 2020-2021

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente, da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, na Fundação Oswaldo Cruz, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Epidemiologia Ambiental. Linha de Pesquisa: Epidemiologia das doenças Transmissíveis.

Aprovada em 31 de maio de 2022.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Marcelo Ferreira da Costa Gomes
Fundação Oswaldo Cruz - Programa de Computação Científica

Prof. Dr. Reinaldo Souza dos Santos
Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

Prof.^a Dra. Beatriz Fátima Alves de Oliveira (Coorientadora)
Fundação Oswaldo Cruz - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

Prof.^a Dra. Andréa Sobral de Almeida (Orientadora)
Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

Rio de Janeiro

2022

Dedico esta dissertação à minha mãe, Raquel, à minha irmã, Aline, e a todos os que me ajudaram nesta longa jornada.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pois sem ele nada disso seria possível e por me dar forças nos diversos momentos em que passei dificuldade nesta jornada.

À Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca e a Fundação Oswaldo Cruz (ENSP/FIOCRUZ) por possibilitar um ensino de pós-graduação de excelência.

Ao corpo docente e à coordenação da pós-graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente da ENSP/FIOCRUZ pelos ensinamentos e paciência.

À minha mãe, Raquel Silva Damasceno, e ao meu pai, Celso Menezes Damasceno, pelo maior presente que alguém pode receber: a vida; e por me ensinar a importância da educação, honestidade e trabalho duro.

À minha irmã, Aline Menezes Silva Damasceno, pelo amor, companheirismo, suporte e por me mostrar a importância da dedicação e disciplina.

À minha avó, Maria Bernadete Silva, por me ensinar a ter perseverança.

À minha orientadora, Andréa Sobral de Almeida, por ter aceitado o desafio de me orientar e ter me apoiado durante estes dois anos sempre se mostrando disponível, parceira e uma pessoa maravilhosa.

À minha segunda orientadora, Beatriz Fátima Alves de Oliveira, pela disponibilidade e por me mostrar que estatística e o temido R não são um bicho de sete cabeças.

Ao Centro de Apoio ao Discente (CAD) da ENSP, principalmente à Marilda Moreira e Márcia Silveira, pelo suporte e acolhimento.

Ao Denis de Oliveira Rodrigues, Vanderlei Pascoal Matos e Thiago de Oliveira Pires pelo auxílio na limpeza e organização do banco de dados.

Aos meus amigos, pelos momentos inesquecíveis que tornaram esta caminhada mais leve.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A COVID-19 é uma doença predominantemente respiratória causada pelo SARS-CoV-2, cujos primeiros casos foram reportados na China, em dezembro de 2019. O primeiro caso brasileiro foi notificado em 26 de fevereiro de 2020 e logo surgiram notificações de novos casos por todo o país. Os impactos da COVID-19 no Brasil são bem evidentes e exacerbam desigualdades regionais e intrarregionais. Desta forma, este trabalho teve como objetivo identificar aglomerados (*clusters*) espaço-temporais emergentes de COVID-19 e sua relação com desenvolvimento humano e vulnerabilidade social nos municípios brasileiros em 2020-2021. Trata-se de um estudo do tipo ecológico, analítico e exploratório, cujo período de estudo foi da semana epidemiológica (SE) 09 de 2020 até a semana 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021). A análise foi realizada através da varredura espaço-temporal prospectiva nas SE's em que foram observados picos ou finais de platôs nas curvas de casos e óbitos, possibilitando assim a identificação de *clusters* da doença. Repetiu-se a análise nas cinco semanas epidemiológicas seguintes a fim de verificar a persistência dos *clusters* identificados e alterações no espaço. Em seguida, foram analisados os Índices de Vulnerabilidade Social (IVS) e Índices de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) dos municípios neles presentes. Até 12 de junho de 2021, foram notificados 17.281.799 casos e 484.671 óbitos por COVID-19 no Brasil que evoluíram de forma heterogênea e com alta variabilidade espacial e temporal entre os estados e municípios. Foram identificados *clusters* em quase todo o território brasileiro. Em geral, os *clusters* maiores foram detectados nas regiões Norte e Centro-Oeste e os menores no litoral do Nordeste, Sudeste e Sul do Brasil. Os *clusters* de casos e óbitos localizados sobre o Sul e Centro-Oeste apresentaram elevada persistência principalmente após a metade de dezembro de 2020. A maioria dos municípios presentes nos *clusters* do Norte e Nordeste possuíam alto IVS e baixo IDHM. Fatores socioeconômicos, demográficos, vulnerabilidade, desenvolvimento humano e questões como disparidades no acesso a saúde podem de ter influência no adoecimento e na mortalidade pela COVID-19. Este estudo identificou áreas vulneráveis à COVID-19 e que possivelmente necessitem de melhor alocação de recursos da saúde, postos de vacinação e estratégias para mitigar os efeitos da doença.

Palavras-chave: COVID-19, Aglomerados Espaço-Temporais, Vigilância Epidemiológica, Análise Espacial, Varredura Espaço-Temporal.

ABSTRACT

COVID-19 is a predominantly respiratory disease caused by SARS-CoV-2, which first cases were reported in China in December 2019. The first Brazilian case was reported on February 26, 2020, and soon there were reports of new cases throughout the country. The impacts of COVID-19 in Brazil are quite evident and exacerbate regional and intra-regional inequalities. Thus, this work aimed to identify emerging space-time clusters of COVID-19 and their relationship with human development and social vulnerability in Brazilian municipalities in 2020-2021. This is an ecological, analytical, and exploratory study, whose study period was from the epidemiological week (EW) 09, 2020 to week 23, 2021 (February 23rd, 2020 to June 12th, 2021). The analysis was carried out through prospective space-time scanning in the EWs where peaks or end of plateaus were observed in the curves of cases and deaths, thus enabling the identification of disease clusters. The analysis was repeated in the following five epidemiological weeks in order to verify the persistence of the identified clusters and changes in space. Then, the Social Vulnerability Indices (SVI) and Municipal Human Development Indices (IDHM) of the municipalities present in them were analyzed. Until June 12, 2021, 17,281,799 cases and 484,671 deaths from COVID-19 were reported in Brazil, which evolved in a heterogeneous way and with high spatial and temporal variability between states and municipalities. Clusters were identified in almost the entire Brazilian territory. In general, the larger clusters were detected in the North and Midwest regions and the smaller ones in the coast of the Northeast, Southeast, and South of Brazil. The clusters of cases and deaths located over the South and Midwest showed high persistence, especially after mid-December 2020. Most municipalities in the North and Northeast clusters had high IVS and low MHDI. Socioeconomic and demographic factors, vulnerability, human development, and issues such as disparities in access to health can have an influence on illness and mortality from COVID-19. This study identified areas that are vulnerable to COVID-19 and that possibly need better allocation of health resources, vaccination centers, and strategies to mitigate the effects of the disease.

Keywords: COVID-19, Spatiotemporal Clusters, Epidemiological Surveillance, Spatial Analysis, Spatiotemporal Scan.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Esquema metodológico da análise de dados.....	32
Figura 2 -	Casos e óbitos notificados no Brasil durante as semanas epidemiológicas de 2020.....	38
Figura 3 -	Casos e óbitos notificados no Brasil durante as semanas epidemiológicas de 2021.....	39
Figura 4 -	Casos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes da SE 09 até a SE 30 de 2020 (23 de fevereiro a 25 de julho).....	40
Figura 5 -	Casos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes da SE 09 até a SE 51 de 2020 (23 de fevereiro a 19 de dezembro).....	41
Figura 6 -	Casos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes da SE 09 de 2020 até a SE 12 de 2021(23 de fevereiro de 2020 a 27 de março de 2021).....	42
Figura 7 -	Casos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes da SE 09 de 2020 até a SE 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)	43
Figura 8 -	Óbitos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes da SE 09 até a SE 34 de 2020 (23 de fevereiro a 22 de agosto).....	44
Figura 9 -	Óbitos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes da SE 09 de 2020 até a SE 14 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 10 de abril de 2021)	44
Figura 10 -	Óbitos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes da SE 09 de 2020 até a SE 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)	45
Figura 11 -	Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região norte do Brasil durante o ano de 2020.	47
Figura 12 -	Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região norte do Brasil durante o ano de 2021.	48
Figura 13 -	Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região nordeste do Brasil durante o ano de 2020.....	50
Figura 14 -	Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região nordeste do Brasil durante o ano de 2021.....	51

Figura 15 -	Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região Centro-Oeste do Brasil durante o ano de 2020.....	53
Figura 16 -	Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região Centro-Oeste do Brasil durante o ano de 2021.....	54
Figura 17 -	Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região Sudeste do Brasil durante o ano de 2020.....	56
Figura 18 -	Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região Sudeste do Brasil durante o ano de 2021.....	57
Figura 19 -	Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região Sul do Brasil durante o ano de 2020.....	58
Figura 20 -	Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região Sul do Brasil durante o ano de 2021.....	59
Figura 21 -	<i>Clusters</i> de casos de COVID-19 e os RR's municipais da SE 09 de 2020 até a SE 30 de 2020 (23 de fevereiro a 25 de julho de 2020)....	61
Figura 22 -	<i>Clusters</i> espaço-temporais de casos de COVID-19 e os RR's municipais da SE 09 de 2020 até a SE 51 de 2020 (23 de fevereiro a 19 de dezembro de 2020).....	63
Figura 23 -	<i>Clusters</i> espaço-temporais de casos de COVID-19 e os RR's municipais da SE 09 de 2020 até a SE 12 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 27 de março de 2021).....	65
Figura 24 -	<i>Clusters</i> espaço-temporais de casos de COVID-19 e os RR's municipais de 09 de 2020 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021).....	67
Figura 25 -	<i>Clusters</i> espaço-temporais de óbitos de COVID-19 e os RR's municipais da SE 09 de 2020 até a SE 34 de 2020 (23 de fevereiro de 2020 a 22 de agosto de 2020)	69
Figura 26 -	<i>Clusters</i> espaço-temporais de óbitos de COVID-19 e os RR's municipais de 09 de 2020 a 14 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 10 de abril de 2021).....	71
Figura 27 -	<i>Clusters</i> espaço-temporais de óbitos de COVID-19 de 09 de 2020 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021).....	73
Figura 28 -	<i>Clusters</i> espaço-temporais de casos de COVID-19 da SE 30 até a SE 35 de 2020.....	75

Figura 29 -	<i>Clusters</i> espaço-temporais de casos de COVID-19 da SE 51 de 2020 até a SE 03 de 2021.....	77
Figura 30 -	<i>Clusters</i> espaço-temporais de casos de COVID-19 da SE 12 até a SE 17 de 2021.....	79
Figura 31 -	<i>Clusters</i> espaço-temporais de óbitos de COVID-19 da SE 34 até a SE 39 de 2020.....	81
Figura 32 -	<i>Clusters</i> espaço-temporais de óbitos de COVID-19 da SE 14 até a SE 19 de 2021.....	83
Figura 33 -	<i>Clusters</i> de casos de COVID-19 identificados da SE 09 a 30 de 2020 e IVS.....	84
Figura 34 -	<i>Clusters</i> de casos de COVID-19 identificados da SE 09 a 30 de 2020 e IDHM.....	85
Figura 35 -	<i>Clusters</i> de casos de COVID-19 identificados da SE 09 a 51 de 2020 e IVS.....	86
Figura 36 -	<i>Clusters</i> de casos de COVID-19 identificados da SE 09 a 51 de 2020 e IDHM.....	86
Figura 37 -	<i>Clusters</i> de casos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 12 de 2021 e IVS.....	87
Figura 38 -	<i>Clusters</i> de casos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 12 de 2021 e IDHM.....	88
Figura 39 -	<i>Clusters</i> de casos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 23 de 2021 e IVS.....	89
Figura 40 -	<i>Clusters</i> de casos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 23 de 2021 e IDHM.....	89
Figura 41 -	<i>Clusters</i> de óbitos de COVID-19 identificados da SE 09 a 34 de 2020 e IVS.....	90
Figura 42 -	<i>Clusters</i> de óbitos de COVID-19 identificados da SE 09 a 34 de 2020 e IDHM.....	91
Figura 43 -	<i>Clusters</i> de óbitos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 14 de 2021 e IVS.....	92
Figura 44 -	<i>Clusters</i> de óbitos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 14 de 2021 e IDHM.....	93

Figura 45 - <i>Clusters</i> de óbitos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 23 de 2021 e IVS.....	94
Figura 46 - <i>Clusters</i> de óbitos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 23 de 2021 e IDHM.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	<i>Clusters</i> de casos de Covid-19 da SE 09 de 2020 até a SE 30 de 2020 (23 de fevereiro a 25 de julho de 2020).....	61
Tabela 2 -	<i>Clusters</i> de casos de Covid-19 da SE 09 de 2020 até a SE 51 de 2020 (23 de fevereiro a 19 de dezembro de 2020).....	63
Tabela 3 -	<i>Clusters</i> de casos de Covid-19 da SE 09 de 2020 até a SE 12 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 27 de março de 2021).....	65
Tabela 4 -	<i>Clusters</i> de casos de Covid-19 da SE 09 de 2020 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021).....	67
Tabela 5 -	<i>Clusters</i> de óbitos de Covid-19 de 09 de 2020 a 34 de 2020 (23 de fevereiro de a 22 de agosto de 2020).....	69
Tabela 6 -	<i>Clusters</i> de óbitos de Covid-19 de 09 de 2020 a 14 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 10 de abril de 2021).....	71
Tabela 7 -	<i>Clusters</i> de óbitos de Covid-19 de 09 de 2020 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021).....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CoV	Coronavírus
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano
IVS	Índice de Vulnerabilidade Social
OMS	Organização Mundial da Saúde
SARS-CoV-2	Coronavírus da Síndrome Respiratória Aguda Grave 2
SE	Semana epidemiológica
SG	Síndrome Gripal
SRAG	Síndrome Respiratória Aguda Grave
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UF	Unidade da Federação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	OS CORONAVÍRUS E A COVID-19 NO MUNDO.....	18
2.2	A COVID-19 NO BRASIL.....	19
2.3	O PAPEL DE FATORES SOCIOECONÔMICOS E DEMOGRÁFICOS NA PANDEMIA DE COVID-19.....	22
2.4	GEOPROCESSAMENTO APLICADO À SAÚDE PÚBLICA E À COVID-19.....	24
3	JUSTIFICATIVA	27
4	OBJETIVOS	28
4.1	OBJETIVO GERAL.....	28
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
5	METODOLOGIA	29
5.1	ÁREA DE ESTUDO.....	29
5.2	DESENHO DE ESTUDO.....	30
5.3	FONTE DE DADOS.....	30
5.4	ANÁLISE DE DADOS.....	31
6	IMPACTO PARA A POPULAÇÃO	36
7	RESULTADOS	37
7.1	SITUAÇÃO EPIDEMIOLÓGICA ESPACIAL E TEMPORAL DE CASOS E ÓBITOS POR COVID-19 NO BRASIL.....	37
7.2	DETECÇÃO DE <i>CLUSTERS</i> ESPAÇO-TEMPORAIS DE CASOS DE COVID-19 NO BRASIL.....	60
7.2.1	Semana epidemiológica 09 de 2020 a 30 de 2020 (23 de fevereiro a 25 de julho de 2020)	60
7.2.2	Semana epidemiológica 09 de 2020 a 31 de 2020 (23 de fevereiro a 19 de dezembro de 2020)	62
7.2.3	Semana epidemiológica 09 de 2020 a 12 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 27 de março de 2021)	64
7.2.4	Semana epidemiológica de 09 de 2020 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)	66

7.3	DETECÇÃO DE <i>CLUSTERS</i> ESPAÇO-TEMPORAIS DE ÓBITOS DE COVID-19 NO BRASIL.....	68
7.3.1	Semana epidemiológica 09 de 2020 a 34 de 2020 (23 de fevereiro de a 22 de agosto de 2020)	68
7.3.2	Semana epidemiológica 09 de 2020 a 14 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 10 de abril de 2021)	70
7.3.3	Semana epidemiológica 09 de 2020 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)	72
7.4	PERSISTÊNCIA DE <i>CLUSTERS</i> ESPAÇO-TEMPORAIS DE CASOS DE COVID-19.....	74
7.4.1	Semana epidemiológica 30 a 35 de 2020 (19 de julho a 29 de agosto de 2020)	74
7.4.2	Semana epidemiológica 51 de 2020 a 03 de 2021 (13 de dezembro de 2020 a 23 de janeiro de 2021)	76
7.4.3	Semana epidemiológica 12 a 17 de 2021 (21 de março a 01 de maio de 2021)	78
7.5	PERSISTÊNCIA DE <i>CLUSTERS</i> ESPAÇO-TEMPORAIS DE ÓBITOS DE COVID-19.....	80
7.5.1	Semana epidemiológica 34 a 39 de 2020 (16 de agosto a 26 de setembro de 2020)	80
7.5.2	Semana epidemiológica 14 a 19 de 2021 (04 de abril a 15 de maio de 2021)	82
7.6	VULNERABILIDADE SOCIAL E DESENVOLVIMENTO HUMANO NOS <i>CLUSTERS</i> DE CASOS.....	84
7.6.1	Semana epidemiológica 09 a 30 de 2020 (23 de fevereiro a 25 de julho de 2020)	84
7.6.2	Semana epidemiológica 09 a 51 de 2020 (23 de fevereiro a 19 de dezembro de 2020)	85
7.6.3	Semana epidemiológica 09 de 2020 a 12 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 27 de março de 2021)	87
7.6.4	Semana epidemiológica 09 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)	88
7.7	VULNERABILIDADE SOCIAL E DESENVOLVIMENTO HUMANO	

	NOS <i>CLUSTERS</i> DE ÓBITOS.....	90
7.7.1	Semana epidemiológica 09 a 34 de 2020 (23 de fevereiro a 22 de agosto de 2020).....	90
7.7.2	Semana epidemiológica 09 de 2020 a 14 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 10 de abril de 2021)	91
7.7.3	Semana epidemiológica 09 de 2020 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)	93
8	DISCUSSÃO.....	96
9	CONCLUSÃO.....	102
	REFERÊNCIAS.....	104

1 INTRODUÇÃO

A COVID-19 é uma doença predominante respiratória causada pelo vírus da síndrome respiratória aguda grave (SARS-CoV-2), o novo coronavírus. O primeiro surto da doença ocorreu em dezembro de 2019 a partir da identificação de uma série de casos de pneumonia de etiologia desconhecida em Wuhan, província de Hubei, China (HUANG *et al.*, 2020). Apesar dos esforços do governo chinês para conter a doença em Hubei, o vírus logo se espalhou por todas as províncias da China e em pouco tempo atingiu a outros países (KAMEL BOULOS; GERAGHTY, 2020).

Em 11 de março, a Organização Mundial da Saúde (OMS) classificou a COVID-19 como sendo uma pandemia, quando a doença já atingia 114 países (BARROZO *et al.*, 2020). O primeiro caso no Brasil data de 26 de fevereiro do mesmo ano: um brasileiro de 61 anos recém chegado da Itália, onde já ocorriam surtos da doença (RODRIGUEZ-MORALES *et al.*, 2020). Pouco mais de um mês depois, o Brasil já registrava ao menos dez casos em cada uma das suas Unidades Federativas e a região Sudeste acumulava mais de 60% dos casos (SECRETARIA DE VIGILANCIA EM SAUDE | MINISTERIO DA SAUDE, 2020).

Apesar da COVID-19 apresentar alto potencial em impactar todos os segmentos da sociedade, tais impactos vem sendo sentidos de maneiras diferentes e atingem com maior magnitude as populações mais vulneráveis (SMITH; JUDD, 2020). Em um país com dimensões continentais e alta heterogeneidade cultural e socioeconômica como o Brasil, esses impactos se tornam ainda mais evidentes e chamam atenção para as desigualdades regionais e intrarregionais presentes (FREITAS *et al.*, 2020; NIQUINI *et al.*, 2020).

Até junho de 2021, o Brasil era o terceiro país com o maior número de casos e o segundo com o maior número de óbitos devido a COVID-19 (JOHNS HOPKINS UNIVERSITY, 2020). Durante a emergência de novas doenças infecciosas como esta, é importante que a vigilância epidemiológica utilize abordagens que permitam avaliar a progressão da doença no espaço e no tempo, como a varredura espaço-temporal com análise de *clusters* (DESJARDINS; HOHL; DELMELLE, 2020). Esta técnica permite a detecção de aglomerados (*clusters*) estatisticamente significativos de casos e óbitos de COVID-19 e, por conseguinte, áreas com maior risco de adoecimento ou óbito devido à doença.

Nesta perspectiva, a identificação destas áreas contribui para a vigilância epidemiológica trazendo evidências capazes de embasar políticas públicas que visem melhor alocação de recursos da saúde, diminuição do contágio e mitigação dos impactos da pandemia, em geral.

Diante do exposto, o presente trabalho tem o objetivo identificar aglomerados espaço-temporais emergentes de COVID-19 e investigar sua relação com desenvolvimento humano e vulnerabilidade social nos municípios brasileiros em 2020-2021. Ademais, este estudo torna-se oportuno por meio de um conjunto de técnicas de análise espaço-temporal, buscar responder à pergunta: “quais áreas apresentam maior risco de adoecimento e óbito por COVID-19 e qual sua relação com desenvolvimento humano e vulnerabilidade social dos municípios brasileiros?”.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 OS CORONAVÍRUS E A COVID-19 NO MUNDO

Os coronavírus (CoV) são vírus pertencentes à família Coronaviridae constituídos por RNA de fita simples e polaridade positiva (CHEN; LIU; GUO, 2020). Até o ano de 2003, pouco se sabia sobre essa família e apenas 10 vírus pertencentes a esta haviam sido identificados (AHMED, Temoor *et al.*, 2020). A partir deste mesmo ano, novos CoV's foram descobertos e eles se tornaram uma importante preocupação de saúde pública por resultarem, em menos de duas décadas, em duas epidemias e uma pandemia (LANA *et al.*, 2020).

A primeira epidemia ocorreu ainda em 2003, causada pelo coronavírus da Síndrome Respiratória Aguda Grave (SARS-CoV), e atingiu principalmente países da Ásia, Europa e América do Norte, enquanto a segunda ocorreu em 2012 e ficou mais restrita aos países do Oriente Médio, e, por isso, seu agente etiológico ficou conhecido como coronavírus da Síndrome Respiratória do Oriente Médio (MERS-CoV) (AL-TAWFIQ; ZUMLA; MEMISH, 2014; SONG *et al.*, 2019). Juntos, esses vírus foram responsáveis por mais de 10.000 casos ao redor do mundo com taxas de mortalidade de 10% para o SARS-CoV e 37% para o MERS-CoV (HUANG *et al.*, 2020).

Em dezembro de 2019 a China reportou aglomerados de casos de pneumonia de etiologia, ainda, desconhecida e associada epidemiologicamente a um mercado local de frutos do mar e outros animais em Wuhan, província de Hubei, China (HUANG *et al.*, 2020; READ *et al.*, 2020; ZHU *et al.*, 2020). Tratava-se de um novo coronavírus, o coronavírus da Síndrome Respiratória Aguda Grave 2 (SARS-CoV-2), inicialmente chamado de 2019-nCoV. A doença causada por esse vírus ficou conhecida como COVID-19 e atinge principalmente o sistema respiratório, mas também pode afetar o coração e vasos sanguíneos, rins, intestinos e cérebro (WADMAN *et al.*, 2020).

Em 11 de janeiro de 2020 foi confirmada a primeira morte devido ao novo coronavírus na China: um homem de 61 anos que esteve no mercado em Wuhan. Países vizinhos como Japão e Tailândia passaram então a relatar casos da doença em seus territórios e nas semanas seguintes diversos países fora do continente asiático confirmaram casos da doença importados da China. Em 30 de janeiro a OMS declarou Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII) devido a disseminação do SARS-CoV-2 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020b). Neste momento, a China era o epicentro da doença, acumulando mais de 7,7 mil casos, 170 óbitos e apresentando uma letalidade de 2%.

Enquanto isso, outros 18 países ao redor do globo já reportavam casos de infecções pelo novo coronavírus.

No dia 11 de março, a OMS declarou que a disseminação da COVID-19 pelo mundo se tratava de uma pandemia, e 114 países já tinham casos da doença. Os meses seguintes se destacaram pelo aumento no número de casos e óbitos ao redor do mundo. A partir de abril, os Estados Unidos passaram a concentrar o maior número de casos devido a doença e durante a semana epidemiológica (SE) 18, última deste mês, o país possuía mais de 960 mil casos confirmados e 5 mil óbitos. Contudo, o continente a ser mais atingido pela COVID-19 neste momento era a Europa e países como Itália, Espanha e Reino Unido apresentavam altas taxas de mortalidade, variando de 302 a 490 por 1 milhão de habitantes e letalidade de 10,2% a 13,7%, bem superiores as médias mundiais: 26 mortes/1 milhão de habitantes e letalidade de 6,9% (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020g)

De acordo com o boletim do Observatório Covid-19 (2020), que rememorou os primeiros seis meses da pandemia no Brasil e no mundo, países da Ásia e Europa tiveram um aumento rápido no número de casos e óbitos e obtiveram seu valor máximo (pico) em março e abril de 2020, acumulando cerca de 150 mil óbitos, no caso da Ásia, e 225 mil óbitos na Europa, seguido de uma tendência de redução lenta desses valores nas semanas seguintes.

Na última semana de 2020, SE 53, já havia mais de 84 milhões de casos confirmados ao redor do mundo. Os Estados Unidos continuava sendo o país com o maior número de casos acumulados (20.426.184), seguido pela Índia (10.323.965) e Brasil (7.716.405) (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020d). Quanto aos óbitos, já haviam 1.835.788 mortes no mundo devido a COVID-19 e os três países com o maior número de casos acumulados também tiveram o maior número de óbitos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020d). Ao final da SE 53, os EUA e outros países da Europa e do mundo aparentavam ter um aumento no número de casos e óbitos, demonstrando um recrudescimento da pandemia e uma segunda onda da doença que atingiria a muitos países com maior magnitude do que vista no ano anterior.

2.2 A COVID-19 NO BRASIL

Desde janeiro de 2020, enquanto o número de infectados pela COVID-19 aumentava ao redor do mundo, surgiam rumores de possíveis casos da doença no Brasil. No dia 28 do mesmo mês, o Brasil já considerava a COVID-19 um perigo iminente e no dia 03 de fevereiro de 2020, o Ministério da Saúde (2020c) declarou que a mesma era uma Emergência

de Saúde Pública de Importância Nacional (ESPIN). A partir de então, houve a necessidade da incorporação da COVID-19 na rede de vigilância de vírus respiratórios.

No Brasil, a vigilância de vírus respiratórios de importância em saúde pública é realizada pela rede de vigilância sentinela de Síndrome Gripal (SG) e de vigilância em Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), articuladas com os laboratórios de saúde pública. A primeira foi criada em 2000, com o objetivo de captar casos de SG, registrados no e-SUS VE, que posteriormente foi substituído pelo e-SUS Notifica, e monitorar o vírus da influenza. A rede de vigilância sentinela de SG é composta por unidades de saúde definidas por gestores municipais, estaduais e do Distrito Federal. Já a segunda foi implantada no Brasil em 2009, devido a pandemia de H1N1, e tem o objetivo de captar casos de SRAG hospitalizados ou óbitos por SRAG. A vigilância de SRAG é realizada nos hospitais de rede pública ou privada do Brasil que possuem capacidade de assistência aos casos deste agravo. Os casos e óbitos por SRAG são registrados na plataforma do Sistema de Informação da Vigilância Epidemiológica da Gripe (SIVEP-Gripe), sistema oficial de vigilância epidemiológica da Influenza no Brasil, do SIVEP-Gripe (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021).

Uma plataforma que passou a ser bastante utilizada durante a pandemia de COVID-19 para se obter o número de casos e óbitos confirmados por municípios ou por estado é o Brasil.io (<https://brasil.io/covid19/>), que reúne um banco de dados acessível e estruturado onde são compilados, diariamente, os boletins epidemiológicos das 27 Secretarias Estaduais de Saúde do Brasil. Os dados do Brasil.io são tratados mais de 40 colaboradores e são disponibilizados em formato que facilita sua extração manual e/ou automatizada. Mesmo sendo uma plataforma de divulgação de dados extraoficial, o Brasil.io foi utilizado por diversos autores que estudaram a COVID-19 no Brasil (CASTRO *et al.*, 2021; FERREIRA *et al.*, 2020; MARTINES *et al.*, 2021; RIBEIRO *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2020). Marinho e colaboradores (2021) adicionam que a plataforma é uma maneira viável de se obter estatísticas confiáveis sobre a COVID-19 e que as mudanças constantes nos padrões de disponibilidade de dados e nas estruturas dos bancos de dados podem dificultar a utilização das bases oficiais do Ministério da Saúde.

No dia 26 de fevereiro de 2020, o Brasil identificou seu primeiro caso: um homem de 61 anos, cidadão de São Paulo e que havia viajado para a Itália. O mês seguinte foi marcado por um aumento gradual no número de infectados pelo novo coronavírus e pela primeira morte devido a COVID-19 no Brasil, registrada em São Paulo durante a semana epidemiológica (SE) 12. Em 20 de março de 2020, o Ministério da Saúde publicou a portaria

nº 454 (2020), declarando a transmissão comunitária da doença, ou seja, já ocorriam casos sem vínculo epidemiológico a outros casos confirmados, em área definida.

Na SE 14 (29 de março a 04 de abril), primeira semana de abril, o Brasil já registrava ao menos dez casos em cada uma das Unidades da Federação (UF's) e a região Sudeste continha a maioria dos casos (62,5%), seguida das regiões Nordeste (15,4%), Sul (10,8%), Centro-Oeste (6,6%) e Norte (4,7%) (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020a). Neste período, a maioria dos casos se concentrava em São Paulo (44,7%), Rio de Janeiro (11,9%), Ceará (6,9%), Distrito Federal (4,4%) e Minas Gerais (4,4%). As regiões que apresentaram maiores taxas de letalidade foram as regiões Sudeste (4,9%), Nordeste (3,7%) e Norte (2,1%) e as UF's com maior número de óbitos confirmados por COVID-19 eram São Paulo, Rio de Janeiro, Ceará, Pernambuco e Amazonas. Nas semanas seguintes ocorreu uma aceleração da transmissão da COVID-19 em estados mais distantes do litoral e foi identificada uma tendência à interiorização da epidemia, que chegava mais rapidamente a municípios de menor porte e menos populosos do Brasil (NÚCLEO DE MÉTODOS ANALÍTICOS PARA VIGILÂNCIA EM SAÚDE PÚBLICA, 2020).

Em maio de 2020, o Brasil passou a ocupar o segundo lugar em número de casos de COVID-19 e em junho do mesmo ano o país se juntou a Estados Unidos e Índia entre os três países com mais casos e óbitos totais devido a doença. De acordo com o boletim do Observatório Covid-19 (2020), o Brasil apresentou uma evolução no número de casos e óbitos pelo novo coronavírus bem distinta da maioria dos países da Ásia e Europa, pois no país observou-se um lento aumento nos casos e óbitos e a formação de um extenso patamar de transmissão a partir de junho de 2020.

O Brasil atingiu o pico da primeira onda epidemiológica de COVID-19 em 29 de julho de 2020, quando o país registrou 1590 óbitos em um dia (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020h). Na semana epidemiológica 35 (23 a 29 de agosto), aproximadamente seis meses após a confirmação do seu primeiro caso, o Brasil acumulava quase 4 milhões de casos e mais de 120 mil óbitos devido a doença, com uma taxa de mortalidade de 57,3 por 100 mil habitantes (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020e). A maioria dos casos se concentrava nas regiões Sudeste (35%) e Nordeste (29,6%), seguidas das regiões Norte (13,9%), Centro-Oeste (11,1%) e Sul (10,4%). As UF's com o maior número de casos foram São Paulo, Bahia, Rio de Janeiro, Ceará e Minas Gerais. As regiões com o maior número de óbitos absolutos foram as regiões Sudeste e Nordeste e a região Norte apresentou maior taxa de mortalidade.

Uma segunda onda da COVID-19 atingiu o Brasil em meados de novembro de 2020 e o país terminou o ano com mais de 7 milhões de casos confirmados e mais de 195 mil

mortes devido ao novo coronavírus (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020h). No dia 26 de fevereiro de 2021, um ano após a confirmação do primeiro caso no Brasil, o país registrou 65.169 casos novos e 1.337 óbitos pela COVID-19, acumulando mais de 10 milhões de casos e 250 mil óbitos. Neste período, a região Sudeste seguia com o maior número de casos acumulados (36,32%), seguida pela Nordeste (23,40%), Sul (18,55%), Norte (11,06%) e Centro-Oeste (10,66%) (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020f).

Embora não possuísse uma alta concentração de casos, a região Norte apresentou a maior taxa de incidência (6.232,3 casos/100 mil hab.) e mortalidade (144,6 óbitos/100 mil hab.) ao fim da SE 8 (21 a 27 de fevereiro) 2021. Os estados de Roraima e Amapá apresentaram a maior incidência da região e do país, enquanto o Amazonas apresentou a maior taxa de mortalidade (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020f). De acordo com Cavalcante e colaboradores (2020), a falta de adesão das medidas de isolamento social recomendadas pelas autoridades de saúde e a menor rede de hospitais e leitos, tanto no setor público, como no privado, podem ter contribuído para as maiores taxas nessa região.

As disparidades encontradas nos números de casos e óbitos das regiões e estados dependem de diversos fatores que vão desde o nível de desenvolvimento socioeconômico e a capacidade de diagnosticar e tratar casos, até a tomada de medidas de prevenção e controle da transmissão do vírus e da doença.

2.3 O PAPEL DE FATORES SOCIOECONÔMICOS E DEMOGRÁFICOS NA PANDEMIA DE COVID-19

Conforme a revisão realizada por Pereira e colaboradores (2020), que buscou identificar os principais estudos que abordam os aspectos epidemiológicos, clínicos e terapêuticos da COVID-19, indivíduos adultos, maiores de 60 anos e com comorbidades preexistentes como pneumonite crônica, obesidade, hipertensão, diabetes, câncer e insuficiência cardíaca ou renal, tendem a apresentar maiores taxas de mortalidade devido a doença. O Ministério da Saúde (2020a) adiciona que gestantes de alto risco e imunodeprimidos também parecem desenvolver maiores complicações devido a infecção pelo SARS-CoV-2.

Além de condições clínicas preexistentes, outros fatores podem influenciar tanto no adoecimento quanto no óbito pela COVID-19. Desde abril de 2020, Smith e Judd (2020) alertaram para o potencial da pandemia em afetar aos diferentes setores da sociedade de maneiras distintas. Segundo os autores, a impossibilidade de populações de baixa renda

aderirem ao isolamento social proposto pelas autoridades de saúde e a inequidade no acesso aos serviços de saúde, ambos frequentes em países em desenvolvimento, tornam tais populações ainda mais vulneráveis e faz com que elas sintam os impactos causados pela pandemia em maior magnitude.

De acordo com Freitas (2020), antes de se entender o impacto desproporcional do SARS-CoV-2 em populações mais vulneráveis, deve-se primeiro levar em conta dois processos que ocorrem a nível global. Primeiro, deve-se considerar o modelo de desenvolvimento baseado na desigualdade socioeconômica e concentração de renda, que contribui continuamente para o crescimento da população pobre, cada vez mais concentrada em áreas urbanas e aglomerados subnormais em zonas de periferias. Em segundo, o enfraquecimento de instituições e a incapacidade de governos ao redor do mundo de lidar com crises e desastres, como a atual pandemia. Somados, tais processo intensificam desigualdades sociais e a concentração de renda e resultam em um aumento de populações vulneráveis, distribuídas ao redor do globo (FREITAS *et al.*, 2020).

Assim como em outras doenças, fatores socioeconômicos e demográficos parecem influenciar no risco de infecção, morbidade e mortalidade devido a COVID-19 (AHMED, Faheem *et al.*, 2020; KHALATBARI-SOLTANI *et al.*, 2020). A importância desses fatores no processo de saúde-doença fica ainda mais evidente em países como o Brasil, com extensas dimensões territoriais e marcado por diversas desigualdades socioeconômicas regionais e intrarregionais e população em situação de vulnerabilidade. Werneck e Carvalho (2020) complementam que a pandemia de COVID-19 encontrou a população brasileira em uma situação extremamente desfavorável, com indivíduos vivendo em condições precárias de habitação e saneamento, sem acesso sistemático a água e em situação de aglomeração, com altas taxas de desemprego e cortes profundos em políticas sociais

A fim de compreender os impactos da pandemia nos mais vulneráveis, Figueiredo e colaboradores (2020) analisaram a influência de fatores socioeconômicos, demográficos, epidemiológicos e da estrutura do sistema de saúde na evolução da pandemia de COVID-19 nos estados brasileiros. Eles identificaram que a pandemia teve início em UF's com melhores condições socioeconômicas e gradualmente se expandiu para áreas mais vulneráveis, demonstrando uma heterogeneidade na evolução das taxas de incidência e mortalidade dentre os estados. Os autores também encontraram associações entre as taxas de incidência e mortalidade de COVID-19 e o Índice de Gini, proporção de pessoas vivendo em domicílios densamente ocupados e desempregadas, o que indica que fatores socioeconômicos tem importante papel na disseminação e mortalidade por COVID-19.

Em um estudo visando analisar a associação entre a distribuição espacial da incidência de casos de COVID-19 e indicadores de vulnerabilidade em Fortaleza, Ceará, Cestari e colaboradores (2020) evidenciaram que na maioria dos bairros de Fortaleza, a população ativa em idade de trabalhar é quem possui maior vulnerabilidade de exposição à infecção. Os autores elucidam que além de ser mais difícil para essa população permanecer em isolamento, são os mais vulneráveis que utilizam com mais frequência o transporte público, possuem maior densidade intradomiciliar e tem menor acesso a serviços de saúde e saneamento. Ademais, os autores também encontraram associação negativa escolaridade e a incidência da doença.

Desta forma, fatores socioeconômicos e demográficos, que expressam a vulnerabilidade social de diversas populações contribuem para o entendimento do processo de adoecimento e óbito pela COVID-19 no contexto pandêmico. Contudo, para melhor compreender os impactos do SARS-CoV em populações mais vulneráveis, é necessário verificar a influência de outros fatores que possam ter relação com o desfecho analisado.

2.4 GEOPROCESSAMENTO APLICADO À SAÚDE PÚBLICA E À COVID-19

Geoprocessamento é um termo amplo que engloba diferentes métodos e técnicas voltados para a coleta, tratamento, manipulação e apresentação de dados (MAGALHÃES *et al.*, 2006). Dentre tais métodos e técnicas destacam-se o sensoriamento remoto, a digitalização dos dados, a automação de tarefas cartográficas, o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) (HINO *et al.*, 2006). Este último é definido por Burrough (1986) como “um conjunto de ferramentas para recolher, armazenar, transformar e visualizar dados espaciais sobre o mundo real”.

De acordo com Fletcher-Lartey e Caprarelli (2016), o SIG é estruturado em torno de cinco principais componentes: (i) os dados georreferenciados coletados e armazenados em uma base de dados geográficos; (ii) o hardware que armazena os dados e ferramentas do processamento, (iii) o software que reúne os algoritmos da interface do usuário, onde se pode acessar, consultar e analisar os dados, (iv) os algoritmos e procedimentos que manejam os dados; e (v) as pessoas que produzem e utilizam os dados espaciais.

Fletcher-Lartey e Caprarelli (2016) acrescentam que independentemente do sistema utilizado, todo SIG possui ferramentas capazes de criar mapas através da sobreposição de dados, os quais são armazenados sob forma de tabelas com informações geográficas

simbolizadas por pontos, linhas, polígonos ou *rasters* (como por exemplo fotografias aéreas). O SIG permite ainda a análise espacial destes dados e a integração de dados socioeconômicos e demográficos com dados da saúde. Isto possibilita uma melhor caracterização e quantificação de possíveis exposições e seus determinantes e a identificação de grupos mais vulneráveis que precisam de maior atenção preventiva, curativa ou de promoção da saúde.

A aplicação do SIG na saúde pública, o transforma em um importante aliado à tomada de decisão, pois permite o mapeamento de doenças e a avaliação de riscos (BARCELLOS; RAMALHO, 2002; SHAW, 2012). Desta forma, este sistema é uma ferramenta fundamental para vigilância epidemiológica e seu uso tem sido crescente no campo da saúde pública.

Durante a pandemia de COVID-19, diversos autores chamaram atenção para a importância da utilização de abordagens de análise espacial e análise temporal para identificar os padrões da doença e tentar prevenir e controlar o avanço da pandemia (KANG *et al.*, 2020; YANG *et al.*, 2020; BARROZO *et al.*, 2020; KAMEL BOULOS; GERAGHTY, 2020). Dentre essas abordagens, destaca-se a análise espaço-temporal prospectiva proposta por Kulldorff (1997), capaz de detectar e caracterizar aglomerados (*clusters*) de uma doença no espaço e no tempo. Este método identifica *clusters* “ativos”, ou seja, com excesso de risco no momento em que os dados foram coletados e desconsidera os *clusters* que já existiram e que, portanto, não representam mais um problema de saúde pública (KULLDORFF, 2001).

Kulldorff (2001) adiciona que a análise de *clusters* dispensa hipóteses preliminares da localização ou dimensões dos *clusters* e pode ser utilizada em diferentes níveis de agregação geográfica e temporal para diferentes doenças. Ademais, a maior força da análise espacial prospectiva é poder ser repetida diversas vezes conforme novos dados vão sendo disponibilizados, permitindo assim a identificação de *clusters* emergentes e o acompanhamento contínuo dos *clusters* detectados com o propósito de verificar se aumentam, diminuem ou se mantêm estáveis.

Isto foi demonstrado por Desjardins e colaboradores (2020), um dos primeiros pesquisadores a publicar uma análise espaço-temporal prospectiva para detectar *clusters* ativos de casos de COVID-19 nos Estados Unidos. Os autores realizaram uma análise de *clusters* no software SaTScan em dois momentos: no primeiro, eles detectaram *clusters* ativos e emergentes nos condados do país e no segundo eles repetiram a análise e verificaram que alguns dos *clusters* antes emergentes se tornaram ativos. Este estudo foi continuado por

Hohl e colaboradores (2020), que aplicaram a mesma metodologia repetindo a análise diariamente conforme mais dados foram disponibilizados. Os autores acompanharam a persistência dos *clusters* identificados e as alterações de suas características ao longo do tempo, o que pode auxiliar a responder questões sobre as melhores localizações e períodos para implementar medidas de controle da doença, a fim de diminuir a transmissão, e como as características dos aglomerados identificados mudam ao longo do espaço e do tempo.

Da mesma forma, Martines et al. (2021) utilizaram metodologia semelhante a de Desjardins et al. (2020) e identificaram sete *clusters* emergentes de casos e óbitos de COVID-19 de 25 de fevereiro a 7 de junho em uma primeira análise e nove *clusters* de 25 de fevereiro a 20 de julho em uma segunda análise nos 5,570 municípios do Brasil no ano de 2020. Barrozo et al. (2020) e Gomes et al. (2020) também adotaram a abordagem espaço-temporal para detectar *clusters* de casos e óbitos devido ao novo coronavírus, mas em diferentes escalas. O primeiro teve como unidade de análise os estados do Brasil, enquanto o segundo utilizou os municípios da região nordeste.

Frente à evidente importância para a saúde pública, as ferramentas de geoprocessamento podem e devem ser utilizadas na vigilância epidemiológica para monitorar casos e óbitos durante pandemia de COVID-19. Tais ferramentas, como a varredura espaço-temporal com análise de *clusters*, podem informar autoridades em saúde pública, tomadores de decisão e o público em geral sobre áreas prioritárias para receber recursos de saúde.

3 JUSTIFICATIVA

A COVID-19 se tornou, em poucos meses, um problema de saúde pública a nível global. De acordo com Desjardins e colaboradores (2020), ferramentas de análise espaço-temporal podem auxiliar a compreender a propagação da doença no espaço e no tempo e são importantes aliadas da vigilância epidemiológica.

Contudo, a maioria das publicações científicas sobre o espalhamento da pandemia utilizam modelos epidemiológicos preditivos com foco em sua evolução temporal e não adotam abordagens espaciais (BARROZO *et al.*, 2020). O número dessas publicações reduz ainda mais quando se procura por aquelas com abordagem espaço-temporal e que considerem a influência de fatores socioeconômicos e demográficos.

Desta forma, este estudo busca conhecer a distribuição espaço-temporal da COVID-19 no Brasil, mitigando a escassez de publicações com esta abordagem e contribuindo para a geração de hipóteses sobre os possíveis fatores explicativos para o adoecimento ou óbito devido a doença. Além disso, espera-se que as evidências aqui trazidas possam subsidiar ações de vigilância epidemiológica e de políticas públicas que visem a igualdade no acesso à saúde e melhorias sociais, uma vez que permitem a identificação de áreas mais vulneráveis.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Identificar *clusters* espaço-temporais emergentes de COVID-19 e sua relação com desenvolvimento humano e vulnerabilidade social nos municípios brasileiros em 2020-2021.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4.2.1 Descrever espacialmente e temporalmente a situação epidemiológica de casos e óbitos por COVID-19.

4.2.2 Detectar aglomerados (*clusters*) espaço-temporais de casos e óbitos de COVID-19 nos municípios brasileiros.

4.2.3 Analisar a persistência dos *clusters* de casos e óbitos identificados.

4.2.4 Caracterizar e correlacionar os *clusters* espaço-temporais de casos e óbitos de COVID-19 com os indicadores de desenvolvimento humano e vulnerabilidade social dos municípios brasileiros.

5 METODOLOGIA

5.1 ÁREA DE ESTUDO

O Brasil é o maior país em área territorial da América do Sul, o quinto maior do mundo e o sexto em população. O Brasil possui uma população estimada de 212.454.128 habitantes divididos entre cinco macrorregiões, 26 estados e um Distrito Federal e 5.570 municípios, totalizando uma área de 8.510.295,914 km².

As cinco regiões do Brasil foram divididas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a partir de uma perspectiva histórico-espacial e levando em conta aspectos físicos e socioeconômicos a fim de facilitar a administração e o planejamento governamental. O processo de regionalização do Brasil passou por diversas modificações, e somente em 1990 foi publicada a divisão regional que perdura até hoje, a saber: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul.

A região Norte é a maior região em extensão territorial do Brasil, com 449 municípios, sete estados e 3.853.328,229 km², no qual residem aproximadamente 18.672.591 habitantes (IBGE, 2020). A baixa população relativa e absoluta resulta em uma baixa densidade demográfica de 4,8 habitantes/km², a menor do país, fundamentando a ideia de que existem “vazios demográficos” na região (ROCHA; OLIVEIRA, 2011). O Norte possui grande importância nacional e internacional por abrigar o maior rio do mundo, o rio Amazonas, e a maior floresta tropical úmida do planeta, a floresta Amazônica. Esta última é a principal responsável pelo clima predominantemente equatorial e com elevado índice pluviométrico da região.

A região Nordeste é composta por nove estados que somam 1.793 municípios, totalizando 1.554.257,00 km². Todos os estados da região são banhados pelo Oceano Atlântico e o clima prevalecente é o semiárido, fazendo com que a região possua o menor índice pluviométrico do país e temperaturas elevadas durante todo o ano. O Nordeste possui uma população de 57.374.243 habitantes (IBGE, 2020), localizada principalmente do litoral da região. De acordo com o estudo realizado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e a Fundação João Pinheiro (2016), embora os índices de renda, longevidade e educação do Nordeste tenham melhorado entre 2000 e 2010, a região ainda apresenta o menor Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) do país.

O Centro-Oeste é composto por três estados e um Distrito Federal, cuja capital

também é a capital do país: Brasília. O Centro-Oeste possui 16.504.303 habitantes divididos em 466 municípios e 1.606.371,505 km² (IBGE, 2020). Possui clima predominantemente tropical e duas estações bem definidas: uma seca e outra úmida.

A região Sudeste tem uma população de 89.012,240 habitantes (IBGE, 2020) divididos em quatro estados e 1.668 municípios, totalizando uma área de 922.511.292 km². O Sudeste possui a maior densidade demográfica do país, 96,5 habitantes/km², e é não só a região mais povoada, mas também a mais populosa, urbanizada, industrializada e desenvolvida econômica e tecnologicamente (ROCHA; OLIVEIRA, 2011). Além disso, esta região é a que mais contribui para o PIB do país e também a que possui o maior IDHM (PNUD; IPEA; Fundação João Pinheiro, (2016)

A região Sul é composta por três estados e 1.188 municípios e possui uma área de 576.409,569 km², sendo a menor região do Brasil. O Sul possui uma população de 30.192.315 habitantes (IBGE, 2020) e, assim como a região Sudeste, também possui alta densidade demográfica. Dentre as regiões do país, a região Sul é a que possui características mais distintas devido ao contexto histórico e sua colonização principalmente por alemães, italianos e holandeses (ROCHA; OLIVEIRA, 2011). Além disso, esta região possui clima subtropical e estações do ano bem definidas.

5.2 DESENHO DO ESTUDO

O estudo realizado é do tipo ecológico, analítico e exploratório. As unidades de análise para a descrição espacial de casos e óbitos foram os municípios brasileiros e para a descrição temporal foram os estados. Já para a análise espaço-temporal e para as análises seguintes, as unidades de análise foram os aglomerados espaço-temporais de casos e óbitos identificados nos períodos selecionados, que posteriormente foram caracterizados de acordo com o perfil de vulnerabilidade social e desenvolvimento humano dos municípios do Brasil.

5.3 FONTE DE DADOS

As fontes dos dados utilizadas nas análises são:

- Brasil.IO, disponível no site do mesmo nome (BRASIL.IO, 2020), para obter os casos e óbitos de COVID-19 nos municípios brasileiros por semana epidemiológica (SE) de notificação desde a SE 09 de 2020, quando foi identificado o primeiro caso, até a semana 23 de 2021, compreendendo o período de 23 de fevereiro de 2020 a 12

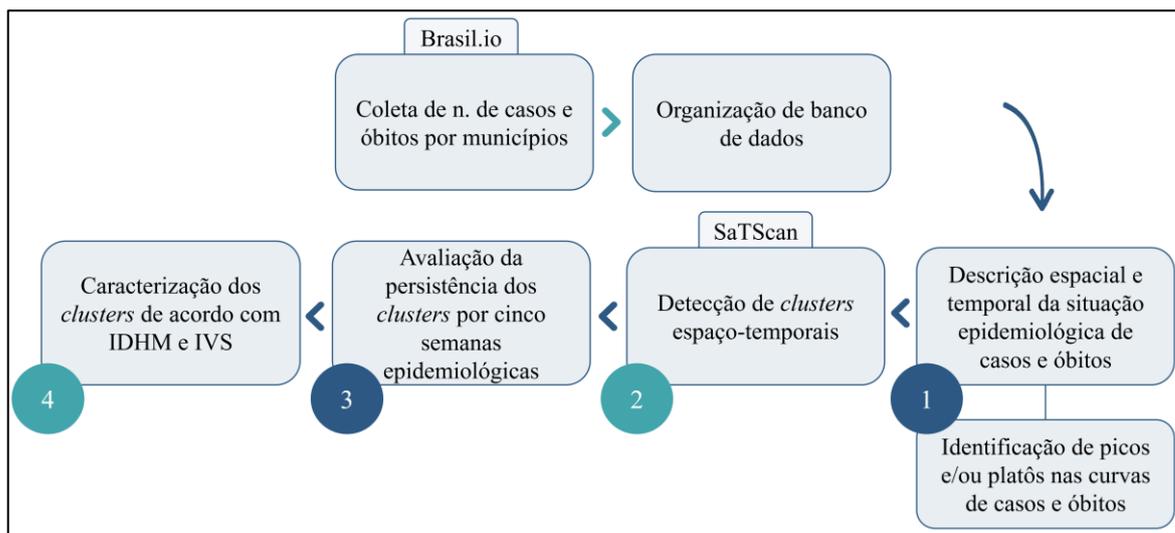
de junho de 2021. Esta plataforma é atualizada diariamente e tem como fonte os dados oficiais reportados pelas Secretarias Estaduais de Saúde das 27 Unidades Federativas do Brasil. A utilização desta base, cuja referência temporal é a data de notificação, e não a data dos primeiros sintomas, é uma limitação desta fonte de dados. Desta forma, os resultados encontrados podem apresentar algumas semanas de atraso. Entretanto, não existe uma outra base com todos os registros de casos e óbitos de COVID-19 por data de primeiros sintomas. Optou-se então por utilizar o Brasil.io, pois esta base possui as informações necessárias capazes de descrever a intensidade e o padrão de espalhamento da pandemia no país.

- Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) / Informações de Saúde (TABNET) (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020i), para obter as estimativas oficiais de população de cada município brasileiro.
- Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e a Fundação João Pinheiro (FJP), disponível no site da plataforma (ATLAS BRASIL, 2020) para Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM).
- Atlas da Vulnerabilidade Social, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2020), para obter o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) a nível municipal e intramunicipal, resultante da média aritmética dos subíndices: IVS Infraestrutura Urbana, IVS Capital Humano e IVS Renda e Trabalho.

5.4 ANÁLISE DOS DADOS

O esquema metodológico com as etapas da análise de dados encontra-se na figura 1, bem como os objetivos específicos realizados em cada etapa.

Figura 1 - Esquema metodológico da análise de dados



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Para alcançar ao primeiro objetivo específico, foi realizada a caracterização do perfil epidemiológico de casos e óbitos por COVID-19 nos municípios brasileiros através da coleta de dados da doença na plataforma Brasil.io, disponível em <https://brasil.io/covid19/>. As informações foram coletadas por semana epidemiológica (SE) desde a SE 9 de 2020 (23 a 29/02), quando foi notificado o primeiro caso de COVID-19 no Brasil, até a SE 23 de 2021 (06 a 12/06). Após a coleta, essas informações foram organizadas em um banco de dados com a contagem de casos e óbitos por semana epidemiológica e por município em formato aceito pelo SaTScan.

A fim de analisar a evolução temporal da pandemia no Brasil, foram elaborados gráficos para identificar as semanas epidemiológicas de pico e/ou fins dos platôs das curvas de casos e óbitos. Feito isso, foram elaborados mapas de casos e óbitos acumulados por 100 mil habitantes para SE's selecionadas para representar graficamente os dados. Nesta etapa, realizou-se também uma análise da evolução temporal da confirmação de casos e óbitos novos por 100 mil habitantes nas 27 Unidades da Federação brasileiras, divididas por regiões, a fim de observar a progressão de casos e óbitos nas diferentes UF's do Brasil.

Com a finalidade de atingir ao segundo objetivo específico, foram utilizados os *softwares* SaTScan, para detecção dos aglomerados (*clusters*) de casos e óbitos por COVID-19, e o QGIS para visualização geoespacial destes aglomerados. Realizou-se a varredura espaço-temporal prospectiva (KULLDORFF, 2001) no SaTScan com base no modelo discreto de Poisson, que leva em consideração o número de casos e óbitos e a população sob risco no tempo. Para isto, foi assumido que a distribuição de casos e óbitos segue a

distribuição de Poisson

O método proposto baseia-se em cilindros móveis posicionados sobre as sedes dos municípios brasileiros, cujas alturas representam o escaneamento temporal e as bases circulares de raio R representam o escaneamento espacial. Os cilindros se expandem até englobar um determinado percentual da população total sob risco ou até atingir os limites máximos estabelecidos. À medida que os cilindros aumentam são feitos testes de significância para verificar se a região delimitada pelas circunferências corresponde, ou não, a um conglomerado. A função de verossimilhança é maximizada sobre todos os municípios e tamanhos de janelas, sendo aquela com a de máxima verossimilhança (maior LLR) a do *cluster* mais provável, ou seja, com menor probabilidade de ter ocorrido devido ao acaso. A razão de verossimilhança para essa janela com base em distribuição é obtida via método Monte Carlo. O valor de ‘ p ’ é obtido comparando-se o ‘rank’ da máxima verossimilhança conjunto de dados reais com as máximas verossimilhanças dos conjuntos de dados aleatórios (KULLDORFF, 1997).

As semanas epidemiológicas escolhidas para realizar a varredura espaço-temporal foram selecionadas com base na etapa anterior, onde foram identificados os picos e/ou fins de platôs das curvas de casos e óbitos. Fez-se isso para que fosse possível observar quais foram as áreas de maior risco durante os momentos mais críticos ao longo do processo pandêmico da COVID-19 no Brasil. As SE’s selecionadas para a análise dos casos foram as semanas 30 (19/07 a 25/07) e 51 (13/12 a 19/12) de 2020 e as SE’s 12 (21/03 a 27/03) e 23 (06/06 a 12/06) de 2021. As semanas selecionadas para as análises dos óbitos foram a semana 34 de 2020 (16/08 a 22/08/20) e as SE’s 14 (04/04 a 10/04) e 23 (06/06 a 12/06/21) de 2021. Embora a semana 23 de 2021 não tenha apresentado um pico ou final de platô na curva de casos ou de óbitos, esta semana foi selecionada por representar o final do período deste estudo. O parâmetro de precisão temporal escolhido no SaTScan foi a opção “*Generic*” e o período de estudo teve início na semana 09 de 2020 (em todas as análises) e final na última semana da análise (SE’s 202030, 202051, 202012 ou 202123, para casos, ou nas SE’s 202034, 202014 ou 202023, para óbitos). Portanto, para realizar a varredura na semana 30 de 2020, por exemplo, entende-se que considerou todo o período compreendido entre a SE 09 de 2020 e a SE 30 de 2020, para a SE 51 de 2020, o período de estudo foi da SE 09 de 2020 até a SE 51 de 2020, e assim por diante.

A varredura espaço-temporal prospectiva detecta *clusters* ativos, ou seja, com excesso de risco relativo, até último dia de quando os dados foram coletados e descarta os *clusters* com excesso de risco relativo sem significância estatística (DESJARDINS et al.,

2020). Por este motivo foi escolhido realizar a varredura nos momentos de picos e/ou finais de platô, para que fosse possível observar onde estavam os *clusters* ativos nos momentos mais críticos da pandemia.

Como resultado, esta varredura apresenta o *cluster* mais provável, ou seja, com o maior log de verossimilhança (LLR), os *clusters* secundários (ranqueados de acordo com seus valores de LLR), as semanas epidemiológicas de início e fim, o número de casos ou óbitos observados e esperados, os p-valores e o risco relativo (RR) para cada município e para cada *cluster* identificado. Este risco relativo é calculado pela divisão entre o número de casos ou óbitos observados e esperados dentro do *cluster*, dividido pela razão entre o número de casos ou óbitos observados e esperados fora do *cluster*. Isto é:

$$RR = \frac{c / E [c]}{(C - c) / (E [C] - E [c])} = \frac{c / E [c]}{(C - c) / (C - E [c])}$$

Onde “c” é o número de casos ou óbitos em cada cluster e “C” é o número total de casos no conjunto de dados.

Foram testados diversos parâmetros no SaTScan para este trabalho, sendo ao final selecionados os tamanhos máximos para cada *cluster* de 10% da população total sob risco e 1000km de raio máximo, para evitar *clusters* muito grandes que inviabilizariam sua interpretação; e 50% do período de estudo.

Para atingir ao terceiro objetivo específico, foi realizada uma análise da persistência a partir das semanas epidemiológicas utilizadas na etapa anterior. Para isto, repetiu-se a varredura espaço-temporal prospectiva nas cinco SE’s seguintes à identificação dos *clusters*. Por exemplo, analisar a persistência dos *clusters* de casos identificados entre a SE 09 de 2020 e a SE 30 de 2020, repetiu-se a análise para os períodos da SE 09 de 2020 até a SE 31 de 2020, da SE 09 de 2020 até a SE 32 de 2020, da SE 09 de 2020 até a SE 33 de 2020, da SE 09 de 2020 até a SE 34 de 2020 e da SE 09 de 2020 até a SE 35 de 2020, totalizando as cinco semanas. Ressalta-se que o objetivo desta etapa não foi analisar os *clusters* de cada período isoladamente, mas sim verificar sua persistência e alterações em características ao longo do espaço e tempo, como feito por Hohl (2020). Ainda nesta etapa, foi analisada a disposição dos *clusters* por SE como um todo para cada período analisado. A fim de evitar a extrapolação do período máximo de estudo (até a semana epidemiológica 23 de 2021), a SE 23 de 2021 foi descartada desta etapa.

A fim de atingir ao quarto objetivo específico, foi realizada a caracterização

socioeconômica e demográfica dos aglomerados estaticamente significativos. A plataforma Atlas Brasil foi utilizada para obter o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e o Atlas de Vulnerabilidade Social será utilizado para obter Índice de Vulnerabilidade Social (IVS). O Atlas Brasil é uma das maiores ferramentas de divulgação de informações sobre desenvolvimento humano no país e disponibiliza o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e mais de 330 indicadores de saúde, educação, renda e trabalho, habitação e vulnerabilidade social para todos os 5.570 municípios do Brasil (ATLAS BRASIL, 2020). O Atlas de Vulnerabilidade Social fornece um panorama da vulnerabilidade e exclusão social dos municípios e permite conhecer as desigualdades intramunicipais. A partir destas duas plataformas foram coletados índices e indicadores para todos os municípios contidos nos *clusters* a fim de caracterizá-los.

6 IMPACTO DO ESTUDO PARA A POPULAÇÃO

Este estudo causa um impacto tecnológico e econômico positivo, contribuindo para o monitoramento mais efetivo da COVID-19 por meio do uso de tecnologias de geoprocessamento. A varredura espaço-temporal (KULLDORFF, 2001) utilizada neste estudo contribui para a vigilância epidemiológica em saúde pública, pois a partir dela foram detectados os aglomerados ativos/emergentes com excesso de casos e óbitos devido a COVID-19 nos 5.570 municípios brasileiros.

Além disto, a análise de persistência dos *clusters* identificados poderá informar as autoridades de saúde pública, tomadores de decisão em saúde e o público em geral sobre os melhores períodos e locais para implementar intervenções a fim de reduzir a transmissão pelo SARS-CoV-2, como o reforço às medidas de higiene e isolamento social (HOHL *et al.*, 2020). Tal metodologia poderá contribuir ainda para decidir a duração destas intervenções.

A abordagem utilizada permitiu também a caracterização dos municípios brasileiros presentes em *clusters* quanto a vulnerabilidade social e ao desenvolvimento humano, possibilitando a identificação de áreas mais vulneráveis. Tais vulnerabilidades atuam como determinantes no processo de adoecimento e óbito não só pela COVID-19, mas também por outros agravos. Assim, este estudo alertou para a necessidade de suporte a indivíduos residentes em áreas vulneráveis e para a tomada de políticas públicas que visem a igualdade no acesso à serviços de saúde e melhoria nas condições de vida e saúde da população.

Além da contribuição para a vigilância, otimizando respostas e preservando vidas, este trabalho também contribui para expandir o debate sobre a necessidade de garantir uma comunicação clara e informativa com a população sobre igualdade no acesso aos serviços de saúde, vulnerabilidade e a necessidade da tomada de medidas que visem a promoção e preservação da saúde.

7 RESULTADOS

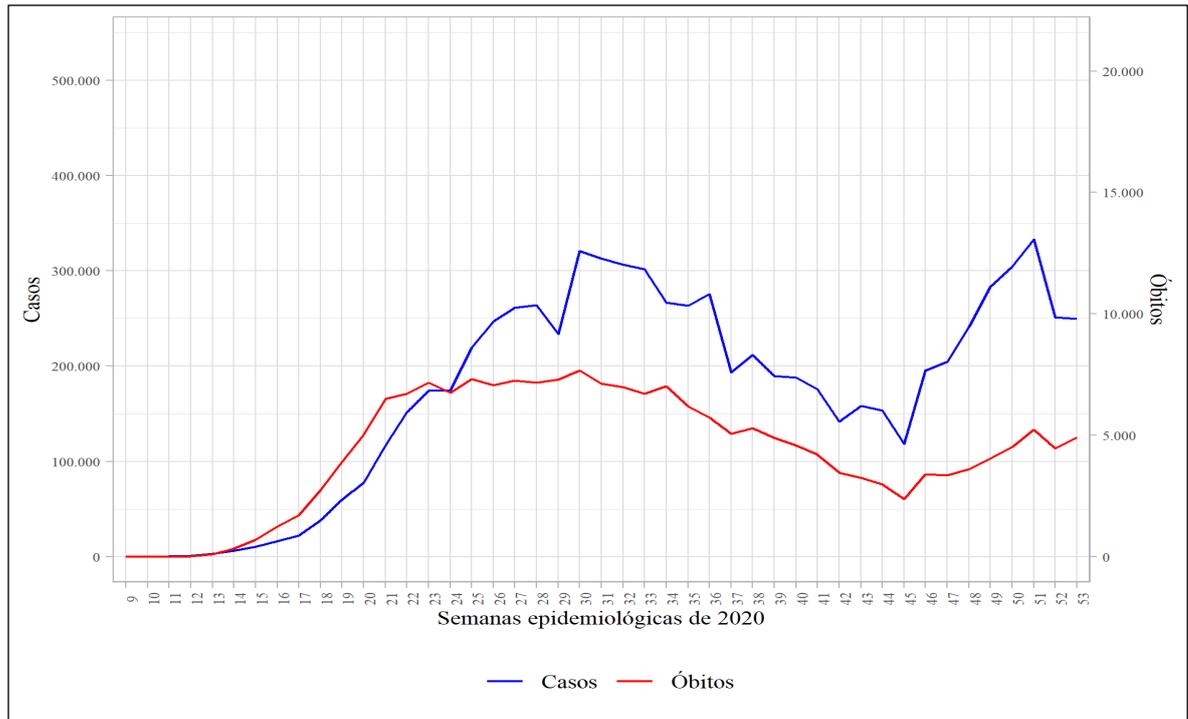
7.1 SITUAÇÃO EPIDEMIOLÓGICA ESPACIAL E TEMPORAL DE CASOS E ÓBITOS POR COVID-19 NO BRASIL

Desde a confirmação do primeiro caso, na semana epidemiológica (SE) 09 de 2020, até a SE 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021) foram notificados 17.281.799 casos e 484.671 óbitos por COVID-19 no Brasil. Deste total, 7.652.747 casos e 195.099 óbitos foram notificados no ano de 2020 e 9.629.052 casos e 289.572 óbitos foram notificados durante o ano de 2021 até a SE 23.

As curvas de casos e óbitos notificados no Brasil por semana epidemiológica durante o ano de 2020 são exibidas na figura 2 e a figura 3 apresenta o mesmo para o ano de 2021.

O aumento no número de casos ocorreu de forma lenta no Brasil até a semana 23 de 2020 (31 de maio a 06 de junho), quando o país passou a apresentar um extenso patamar de transmissão. O Brasil atingiu ao primeiro pico de casos na SE 30 (19 a 25 de julho), seguido de uma tendência a queda nas semanas seguintes e de um aumento crescente de casos da SE 45 (01 a 07 de novembro) até a SE 51 (13 de dezembro a 19 de dezembro), quando o país alcançou o segundo pico. Semelhante a curva de casos, o número de óbitos também apresentou evolução lenta até a semana epidemiológica 21 (17 a 23 de maio) e um platô de óbitos até a SE 34 (16 a 22 de agosto). O número de óbitos notificados diminuiu nas semanas seguintes até a SE 45 e em seguida foi observado um aumento nos óbitos devido a COVID-19 (figura 2).

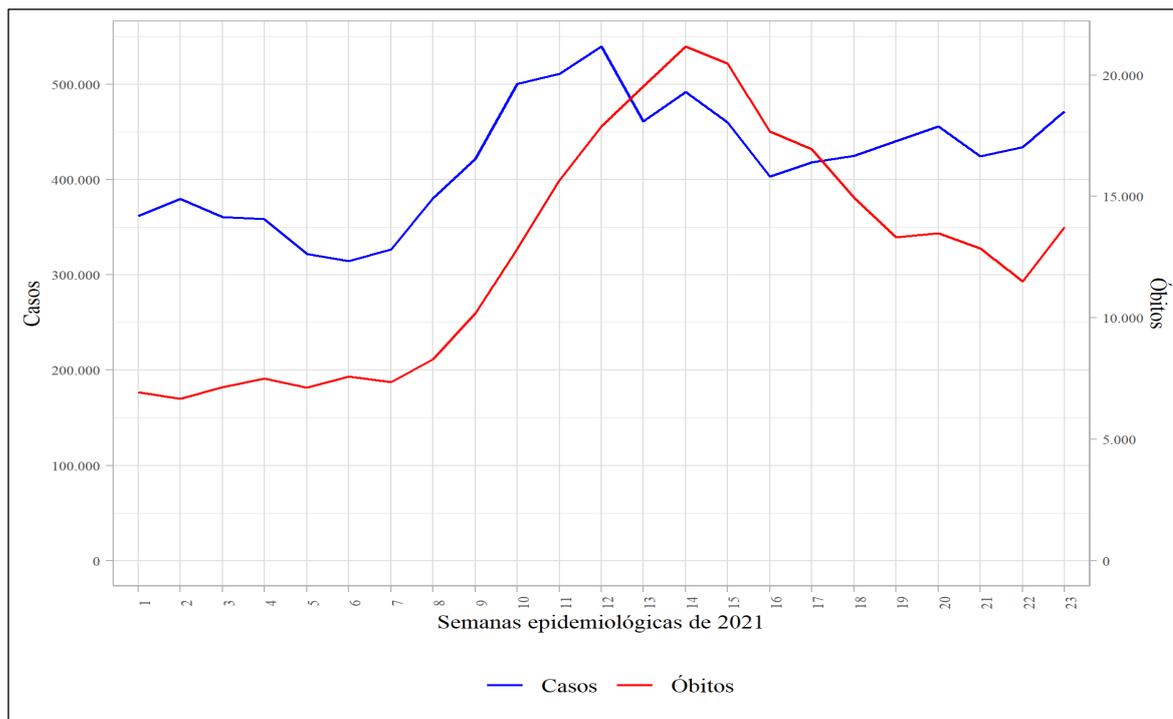
Figura 2 - Casos e óbitos notificados no Brasil durante as semanas epidemiológicas de 2020.



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

Durante as primeiras semanas de 2021 o Brasil apresentou elevados números de casos e óbitos notificados quando comparados ao ano anterior, com uma tendência de crescimento de ambos a partir da SE 7 (14 a 20 de fevereiro). Na semana 12 (21 a 27 de março) o país atingiu ao terceiro pico de transmissão e duas semanas depois o país apresentou um pico no número de óbitos seguido de queda. Os picos de casos de COVID-19 foram identificados nas semanas epidemiológicas 30 e 51 de 2020 e na semana 12 de 2021. Na semana 34 de 2020 (16 a 22 de agosto) foi identificado o fim do platô da curva de mortalidade devido a doença e na SE 14 de 2021 (04 a 10 de abril) foi identificado um pico de mortalidade. Essas SE's somadas a SE 23 de 2021 (06 a 12 de junho), semana final do estudo, foram selecionadas para análise exploratória e para varredura espaço-temporal, explanadas a seguir.

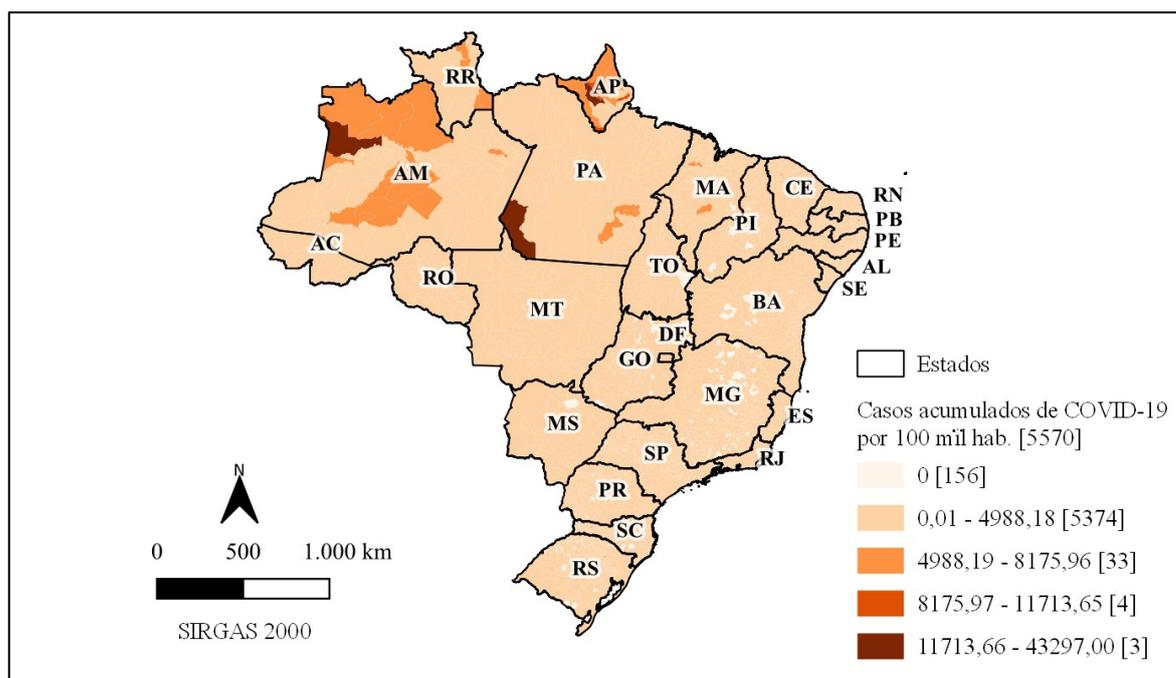
Figura 3 - Casos e óbitos notificados no Brasil durante as semanas epidemiológicas de 2021.



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

A figura 4 apresenta o mapa de casos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes nos municípios do Brasil desde a semana epidemiológica 09 até a SE 30 de 2020 (23 de fevereiro a 25 de julho), quando foi identificado o primeiro pico de transmissão. Neste momento, 97,2% dos municípios brasileiros já haviam notificado ao menos um caso de COVID-19. Deste total, quatro municípios apresentaram entre 8.175,97 e 11.713,65 casos por 100 habitantes: Cutias, Vitória do Jari e Serra do Navio, localizados no Amapá e Nova Araçá, localizado no Rio Grande do Sul. Três municípios foram responsáveis pelo maior acúmulo de casos por 100 mil habitantes no período com valores entre 11.713,66 e 43.297,00, sendo eles Pedra Branca do Amapari, no Amapá, Japurá, localizado no Amazonas e Jacareacanga, no Pará. Destaca-se que dos sete municípios com o maior acúmulo de casos por 100 mil habitantes na SE 30 de 2020, seis eram pertencentes a região Norte, sendo que quatro destes se localizavam no Amapá.

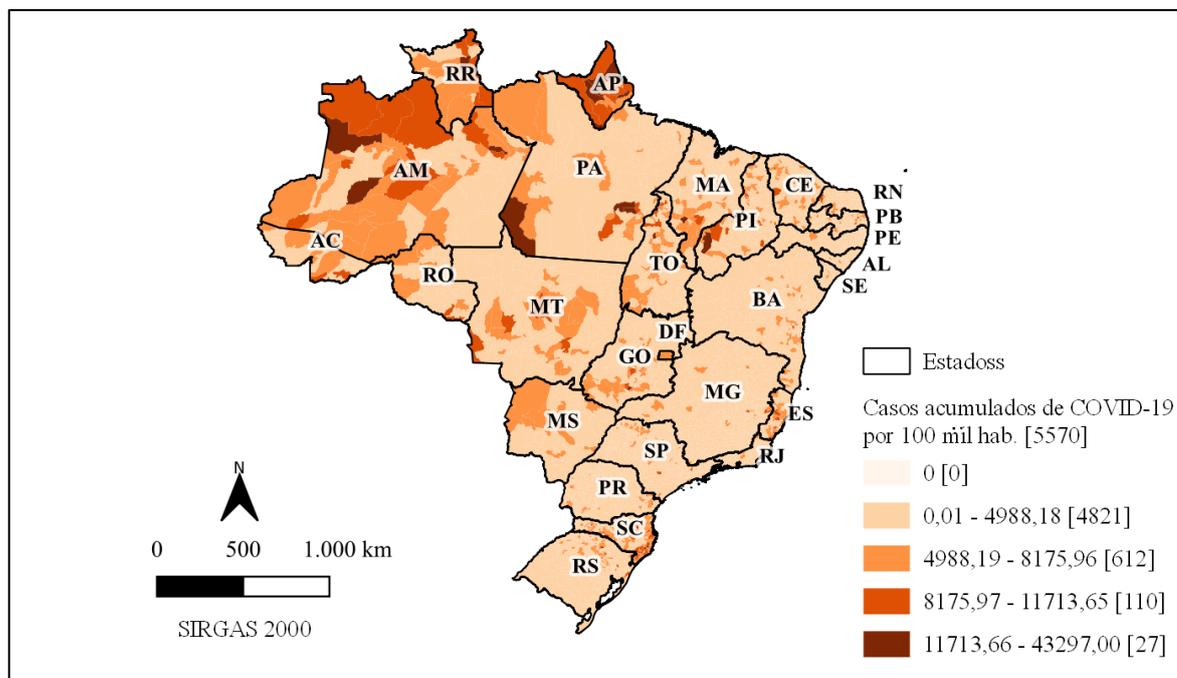
Figura 4 - Casos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes da SE 09 até a SE 30 de 2020 (23 de fevereiro a 25 de julho)



Fonte de dados: Brasil.io e IBGE. Elaborado pelo autor (2021)

O mapa casos de COVID-19 acumulados por 100 mil habitantes nos municípios brasileiros da semana epidemiológica 09 até a SE 51 de 2020 (23 de fevereiro a 19 de dezembro) é representado na figura 5. Observa-se que até a semana 51 de 2020 todos os municípios do Brasil já haviam notificado ao menos um caso de COVID-19. Dentre os 27 municípios com casos acumulados no último estrato (entre 11.713,66 e 43.297,00), treze se localizam na região norte e oito na região sul. Os municípios com os maiores acumulados de casos por 100 mil habitantes foram Japurá (26.299,42), no Amazonas; Jacareacanga (22.845,85), no Pará; Porteirão (22.716,86) em Goiânia; e Vitória do Jari (19.201,43), no Amapá. Ressalta-se que todos os municípios do Amapá e a maioria dos municípios costeiros de Santa Catarina apresentaram mais de 4.989,19 casos por 100 mil habitantes.

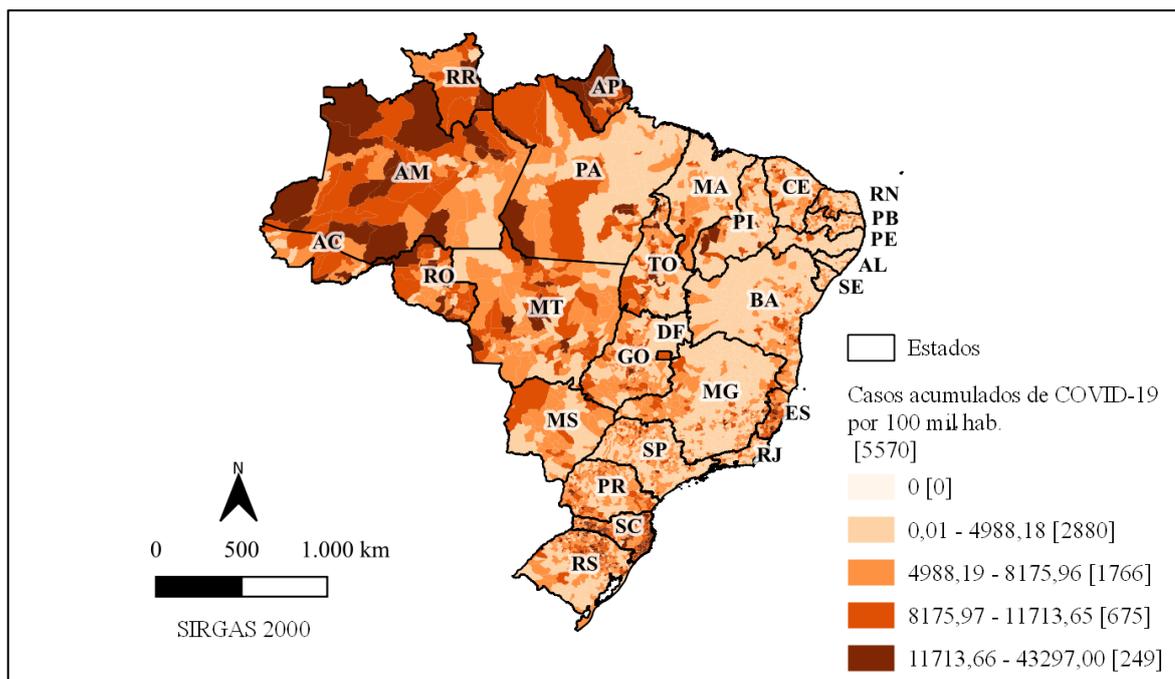
Figura 5 - Casos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes da SE 09 até a SE 51 de 2020 (23 de fevereiro a 19 de dezembro)



Fonte de dados: Brasil.io e IBGE. Elaborado pelo autor (2021)

Na figura 6 é apresentado o mapa com os casos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes nos municípios do Brasil desde a semana epidemiológica 09 de 2020 até a SE 12 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 27 de março de 2021). Observa-se que da SE 51 de 2020 (figura 5) para a SE 12 de 2021 houve um aumento de casos de COVID-19 por 100 mil habitantes principalmente nos municípios da região norte, centro-oeste e sul. Neste momento, 48,29% dos municípios brasileiros tinham mais de 4.988,19 casos por 100 mil habitantes e 249 municípios já acumulavam mais de 11.713,66 casos por 100 mil habitantes. Os maiores acumulados de casos por 100 mil habitantes foram observados nos municípios de Japurá (34.429,14) e Itapiranga (31.191,76) no Amazonas; Porteirão (30.195,88), em Goiás; Presidente Castello Branco (26.696,83) em Santa Catarina; e Jacareacanga (26.113,3), no Pará.

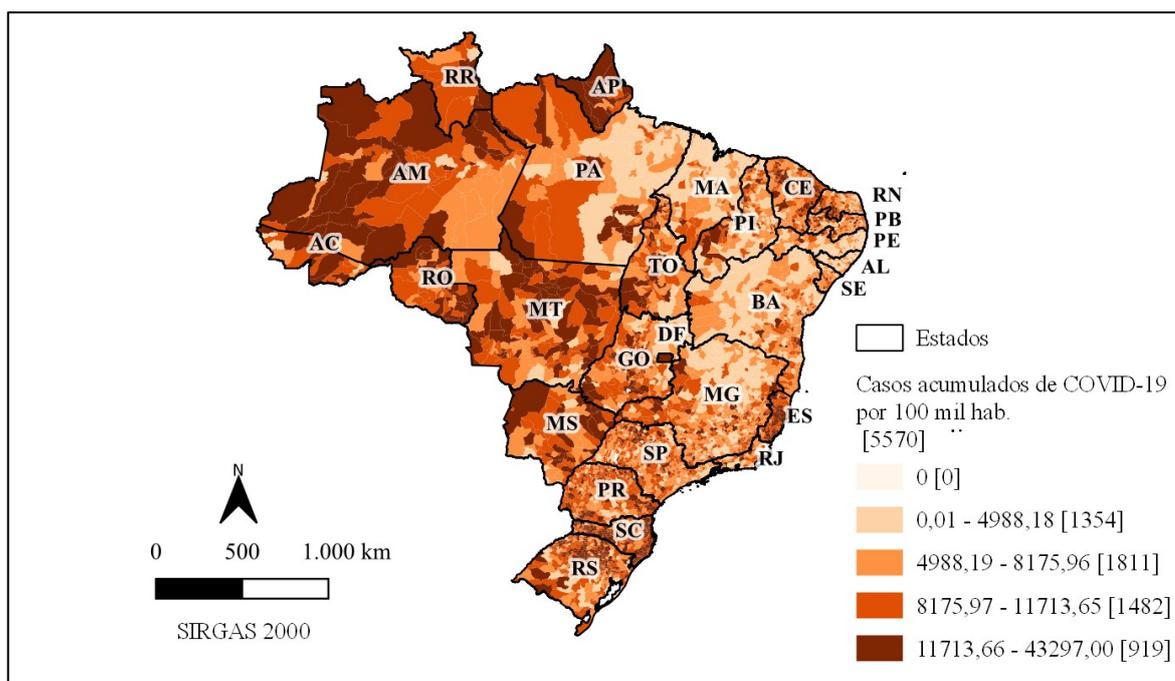
Figura 6 - Casos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes da SE 09 de 2020 até a SE 12 de 2021(23 de fevereiro de 2020 a 27 de março de 2021)



Fonte de dados: Brasil.io e IBGE. Elaborado pelo autor (2021)

A figura 7 apresenta os casos de COVID-19 acumulados por 100 mil habitantes da semana epidemiológica 09 de 2020 até a SE 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021), a última semana do presente estudo. Nota-se um aumento de casos por 100 mil habitantes nos municípios da semana 12 de 2021 (figura 6) até a semana 23 de 2021(figura 7). Neste período, 75,7% dos municípios brasileiros apresentaram mais de 4.988,19 casos por 100 mil habitantes e 919 municípios já acumulavam mais de 11.713,66 casos por 100 mil habitantes. Desde a confirmação do primeiro caso de COVID-19 até a SE 23 de 2020, os municípios que apresentaram os maiores acumulados de casos por 100 mil habitantes foram: Porteirão (43.296,87), em Goiás; Japurá (39.182,58) e Itapiranga (33.044,42) no Amazonas e Santa Cecília do Sul (31.395,34) no Rio Grande do Sul.

Figura 7 - Casos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes da SE 09 de 2020 até a SE 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)

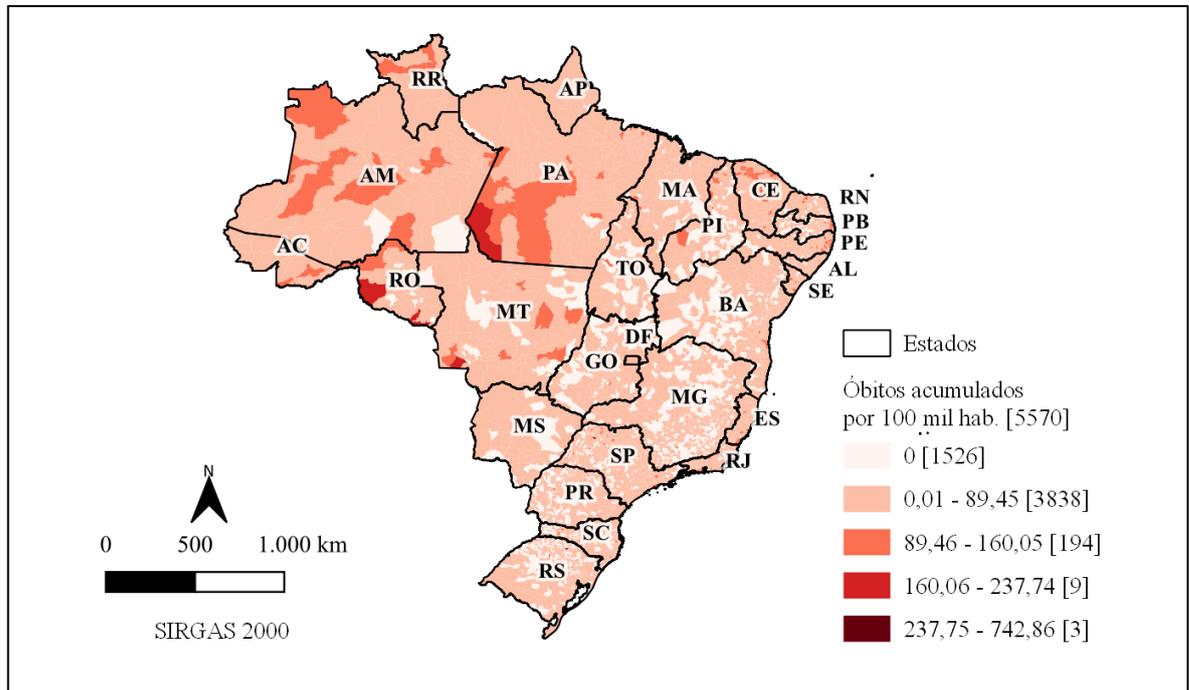


Fonte de dados: Brasil.io e IBGE. Elaborado pelo autor (2021)

A figura 8 apresenta o mapa com o acumulado de óbitos de COVID-19 por 100 mil habitantes da semana epidemiológica 09 até a semana 34 de 2020 (23 de fevereiro a 22 de agosto), que representou o fim do extenso platô de óbitos notificados. Até a SE 34, 1.526 municípios ainda não haviam notificado mortes devido a COVID-19 e 12 municípios já contabilizavam mais de 160 óbitos por 100 mil habitantes. Dentre estes, os com maiores números foram Charrua (276,75), localizado no Rio Grande do Sul, Anhanquera (258,62) em Goiás e Gastão Vidigal (246,91), em São Paulo.

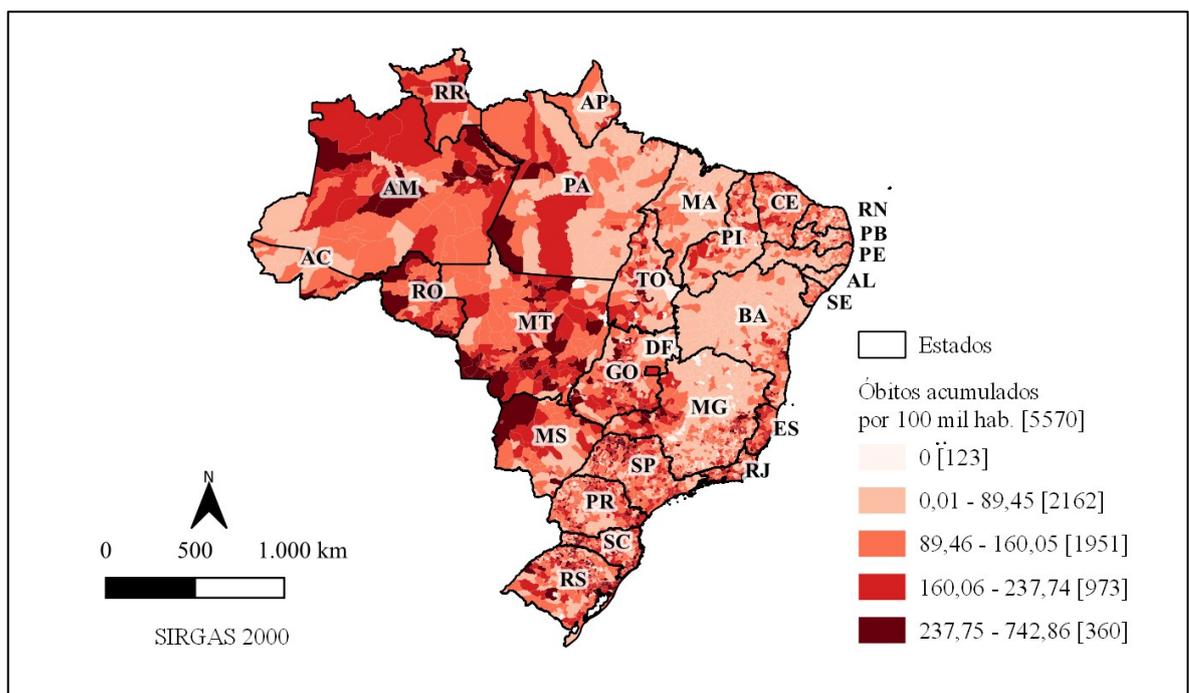
O mapa com o acumulado de óbitos por COVID-19 por 100 mil habitantes da SE 09 de 2020 até a SE 14 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 10 de abril de 2021) é representado na figura 9. Observa-se um aumento no número de municípios com mais de 89,46 óbitos por 100 mil habitantes, totalizando 58,96% dos municípios brasileiros. Destes, os que apresentaram maior quantidade de mortes acumuladas devido ao novo coronavírus foram Pimenteiras do Oeste (651,77), em Rondônia; Marema (628,57); Itaúba (539,95); e Parisi (645,45), Meridiano (523,01) e Santa Clara d'Oeste (520,58), localizados em São Paulo.

Figura 8 - Óbitos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes da SE 09 até a SE 34 de 2020 (23 de fevereiro a 22 de agosto)



Fonte de dados: Brasil.io e IBGE. Elaborado pelo autor (2021)

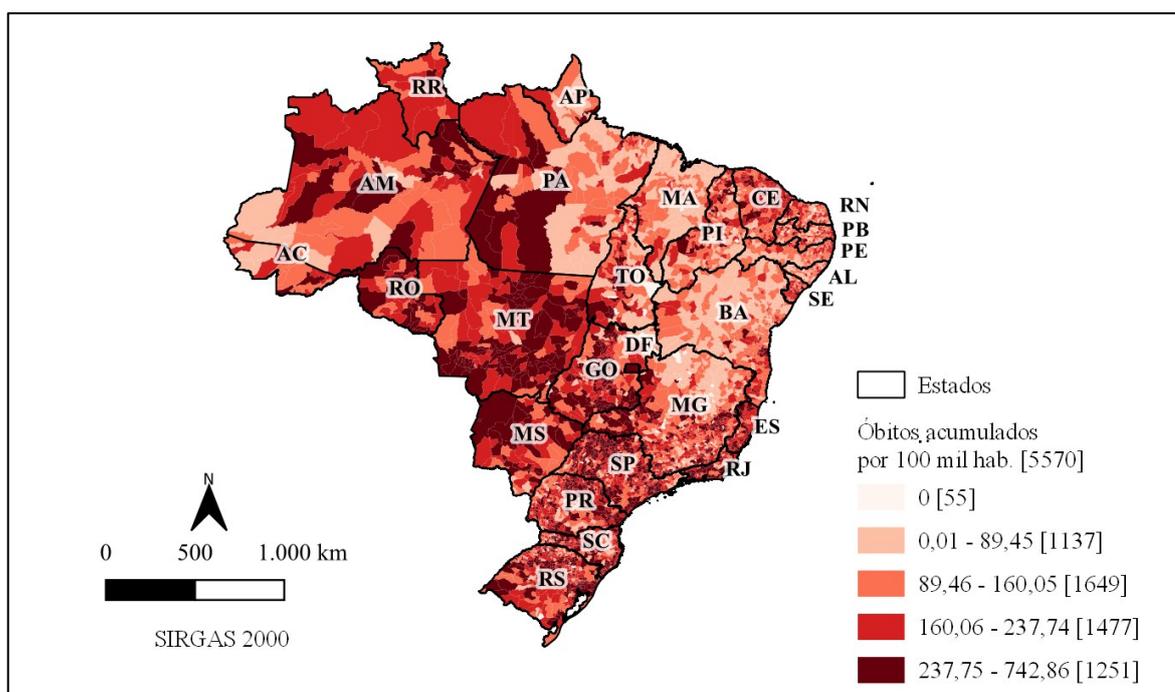
Figura 9 - Óbitos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes da SE 09 de 2020 até a SE 14 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 10 de abril de 2021)



Fonte de dados: Brasil.io e IBGE. Elaborado pelo autor (2021)

A figura 10 apresenta o mapa com os óbitos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes da semana epidemiológica 09 de 2020 até a semana 23 de 2020 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021), a semana final do período de estudo. Nota-se um aumento no número de municípios com mais de 160,06 óbitos por 100 mil habitantes. Os municípios com mais óbitos acumulados por 100 mil habitantes foram Marema (742,8), em Santa Catarina; Pimenteiras do Oeste (698,32); Parisi (691,56), Meridiano (679,91) e Bálamo (634,64), localizados em São Paulo.

Figura 10 - Óbitos acumulados de COVID-19 por 100 mil habitantes da SE 09 de 2020 até a SE 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)



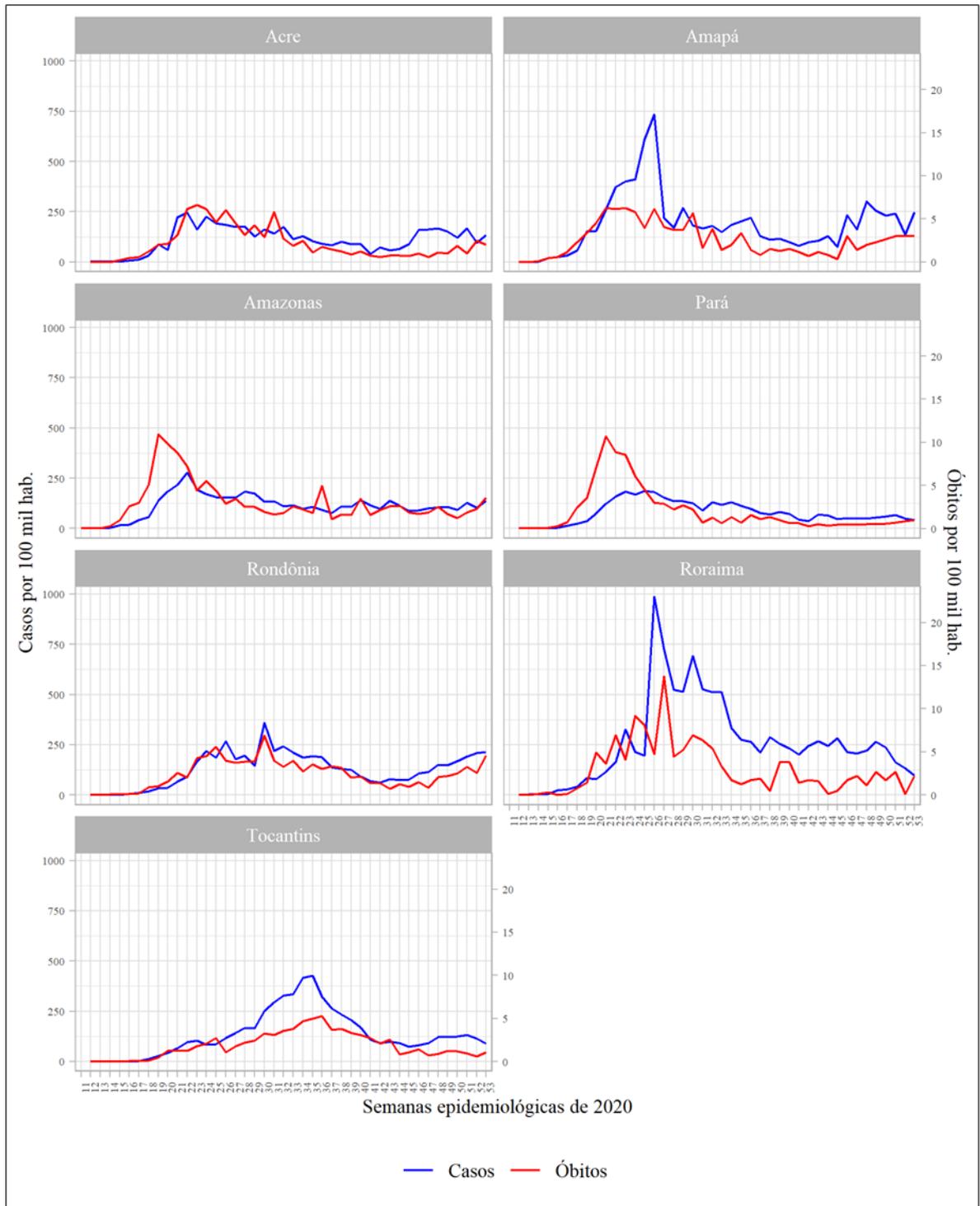
Fonte de dados: Brasil.io e IBGE. Elaborado pelo autor (2021)

As figuras 11 e 12 apresentam os gráficos com os casos e óbitos por 100 mil habitantes notificados durante as semanas epidemiológicas de 2020 e 2021, respectivamente. O primeiro caso de COVID-19 na região Norte foi notificado na semana epidemiológica 11 de 2020 (08 a 14 de março) e a primeira morte foi notificada duas semanas depois. Os estados do Acre, Amazonas e Rondônia exibiram padrões de distribuição de casos semelhantes durante o ano de 2020 com valores inferiores a 325 casos por 100 mil habitantes. Os maiores valores de casos por 100 mil habitantes foram observados em Roraima (966,28) e Amapá (734,18) na semana epidemiológica 26 (21 a 27 de junho) e na semana seguinte Roraima

notificou 13,78 óbitos por 100 mil habitantes, o maior valor da região norte durante o ano de 2020.

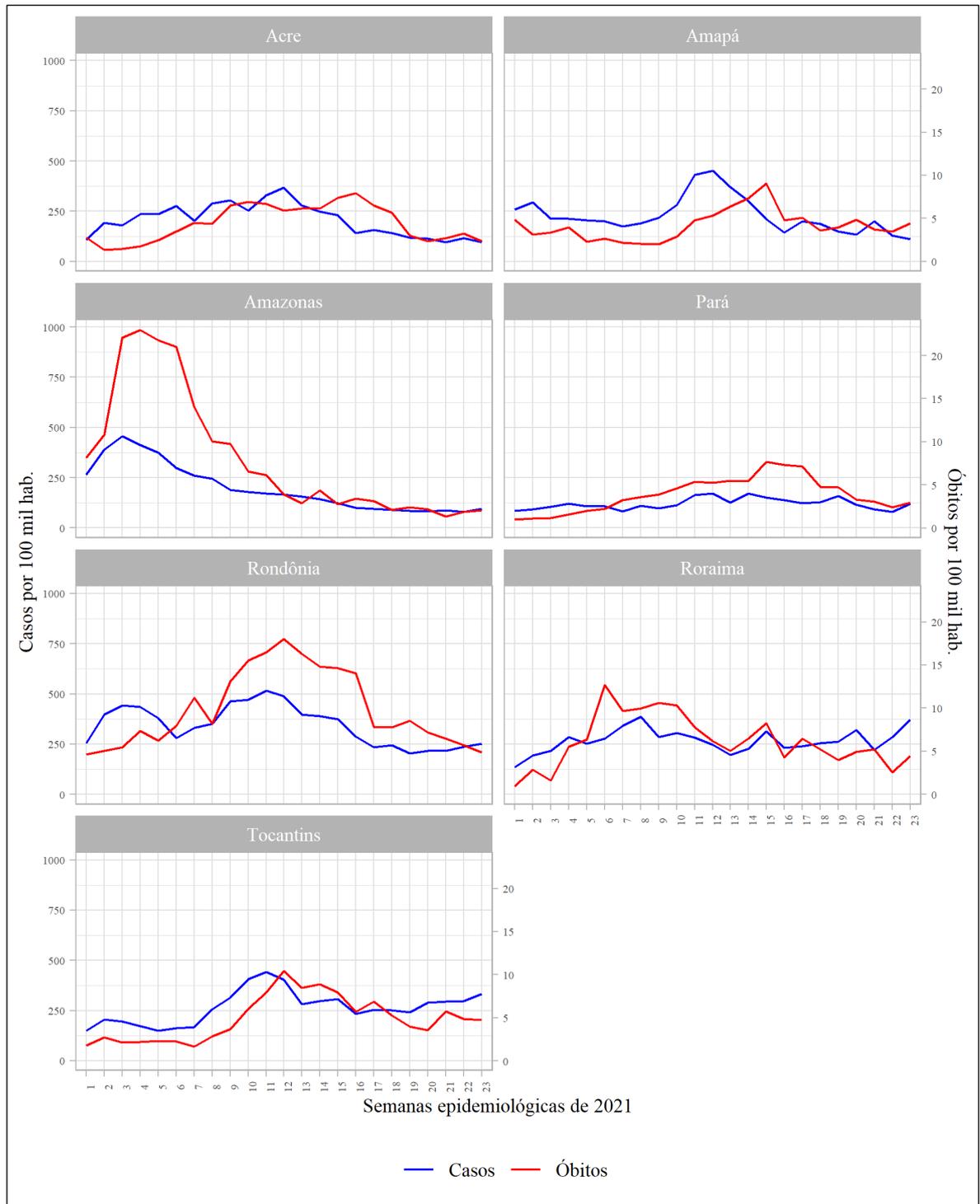
No ano de 2021 os estados da região Norte exibiram padrões mais distintos entre si, quando comparados ao ano anterior. O estado do Amazonas apresentou um aumento no número de casos até a semana 3 (17 a 23 de janeiro) e de óbitos até a semana 4 (24 a 30 de janeiro), seguido de uma expressiva queda em ambos. O Amazonas também apresentou o maior número de óbitos por 100 mil habitantes da região Norte durante todo o período de estudo e chegou ao seu valor máximo de 22,98 óbitos por 100 mil habitantes na SE 4 (24 a 30 de janeiro), seguido de Rondônia (16,47) na semana 12 (21 a 27 de março). As curvas de casos e óbitos do estado do Tocantins apresentaram distribuições similares entre si. O estado exibiu um pico de casos na semana epidemiológica 11 e de óbitos na semana seguinte, seguidos de queda.

Figura 11 - Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região norte do Brasil durante o ano de 2020.



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

Figura 12- Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região norte do Brasil durante o ano de 2021.



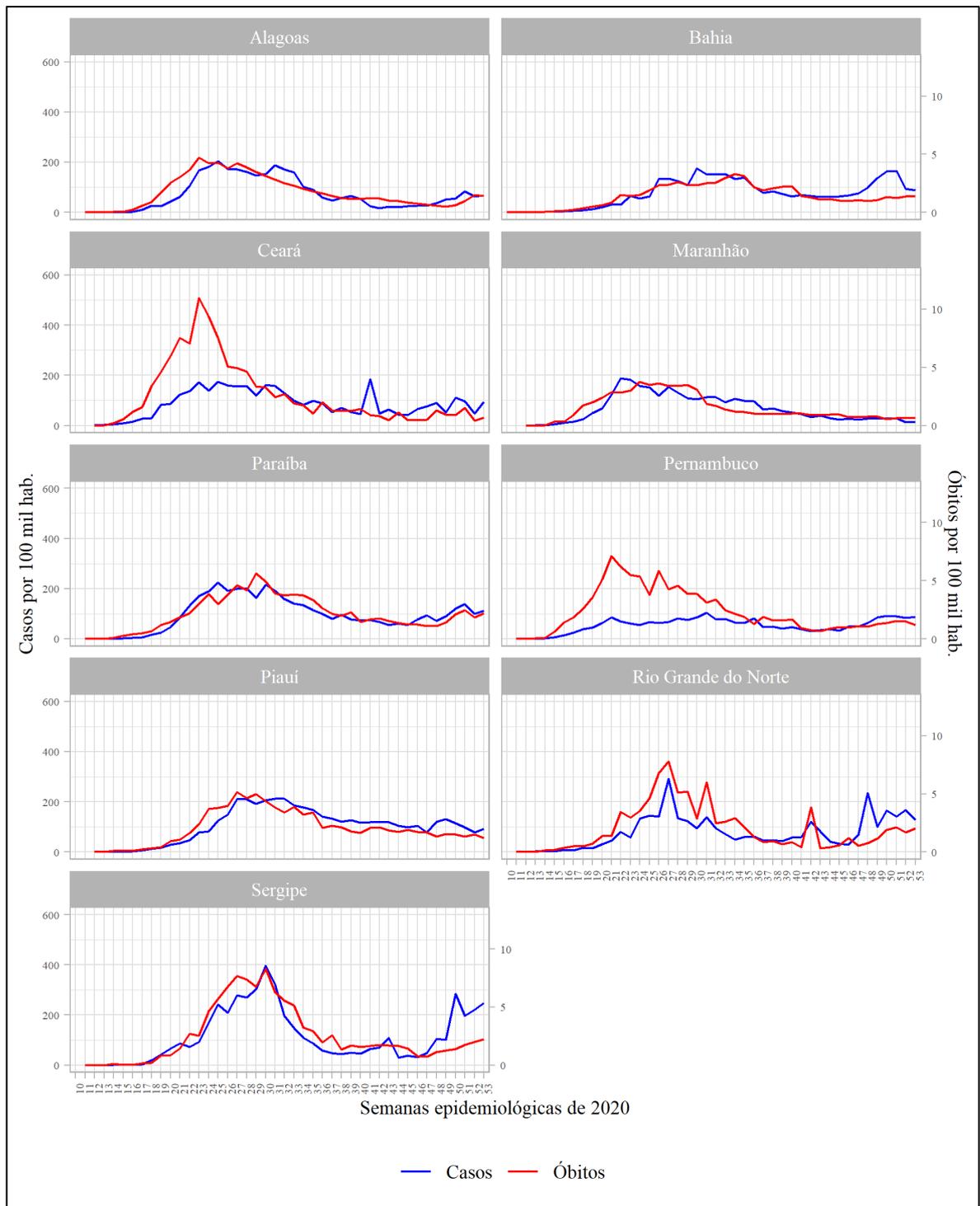
Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

As distribuições de casos e óbitos por 100 mil habitantes nos estados da região Nordeste durante as semanas epidemiológicas de 2020 e 2021 são apresentadas nas figuras 13 e 14, respectivamente. O primeiro caso na região foi notificado na semana epidemiológica

10 de 2020 (01 a 07 de março) e o primeiro óbito na SE 13 de 2020 (22 a 28 de março). Durante o ano de 2020 os estados de Alagoas, Bahia, Maranhão e Paraíba exibiram padrões semelhantes nas curvas de casos e óbitos. Na SE 30 (19 a 25 de julho) o Sergipe notificou 396,41 casos novos por 100 mil habitantes, o maior número da região Nordeste no ano de 2020, seguido pelo Rio Grande do Norte, que registrou 292,68 casos por 100 mil habitantes na SE 27 (28 de junho a 04 de julho). Esses dois estados somados ao Ceará também apresentaram os maiores valores de óbitos novos por 100 mil habitantes. O Ceará registrou 10,98 e 9,40 óbitos por 100 mil habitantes nas semanas epidemiológicas 23 (31 de maio a 06 de junho) e 24 (07 a 13 de junho), o Sergipe registrou 8,28 e o Rio Grande do Norte registrou 7,81 óbitos por 100 mil habitantes nas SE's 30 (19 a 25 de julho) e 27 (28 de junho a 04 de julho) de 2020, respectivamente.

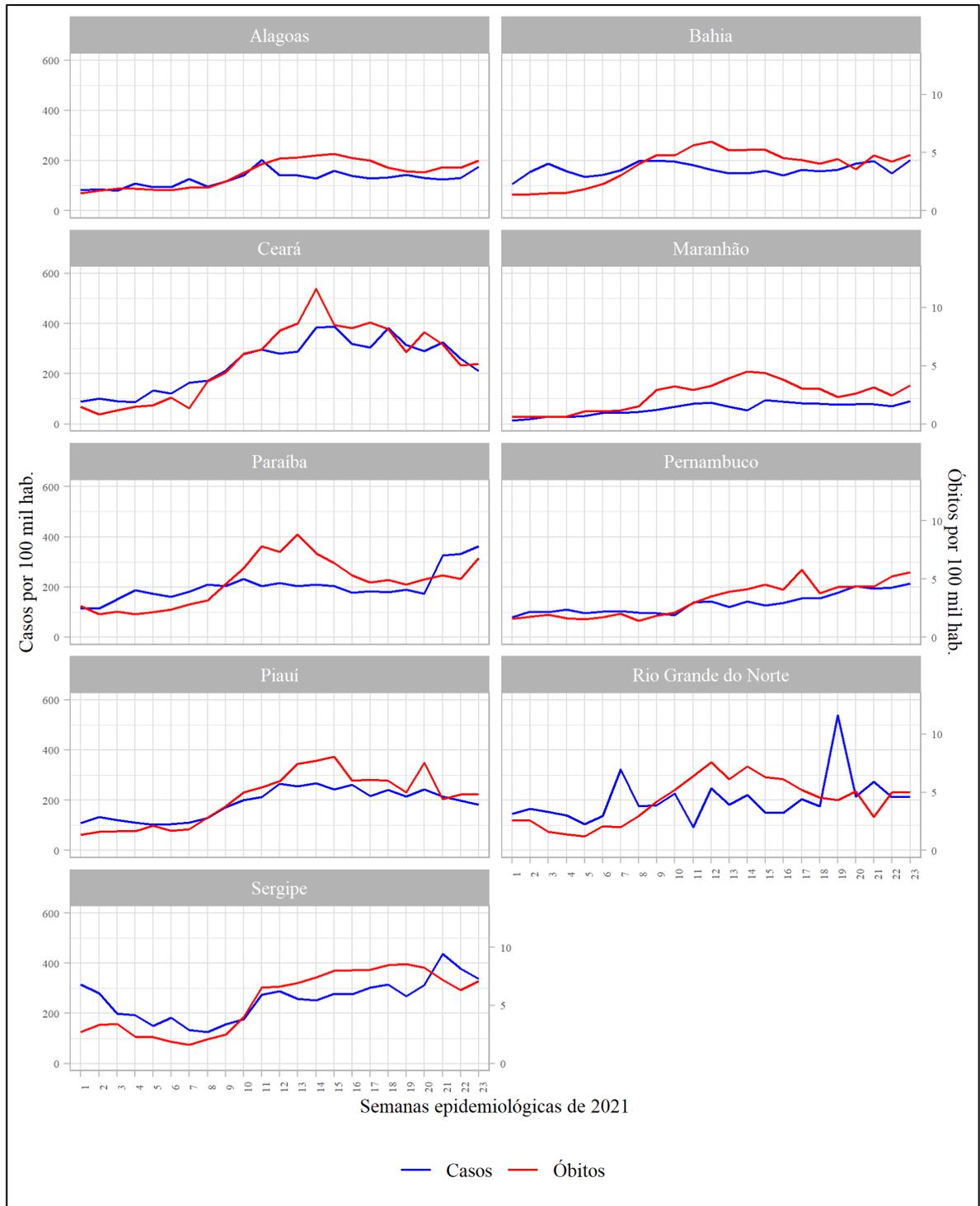
Nas primeiras cinco semanas de 2021 os estados do Sergipe e Rio Grande do Norte foram os únicos da região Nordeste que aparentaram queda nas curvas de casos e óbitos confirmados. Embora isto tenha isso observado, estes estados foram os que apresentaram mais casos por 100 mil habitantes na região. O Rio Grande do Norte notificou 538,68 casos novos por 100 mil habitantes na SE 19 e o Sergipe 437,42 casos novos por 100 mil habitantes na SE 21 de 2021. O estado do Maranhão exibiu as menores amplitudes nas curvas de casos e óbitos e apresentou menos de 95,6 casos e 4,5 óbitos por 100 mil habitantes durante as SE's de 2021. A partir da semana epidemiológica 7 (14 a 20 de fevereiro), os estados do Ceará, Paraíba, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe apresentaram um aumento expressivo nas notificações de óbitos por COVID-19. O Ceará apresentou um pico de óbitos na SE 14 (04 a 10 de abril), notificando 11,6 óbitos por 100 mil habitantes, o maior número da região Nordeste, seguido da Paraíba, que notificou 8,83 óbitos por 100 mil habitantes, na SE 13 (28 de março a 03 de abril).

Figura 13 - Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região nordeste do Brasil durante o ano de 2020.



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

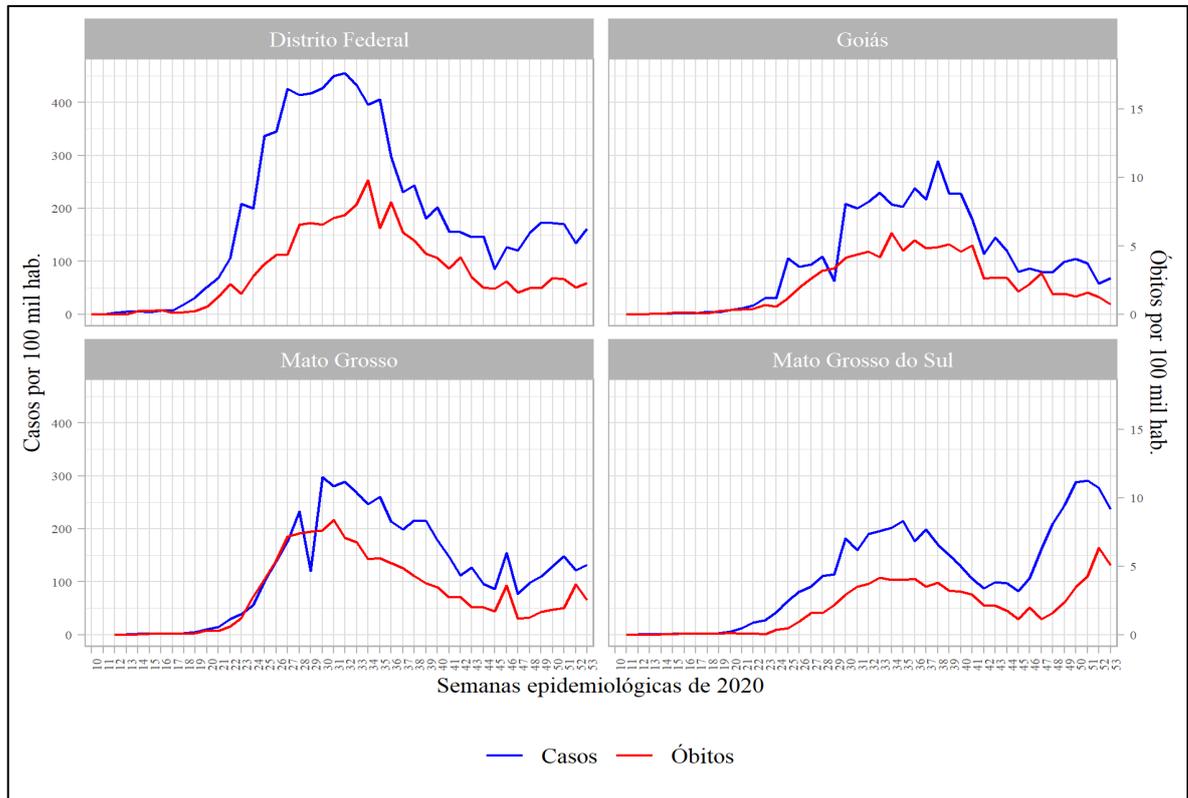
Figura 14 - Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região nordeste do Brasil durante o ano de 2021.



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

A figura 15 apresenta os casos e óbitos por 100 mil habitantes notificados nos estados do Centro-Oeste durante as semanas epidemiológicas de 2020 e a figura 16 apresenta o mesmo para as SE's de 2021. O primeiro caso de COVID-19 no Centro-Oeste foi notificado na semana 10 de 2020 (01 a 07 de março) no Distrito Federal e os primeiros óbitos na região foram notificados na semana 13 (22 a 28 de março). O Distrito Federal apresentou um grande aumento de casos novos a partir da SE 17 (14 a 25 de abril) e da semana 25 (14 a 20 de junho) a 35 (23 a 29 de agosto) ele notificou a maior quantidade de casos novos por 100 mil habitantes da região, com valores entre 336,44 e 455,03 casos por 100 mil habitantes. A partir da SE 20 (10 a 16 de maio), os outros estados do Centro-Oeste tiveram um aumento expressivo nos casos notificados e suas curvas apresentaram picos em SE's diferentes: Goiás na semana 38 (13 a 19 de setembro), com 288,81 casos por 100 mil habitantes, Mato Grosso na semana 30 (19 a 25 de julho), com 297,40 casos por 100 mil habitantes e Mato Grosso do Sul apresentou dois picos, um na semana 35 (23 a 29 de agosto) e outro na SE 51 (13 a 19 de dezembro), com 214,42 e 290,56 casos por 100 mil habitantes. Os estados do Centro-Oeste e o Distrito Federal apresentaram um aumento gradual na curva de óbitos, assim como na curva de casos. As UF's da região passaram a ter um aumento expressivo na curva de óbitos a partir da SE 20.

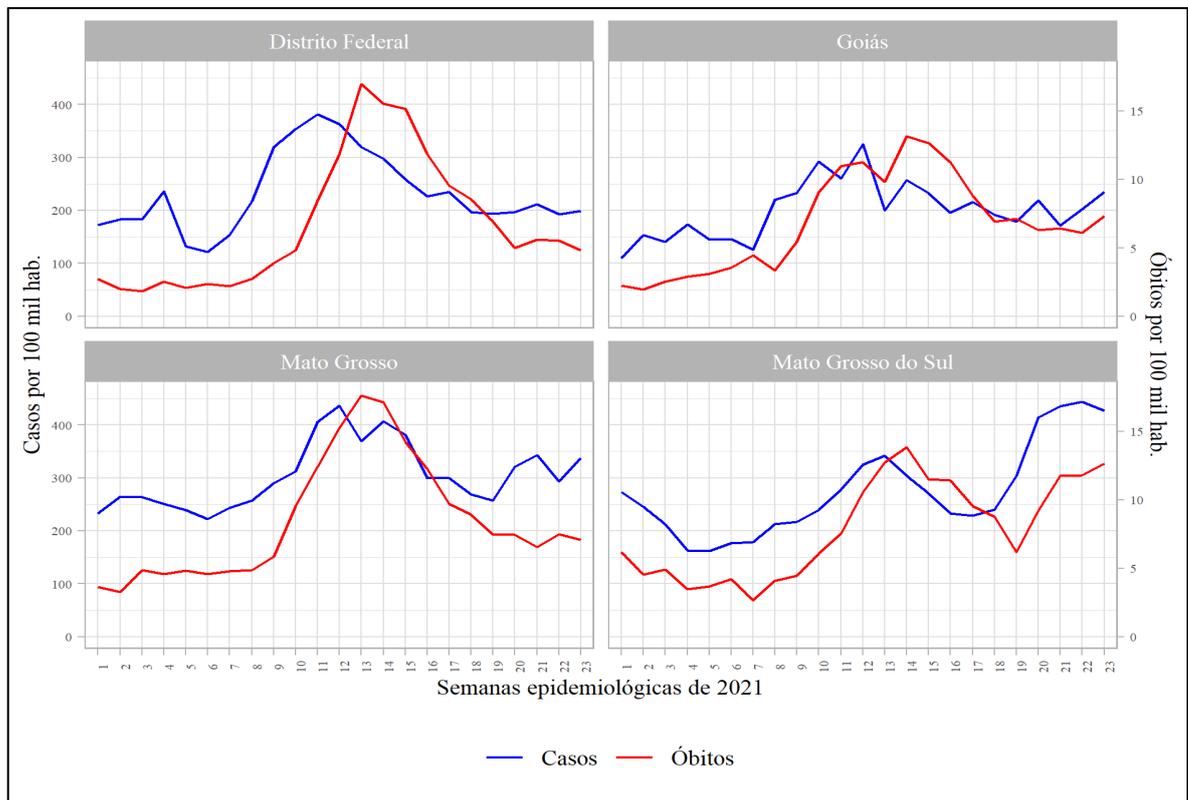
Figura 15 - Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região Centro-Oeste do Brasil durante o ano de 2020.



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

As UF's do Centro-Oeste apresentaram aumento no número de casos confirmados a partir da semana epidemiológica 4 de 2021 (24 a 30 de janeiro), para o Mato Grosso do Sul, e da SE 6 (07 a 13 de fevereiro), para Distrito Federal, Goiás e Mato Grosso. Este aumento também foi observado na curva de óbitos na SE 7 (14 a 20 de fevereiro), para o Distrito Federal e Mato Grosso do Sul, e na SE 8 (21 a 27 de fevereiro), para Goiás e Mato Grosso. O Distrito Federal apresentou um pico de casos na SE 11 (14 a 20 de março), registrando 381,03 casos por 100 mil habitantes e na semana seguinte o mesmo foi observado em Goiás e Mato Grosso que registraram 436,41 e 325,26 casos por 100 mil habitantes, respectivamente. Também foram observados picos de óbitos que coincidiram na SE 13 (28 de março a 03 de abril), para o Distrito Federal, com 16,95 e Mato Grosso, com 17,61 óbitos por 100 mil habitantes, e na SE 14 (04 a 10 de abril) para Goiás, com 13,16 e Mato Grosso do Sul, com 13,84 óbitos por 100 mil habitantes. Este último apresentou ainda um quarto pico de casos na SE 22 (30 de maio a 05 de junho), quando notificou 443,83 casos por 100 mil habitantes.

Figura 16 - Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região Centro-Oeste do Brasil durante o ano de 2021.



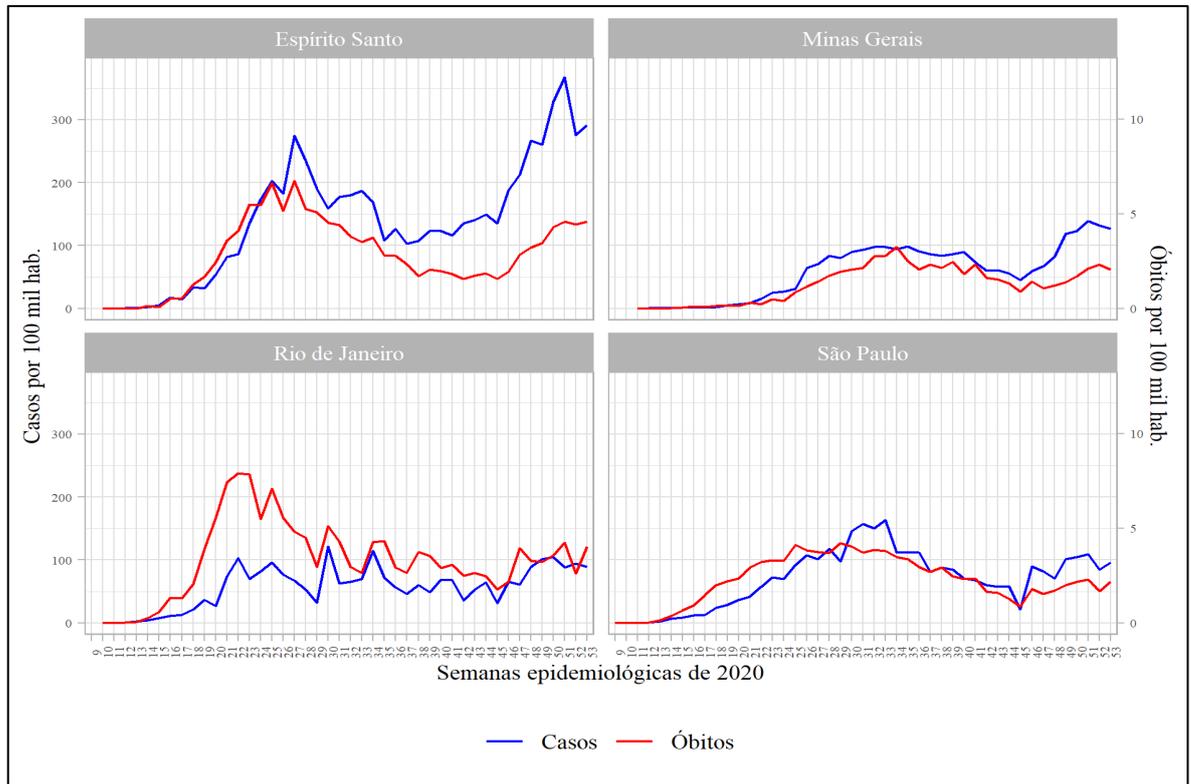
Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

A figura 17 e 18 apresentam os gráficos de casos e óbitos por 100 mil habitantes na região Sudeste durante as semanas epidemiológicas de 2020 e 2021, respectivamente. O primeiro caso de COVID-19 na região Sudeste, e no Brasil, foi notificado no estado de São Paulo na semana epidemiológica 9 de 2020 (23 a 29 de fevereiro) e os primeiros óbitos da região foram notificados na SE 12 (15 a 21 de março). O Espírito Santo teve um aumento constante de casos até a semana 27 (28 de junho a 04 de julho), quando o estado atingiu seu primeiro pico, com 274,90 casos por 100 mil habitantes, seguido de queda até SE 37 (06 a 12 de setembro) e de um segundo pico na SE 51 (13 a 19 de dezembro), com 367,38 casos por 100 mil habitantes. O estado de Minas Gerais apresentou um extenso platô de casos a partir da SE 26 (21 a 27 de junho) e que durou até a SE 45 (01 a 07 de novembro), seguido de um expressivo aumento e um pico na SE 51 (13 a 19 de dezembro), quando o estado notificou 139,21 casos por 100 mil habitantes. A curva de casos do estado do Rio de Janeiro apresentou muita variabilidade e a do estado de São Paulo teve um aumento gradual até a semana 33 (09 a 15 de agosto), quando o estado notificou 149,95 casos por 100 mil

habitantes, seguido de queda e um outro aumento a partir da SE 45 (01 a 07 de novembro). O Espírito Santo apresentou um pico de óbitos na SE 25 (14 a 20 de junho) e 27 (28 de junho a 04 de julho), onde o estado registrou 6,61 e 6,74 óbitos por 100 mil habitantes. O Rio de Janeiro apresentou elevados números de óbitos entre as semanas 21 (17 a 23 de maio) e 23 (31 de maio a 06 de junho), com valores entre 7,4 e 7,9 óbitos por 100 mil habitantes.

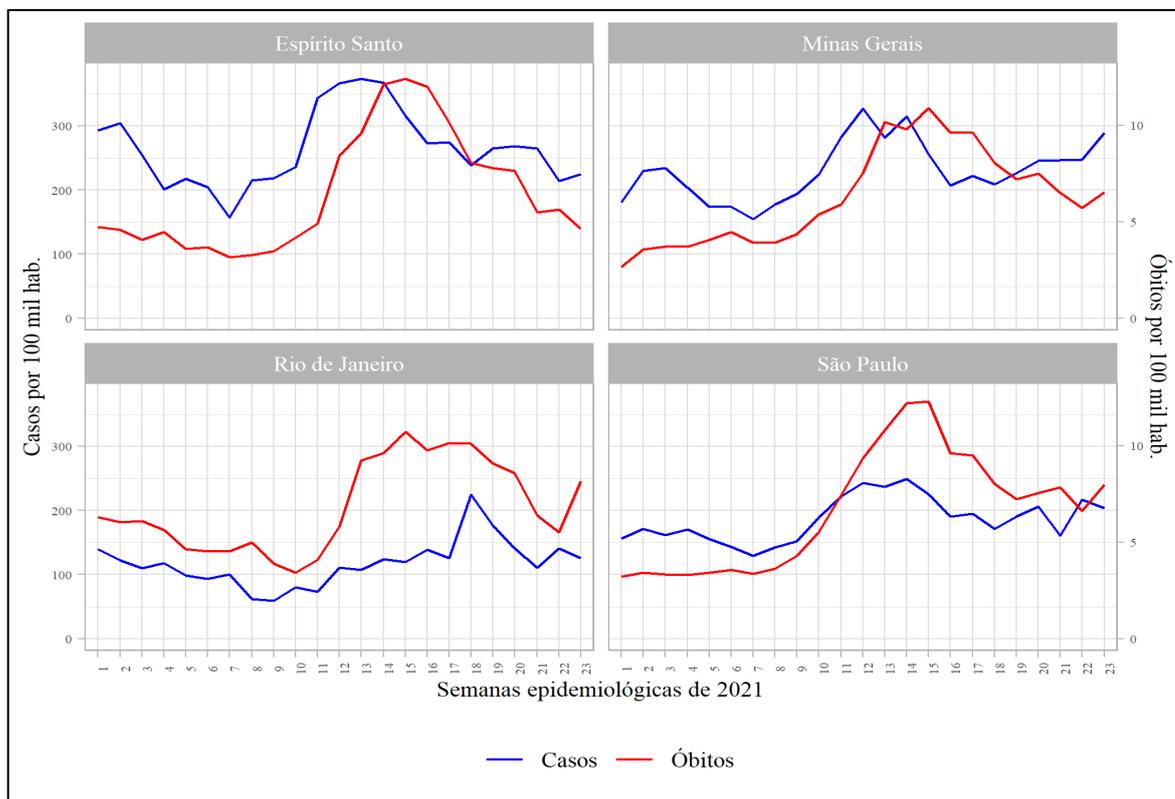
Durante as primeiras semanas de 2021 os estados da região Sudeste apresentaram tendência à queda na curva de casos de COVID-19. O estado de Minas Gerais exibiu um aumento de casos entre as semanas 1 (03 a 09 de janeiro) e 3 (17 a 23 de janeiro), mas logo apresentou uma queda nos casos como os outros estados da região. A partir da SE 7 (14 a 20 de fevereiro) o Espírito Santo, Minas Gerais e São Paulo apresentaram um aumento nos casos. O Espírito Santo atingiu ao pico de casos na semana 13 (28 de março a 03 de abril), quando o estado notificou 373,22 casos por 100 mil habitantes. Minas Gerais notificou um aumento de casos na SE 12 (21 a 27 de março), com 326,73, e na SE 14 (04 a 10 de abril), com 315,18 casos por 100 mil habitantes, seguido de queda nas semanas seguinte e de um novo aumento a partir da SE 18 (02 a 08 de maio). A curva de óbitos do Espírito se comportou de forma similar a curva de casos do próprio estado no ano de 2021 e com um pico de óbitos duas semanas depois do estado ter apresentado um pico de casos. A partir da SE 10 de 2021 (07 a 13 de março) os estados da região Sudeste apresentaram um aumento expressivo na curva de óbitos. A curva de óbitos do Espírito Santo e Minas Gerais se comportaram de maneira semelhante as curvas de casos dos próprios estados e, após o aumento na notificação de casos, os estados também apresentaram um aumento na notificação de óbitos. O Rio de Janeiro apresentou um extenso platô de óbitos entre as semanas 13 (28 de março a 03 de abril) e 20 (16 a 22 de maio), notificando entre 8,56 e 10,73 óbitos por 100 mil habitantes. Já o estado de São Paulo apresentou um grande aumento de óbitos a partir da SE 8 (21 a 27 de fevereiro), chegando a um pico de óbitos na SE 15 (11 a 17 de abril), com 12,29 óbitos por 100 mil habitantes.

Figura 17 - Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região Sudeste do Brasil durante o ano de 2020.



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

Figura 18 - Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região Sudeste do Brasil durante o ano de 2021.

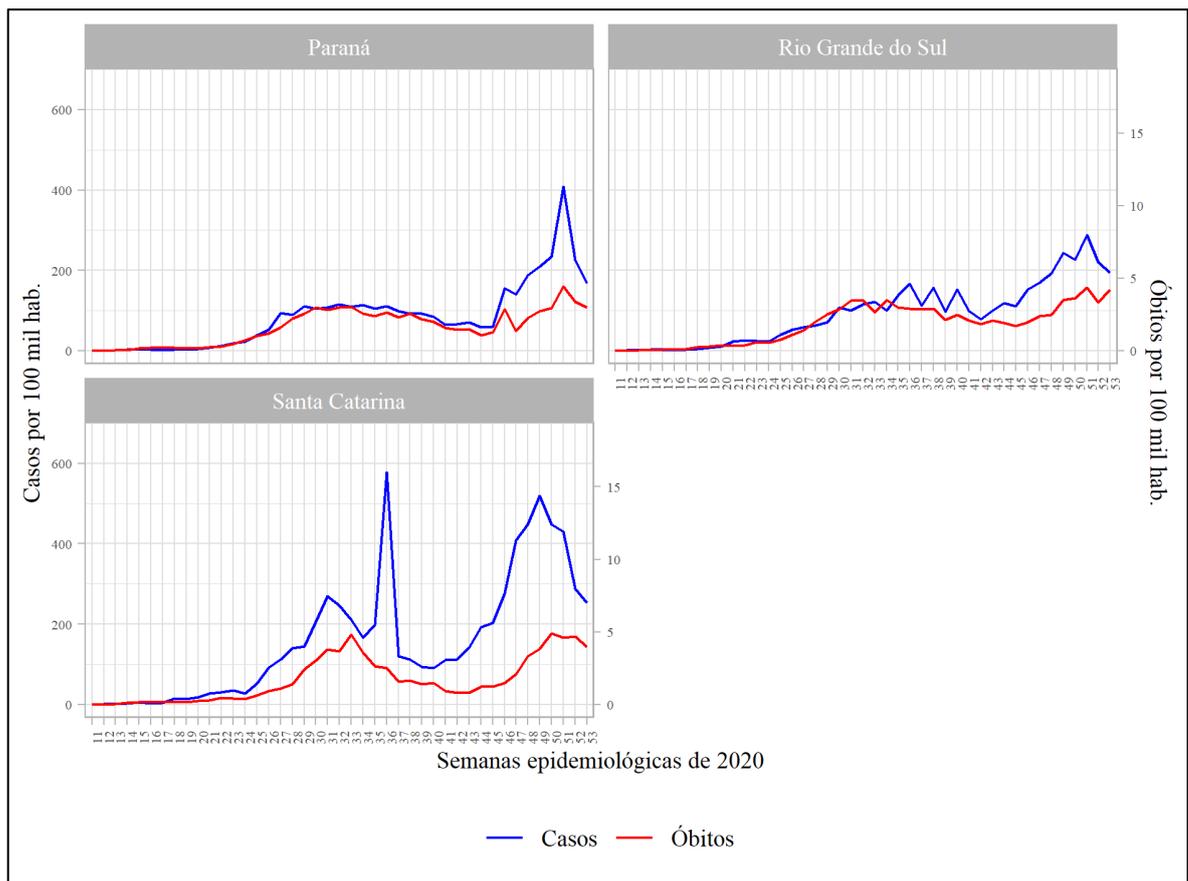


Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

A figura 19 apresenta os gráficos com as curvas de casos e óbitos de COVID-19 por 100 mil habitantes na região Sul durante as semanas epidemiológicas de 2020 e a figura 20 apresenta o mesmo para as semanas de 2021. A partir da semana epidemiológica 11 de 2020 (08 a 14 de março) os estados do Sul passaram a notificar casos do novo coronavírus e duas semanas depois também foram notificados os primeiros óbitos na região. Os casos no Sul tiveram evolução lenta até a semana 23 (31 de maio a 06 de junho). O Paraná apresentou um platô de casos da semana 26 (21 a 27 de junho) a 45 (01 a 07 de novembro), com valores entre 52,1 e 155,47 casos por 100 mil habitantes, e em seguida um grande aumento de casos nas semanas seguintes até atingir ao pico na SE 51, quando o estado notificou 408,53 casos por 100 mil habitantes. O Rio Grande do Sul apresentou também um platô de casos entre as SE's 29 a 42, com um expressivo aumento em seguida até atingir 288 casos por 100 mil habitantes na SE 51 (13 a 19 de dezembro). O estado de Santa Catarina apresentou três picos de casos: um na SE 31, com 270,1 casos por 100 mil habitantes, outro na SE 36 (30 de agosto a 05 de setembro), com 578,51, e outro na SE 49 (29 de novembro a 05 de dezembro), com 519,16 casos por 100 mil habitantes. As curvas de óbitos do Paraná e Rio Grande do Sul

apresentaram platôs da SE 26 (21 a 27 de junho) até a SE 44 (25 a 31 de outubro), no Paraná, e da SE 25 (14 a 20 de junho) a 45 (01 a 07 de novembro), no Rio Grande do Sul. Ambos os estados apresentaram um aumento expressivo no número de óbitos a partir da SE 45 (01 a 07 de novembro). Santa Catarina apresentou um pico de óbitos nas SE's 33 (09 a 15 de agosto) e 50 (06 a 12 de dezembro), com 4,8 óbitos por 100 mil habitantes em ambos.

Figura 19 - Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região Sul do Brasil durante o ano de 2020.

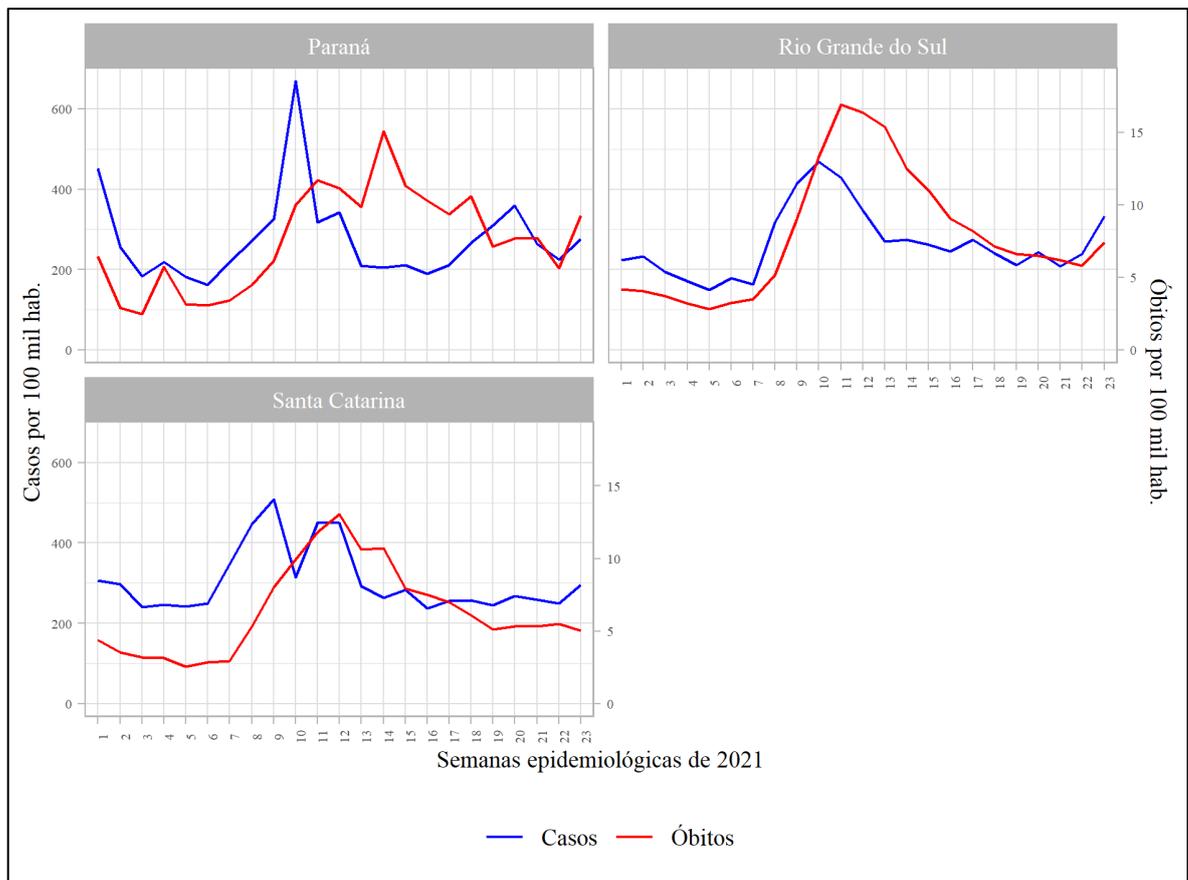


Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

Durante as primeiras semanas epidemiológicas de 2021, o Paraná exibiu queda na curva de casos até a semana 6 (07 a 13 de fevereiro). Em seguida, a curva apresentou um aumento, chegando ao pico na SE 10 (07 a 13 de março), quando o estado notificou 668,70 casos por 100 mil habitantes, seguido de queda e de um novo aumento até a semana 20 (16 a 22 de maio), com 358,66 casos por 100 mil habitantes. Observou-se um aumento de casos no Rio Grande do Sul a partir da SE 7 (14 a 20 de fevereiro) e da SE 6 (07 a 13 de fevereiro) em Santa Catarina. O Rio Grande do Sul atingiu a um pico de casos na SE 10 (07 a 13 de

março), com 469,1 casos por 100 mil habitantes, seguido de queda e de um novo aumento a partir da SE 21 (23 a 29 de maio). Santa Catarina apresentou um pico de casos na SE 9 (28 de fevereiro a 06 de março), com 509,46 casos por 100 mil habitantes, seguido de queda e um novo aumento nas SE's 11 (14 a 20 de março) e 12 (21 a 27 de março) de 2021. A curva de óbitos do Paraná apresentou muita variabilidade e o estado apresentou um aumento nos óbitos notificados a partir da SE 7 (14 a 20 de fevereiro). As curvas de óbitos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina apresentaram padrões semelhantes às curvas de casos dos próprios estados. O Rio Grande do Sul apresentou um pico de óbitos na semana seguinte ao pico de casos e o estado notificou 16,88 óbitos por 100 mil habitantes. E Santa Catarina apresentou um pico de óbitos três semanas após o primeiro pico de casos de 2021, na SE 12 (21 a 27 de março), registrando 13 óbitos por 100 mil habitantes.

Figura 20 - Casos e óbitos por 100 mil habitantes na região Sul do Brasil durante o ano de 2021.



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

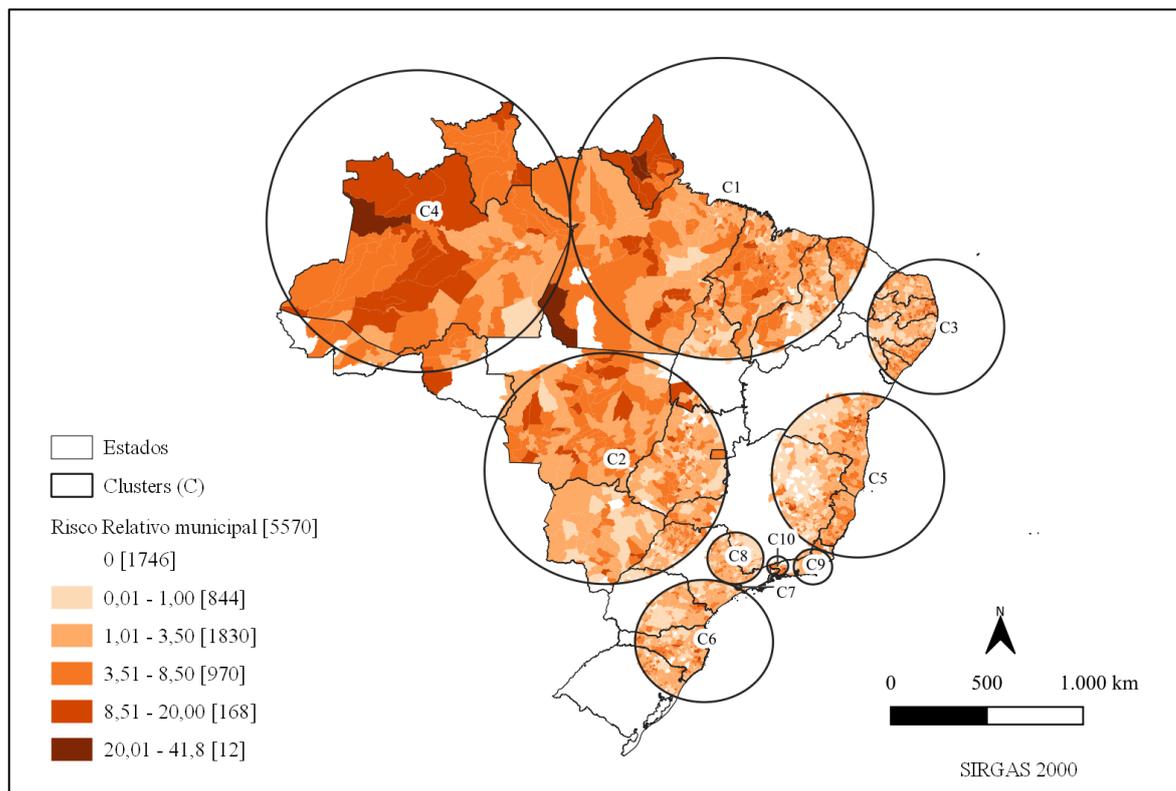
7.2 DETECÇÃO DE *CLUSTERS* ESPAÇO-TEMPORAIS DE CASOS DE COVID-19 NO BRASIL

7.2.1 Semana epidemiológica 09 de 2020 a 30 de 2020 (23 de fevereiro a 25 de julho de 2020)

Foram detectados 10 *clusters* espaço-temporais de COVID-19 no Brasil na semana epidemiológica 30 de 2020 (19 a 25 de julho) (figura 21). A tabela 1 apresenta os resultados da análise neste período.

O aglomerado mais verossímil, ou seja, aquele com a menor probabilidade de ter ocorrido devido ao acaso foi o *cluster* 1 (C1), que apresentou um log de verossimilhança (LLR) de 213.571,22. Este *cluster* apresentou também o maior número observado de casos, totalizando 371.279 casos de COVID-19. O *cluster* 2 (RR = 3,41) foi o segundo mais verossímil (LLR = 103.506,35), se localizou majoritariamente sobre a região Centro-Oeste e nele foram observados 207.762 casos de COVID-19 em 730 municípios. O *cluster* 3 (RR = 2,90), de LLR igual a 103.506,35, acumulou 261.151 casos de COVID-19 distribuídos em 727 municípios da Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. O aglomerado de casos mais antigo se formou na semana 20 de 2020 (10 a 16 de maio), dando origem ao *cluster* 4, localizado na região norte. Nas semanas seguintes se formaram os *clusters* 1 na região Norte e Nordeste e o *cluster* 9 no sudeste do Brasil. O *cluster* que apresentou maior risco relativo foi o *cluster* 10, com RR de 4,83 e que englobou municípios de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, seguido do *cluster* 4, com RR de 4,15, que incluiu todos os municípios e Roraima, a maior parte dos municípios do Amazonas e alguns municípios do Acre. Até a semana epidemiológica 30 de 2020, 2.980 municípios brasileiros, ou seja, 53,50%, apresentaram risco relativo superior a 1,00 na semana 30 de 2020. Destaca-se que todos os municípios de Roraima apresentaram RR maior que 3,01. Os municípios com os maiores riscos relativos (RR) foram Japurá, no Amazonas, com RR de 41,71, e Jacareacanga, no Pará, com RR de 40,58, presentes no *cluster* de número 4.

Figura 21 - *Clusters* de casos de COVID-19 e os RR's municipais da SE 09 de 2020 até a SE 30 de 2020 (23 de fevereiro a 25 de julho de 2020)



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 1 - *Clusters* de casos de COVID-19 da SE 09 de 2020 até a SE 30 de 2020 (23 de fevereiro a 25 de julho de 2020)

<i>Cluster</i>	p-valor	Início*	Observado	Esperado	RR**	N. de municípios	LLR
1	< 0,001	202021	371.279	107.028,49	3,93	707	213.571,22
2	< 0,001	202025	207.762	64.845,42	3,41	730	103.506,35
3	< 0,001	202022	261.151	97.167,98	2,90	727	100.245,62
4	< 0,001	202020	151.829	38.467,10	4,15	106	97.883,12
5	< 0,001	202025	168.863	57.232,44	3,10	670	73.801,71
6	< 0,001	202026	123.544	53.028,37	2,40	605	35.054,26
7	< 0,001	202022	166.703	91.194,71	1,89	7	26.309,99
8	< 0,001	202026	85.564	41.226,46	2,12	277	18.563,15
9	< 0,001	202021	101.025	70.728,02	1,45	60	5.920,81
10	< 0,001	202030	3.207	664,93	4,83	34	2.505,21
Total			1.640.927	621.583,9		3.923	

* Todos os *clusters* prospectivos estavam ativos até a SE 30 de 2020.

** RR = Risco Relativo

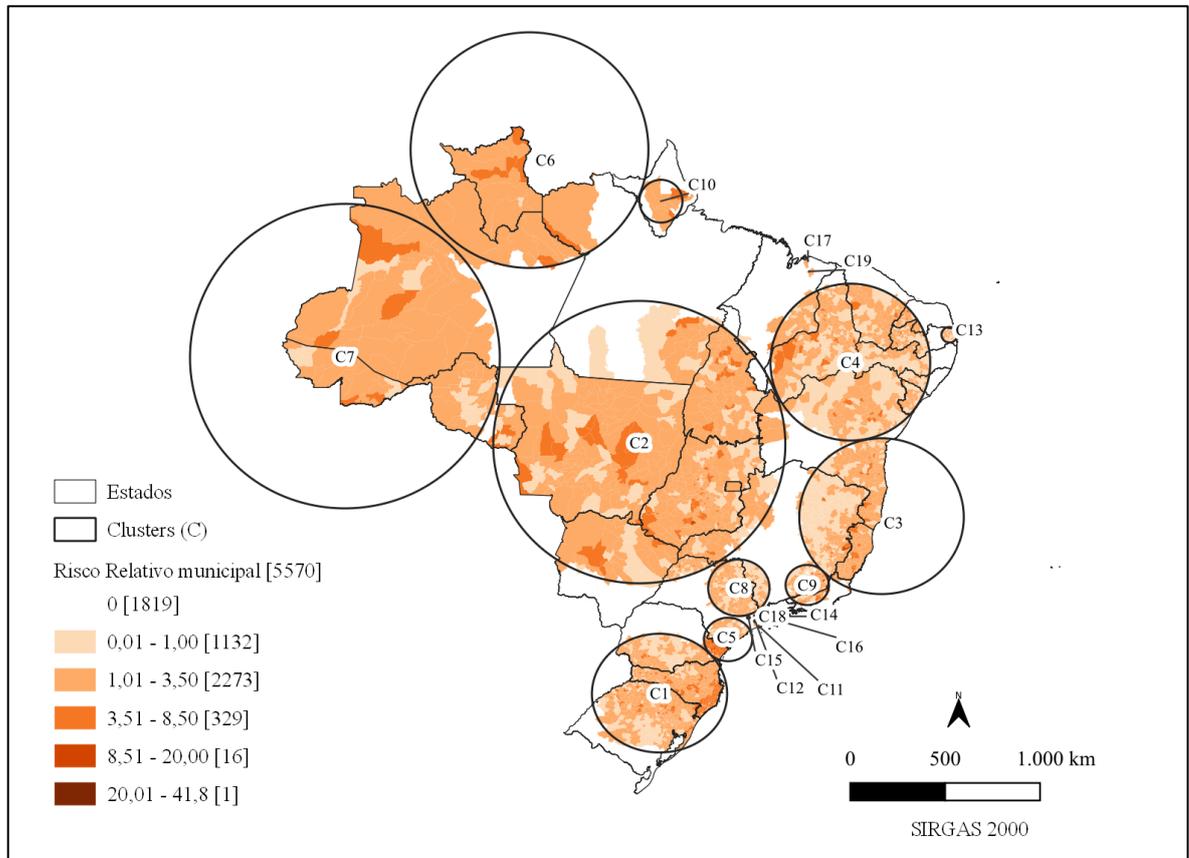
7.2.2 Semana epidemiológica 09 de 2020 a 51 de 2020 (23 de fevereiro a 19 de dezembro de 2020)

Foram 19 *clusters* de casos de COVID-19 detectados até a semana 51 de 2020 (13 a 19 de dezembro de 2020) (figura 22). Os resultados da varredura espaço-temporal prospectiva na SE 51 de 2020 são apresentados na tabela 2.

O *cluster* mais verossímil foi o *cluster* 1 (C1), com um log de verossimilhança de 241.726,32. O C1 também apresentou a maior quantidade de casos observados (800.855) e englobou 905 municípios. O aglomerado com o maior risco relativo foi *cluster* 5 (C5), onde o risco de se tornar um caso de COVID-19 é 8,03 vezes maior quando comparado ao exterior. O C5 ficou ativo na SE 51 e englobou 61 municípios dos estados de São Paulo e Paraná. Três *clusters* foram identificados exclusivamente na região Norte (C6, C7 e C10), quatro exclusivamente no Nordeste (C4, C13, C17 e C19), sendo que dois destes se encontraram apenas no Maranhão (C17 e C19), e oito foram identificados somente no Sudeste, sendo que seis destes se localizaram no estado de São Paulo (C11, C12, C14, C15, C16 e C18). Dos 19 aglomerados de casos identificados, 13 deles se tornaram ativos somente a partir da semana epidemiológica 31. Na SE 51 de 2020, 2.619 municípios do Brasil (47,02%) possuíam risco relativo maior que 1,0. Os municípios com os maiores riscos relativos identificados na varredura-espaço temporal foram Adrianópolis (RR = 21,77) no Paraná e Porteirão em Goiânia (RR = 18,33).

Ao comparar os resultados obtidos na varredura espaço-temporal prospectiva no período da SE 09 a 30 de 2020 (23 de fevereiro a 25 de julho de 2020) (figura 21) com os da SE 09 a 51 de 2020 (23 de fevereiro a 19 de dezembro de 2020) (figura 22), nota-se que o *cluster* principal, aquele de número 1 e de maior LLR, deixou de se localizar na região Norte e Nordeste (SE 30 de 2020) e passou a se localizar no Sul do Brasil (SE 51 de 2020). O *cluster* 2 se manteve majoritariamente sobre o Centro-Oeste (SE's 30 e 51 de 2020) e o *cluster* 3 (SE 51) se localizou em local semelhante ao *cluster* 5 (SE 30).

Figura 22 - *Clusters* espaço-temporais de casos de COVID-19 e os RR's municipais da SE 09 de 2020 até a 51 de 2020 (23 de fevereiro a 19 de dezembro de 2020)



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 2 - *Clusters* de casos de COVID-19 da SE 09 de 2020 até a SE 51 de 2020 (23 de fevereiro a 19 de dezembro de 2020)

<i>Cluster</i>	p-valor	Início*	Observado	Esperado	RR*	N. de municípios	LLR
1	< 0,001	202031	800.855	339.632,5	2,53	905	241.726,32
2	< 0,001	202031	773.664	344.440,5	2,40	717	210.650,10
3	< 0,001	202031	366.487	205.527,1	1,83	530	52.888,40
4	< 0,001	202031	451.548	300.255,3	1,54	876	34.642,04
5	< 0,001	202051	26.421	3.298,648	8,03	61	31.887,80
6	< 0,001	202031	48.508	15.634,28	3,12	28	22.125,83
7	< 0,001	202031	90.201	49.860,96	1,82	84	13.245,99
8	< 0,001	202031	314.442	233.142,2	1,36	301	13.244,95

9	< 0,001	202048	29.252	13.579,32	2,16	171	6.792,50
10	< 0,001	202031	12.468	3.538,865	3,53	8	6.778,13
11	< 0,001	202031	16.195	7.269,13	2,23	1	4.052,96
12	< 0,001	202049	8.495	4.355,23	1,95	3	1.536,94
13	< 0,001	202031	39.359	29.429,51	1,34	52	1.520,14
14	< 0,001	202031	35.737	27.540,93	1,30	16	1.118,61
15	< 0,001	202046	4.270	2.149,615	1,99	2	810,54
16	< 0,001	202031	3.758	2.692,055	1,40	3	187,74
17	< 0,001	202033	737	392,5954	1,88	1	119,77
18	< 0,001	202048	652	334,034	1,95	1	118,10
19	< 0,001	202031	827	546,095	1,51	1	62,32
Total			3.023.876	1.583.619		3.761	

* Todos os *clusters* prospectivos estavam ativos até a SE 51 de 2020.

** RR = Risco Relativo

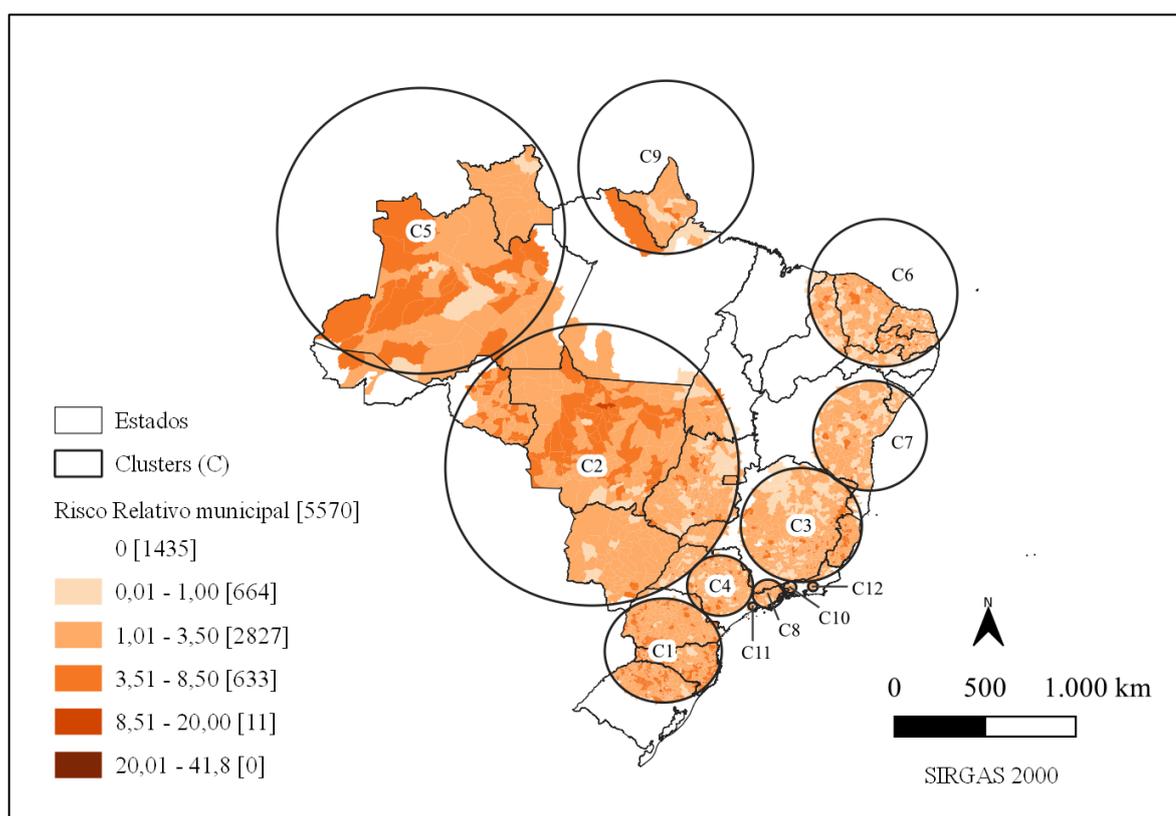
7.2.3 Semana epidemiológica 09 de 2020 a 12 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 27 de março de 2021)

A figura 23 apresenta os 12 aglomerados de casos identificados da semana 09 de 2020 até a semana 12 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 27 de março de 2021) e a tabela 3 apresenta os resultados da varredura espaço-temporal.

O *cluster* 1 (C1) foi o mais verossímil (LLR = 595.113,10), com a maior quantidade de municípios e de casos notificados e também com o maior risco relativo (RR = 3,23). O C1 se localizou majoritariamente sobre a região sul do Brasil e englobou alguns municípios de São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e todo o estado de Santa Catarina. O *cluster* 2 (C2), localizado predominantemente sobre o Centro-Oeste brasileiro, foi o segundo mais verossímil (LLR = 220.944,89) e com o quarto maior risco relativo do período (RR = 2,26). O *cluster* 5 (C5), segundo maior *cluster* detectado, abrangeu municípios do Acre, Amazonas e todo o estado de Roraima, localizados da região Norte. O C5 apresentou também o segundo maior risco relativo (RR = 2,73) e um log de verossimilhança de 56.187,11. Os primeiros *clusters* detectados no período da semana epidemiológica 12 de 2021 tiveram início na SE 46 de 2020 (C1, C9 e C12) e na SE 47 (C2), ficando ativos até a semana 12 do ano seguinte. Os municípios de Rio Doce (RR = 12,64), em Minas Gerais, e Presidente Castello Branco (RR = 11,53) e Jardinópolis (RR = 10,40), em Santa Catarina, apresentaram os maiores riscos relativos na semana 12 de 2021.

Semelhante aos resultados obtidos na análise no período da SE 09 a 51 de 2020 (23 de fevereiro a 19 de dezembro de 2020) (figura 22), o *cluster* 1 foi novamente detectado na região Sul do país e o *cluster* 2 ocupou majoritariamente o Centro-Oeste do Brasil, englobando municípios do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, Rondônia, Amazonas, Pará e Tocantins, no Norte, e Minas Gerais e São Paulo, no Sudeste. Em contrapartida, o *cluster* 3 identificado no período da SE 09 de 2020 a SE 12 (23 de fevereiro de 2020 a 27 de março de 2021) de 2021 se localizou entre Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro.

Figura 23 - *Clusters* espaço-temporais de casos de COVID-19 e os RR's municipais da SE 09 de 2020 até a SE 12 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 27 de março de 2021)



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 3 - *Clusters* de casos de COVID-19 da SE 09 de 2020 até a SE 12 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 27 de março de 2021)

<i>Cluster</i>	p-valor	Início*	Observado	Esperado	RR**	N. de municípios	LLR
1	< 0,001	202046	1.306.151	436.093,20	3,23	925	595.113,10
2	< 0,001	202047	898.229	414.369,36	2,26	710	220.944,89

3	< 0,001	202049	731.201	369.648,34	2,04	772	142.699,55
4	< 0,001	202101	463.627	233.791,59	2,02	375	89.765,92
5	< 0,001	202101	152.939	56.527,46	2,73	67	56.187,11
6	< 0,001	202107	263.836	128.220,69	2,08	751	55.512,25
7	< 0,001	202049	416.206	245.493,69	1,72	394	50.207,94
8	< 0,001	202101	103.570	43.240,40	2,41	89	30.283,08
9	< 0,001	202046	47.108	21.424,31	2,20	22	11.460,08
10	< 0,001	202049	33.808	15.099,04	2,24	14	8.556,63
11	< 0,001	202110	89.214	56.211,25	1,59	14	8.251,12
12	< 0,001	202046	24.348	10.999,64	2,22	5	6.005,42
Total			4.530.237	2.031.119		4.138	

* Todos os *clusters* prospectivos estavam ativos até a SE 12 de 2021.

** RR = Risco Relativo

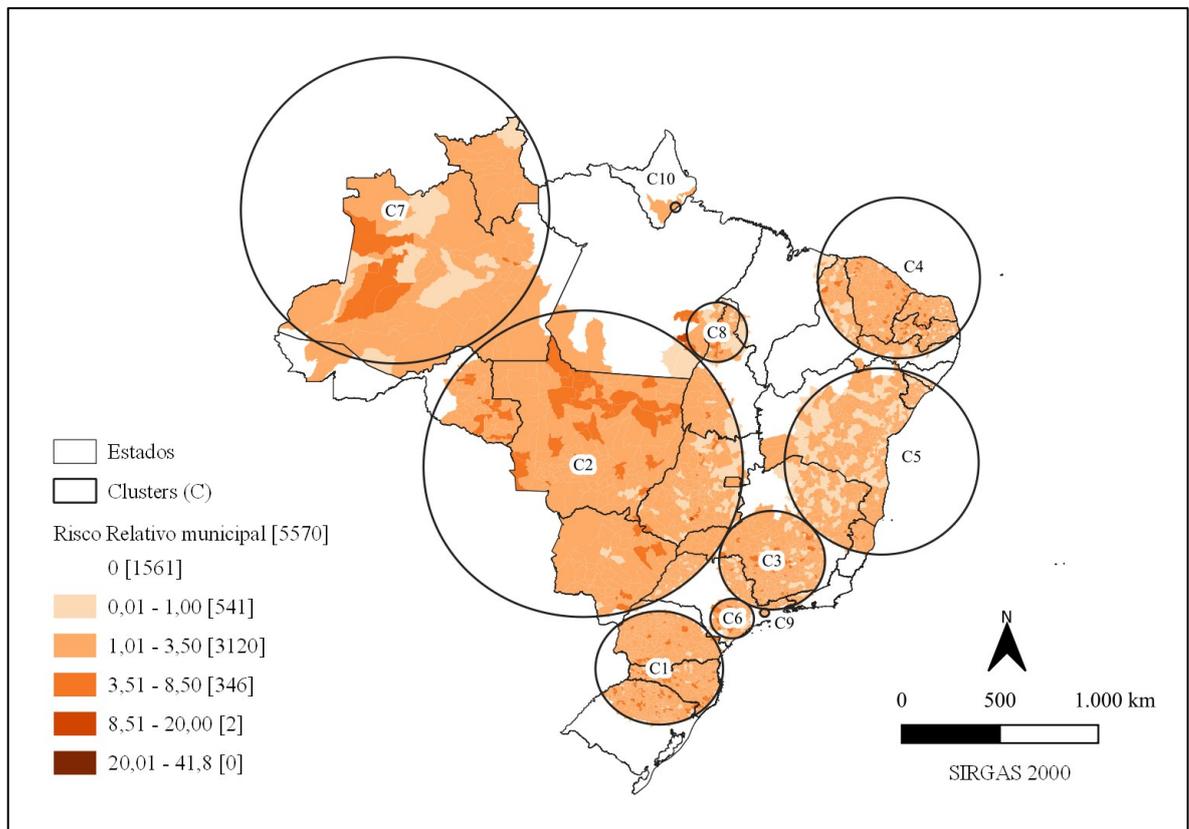
7.2.4 Semana epidemiológica de 09 de 2020 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)

Foram detectados 10 aglomerados de casos na semana 23 de 2021 (06 a 12 de junho) (figura 24 e tabela 4).

O *cluster* 1 (C1), localizado na região sul do Brasil, apresentou o maior risco relativo (RR = 2,61) e o maior log de verossimilhança (611.013,60), indicando que a probabilidade deste aglomerado de casos ter ocorrido ao acaso é muito baixa. O C1 também apresentou a maior quantidade de casos observados e englobou a maior quantidade de municípios, sendo que somente um destes, Itapirapuã Paulista, em São Paulo, está localizado fora da região sul. O *cluster* 2 (C2), com um RR de 2,08, possuiu o maior raio e englobou municípios de Rondônia, Amazonas, Pará e Tocantins, na região norte, alguns municípios de São Paulo e Minas Gerais, no Sudeste, e todos os municípios do Mato Grosso e boa parte do Mato Grosso do Sul e Goiás, no Centro-Oeste. O *cluster* 8 (C8), entre Pará, Tocantins e Maranhão, e o *cluster* 9 (C9) em São Paulo, apresentaram o segundo e terceiro maiores RR's: 2,56 e 2,29, respectivamente. Os aglomerados mais antigos foram C1 e C10, que se tornaram ativos a partir da semana epidemiológica 46, e C2, que se tornou ativo na SE 47 (15 a 21 de novembro). Neste período, os municípios que apresentaram os maiores riscos relativos foram Porteirão (RR= 9,24), em Goiás, Bannach (RR = 8,72), no Pará, e Kaloré (RR = 7,28), no Paraná. Na semana 23 de 2021 3.468 municípios brasileiros (62,26%) possuíam RR maior que 1,00.

Comparando os aglomerados de casos identificados no período da SE 09 de 2020 a 12 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 27 de março de 2021) (figura 23) com os aglomerados identificados da SE 9 de 2020 até a SE 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021) (figura 24), percebe-se que o *cluster* 1 e 2 tiveram localizações semelhantes ao período anterior. O *cluster* 1 foi detectado novamente ao Sul do país e o *cluster* 2 foi detectado sobre o Centro-Oeste do Brasil, ocupando também alguns estados da região Norte e Sudeste. Diferentemente do resultado obtido no período anterior, o *cluster* 3 se localizou sobre Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, não englobando mais o estado do Espírito Santo.

Figura 24 - *Clusters* espaço-temporais de casos de COVID-19 e os RR's municipais de 09 de 2020 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 4 - *Clusters* de casos de COVID-19 da SE 09 de 2020 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)

<i>Cluster</i>	p-valor	Início*	Observado	Esperado	RR**	N. de municípios	LLR
----------------	---------	---------	-----------	----------	------	------------------	-----

1	< 0,001	202046	1.909.180	785.488,63	2,61	923	611.013,60
2	< 0,001	202047	1.516.028	763.328,75	2,08	704	304.931,08
3	< 0,001	202101	1.156.804	584.873,89	2,05	653	226.929,35
4	< 0,001	202107	863.838	424.857,72	2,09	751	179.784,42
5	< 0,001	202049	1.050.147	704.788,97	1,52	720	77.044,87
6	< 0,001	202110	347.319	200.582,75	1,75	118	44.578,98
7	< 0,001	202101	214.171	124.593,34	1,73	65	26.676,92
8	< 0,001	202108	59.709	23.398,97	2,56	67	19.662,98
9	< 0,001	202053	72.801	31.910,17	2,29	6	19.204,23
10	< 0,001	202046	50.111	25.252,01	1,99	3	9.501,71
Total	-	-	7.240.108	3.669.075,21	-	4.010	-

* Todos os *clusters* prospectivos estavam ativos até a SE 23 de 2021.

** RR = Risco Relativo

7.3 DETECÇÃO DE *CLUSTERS* ESPAÇO-TEMPORAIS DE ÓBITOS DE COVID-19 NO BRASIL

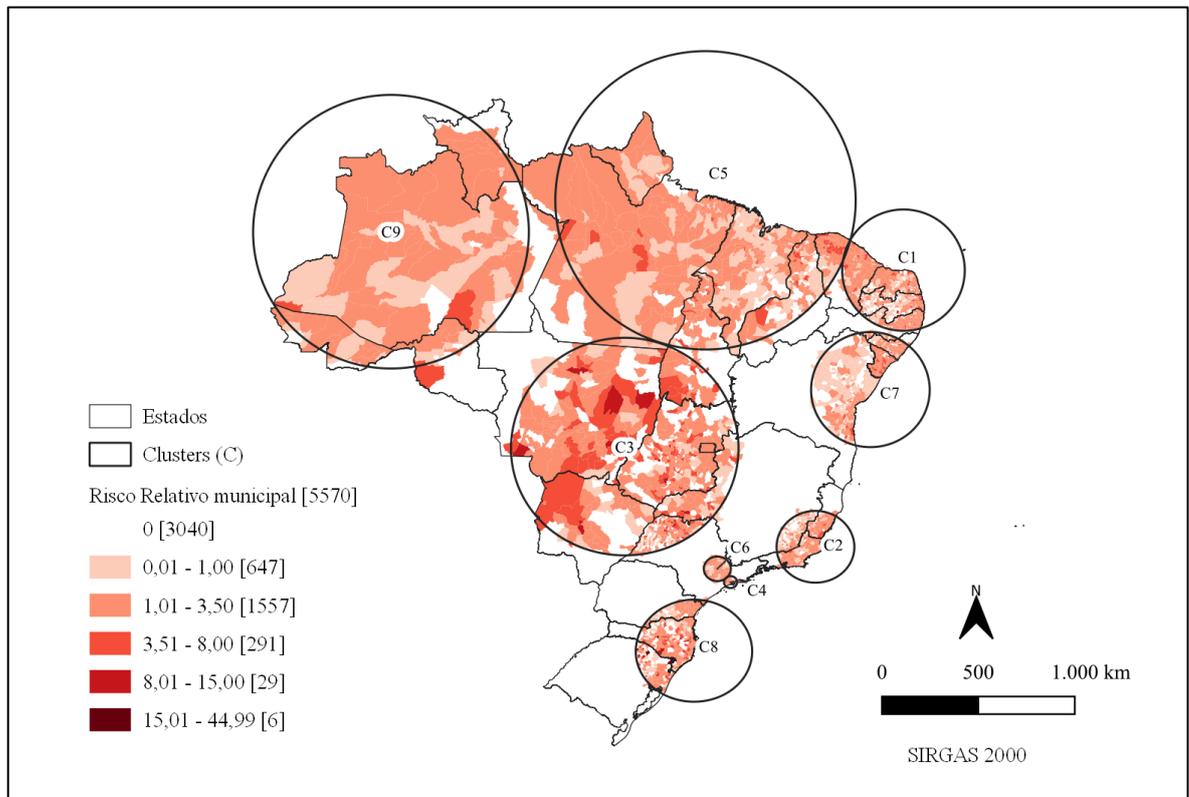
7.3.1 Semana epidemiológica 09 de 2020 a 34 de 2020 (23 de fevereiro a 22 de agosto de 2020)

A figura 25 apresenta os nove (9) aglomerados de óbitos identificados na semana 34 de 2020 (16 a 22 de agosto) e a tabela apresenta as informações destes aglomerados.

O *cluster* 1 (C1), localizado sobre os municípios do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, no Nordeste, apresentou o maior risco relativo (RR = 2,42), número de óbitos observados (12.865) e LLR (3.559,55), sendo o *cluster* mais verossímil. O *cluster* 3 (RR = 2,35) e 2 (RR = 2,34) apresentaram respectivamente o segundo e o terceiro maior risco relativo. O C3 apresentou também o maior número municípios, totalizando 709 municípios do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, no Centro-Oeste, Pará e Tocantins, no Norte, e Minas Gerais e São Paulo, no Sudeste. Observa-se também 2 *clusters* localizados somente no estado de São Paulo (C4 e C6). Os aglomerados de óbitos de COVID-19 passaram a ser detectados a partir da semana 22 de 2020 (24 a 30 de maio), dando origem aos *clusters* C1, C2, C4, C5 e C9. Até a SE 34 de 2020 (16 a 22 de agosto), 1.883 municípios brasileiros apresentavam risco relativo de óbito superior a 1,00. Dos 6 municípios com RR igual ou superior a 15,01, quatro se localizavam no Rio Grande do Sul, são eles: Charrua (RR = 44,99), Capão Bonito do Sul (RR = 20,06), São José dos Ausentes (RR = 19,91) e

São José do Sul (RR = 15,01), um no estado vizinho, Santa Catarina (Frei Rogério, RR = 20,88), e outro em Goiás (Anhanguera, RR = 15,96).

Figura 25 - *Clusters* espaço-temporais de óbitos de COVID-19 e os RR's municipais da SE 09 de 2020 até a SE 34 de 2020 (23 de fevereiro de 2020 a 22 de agosto de 2020)



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 5 - *Clusters* de óbitos de COVID-19 de 09 de 2020 a 34 de 2020 (23 de fevereiro de a 22 de agosto de 2020)

<i>Cluster</i>	p-valor	Início*	Observado	Esperado	RR**	N. de municípios	LLR
1	< 0,001	202022	12.865	5.693,05	2,42	594	3.559,55
2	< 0,001	202022	12.460	5.683,38	2,34	257	3.220,97
3	< 0,001	202027	7.890	3.501,85	2,35	709	2.109,33
4	< 0,001	202022	10.556	5.621,43	1,97	17	1.831,05
5	< 0,001	202022	10.243	5.626,34	1,90	670	1.620,15
6	< 0,001	202023	6.329	3.395,78	1,91	92	1.046,55
7	< 0,001	202024	5.964	3.478,60	1,75	419	758,05
8	< 0,001	202029	4.165	2.153,15	1,97	413	754,37
9	< 0,001	202022	3.338	1.717,72	1,97	90	609,16

Total	-	-	73.810	36.871,28	-	3.261	-
-------	---	---	--------	-----------	---	-------	---

* Todos os *clusters* prospectivos estavam ativos até a SE 23 de 2021.

** RR = Risco Relativo

7.3.2 Semana epidemiológica 09 de 2020 a 14 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 10 de abril de 2021)

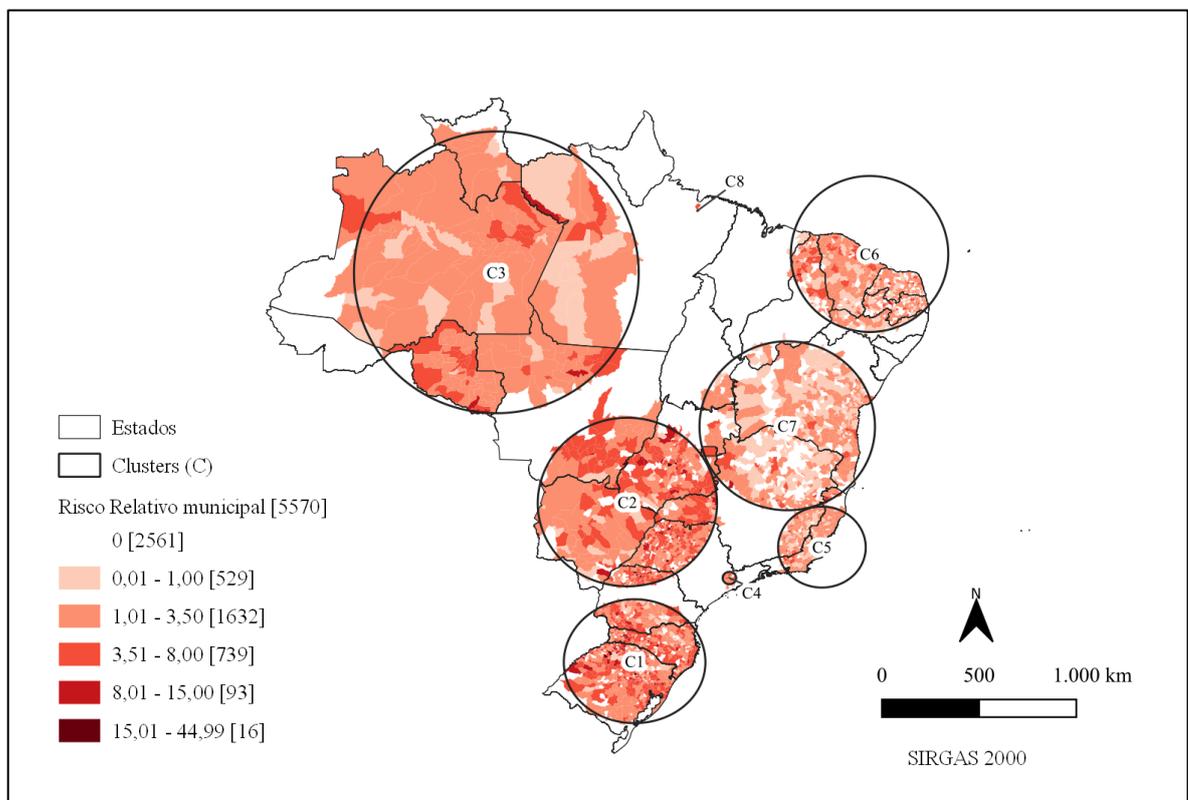
Foram identificados oito (8) aglomerados de óbitos por COVID-19 na semana epidemiológica 14 de 2021 (04 a 10 de abril). A figura 26 e a tabela 6 apresentam os *clusters* de óbitos identificados.

O *cluster* 1 apresentou o maior LLR (10.752,20), um risco relativo de 4,24 e 16.108 óbitos de COVID-19 em 909 municípios. O *cluster* 2 (C2) (RR = 4,27) apresentou o segundo maior LLR e englobou municípios do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, no Centro-Oeste, Paraná, no Sul, e São Paulo e Minas Gerais, no Sudeste do Brasil. O *cluster* 3 (RR= 3,62) apresentou o maior raio e se localizou sobre municípios do Amazonas, Rondônia, Roraima, e Pará, na região norte, e do Mato Grosso. Destaca-se que todos os municípios de Rondônia apresentaram RR superior a 1,0. Observa-se ainda que os municípios presentes no C1 e C2 apresentaram, em geral, RR's superiores aos municípios localizados nos outros seis aglomerados. Nota-se também que embora o *cluster* 8, localizado no município de Belém, no Pará, tenha apresentado o maior risco relativo (RR = 4,41), este aglomerado apresentou também o menor LLR, indicando maior probabilidade de ter ocorrido devido ao acaso. O primeiro aglomerado a se tornar ativo foi o *cluster* 5 (RR = 1,97) na semana epidemiológica 53 de 2020 (27 de dezembro de 2020 a 02 de janeiro de 2021), seguido do C3, na semana 02 de 2021. Após isto, o próximo *cluster* só se tornou ativo na semana 09 de 2021, dando origem ao C1. Os municípios com os maiores riscos relativos foram Marema (RR = 24,87), em Santa Catarina, Putinga (RR = 23,78) e São Pedro das Missões (RR = 21,58), no Rio Grande do Sul, presentes no *cluster* 1 (C1).

Ao comparar os resultados obtidos na varredura espaço-temporal no período da SE 09 de 2020 até a SE 34 de 2020 (23 de fevereiro a 22 de agosto de 2020) (figura 25) e no período da SE 09 de 2020 até SE 14 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 10 de abril de 2021) (figura 26), observam-se alterações nas localizações dos primeiros três *clusters*. No período da SE 09 de 2020 a 14 de 2021, o cluster primário passa a se localizar ao Sul do país, o secundário se localiza sobre Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais São

Paulo e Paraná, e o *cluster* terciário se localiza sobre o Amazonas, Roraima, Pará, Rondônia e Mato Grosso.

Figura 26 - *Clusters* espaço-temporais de óbitos de COVID-19 e os RR's municipais de 09 de 2020 a 14 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 10 de abril de 2021)



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 6 - *Clusters* de óbitos de COVID-19 de 09 de 2020 a 14 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 10 de abril de 2021)

<i>Cluster</i>	p-valor	Início*	Observado	Esperado	RR**	N. de municípios	LLR
1	< 0,001	202109	16.108	3.933,20	4,24	909	10.752,20
2	< 0,001	202110	13.458	3.250,20	4,27	789	9.065,99
3	< 0,001	202102	11.488	3.252,61	3,62	173	6.359,36
4	< 0,001	202111	7.820	2.408,70	3,30	30	3.839,90
5	< 0,001	202053	17.041	8.844,26	1,97	302	3.079,03
6	< 0,001	202110	7.602	3.264,96	2,36	757	2.115,16
7	< 0,001	202110	6.596	3.279,53	2,03	697	1.308,50
8	< 0,001	202110	1.011	229,72	4,41	1	717,73
Total	-	-	81.124	28.463,18	-	3.658	-

* Todos os *clusters* prospectivos estavam ativos até a SE 23 de 2021.

** RR = Risco Relativo

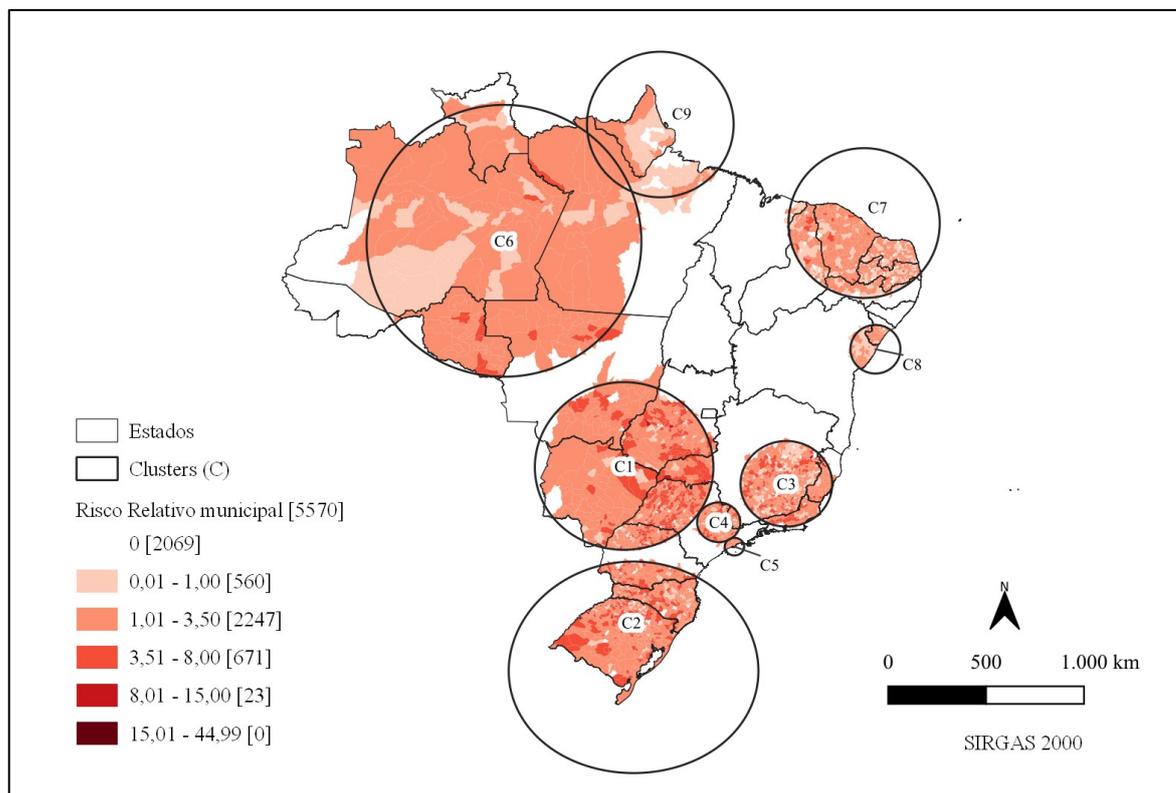
7.3.3 Semana epidemiológica 09 de 2020 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)

Foram detectados 9 aglomerados de óbitos de COVID-19 pela varredura espaço-temporal que estavam ativos na semana epidemiológica 23 de 2021 (06 a 12 de junho de 2021). Os 9 *clusters* são representados na figura 27 e suas informações estão presentes na tabela 7.

O *cluster* 1 (C1), localizado sobre municípios do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Paraná, São Paulo e Minas Gerais, teve o maior log de verossimilhança (LLR = 17.104,26), maior número de óbitos observados ($n = 34.473$) e o maior risco relativo (RR = 3,38). O *cluster* 2 (C2), localizado sobre municípios da região sul do Brasil, apresentou o maior número municípios e o segundo maior LLR (11.740,87), óbitos observados (29.681) e risco relativo (RR = 2,90). O *cluster* 6 apresentou o maior raio e englobou municípios da região Norte e do Mato Grosso, no Centro-Oeste. Todos os municípios de Rondônia tiveram RR superior a 1,00. Os aglomerados de óbitos passaram a se tornar ativos a partir da semana epidemiológica 09 de 2021, dando origem aos *clusters* 1, 2 e 8. Os municípios que apresentaram os maiores riscos relativos foram Putinga (RR = 12,82) e Pirapó (RR = 12,03), no Rio Grande do Sul, e Marema (12,57), em Santa Catarina, presentes no *cluster* 2. Os 23 municípios com RR superior a 8,01 se localizaram distribuídos nos *clusters* 1, 2 e 3.

Comparando resultados da análise de *clusters* de óbitos da SE 09 de 2020 até a SE 14 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 10 de abril de 2021) (figura 26) com os da SE 09 de 2020 até a SE 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021) (figura 27), percebe-se que as localizações dos *clusters* 1 e 2, identificados na SE 14, foram semelhantes à dos *clusters* 2 e 1, respectivamente, detectados na SE 23. Já o *cluster* 3, detectado majoritariamente sobre a região Norte do país no período anterior, foi identificado no sudeste do Brasil, sobre Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro, no período da 09 de 2020 (23 a 29 de fevereiro) até a SE 23 de 2021 (06/06 a 12/06).

Figura 27 - *Clusters* espaço-temporais de óbitos de COVID-19 de 09 de 2020 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 7- *Clusters* de óbitos de COVID-19 de 09 de 2020 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)

<i>Cluster</i>	p-valor	Início*	Observado	Esperado	RR**	N. de municípios	LLR
1	< 0,001	202109	34.473	10.725,59	3,38	817	17.104,26
2	< 0,001	202109	29.681	10.669,42	2,90	909	11.740,87
3	< 0,001	202112	22.700	8.574,55	2,73	618	8.185,39
4	< 0,001	202111	18.242	7.014,78	2,66	192	6.339,31
5	< 0,001	202111	19.685	8.671,97	2,32	23	5.251,90
6	< 0,001	202101	15.668	6.346,33	2,52	173	4.929,29
7	< 0,001	202110	19.009	9.834,49	1,97	751	3.441,63
8	< 0,001	202109	7.610	4.090,28	1,87	113	1.217,82
9	< 0,001	202111	3.810	2.219,35	1,72	61	470,95
Total	-	-	170.878	68.146,76	-	3.657	-

* Todos os *clusters* prospectivos estavam ativos até a SE 23 de 2021.

** RR = Risco Relativo

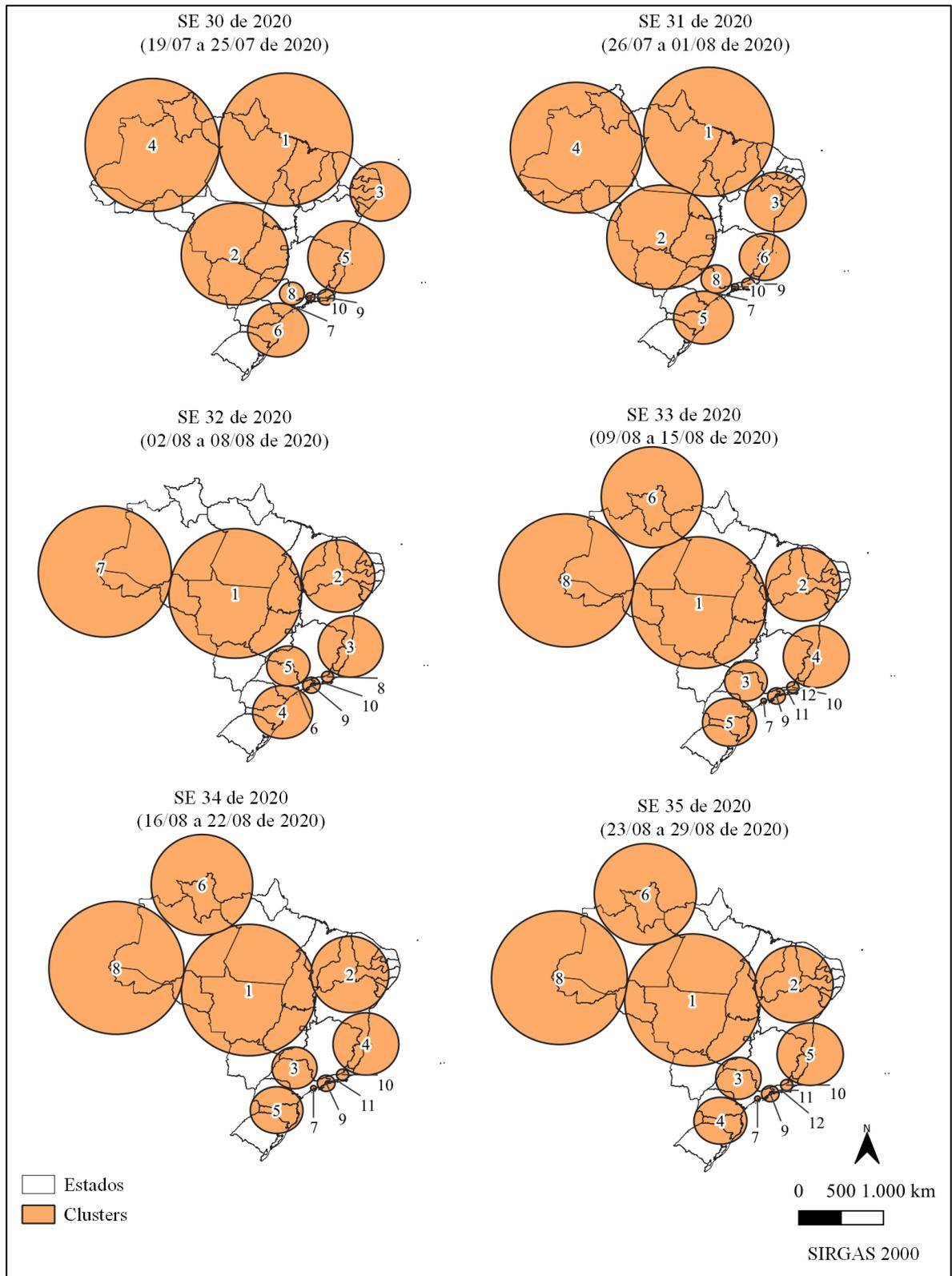
7.4 PERSISTÊNCIA DE *CLUSTERS* ESPAÇO-TEMPORAIS DE CASOS DE COVID-19

7.4.1 Semana epidemiológica 30 a 35 de 2020 (19 de julho a 29 de agosto de 2020)

A figura 28 apresenta os *clusters* espaço-temporais de casos de COVID-19 detectados na SE 30 de 2020 e nas cinco SE's seguintes. A disposição dos *clusters* de casos nas duas primeiras SE's foi bastante similar, mudando na semana seguinte e apresentando um padrão que perdurou desde a SE 33 até a SE 35 de 2020 (09 de agosto a 29 de agosto de 2020).

Observa-se que nas semanas epidemiológicas 30 (19/07 a 25/07) e 31 (26/07 a 01/08) de 2020 o *cluster* 1 se localizou entre a região Norte e Nordeste, sobre municípios do Amapá, Pará, Tocantins, Maranhão e Piauí e o *cluster* 2 se localizou na parte central da região Centro-Oeste, sobre municípios do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás e parte de Minas Gerais, São Paulo e Paraná, no Sudeste. O *cluster* 3, que na SE 30 estava sobre a direita da região Nordeste, foi detectado na parte mais inferior da região sobre municípios da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Piauí. Na semana epidemiológica 32 (02/8 a 08/08), o *cluster* 1 se localizou majoritariamente sobre parte das regiões Norte e Centro-Oeste, englobando municípios Rondônia, Amazonas, Pará, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás e o *cluster* 2 se localizou sobre a região Nordeste sobre os municípios do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Os *clusters* 1 e 2 foram identificados na mesma região nas semanas seguinte até a SE 35 de 2020 (23/08 a 29/08). Ainda na SE 32, o *cluster* 3 foi identificado sobre a Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo e norte do Rio de Janeiro. Nas duas SE's seguintes, foi detectado o *cluster* 4 na mesma região do *cluster* 3 (SE 32) e na SE 35 (23/08 a 29/08) o *cluster* 5 foi identificado na mesma região. Na semana epidemiológica 33 (09/08 a 15/08) o *cluster* 3 cobriu boa parte do estado de São Paulo e englobou também municípios de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná, o que também foi observado nas semanas seguintes.

Figura 28 - *Clusters* espaço-temporais de casos de COVID-19 da SE 30 até a SE 35 de 2020



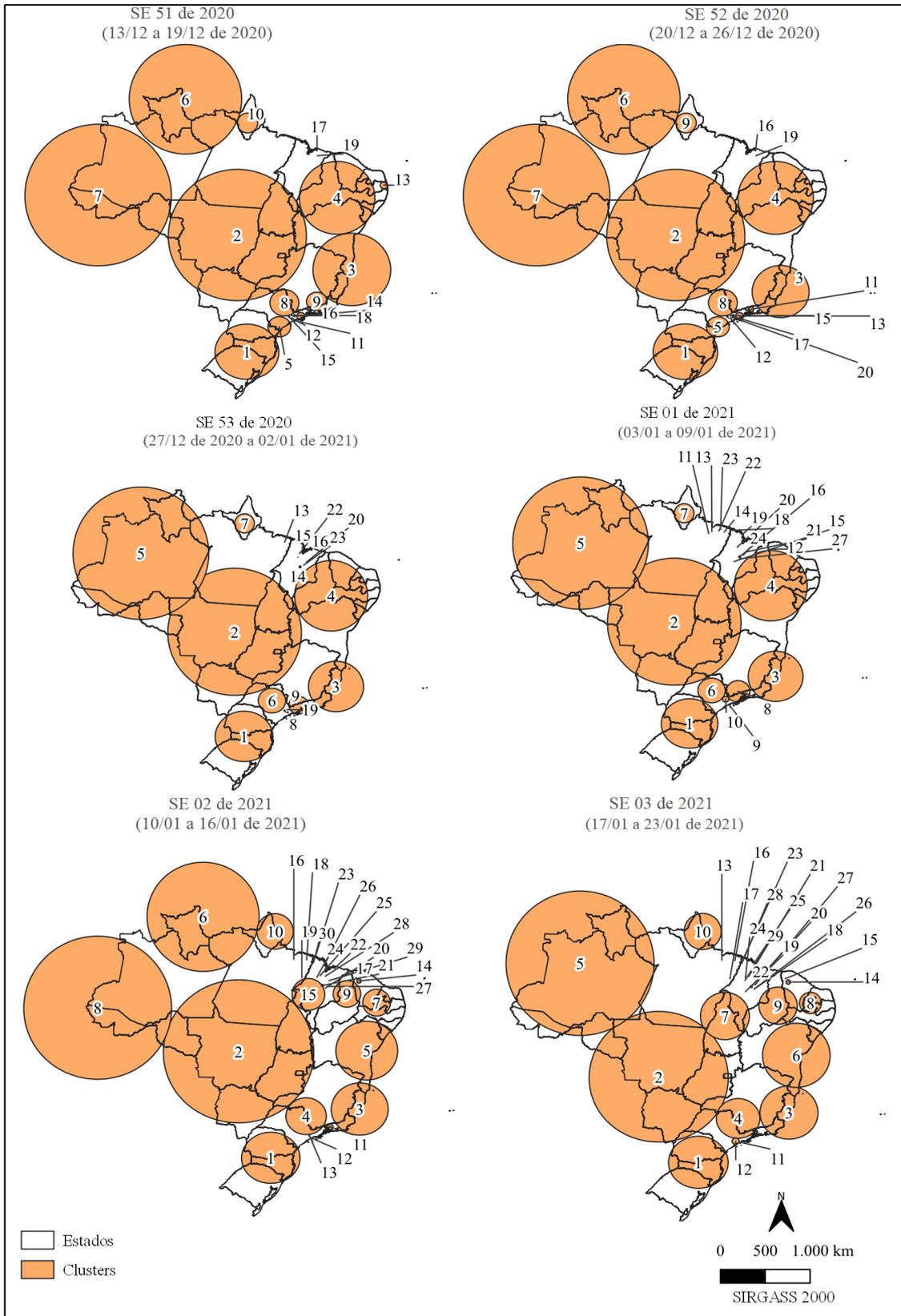
Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

7.4.2 Semana epidemiológica 51 de 2020 a 03 de 2021 (13 de dezembro de 2020 a 23 de janeiro de 2021)

Os *clusters* espaço-temporais de casos de COVID-19 detectados na SE 51 de 2020 e nas cinco SE's seguintes são apresentados na figura 29. Os *clusters* de casos identificados a partir da SE 51 de 2020 apresentaram disposições diferentes, principalmente após a SE 53 (27 de dezembro de 2020 a 02 de janeiro de 2021). Observa-se também o surgimento de pequenos *clusters* ao longo das análises principalmente no Pará, Maranhão, Piauí e Ceará.

Os *clusters* 1 e 2 se mantiveram na mesma região da SE 51 de 2020 até a SE 03 de 2021 (13/12 de 2020 23/01 de 2021). O *cluster* 1 se localizou sobre a região Sul, abrangendo boa parte do Paraná, todos os municípios de Santa Catarina e a porção norte do Rio Grande do Sul, e o *cluster* 2 se localizou majoritariamente no Centro-Oeste, sobre os municípios de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, mas também englobou alguns municípios de Rondônia, Amazonas, Pará e Tocantins, na região Norte, do Maranhão, Piauí e Bahia, no Nordeste, e Minas Gerais e São Paulo, no Sudeste. O *cluster* 3 (C3) foi detectado entre a Bahia, no Nordeste, e Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro, no Sudeste, no período da semana epidemiológica 51 e nas cinco SE's subsequentes. O C3 apresentou uma diminuição no raio a partir da SE 51 e foi detectado mais ao sul nas SE's seguintes. Observa-se um grande *cluster* de casos na região Norte do Brasil, ocupando boa parte dos municípios do Acre, Amazonas e Rondônia, e um de menor raio ocupando parte da região Nordeste.

Figura 29 - *Clusters* espaço-temporais de casos de COVID-19 da SE 51 de 2020 até a SE 03 de 2021



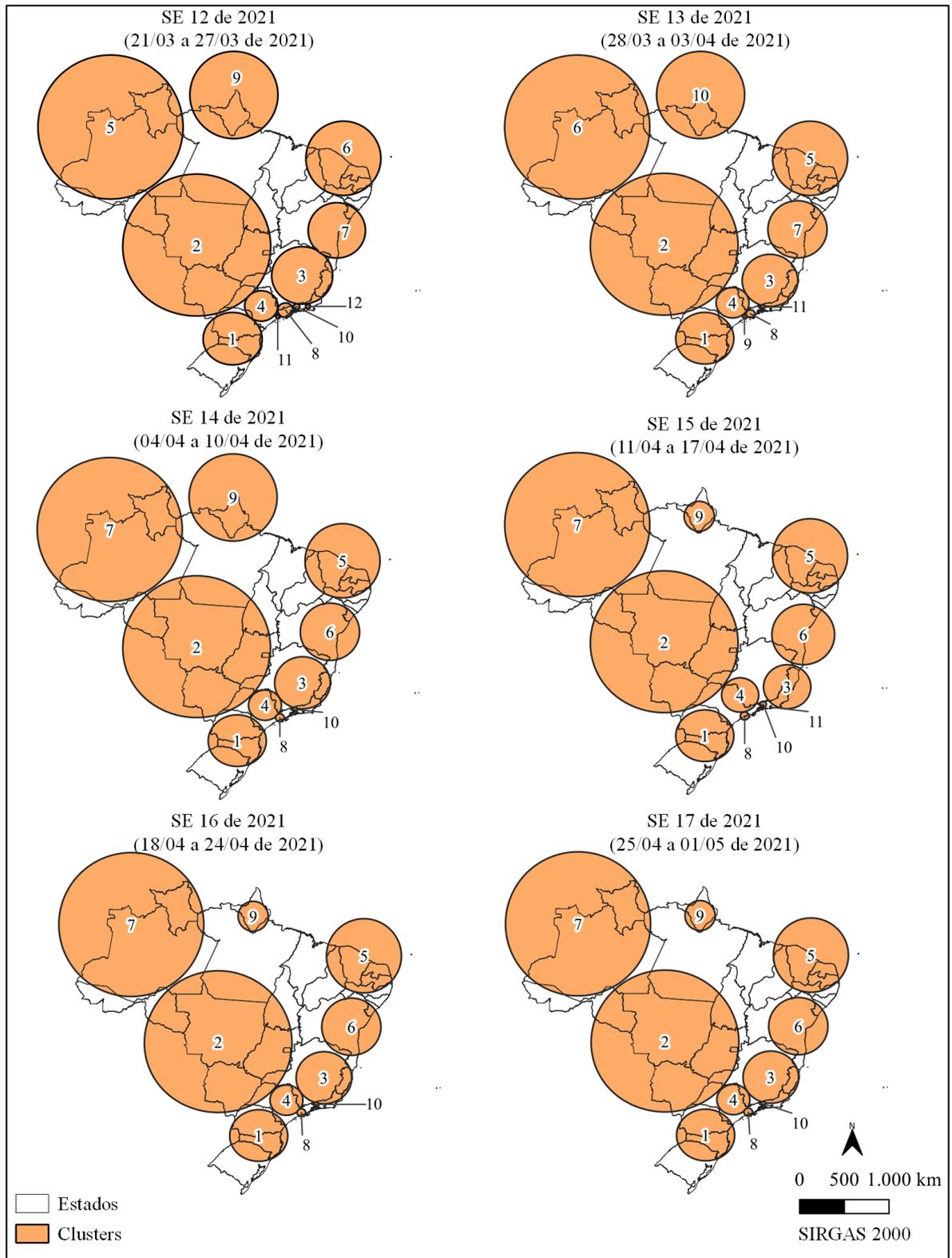
Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

7.4.3 Semana epidemiológica 12 a 17 de 2021 (21 de março a 01 de maio de 2021)

Os *clusters* espaço-temporais de casos identificados na semana epidemiológica 12 e nas cinco SE's subsequentes são exibidos na figura 30. Em geral, a disposição dos *clusters* de casos identificados da SE 12 a 17 de 2021 (21 de março a 01 de maio de 2021) foi bastante similar. Embora alguns aglomerados tenham surgido e desaparecido neste período, observa-se que o padrão observado na semana 12 de 2021 se repetiu nas cinco semanas seguintes.

Os *clusters* 1, 2, 3 e 4 permaneceram na mesma região nas análises realizadas a partir da SE 12 (21/03 a 27/03) de 2021. O *cluster* 1 foi detectado majoritariamente na região Sul, ocupando boa parte do Paraná, todo o estado de Santa Catarina e o norte do Rio Grande do Sul, mas também englobou alguns municípios de São Paulo. O *cluster* 2 ocupou todo o Mato Grosso e grande parte do Mato Grosso do Sul e Goiás, no Centro-Oeste, Rondônia, Amazonas, Pará e Tocantins, na região Norte, Minas Gerais e São Paulo, no Sudeste, e Paraná, no Sul. O *cluster* 3 ocupou alguns municípios na porção sul da Bahia e municípios de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. O *cluster* 4 se localizou principalmente sobre o estado de São Paulo, mas também englobou alguns municípios de Minas Gerais. Observam-se diversos aglomerados que permaneceram ao longo do período analisado (SE 12 a 17 de 2021). Destacam-se um grande *cluster* sobre o estado do Amazonas, Roraima e Acre, dois *clusters* menores no Nordeste, um sobre o Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, e outro sobre grande parte da Bahia. Adiciona-se ainda um *cluster* intermediário sobre os estados do Amapá e Pará, cujo raio foi diminuindo ao longo das SE's.

Figura 30 - *Clusters* espaço-temporais de casos de COVID-19 da SE 12 até a SE 17 de 2021



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

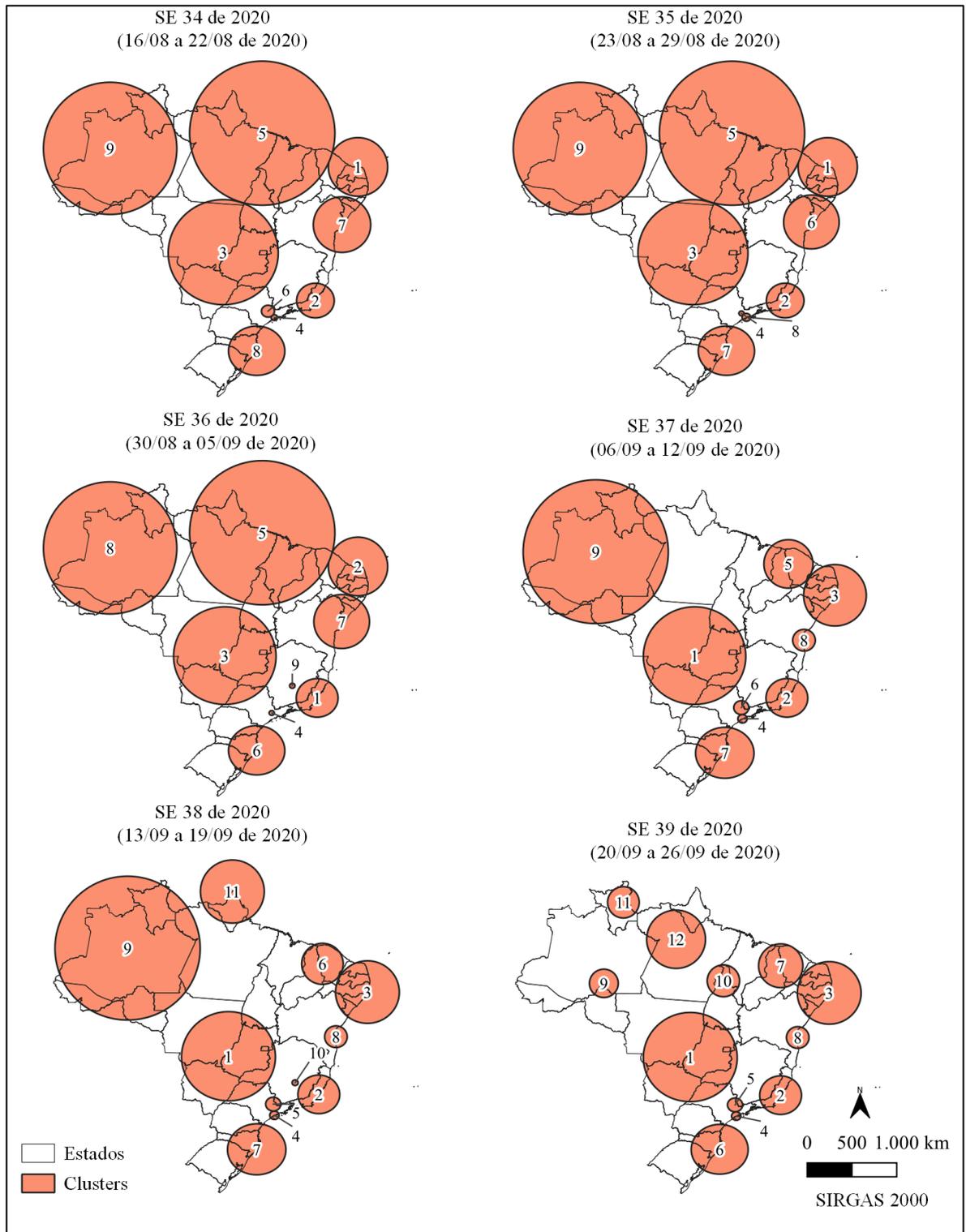
7.5 PERSISTÊNCIA DE *CLUSTERS* ESPAÇO-TEMPORAIS DE ÓBITOS DE COVID-19

7.5.1 Semana epidemiológica 34 a 39 de 2020 (16 de agosto a 26 de setembro de 2020)

A figura 31 apresenta os *clusters* espaço-temporais de óbitos de COVID-19 da semana epidemiológica 34 (16/08 a 22/08) até a SE 39 (20/09 a 26/09). A disposição dos aglomerados de óbitos detectados a partir da semana 34 de 2020 foi semelhante até SE 36 (16 de agosto a 05 de setembro de 2020). Observa-se também que o arranjo dos *clusters* das SE's 37 e 38 (06 a 19 de setembro de 2020) foram similares entre si.

Nas semanas epidemiológica 34 e 35 de 2020 (16/08 a 29/08 de 2020) o *cluster 1* se localizou ao extremo Nordeste do país sobre os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco e o *cluster 2* se localizou entre Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo. O *cluster 3* foi identificado ocupando grande parte do Centro-Oeste brasileiro, sobre os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, e também ocupou parte do Pará e Tocantins, na região Norte, e Minas Gerais e São Paulo, no Sudeste, da semana epidemiológica 34 até a SE 36 de 2020 (16/08 a 05/09). Na SE 36 (30/08 a 05/09), *cluster 1* foi identificado entre a região do Vale do Rio Doce e Zona e da Zona da Mata em Minas Gerais, região Norte do estado do Rio de Janeiro e Sul do estado do Espírito Santo e o *cluster 2* foi identificado sobre o Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. A partir da semana epidemiológica 37 (06/09 a 12/09) o *cluster 1* foi detectado sobre Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins, Minas Gerais e São Paulo, o *cluster 2* sobre Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro e o *cluster 3* sobre Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe. Destaca-se um grande *cluster* de óbitos na região Norte sobre o Acre, Amazonas, Rondônia, Roraima e Pará, que chegou a englobar alguns municípios do Mato Grosso e que foi identificado da SE 34 até a SE 38 (16/08 a 19/09), e outro *cluster* que englobou Amapá, Pará, Tocantins, Maranhão e Piauí, e que foi identificado da SE 34 até a SE 36 (16/08 a 05/09) de 2020. Observa-se também o surgimento de aglomerados de óbitos menores a partir da SE 38 (13/09 a 19/09).

Figura 31 - *Clusters* espaço-temporais de óbitos de COVID-19 da SE 34 até a SE 39 de 2020



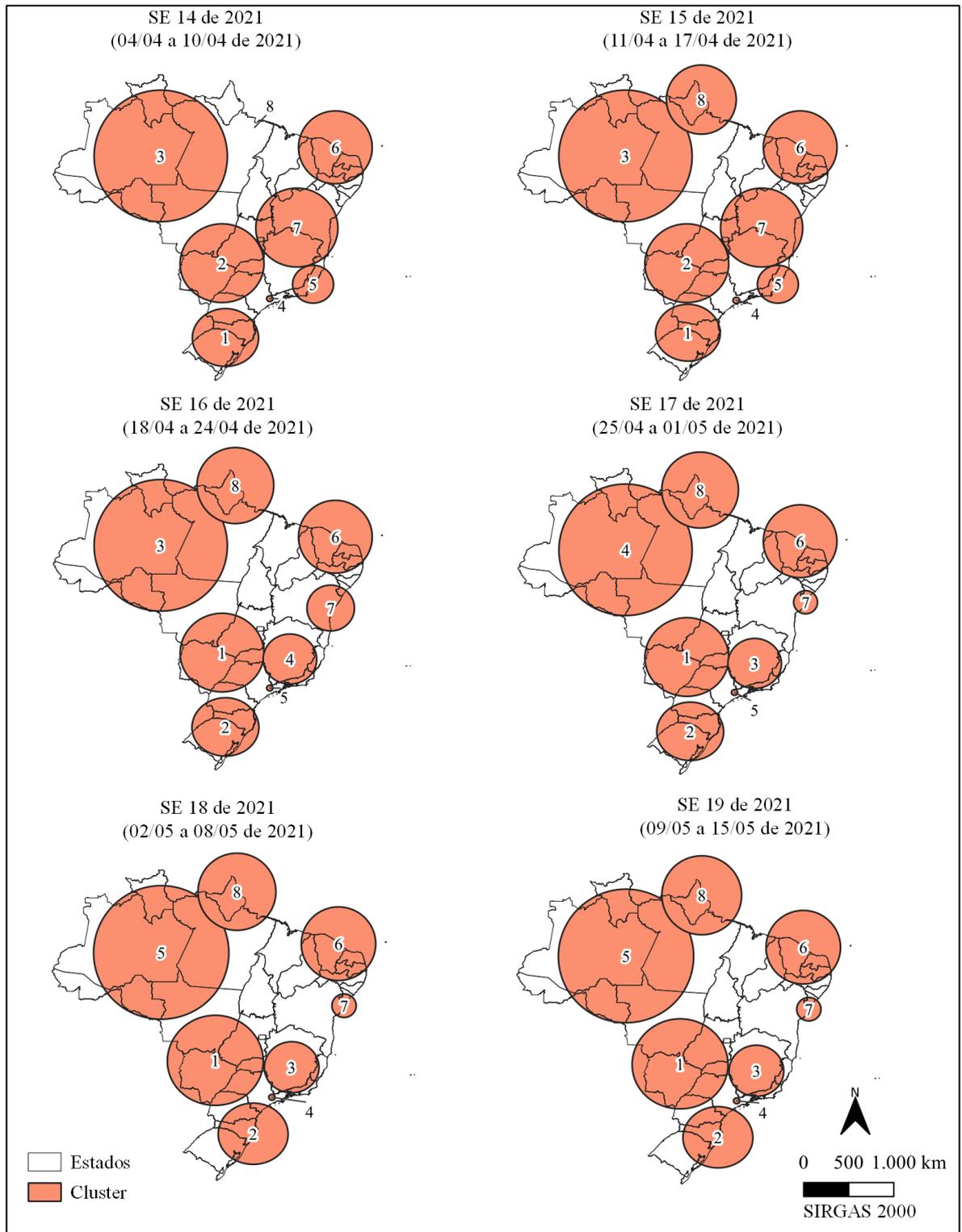
Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

7.5.2 Semana epidemiológica 14 a 19 de 2021 (04 de abril a 15 de maio de 2021)

A figura 32 apresenta os *clusters* espaço-temporais de óbitos de COVID-19 da SE 14 até 19 de 2021 (04 de abril a 15 de maio). Em geral, a disposição dos *clusters* de óbitos identificados da SE 14 em diante foi bastante similar.

Nas semanas epidemiológicas 14 e 15 (04/04 a 17/04) de 2021 o *cluster* 1 se localizou no Sul do Brasil, englobando municípios do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul; o *cluster* 2 ficou sobre o Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná; e o *cluster* 3 se localizou sobre o Amazonas, Acre, Rondônia, Pará, Roraima e Mato Grosso. A partir da SE 16 (18/04) e até a SE 19 (15/05) de 2021 o *cluster* 1 foi identificado sobre Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná; o *cluster* 2 foi detectado ao Sul do país, sobre Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, chegando a englobar alguns municípios de São Paulo a partir da SE 18 (02/05 a 08/05); e o *cluster* 3 foi identificado sobre Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro a partir da SE 17 de 2021 (25/04 a 01/05). Um grande *cluster* de óbitos foi observado da SE 14 até a SE 19 (04/04 a 15/05) na região Norte do país e a partir da SE 15 (11/04 a 17/04) ele foi acompanhado de um *cluster* menor (de número 8) que cobriu todo o estado do Amapá e alguns municípios do Pará. Observa-se que desde a SE 14 até a SE 19 de 2021, um *cluster* de óbitos foi detectado sobre a região Nordeste, englobando municípios do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.

Figura 32 - *Clusters* espaço-temporais de óbitos de COVID-19 da SE 14 até a SE 19 de 2021



Fonte de dados: Brasil.io. Elaborado pelo autor (2021).

7.6 VULNERABILIDADE SOCIAL E DESENVOLVIMENTO HUMANO NOS CLUSTERS DE CASOS

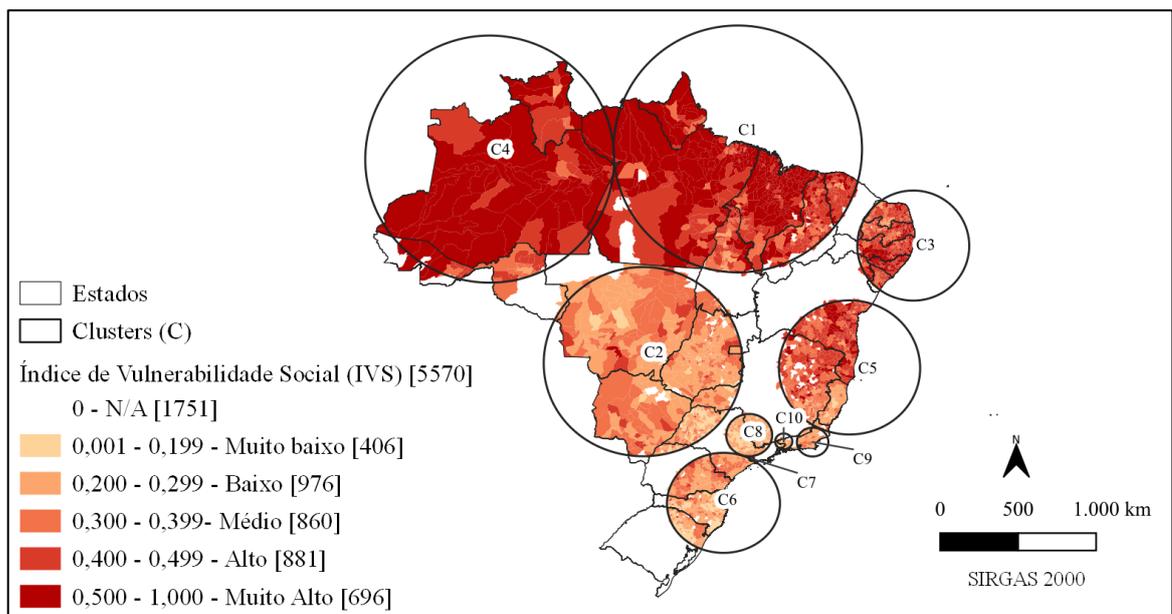
7.6.1 Semana epidemiológica 09 a 30 de 2020 (23 de fevereiro a 25 de julho de 2020)

As figuras 33 e 34 apresentam, respectivamente, os mapas dos *clusters* espaço-temporais de COVID-19 identificados no período da SE 09 a 30 de 2020 sobrepostos ao mapa do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM).

Aproximadamente 42% (1.577) dos municípios brasileiros presentes nos *clusters* de casos identificados apresentaram Índices de Vulnerabilidade Social alto ou muito alto (figura 33). A maioria dos municípios presentes nos *clusters* 1, 3 e 4 possuíam IVS acima de 0,400, indicando alta vulnerabilidade.

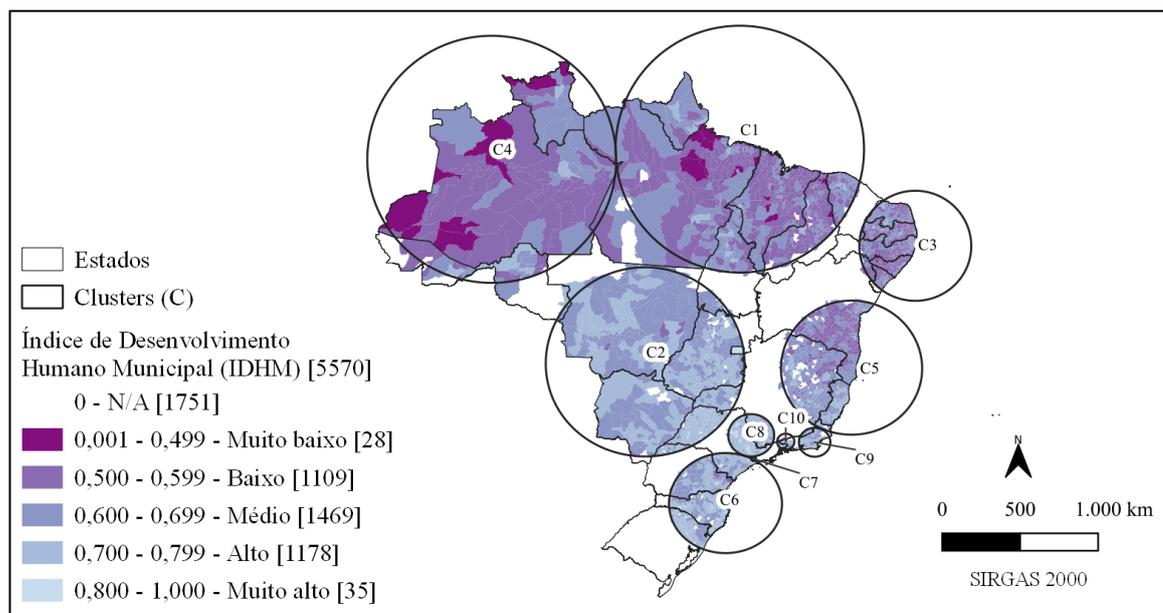
Dos municípios presentes nos *clusters* de casos identificados neste período, 1.137, ou seja, 29,77%, possuíam um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal baixo ou muito baixo (inferior a 0,600) (figura 34). A maioria dos municípios presentes nos *clusters* 1, 3 e 4 apresentaram IDHM médio ou inferior.

Figura 33 - *Clusters* de casos de COVID-19 identificados da SE 09 a 30 de 2020 e IVS



Fonte: IBGE e Brasil.io. Elaborado pelo autor (2022).

Figura 34 - *Clusters* de casos de COVID-19 identificados da SE 09 a 30 de 2020 e IDHM



Fonte: IBGE e Brasil.io. Elaborado pelo autor (2022).

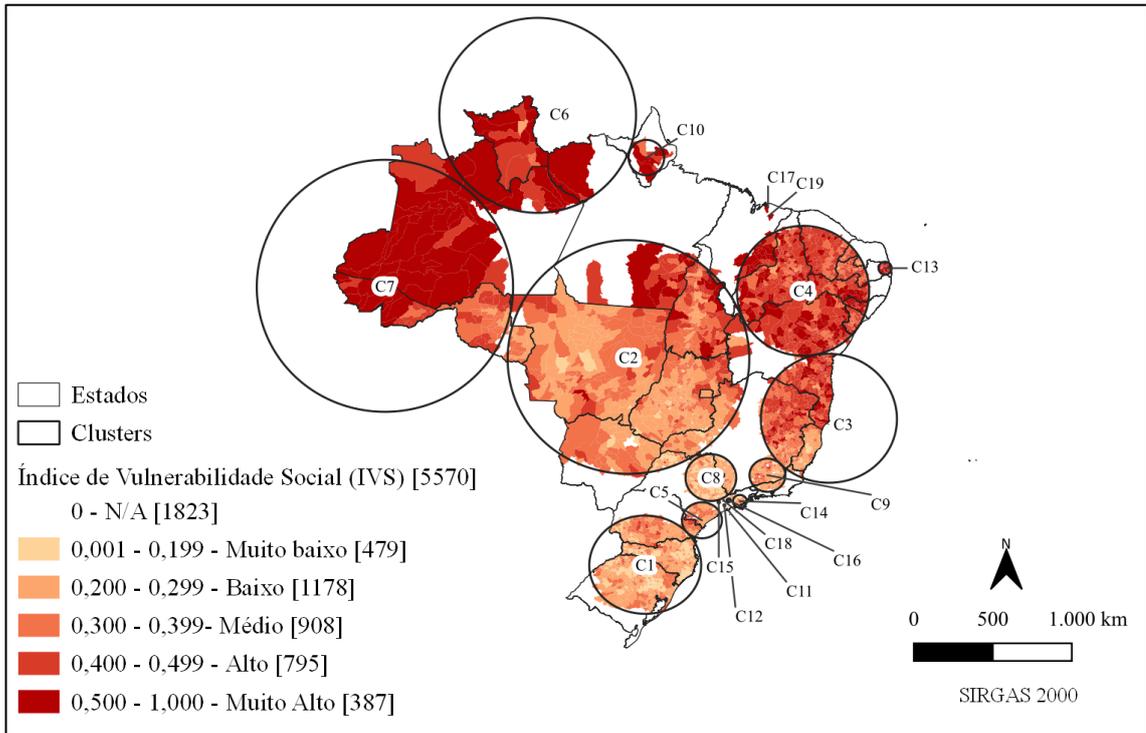
7.6.2 Semana epidemiológica 09 a 51 de 2020 (23 de fevereiro a 19 de dezembro de 2020)

Os mapas de *clusters* de casos identificados entre as SE's 09 e 51 de 2020 sobrepostos aos mapas de IVS e IDH são apresentados nas figuras 35 e 36, respectivamente.

Na varredura espaço-temporal realizada entre a SE 09 e 51 de 2020, observou-se que 31,54% (1.182) presentes em *clusters* apresentavam vulnerabilidade alta ou muito alta. Os municípios do *cluster 1*, em geral, possuíam vulnerabilidade muito baixa e média (entre 0,001 e 3,99). Nos *clusters 2 e 3* observou-se um padrão similar: os municípios mais ao norte apresentaram valores de IVS maiores quando comparados aos localizados mais ao sul.

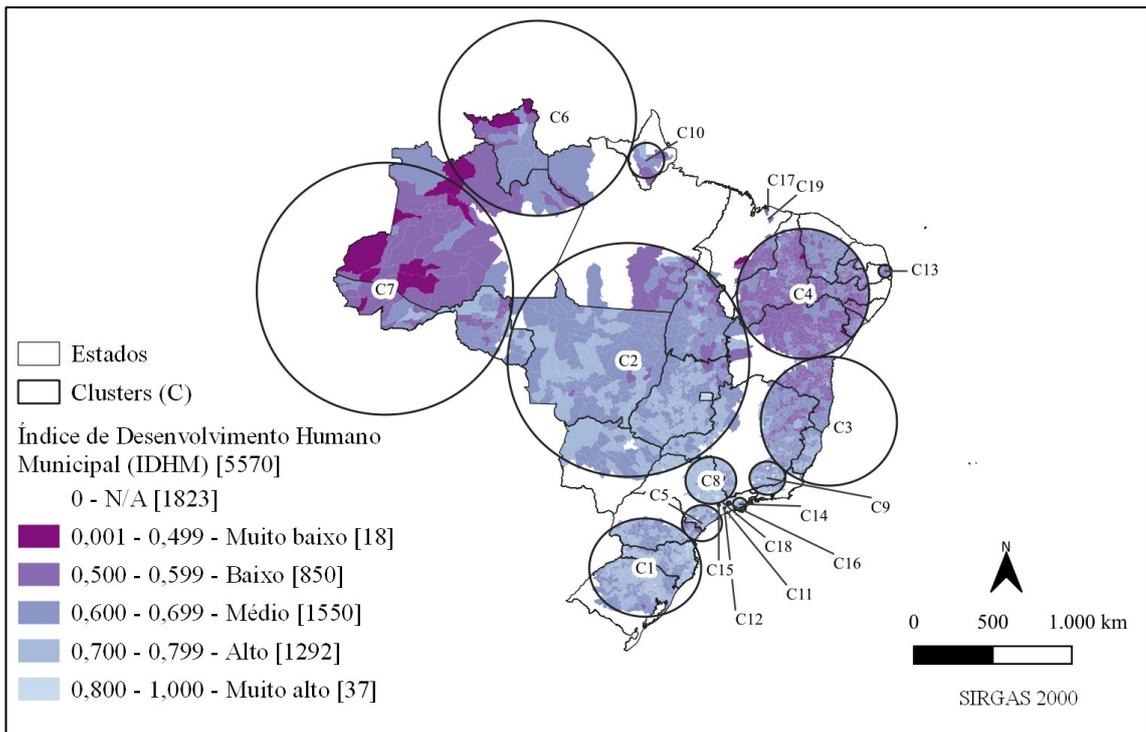
22,68% (868) dos municípios englobados pelos *clusters* de casos identificados entre a SE 09 e 51 de 2020 possuíam Índice de Desenvolvimento Humano Municipal baixo ou muito baixo. Os municípios do *cluster 1* possuíam, majoritariamente, IDHM de médio a alto e os dos *clusters 2 e 3* variaram de alto a baixo, sendo os que os municípios mais ao sul destes *clusters* tiveram maiores IDHM's.

Figura 35 - *Clusters* de casos de COVID-19 identificados da SE 09 a 51 de 2020 e IVS



Fonte: IBGE e Brasil.io. Elaborado pelo autor (2022).

Figura 36 - *Clusters* de casos de COVID-19 identificados da SE 09 a 51 de 2020 e IDHM



Fonte: IBGE e Brasil.io. Elaborado pelo autor (2022).

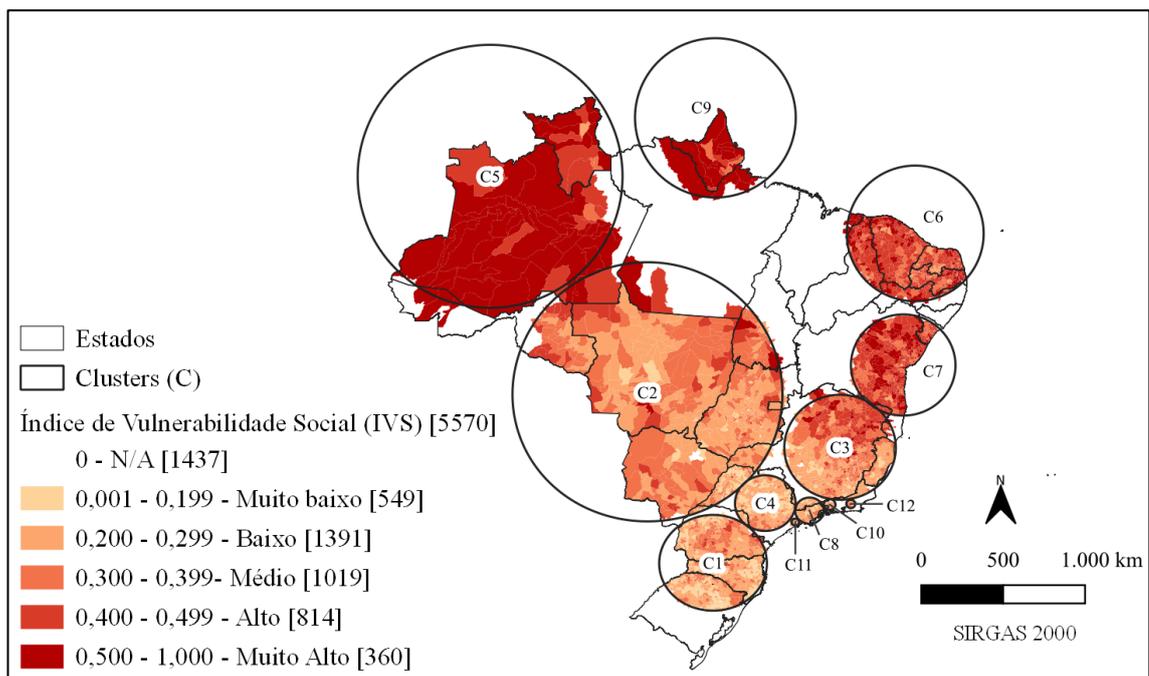
7.6.3 Semana epidemiológica 09 de 2020 a 12 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 27 de março de 2021)

As figuras 37 e 38 apresentam os mapas de *clusters* espaço-temporais de casos de COVID-19 detectados entre a SE 09 e 12 de 2021 e o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), respectivamente.

Em geral, os municípios presentes no *cluster* 1 possuíam IVS entre 0,001 e 0,399, indicando uma vulnerabilidade de muito baixa a média. Os municípios do *cluster* 2 e 3 apresentaram todos os estratos de vulnerabilidade (de muito baixa a muito alta), mas nota-se que os municípios mais ao norte destes *clusters* possuem maior vulnerabilidade. Neste período, 28,40% (1.174) dos municípios presentes nos *clusters* possuíam vulnerabilidade alta ou muito alta.

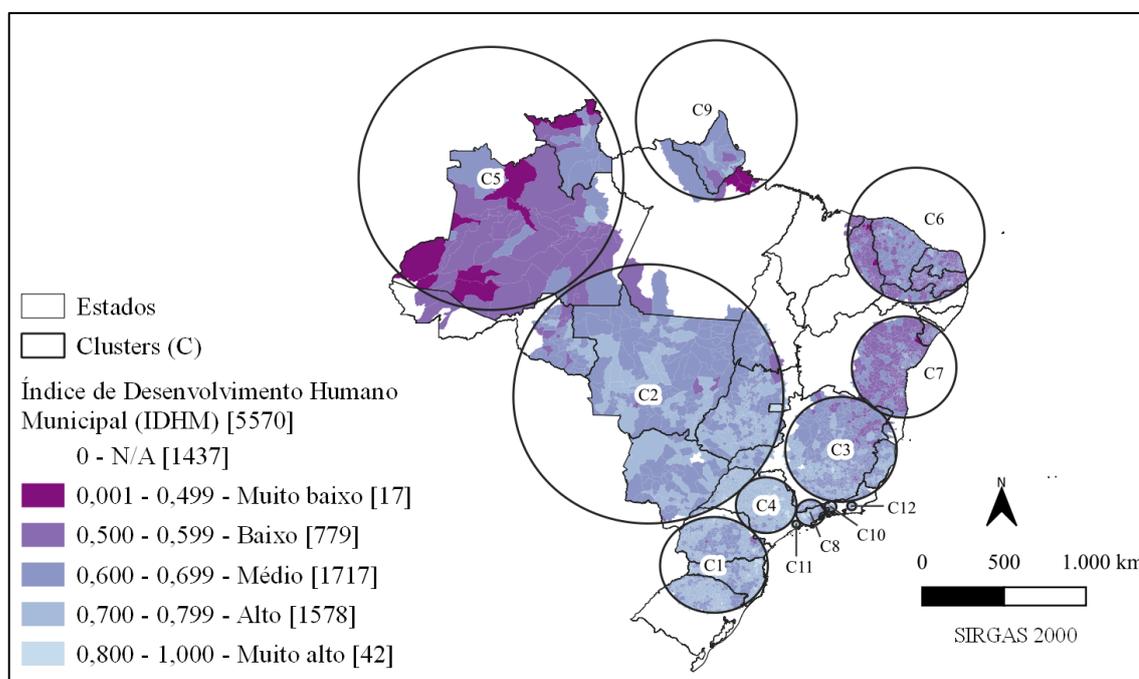
A maioria dos municípios do *cluster* 1 apresenta IDHM entre 0,600 e 0,799 (médio a alto). Já os municípios dos *clusters* 2 e 3 possuíam valores de IDHM que variaram entre 0,500 e 0,799 (baixo a alto). 19,26% (796) dos municípios presentes em *clusters* possuíam Índice de Desenvolvimento Humano Municipal baixo ou muito baixo.

Figura 37 - *Clusters* de casos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 12 de 2021 e IVS



Fonte: IBGE e Brasil.io. Elaborado pelo autor (2022).

Figura 38 - *Clusters* de casos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 12 de 2021 e IDHM



Fonte: IBGE e Brasil.io. Elaborado pelo autor (2022).

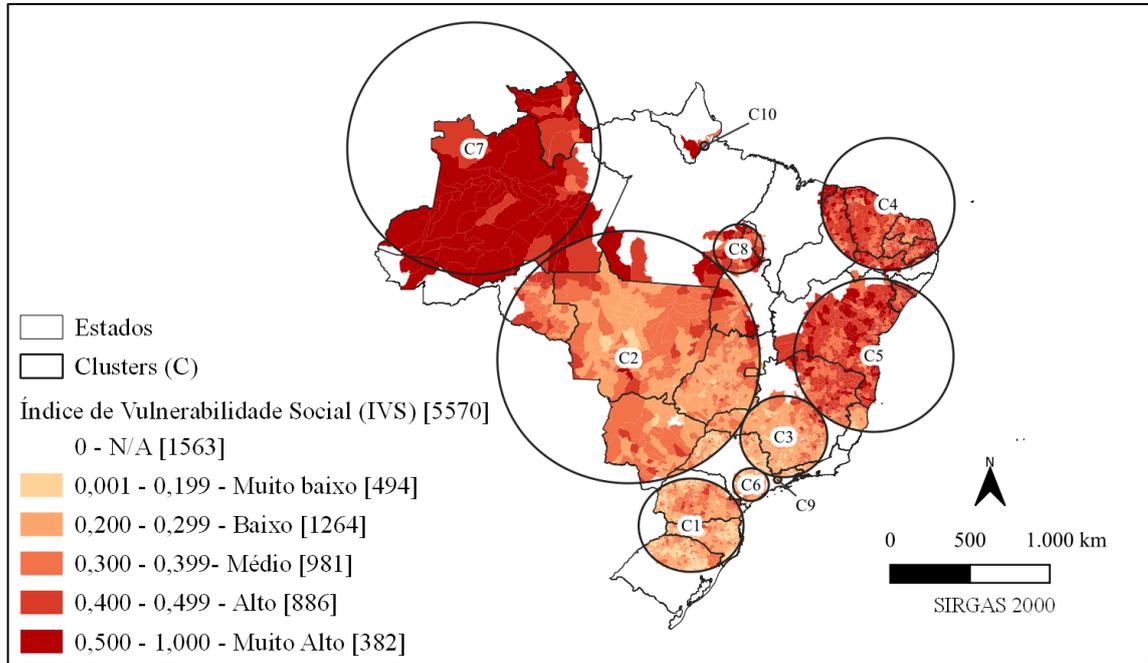
7.6.4 Semana epidemiológica de 09 de 2020 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)

Os mapas de *clusters* de casos de COVID-19 no período da SE 09 de 2020 a 23 de 2021 sobreposto ao mapa de IVS e IDHM são apresentados nas figuras 39 e 40, respectivamente.

29,47% (1.268) dos municípios brasileiros presentes nos *clusters* de casos identificados entre a SE 09 de 2020 e 23 de 2021 possuíam Índice de Vulnerabilidade alto ou muito alto. Em geral, os municípios do *cluster* 1 apresentaram IVS muito baixo, baixo ou médio. Os municípios do *cluster* 2 e 3 apresentaram Índices de Vulnerabilidade Social de todos os estratos, mas os valores maiores foram mais observados nos municípios mais ao norte destes aglomerados.

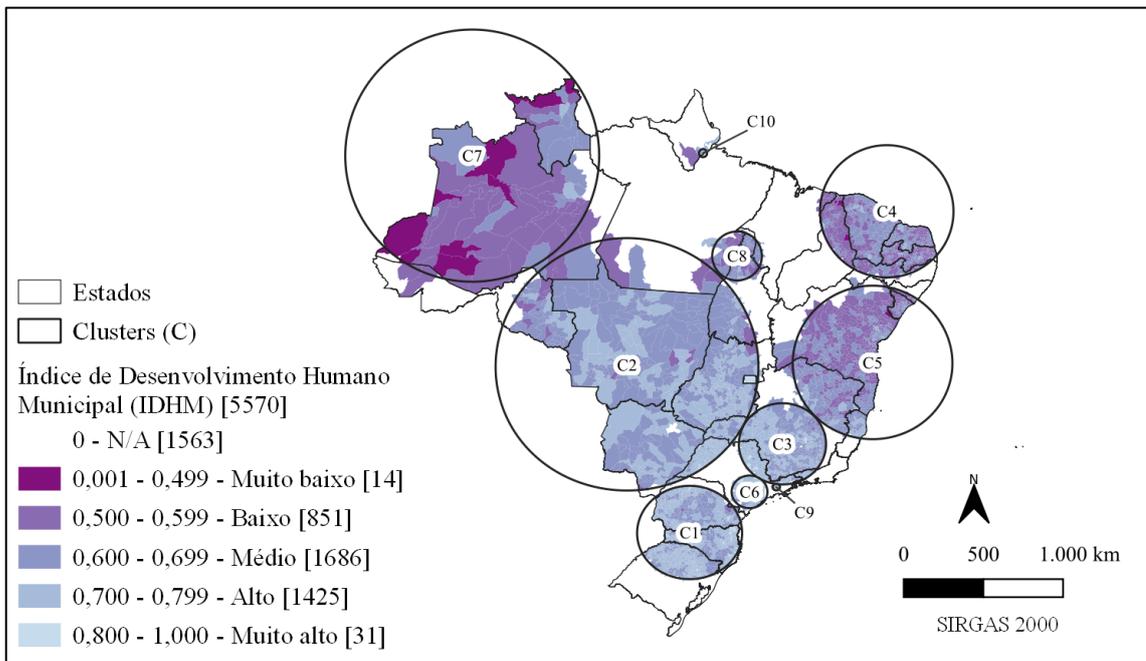
Os municípios do *cluster* 1 apresentaram, em geral, IDHM's médios ou altos, de forma semelhante aos *clusters* 2 e 3. Contudo, observa-se que alguns municípios ao norte do *cluster* 2 possuíam IDHM baixo. 21,58% dos municípios presentes nos *clusters* identificados neste período, isto é, 865 municípios, apresentaram IDHM baixos ou muito baixos, entre 0,001 e 0,599.

Figura 39 - *Clusters* de casos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 23 de 2021 e IVS



Fonte: IBGE e Brasil.io. Elaborado pelo autor (2022).

Figura 40 - *Clusters* de casos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 23 de 2021 e IDHM



Fonte: IBGE e Brasil.io. Elaborado pelo autor (2022).

7.7 VULNERABILIDADE SOCIAL E DESENVOLVIMENTO HUMANO NOS CLUSTERS DE ÓBITOS

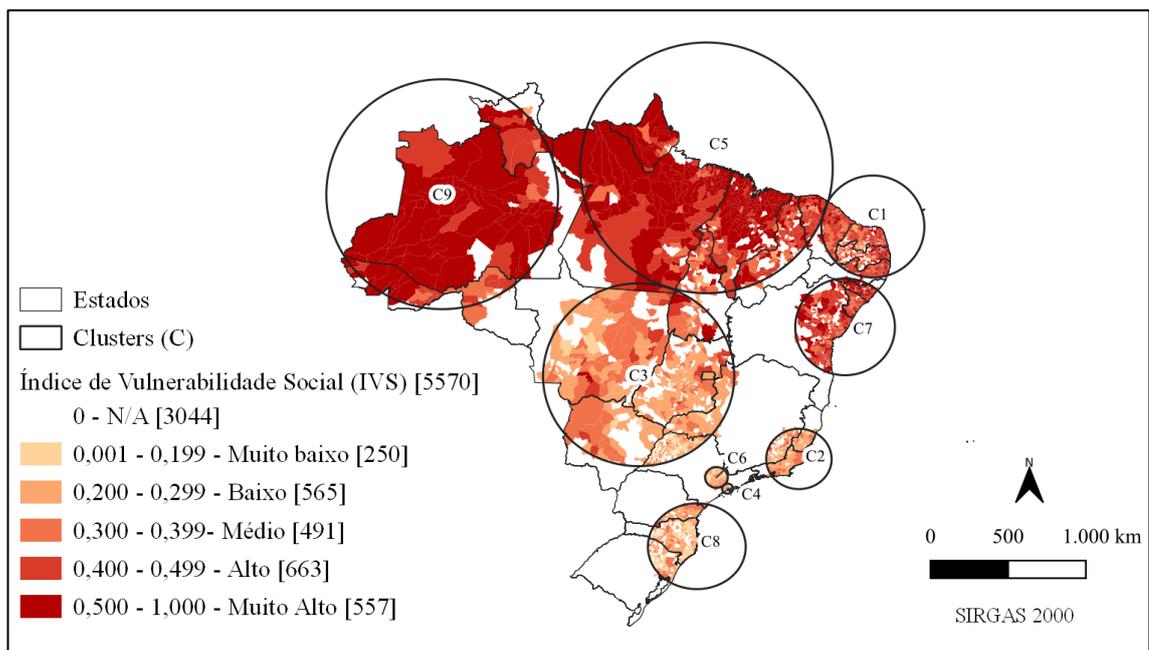
7.7.1 Semana epidemiológica 09 a 34 de 2020 (23 de fevereiro a 22 de agosto de 2020)

As figuras 41 e 42 apresentam os *clusters* espaço-temporais de óbitos identificados no período da SE 09 a 34 de 2020 sobrepostos aos mapas de Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), respectivamente.

Em geral, os municípios do *cluster* 1 apresentaram valores de Índice de Vulnerabilidade Social entre 0,300 e 1,000, indicando vulnerabilidade de média a muito alta. A maioria dos municípios do *cluster* 2 apresentaram IVS baixo ou médio (0,200 – 0,399). No período da SE 09 a 34 de 2020, 48,30% dos municípios presentes nos *clusters*, ou seja, 1.220 municípios, apresentaram vulnerabilidade alta ou muito alta.

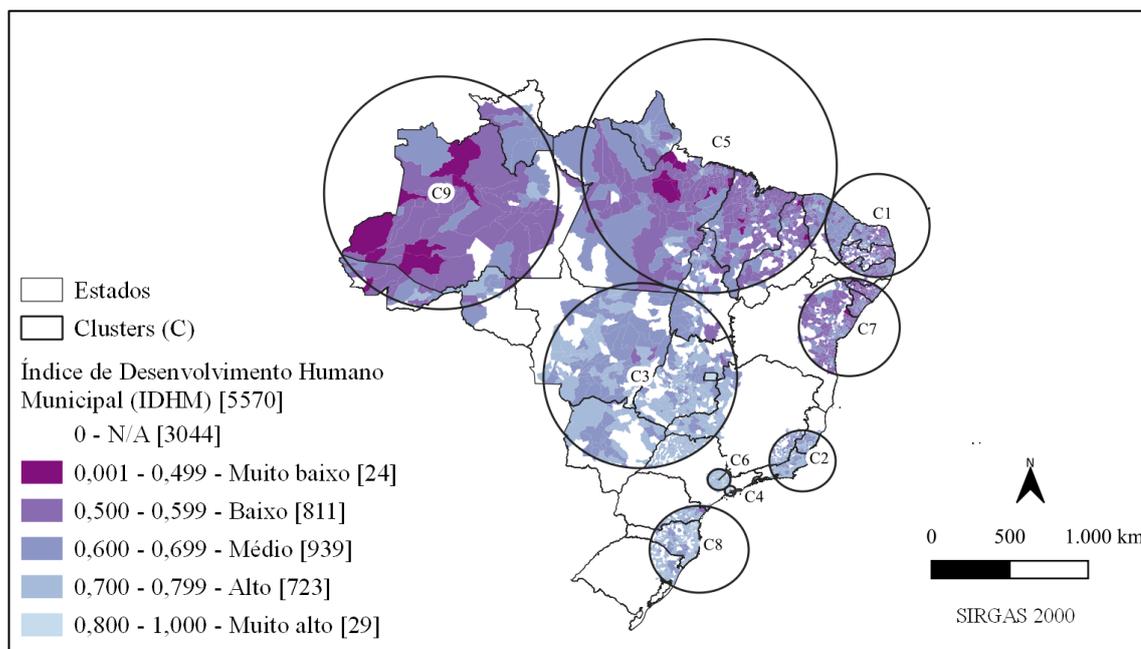
Os municípios do *cluster* 1 possuíam, majoritariamente, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal entre 0,500 e 0,699 (muito baixo a baixo) e os dos *clusters* 2 e 3 possuíam IDHM entre 0,600 e 0,799 (médio a alto). 33,05% dos municípios englobados pelos *clusters* de óbitos apresentaram IDHM muito baixo ou baixo.

Figura 41 - *Clusters* de óbitos de COVID-19 identificados da SE 09 a 34 de 2020 e IVS



Fonte: IBGE e Brasil.io. Elaborado pelo autor (2022).

Figura 42 - *Clusters* de óbitos de COVID-19 identificados da SE 09 a 34 de 2020 e IDHM



Fonte: IBGE e Brasil.io. Elaborado pelo autor (2022).

7.7.2 Semana epidemiológica 09 de 2020 a 14 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 10 de abril de 2021)

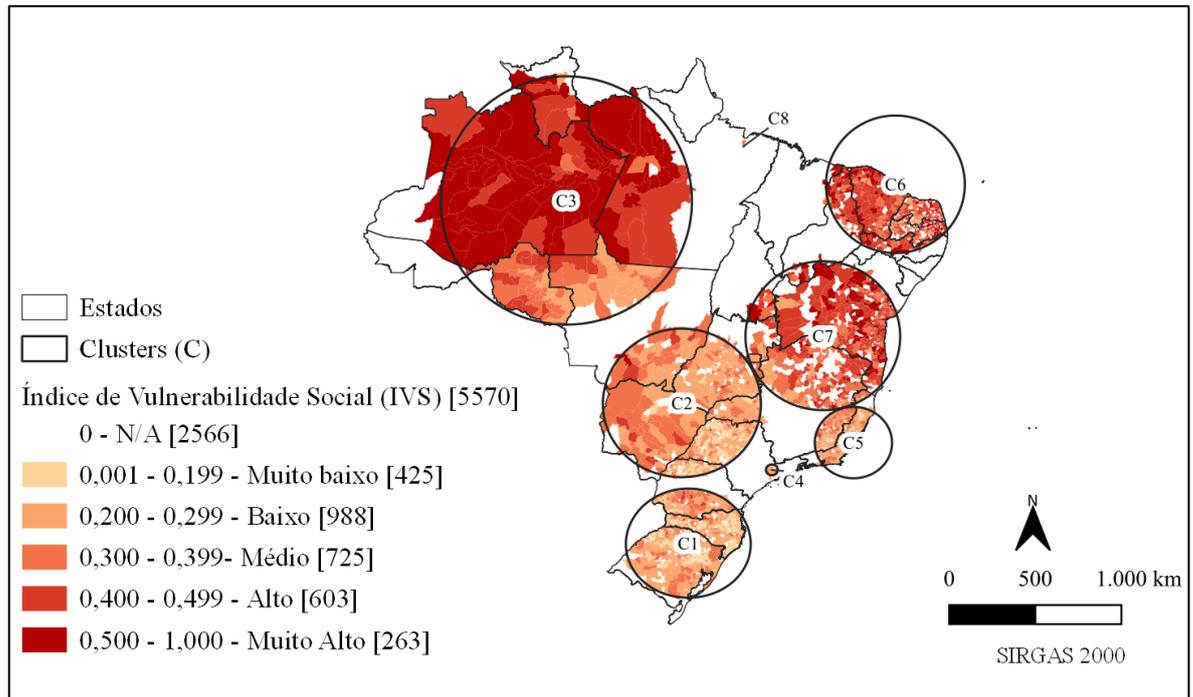
Os *clusters* de óbitos detectados no período da SE 09 de 2020 a SE 14 2021 e os mapas de Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) são exibidos nas figuras 43 e 44, respectivamente.

Cerca 29% (866) dos municípios dos *clusters* de óbitos identificados entre a SE 09 de 2020 e 14 de 2021 possuíam Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) alto ou muito alto, entre 0,400 e 1,000. Os municípios do *cluster* primário apresentaram, em geral, IVS de muito baixo a médio (0,001 – 0,399). O *cluster* 2 possuía municípios com IVS desde muito baixo até muito alto, sendo que os municípios com maior IVS se localizaram ao sul e sudeste deste *cluster*. Os municípios do *cluster* 3 possuíam IVS entre 0,200 e 1,000 (baixo a muito alto). Observa-se que os municípios do Amazonas, Roraima e Pará, presentes no *cluster* 3, apresentaram IVS maiores quando comparados aos municípios de outros estados deste *cluster*.

Os municípios presentes no *cluster* 1 e 2 possuíam, majoritariamente, IDHM na faixa de 0,600 e 0,799 (médio a alto). Já os municípios do *cluster* 3, possuíam IDHM entre 0,500 e 0,699 (baixo a médio). 556 municípios dos *clusters* de óbitos identificados, isto é, 18,51%,

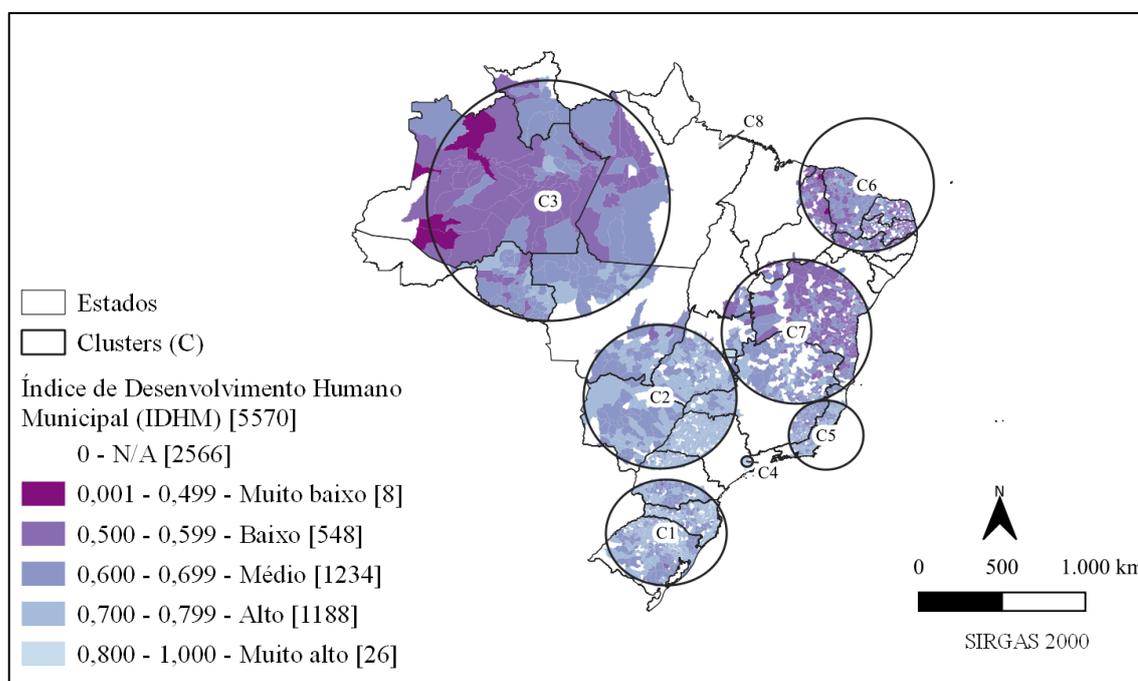
apresentaram IDHM muito baixo ou baixo (0,001 – 0,599).

Figura 43 - *Clusters* de óbitos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 14 de 2021 e IVS



Fonte: IBGE e Brasil.io. Elaborado pelo autor (2022).

Figura 44 - *Clusters* de óbitos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 14 de 2021 e IDHM



Fonte: IBGE e Brasil.io. Elaborado pelo autor (2022).

7.7.3 Semana epidemiológica 09 de 2020 até a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021)

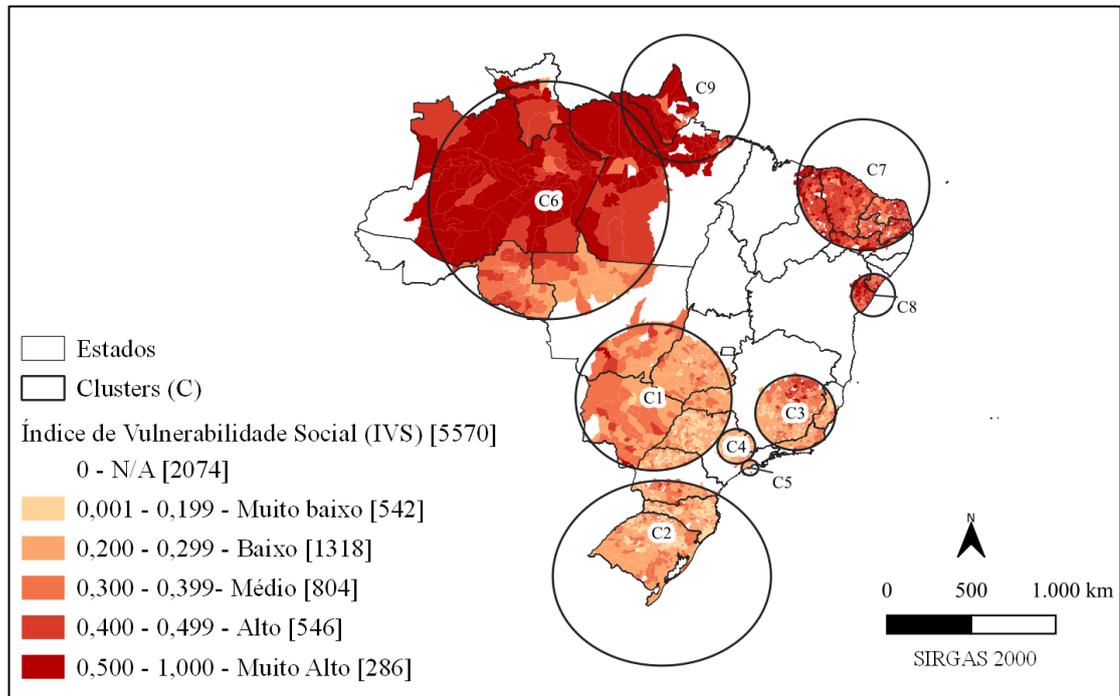
As figuras 45 e 46 apresentam o mapa de *clusters* espaço-temporais de óbitos sobrepostos aos mapas de Índice de Vulnerabilidade Social (figura 44) e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (figura 45).

Os municípios englobados pelo *cluster* 1 apresentaram Índice de Vulnerabilidade Social entre 0,001 e 1,000. Contudo, observa-se que os municípios mais ao sul e sudeste deste *cluster* possuíam, em geral, vulnerabilidade baixa ou muito baixa, enquanto os outros municípios apresentaram vulnerabilidade média ou superior. A maioria dos municípios do *cluster* 2 apresenta vulnerabilidade na faixa de 0,001 a 0,399 (muito baixa a média). Os municípios do *cluster* 3 apresentaram majoritariamente IVS entre 0,200 e 0,499, indicando uma vulnerabilidade baixa a alta. Observa-se que os municípios mais ao norte deste *cluster* apresentaram maiores IVS's quando comparados aos outros mais ao sul. 23,80% (832) dos municípios identificados nos *clusters* de óbitos apresentaram vulnerabilidade alta ou muito alta,

A maioria dos municípios presentes nos *clusters* 1, 2 e 3 possuíam Índice de

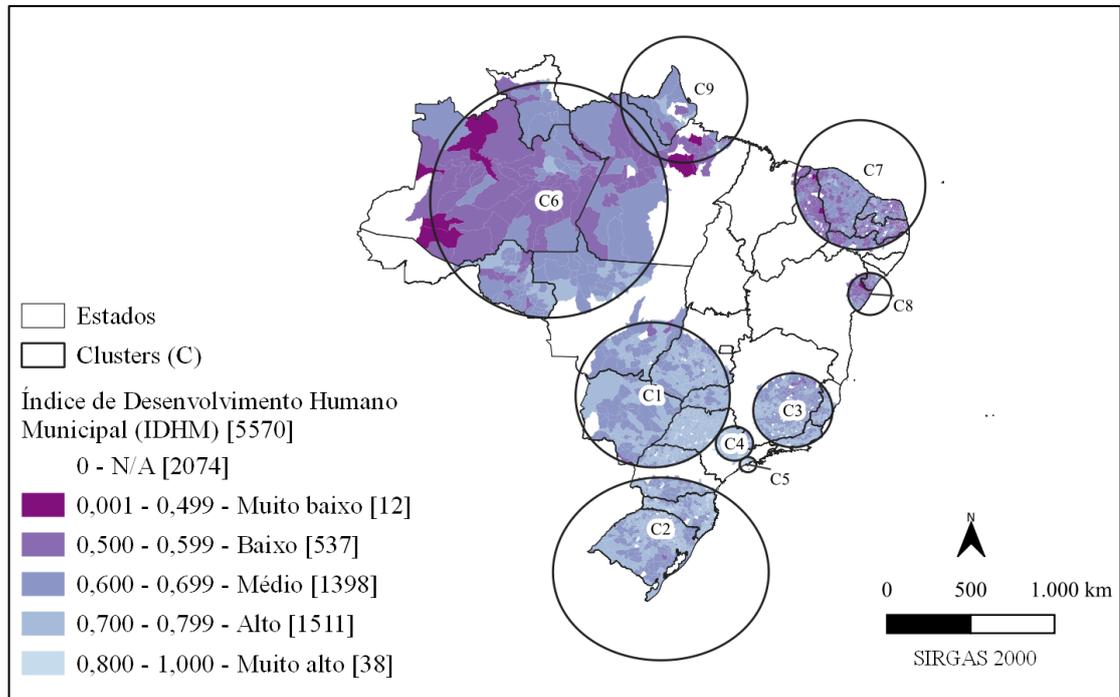
Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) que variou de médio a alto (0,600 – 0,799). 15,70% (549) dos municípios identificados nos *clusters* de óbitos no período da SE 09 de 2020 a 23 de 2021 apresentaram IDHM baixo ou muito baixo.

Figura 45 - *Clusters* de óbitos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 23 de 2021 e IVS



Fonte: IBGE e Brasil.io. Elaborado pelo autor (2022).

Figura 46 - *Clusters* de óbitos de COVID-19 identificados da SE 09 de 2020 a 23 de 2021 e IDHM



Fonte: IBGE e Brasil.io. Elaborado pelo autor (2022).

8 DISCUSSÃO

No presente estudo, considerou-se o processo pandêmico da COVID-19 no Brasil desde a semana epidemiológica 09 de 2020, quando foi notificado o primeiro caso pela doença, até a semana 23 de 2021, totalizando o período de 23 de fevereiro de 2020 até 12 de junho de 2021. Neste período, foram contabilizados 17.281.799 casos e 484.671 óbitos que evoluíram de forma heterogênea e com alta variabilidade entre os estados e municípios brasileiros. Tal heterogeneidade foi observada não só no tempo, ao analisar os gráficos de casos e óbitos por estados, mas também no espaço, ao analisar os mapas de casos e óbitos de COVID-19 nos municípios do Brasil.

Embora cada estado brasileiro tenha iniciado a contagem de casos e óbitos novos em diferentes semanas epidemiológicas e tenha apresentado trajetórias epidemiológicas distintas, Guimarães e colaboradores (2021) encontraram semelhanças entre as curvas de casos e óbitos de COVID-19 no Brasil e na maioria de suas Unidades da Federação. Eles observaram um grande aumento de casos nas primeiras semanas da epidemia, picos a partir da semana epidemiológica 26 de 2020 (21 a 27 de junho), seguidos de quedas principalmente após a SE 36 de 2020 (30 de agosto a 05 de setembro), e um platô de óbitos a partir da SE 20 de 2020 (10 a 16 de maio), que perdurou por mais de dez semanas epidemiológicas. Os autores apontam que alguns *outliers* observados nas curvas de casos ou óbitos de COVID-19 de alguns estados sugerem atraso na entrega de resultados laboratoriais em semanas anteriores e liberação de muitos resultados em uma mesma semana. Existem também situações em que casos ou óbitos podem não ser reportados nas datas corretas devido a problemas técnicos nos servidores do sistema, o que pode resultar em uma aparente diminuição seguida de grande aumento no número de casos ou óbitos.

Mesmo apresentando queda nos números de casos e óbitos notificados a partir de setembro de 2020, o boletim do Observatório Covid-19 (2020) alertou em outubro de 2020 sobre a possibilidade de recrudescimento da pandemia no Brasil e da necessidade de manter as medidas de isolamento físico e social, bem como uso de máscaras e outras formas de se proteger contra o vírus. Contudo, o que de fato foi observado foi a fragmentação e descontinuidade destas políticas por parte dos governos das diferentes esferas, o que resultou em um aumento de casos e óbitos nas semanas seguintes (OBSERVATÓRIO COVID-19 FIOCRUZ, 2021) e de uma segunda onda da doença (DE SOUZA *et al.*, 2021), que coincidiu com o período de festas de fim de ano e férias, e manteve um elevado número de casos e óbitos até junho de 2021.

De acordo com Magalhães e colaboradores (2021), o processo de espalhamento da COVID-19 foi semelhante ao observado na maioria dos países, onde a doença se disseminou de grandes metrópoles para cidades médias e, em seguida, para cidades menores e interioranas. A difusão da doença em escala nacional entre grandes centros urbanos parece ter ocorrido devido às ligações aeroviárias e a disseminação a nível regional ocorreu devido às ligações rodoviárias e intraurbanas. Os autores adicionam que os primeiros casos de COVID-19 foram notificados nas duas principais metrópoles do Brasil: São Paulo e Rio de Janeiro, que possuem os principais aeroportos do país. Posteriormente, foram notificados casos em Brasília e em outras metrópoles com importante fluxo aéreo nacional e internacional e, em seguida, municípios menores passaram também a reportar casos da doença.

Segundo Ribeiro e colaboradores (2020), os municípios menores foram, proporcionalmente, mais afetados na fase inicial de disseminação do SARS-CoV-2 no Brasil, visto que o número de casos e óbitos acumulados *per capita* diminui de acordo com o tamanho da população. Magalhães e colaboradores (2021) também chamam atenção ao impacto desproporcional causado pela COVID-19 em municípios menores em razão da menor disponibilidade e capacidade dos serviços de saúde. Possíveis explicações para esta disparidade são levantadas por esses autores. Primeiramente, municípios maiores tendem a apresentar maior acesso aos serviços de saúde. Em segundo, municípios maiores possuem menor proporção de idosos, sabidamente mais suscetíveis à doença. Em terceiro, as medidas de combate a pandemia tomadas por municípios menores ou maiores foram diferentes, o que influencia na eficiência no combate ao novo coronavírus. Contudo, a médio e longo prazo foram as grandes metrópoles que passaram a apresentar maior incidência de casos e óbitos.

A varredura espaço temporal prospectiva (KULLDORFF, 1997) é uma excelente ferramenta para identificação de áreas com maior risco de adoecimento ou óbito devido a um agravo (ALQADI *et al.*, 2021; DESJARDINS; HOHL; DELMELLE, 2020; GOMES *et al.*, 2020; HOHL *et al.*, 2020; KULLDORFF, 2001). No caso da COVID-19, os padrões identificados através da análise de *clusters* podem auxiliar a identificar possíveis fatores que influenciam no espalhamento do vírus e subsidiar intervenções que visem a prevenção e controle da doença, como alocação de mais centros de testagem ou postos de vacinação em áreas prioritárias.

Os *clusters* de casos identificados nas análises se distribuíram sobre a maior parte do território brasileiro e ao menos um município de cada estado foi englobado por um aglomerado, o que indica grande disseminação do SARS-Cov-2 pelo país. Os municípios

presentes na varredura espaço temporal realizada entre a semana epidemiológica 09 a 30 de 2020 (23 de fevereiro a 25 de julho) apresentaram maiores riscos relativos quando comparados aos outros períodos. Os resultados encontrados na análise deste primeiro período coincidem em parte com os de Martines e colaboradores (2021), que também realizou uma varredura espaço-temporal prospectiva de 25 de fevereiro a 20 de julho de 2020. As divergências observadas entre este trabalho e o de Martines *et al.* podem decorrer do menor período de estudo, utilizado pelo segundo, e das especificações colocadas no SaTScan.

A partir das varreduras espaço-temporais realizadas nos períodos analisados para casos (semanas epidemiológicas 09 de 2020 a 30 de 2020, 09 de 2020 a 51 de 2020, 09 de 2020 a 12 de 2021 e 09 de 2020 a 23 de 2021) e para óbitos (semanas epidemiológicas 09 de 2020 a 34 de 2020, 09 de 2020 a 14 de 2021 e 09 de 2020 a 23 de 2021), observou-se que, em geral, os *clusters* maiores se localizaram na região Norte e Centro-Oeste, enquanto *clusters* menores se localizaram no litoral brasileiro, sobre o Nordeste, Sudeste e Sul. Isto pode ser atribuído ao tamanho dos municípios destas regiões, que são maiores no Norte e Centro-Oeste, quando comparados aos de outras regiões. Além disso, algumas regiões brasileiras se destacaram por serem englobadas por *clusters* na maioria dos períodos. É o caso de grande parte do Amazonas, Rondônia e Roraima, no Norte, parte do Rio Grande do Norte e Paraíba, no Nordeste, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal, no Centro-Oeste, parte de São Paulo e Minas Gerais, no Sudeste, e Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, na região Sul.

É interessante observar que, em geral, os riscos relativos dos *clusters* de casos diminuíram ao longo dos períodos analisados. Já os RR's dos *clusters* de óbitos apresentaram um grande aumento da análise realizada da SE 09 a 34 de 2020 para SE 09 de 2020 a 14 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 10 de abril de 2021), seguido de queda na análise da SE 09 de 2020 a 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021). Alguns autores atribuem a redução no número de óbitos devido a vacina contra a COVID-19 (LILLA *et al.*, 2022; MOHAMMED *et al.*, 2022; PATEL *et al.*, 2021; SADARANGANI *et al.*, 2021).

A campanha de vacinação contra a COVID-19 no Brasil teve seu início em 17 de janeiro de 2021 e foi marcada pela insuficiência de doses e do surgimento de movimentos antivacina no país. A crise sanitária foi inevitável, mas ainda assim, foi observado o impacto positivo da vacinação ao longo dos meses, contribuindo para a redução de casos graves, internações e óbitos, principalmente em idosos (OBSERVATÓRIO COVID-19 FIOCRUZ, 2022).

A realização da varredura espaço-temporal de maneira periódica, como feito neste estudo, é uma boa ferramenta para monitorar possíveis áreas que representem perigo à saúde pública e permite verificar se estas áreas estão aumentando ou diminuindo em tamanho, o que pode embasar intervenções de combate e controle da COVID-19 (HOHL *et al.*, 2020). Muitos dos *clusters* observados na varredura espaço-temporal persistiram por essas regiões por diversas semanas epidemiológicas, embora tenham sido observadas algumas mudanças de raio.

A disposição dos *clusters* de casos identificados da SE 12 a 17 de 2021 (21 de março a 01 de maio de 2021) foi bastante similar. Padrão semelhante foi observado nos *clusters* de óbitos detectados da SE 14 a 19 de 2021 (04 de abril a 15 de maio de 2021). Isto sugere determinada sincronicidade nas curvas de casos e óbitos dos municípios brasileiros e um momento mais estabilizado da pandemia de COVID-19. O mesmo não foi observado em mesma magnitude nos períodos mais iniciais da pandemia: SE 30 a 35 de 2020 (19 de julho a 29 de agosto) e SE 51 de 2020 a 03 de 2021 (13 de dezembro de 2020 a 23 de janeiro de 2021), para casos, e SE 34 a 39 de 2020 (16 de agosto a 26 de setembro), para óbitos.

A partir de 13 de dezembro de 2020, na semana epidemiológica 51, e até 12 de junho de 2021, na SE 23, o *cluster* de casos primário foi identificado na região Sul e o *cluster* secundário foi detectado majoritariamente sobre o Centro-Oeste, o que indica elevada persistência dos aglomerados de casos nestas localidades, visto que eles permaneceram ativos por pelo menos 25 semanas epidemiológicas. Já para óbitos, observou-se que nas análises da semana 34 a 39 de 2020 (16 de agosto a 26 de setembro), os *clusters* 1, 2 e 3 se alternaram entre Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, no Nordeste, Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, no Sudeste, e Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, no Centro-Oeste. Na análise da persistência de *clusters* de óbitos da SE 14 a 19 de 2021 (04 de abril a 15 de maio), os *clusters* primário e secundário foram detectados majoritariamente sobre o Centro-Oeste e Sul do Brasil.

Fatores como acesso a serviços de saúde e oferta de leitos influenciam diretamente no tratamento de casos de graves de COVID-19 e podem evitar que tais casos evoluam para óbitos. Segundo Mendonça e colaboradores (2020), dentre todas as regiões brasileiras, a região Norte é que, proporcionalmente, possui a menor quantidade de leitos de UTI, médicos e respiradores, necessários no tratamento e combate das possíveis complicações da COVID-19. No caso do Amazonas, por exemplo, o único município capaz de prover atendimento para casos de maior complexidade se localiza na capital do estado, Manaus (CASTRO *et al.*, 2021; OBSERVATÓRIO COVID-19 FIOCRUZ, 2022). Noronha e colaboradores (2020)

adicionam que, além da região Norte, o Nordeste também apresenta uma oferta muito menor de leitos de UTI, quando comparado às outras regiões brasileiras.

De acordo com o boletim do Observatório Covid-19 (2022) que realizou um balanço de dois anos de pandemia, o aumento de casos de COVID-19 no mês de novembro de 2020 resultou em um aumento na taxa de ocupação de leitos de UTI principalmente nas regiões Sul, Centro-Oeste e no Norte do Brasil, principalmente do estado do Amazonas.

É sabido que as regiões brasileiras foram (e continuam) sendo afetadas pela COVID-19 e por outros agravos de maneiras distintas. Fatores como sexo, raça/cor e estrutura etária, renda per capita, nível de vulnerabilidade, número de leitos por mil habitantes e presença de comorbidades variam a nível regional, estadual e, muitas vezes municipal, e influenciam direta ou indiretamente no processo de adoecimento e óbito pela COVID-19. De acordo com Pinheiro e colaboradores (2020), os determinantes sociais da saúde e as disparidades socioeconômicas e demográficas regionais devem ser considerados ao analisar o contexto da pandemia no Brasil, que evidencia a concentração histórica de recursos da saúde no Sul e Sudeste do país e a menor capacidade de resposta à crises sanitárias no Norte e Nordeste. Mendonça (2020) adiciona que o Sistema Único de Saúde (SUS), na verdade não é único, mas sim multifacetado pelas diversas desigualdades que assolam o país.

Indicadores como Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (MARSIGLIA; SILVEIRA; CARNEIRO JUNIOR, 2005; TOMASI *et al.*, 2017), Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) (BANHOS *et al.*, 2021; MACIEL; CASTRO-SILVA; FARIAS, 2020) e Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) (MARTINES *et al.*, 2021) podem auxiliar a entender a qualidade de acesso aos serviços de saúde e asno Brasil. Ao sobrepor os *clusters* de casos e óbitos com os mapas de IVS e IDHM observou-se que os municípios das regiões Norte e Nordeste apresentaram maior vulnerabilidade e menor desenvolvimento humano municipal, quando comparados aos municípios do Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Entretanto, sabe-se que embora somente estes indicadores não sejam capazes de explicar em totalidade as desigualdades presentes no Brasil, eles auxiliam a descrever um padrão observado principalmente ao contrastar o Norte e Sul do país.

Algumas limitações das fontes de dados devem ser consideradas. A base de dados do Brasil.io tem como referência temporal a data de notificação, e não a data de início dos sintomas. Desta forma, os resultados encontrados podem estar com uma ou duas semanas de atraso e as semanas epidemiológicas com os picos e finais de platôs selecionadas para as análises podem não refletir de forma precisa o tempo real do cenário da COVID-19 no Brasil. Reforça-se que o Brasil.io não é uma fonte oficial do Ministério da Saúde. Contudo, não

existe um banco de dados oficial com todos os casos de COVID-19 e com a data dos primeiros sintomas. As alternativas seriam utilizar o banco do e-SUS VE (e-SUS Notifica), que registra os casos de Síndrome Gripal e reúne casos suspeitos e confirmados de COVID-19, ou o SIVEP-Gripe, que registra os casos hospitalizados por Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) e os óbitos por SRAG. Enquanto o primeiro passou por diversas instabilidades, principalmente durante o ano de 2020, e chegou a apresentar uma defasagem de até 10% na contagem de casos em relação ao observado nos boletins das Secretarias Estaduais de Saúde, o segundo registra apenas casos graves de COVID-19 que foram hospitalizados, não considerando os casos leves ou moderados e, portanto, não refletindo o cenário da COVID-19 no Brasil. Por estes motivos, optou-se por utilizar o Brasil.io, pois ele fornece as informações necessárias capazes de descrever a intensidade e o padrão de propagação de casos e óbitos de COVID-19 no país. Além disso, esta base foi utilizada por outros autores que também realizaram uma varredura-espaço temporal de casos e óbitos de COVID-19 no Brasil e que serviram como referência para a elaboração deste trabalho (CASTRO *et al.*, 2021; FERREIRA *et al.*, 2020; MARTINES *et al.*, 2021). Ressalta-se ainda que ao se falar dos casos de COVID-19, deve-se também considerar as alterações nas definições de casos que ocorreram ao longo da pandemia e também a dificuldade no diagnóstico de novos casos, observado principalmente na fase inicial da pandemia, em que os municípios não tinham capacidade de testagem suficiente.

Outra limitação quanto as fontes de dados é que o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) tem como base informações coletadas no Censo de 2010 e podem não refletir o cenário demográfico e socioeconômico atual. Contudo, não foram encontradas outras fontes de indicadores e índices que melhor se aproximem do cenário atual.

Hohl e colaboradores (2020) elencam limitações da varredura espaço-temporal prospectiva para estudar a COVID-19. São elas: 1) O formato circular dos *clusters*, que pode não ser a melhor escolha para áreas de estudo que apresentem elevada heterogeneidade espacial; 2) A dependência da capacidade de testagem dos municípios para diagnosticar casos, o que influencia não só na contagem de casos, mas também no entendimento da verdadeira magnitude e distribuição espacial da COVID-19; 3) Os raios muito grandes de alguns *clusters* identificados, o que pode não ser muito útil para estratégias locais de controle da doença. Como alternativa, os autores sugerem a realização de análises locais, o que facilitaria na identificação de áreas prioritárias e com surtos do novo coronavírus.

9 CONCLUSÃO

A COVID-19 é uma doença predominantemente respiratória causada pelo SARS-CoV-2. Devido à alta taxa de transmissibilidade do vírus, a doença logo se tornou uma pandemia, atingindo a todos os países do globo. Os primeiros casos de COVID-19 no Brasil foram confirmados em São Paulo e Rio de Janeiro, na região Sudeste, e em poucas semanas outros estados brasileiros passaram também a notificar casos da doença.

Neste estudo, foram identificados aglomerados espaço-temporais (*clusters*) de casos e óbitos de COVID-19 no Brasil da semana epidemiológica 09 de 2020, quando foi confirmado o primeiro caso, até a SE 23 de 2021 (23 de fevereiro de 2020 a 12 de junho de 2021) e buscou-se compreender sua relação com a vulnerabilidade social e o desenvolvimento humano municipal.

Importante destacar que ao menos um município de cada estado brasileiro foi englobado por um cluster. Em geral, os *clusters* maiores foram identificados na região Norte e Centro-Oeste, enquanto os menores foram detectados no litoral do Nordeste, Sudeste e Sul do Brasil. Grande parte do Amazonas, Roraima, Rondônia, Rio Grande do Norte, Paraíba, Mato Grosso do Sul, Goiás, Distrito Federal, São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul se destacaram por estarem dentro de *clusters* de casos ou óbitos na maioria dos períodos analisados.

O *cluster* primário e secundário de casos foram detectados, respectivamente, sobre a região Sul e Centro-Oeste desde a semana epidemiológica 51 de 2020 até a 23 de 2021 (13/12/2020 a 12/06/2021) e padrão semelhante foi observado para os *clusters* de óbitos a partir da semana 14 de 2021 (04 de abril a 15 de maio), sugerindo elevada persistência. Até o conhecimento deste autor, este é o primeiro estudo a analisar a persistência de *clusters* de casos e óbitos espaço-temporais prospectivos de COVID-19 no Brasil.

O Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) dos municípios presentes nos *clusters* de casos e óbitos indicam um contraste, a certo ponto, já esperado entre Norte e Nordeste, com maior vulnerabilidade e menor desenvolvimento humano, e Centro-Oeste, Sudeste e Sudeste.

As regiões, estados e municípios brasileiros sofreram impactos devido a COVID-19 em magnitudes diferentes. Tais disparidades podem ser explicadas por fatores socioeconômicos e demográficos que exacerbam as desigualdades no acesso aos serviços de saúde e devem ser consideradas ao analisar o contexto da pandemia no Brasil.

Este estudo contribuiu para identificar áreas que possuem maior risco de adoecimento e óbito devido a COVID-19 e que precisam receber maior atenção do poder público para mitigar os efeitos da doença, como melhor alocação de recursos de saúde, postos de vacinação e estratégias locais integradas que visem diminuir o contágio pelo SARS-CoV-2. Além disto, este estudo também contribuiu para levantar novas hipóteses sobre os possíveis fatores relacionados a morbimortalidade da doença.

São encorajados novos trabalhos que busquem entender espaço-temporalmente os impactos da COVID-19 em maior escala, possibilitando intervenções locais de combate ao vírus, e que levem em conta um maior período.

REFERÊNCIAS

- AHMED, F. *et al.* Why inequality could spread COVID-19. **Lancet Public Health**, [S. l.], p. e240–e240, 2020.
- AHMED, T. *et al.* A Novel Coronavirus 2019 Linked with Pneumonia in China: Current Status and Future Prospects. [S. l.], 2020.
- ALQADI, H. *et al.* Assessment of Retrospective COVID-19 Spatial Clusters with Respect to Demographic Factors: Case Study of Kansas City, Missouri, United States. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Estados Unidos, v. 18, n. 21, p. 11496, 2021.
- AL-TAWFIQ, J. A.; ZUMLA, A.; MEMISH, Z. A. Travel implications of emerging coronaviruses: SARS and MERS-CoV. **Travel Medicine and Infectious Disease**, [S. l.], v. 12, n. 5, p. 422–428, 1 set. 2014.
- ATLAS BRASIL. 2020. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/>. Acesso em: 20 dez. 2020. (Brasil).
- 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 / Temporary-spatial analysis of the evolution of Covid-19 in the state of Paraná in the period from march to september 2020. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 40520–40539, 19 abr. 2021.
- BARCELLOS, C. de C.; RAMALHO, W. M. Situação atual do Geoprocessamento e da análise de dados espaciais em saúde no Brasil. Accepted: 2010-08-23T16:58:47Z, v. 4, p. 221–230, 2002.
- BARROZO, L. V. *et al.* MONITORAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DAS ÁREAS DE ALTO RISCO DE COVID-19 NOS MUNICÍPIOS DO BRASIL. **Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, São Paulo, , p. 417–425, 25 jun. 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 454, de 20 de março de 2020. Portal da Imprensa Nacional do Brasil. Diário Oficial da União. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 20 mar. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou>. Acesso em: 12 abr. 2021.
- BRASIL.IO. 2020. Disponível em: <https://brasil.io/covid19/>. Acesso em: 30 dez. 2020. (Brasil).
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1986. v. 1, . Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10106048609354060>. Acesso em: 19 mar. 2021.
- CASTRO, M. C. *et al.* Spatiotemporal pattern of COVID-19 spread in Brazil. **Science**, [S. l.], v. 372, n. 6544, seq. Report, p. 821–826, 21 maio 2021.
- CAVALCANTE, J. R. *et al.* COVID-19 no Brasil: evolução da epidemia até a semana epidemiológica 20 de 2020. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [S. l.], v. 29, n. 4, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2237-96222020000400306&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 25 abr. 2021.

CESTARI, V. R. F. *et al.* VULNERABILIDADE SOCIAL E INCIDÊNCIA DE COVID-19 EM UMA METRÓPOLE BRASILEIRA. [S. l.], , seq. Novidades, dez. 2020. Disponível em: <http://www.cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/vulnerabilidade-social-e-incidencia-de-covid19-em-uma-metropole-brasileira/17866?id=17866>. Acesso em: 27 abr. 2021.

CHEN, Y.; LIU, Q.; GUO, D. Emerging coronaviruses: Genome structure, replication, and pathogenesis. **Journal of Medical Virology**, [S. l.], v. 92, n. 4, p. 418–423, 2020.

DE SOUZA, F. S. H. *et al.* Second wave of COVID-19 in Brazil: younger at higher risk. **European Journal of Epidemiology**, [S. l.], v. 36, n. 4, p. 441–443, 1 abr. 2021.

DESJARDINS, M. R.; HOHL, A.; DELMELLE, E. M. Rapid surveillance of COVID-19 in the United States using a prospective space-time scan statistic: Detecting and evaluating emerging clusters. **Applied Geography**, [S. l.], v. 118, p. 102202, maio 2020.

FERREIRA, R. V. *et al.* **Applying a Prospective Space-Time Scan Statistic to Examine the Evolution of COVID-19 Clusters in the State of Sao Paulo, Brazil**. preprint. [S. l.]: Epidemiology, 5 jun. 2020. Disponível em: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2020.06.04.20122770>. Acesso em: 29 dez. 2020.

FIGUEIREDO, A. M. de *et al.* Determinantes sociais da saúde e infecção por COVID-19 no Brasil: uma análise da epidemia. **Revista Brasileira de Enfermagem**, [S. l.], v. 73, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0034-71672020001400158&lng=en&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 27 abr. 2021.

FLETCHER-LARTEY, S. M.; CAPRARELLI, G. Application of GIS technology in public health: successes and challenges. **Parasitology**, [S. l.], v. 143, n. 4, p. 401–415, abr. 2016.

FREITAS, C. M. de *et al.* COVID-19 AS A GLOBAL DISASTER: Challenges to risk governance and social vulnerability in Brazil. **Ambiente & Sociedade**, [S. l.], v. 23, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1414-753X2020000100906&lng=en&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 28 dez. 2020.

GOMES, D. S. *et al.* Risk clusters of COVID-19 transmission in northeastern Brazil: prospective space–time modelling. **Epidemiology and Infection**, [S. l.], v. 148, 24 ago. 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7468689/>. Acesso em: 25 mar. 2021.

GUIMARÃES, R. M. *et al.* Como a aceleração dos casos e óbitos, para além da tendência, explica a dinâmica da Covid-19 no Brasil? In: FREITAS, C. M. de; BARCELLOS, C. **Covid-19 no Brasil: cenários epidemiológicos e vigilância em saúde**. Informação para ação na Covid-19 series. Rio de Janeiro (RJ): Editora Fiocruz, 2021. p. 99–126. Disponível em: <https://doi.org/10.7476/9786557081211.0007>.

HINO, P. *et al.* Geoprocessamento Aplicado À Área Da Saúde. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, [S. l.], v. 14, n. 6, 2006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281421865016>. Acesso em: 19 mar. 2021.

HOHL, A. *et al.* Daily surveillance of COVID-19 using the prospective space-time scan statistic in the United States. **Spatial and Spatio-temporal Epidemiology**, [S. l.], v. 34, p. 100354, 1 ago. 2020.

HUANG, C. *et al.* Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. **The Lancet**, [S. l.], v. 395, n. 10223, p. 497–506, 15 fev. 2020.

IBGE, I. **Estimativas da população residente para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros com data referência em 1 de Julho de 2020**. [S. l.: s. n.], ago. 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101747.pdf>.

IPEA. Atlas da Vulnerabilidade Social. 2020. Disponível em: <http://ivs.ipea.gov.br/index.php/pt/>. Acesso em: 30 dez. 2020. (Brasil).

JOHNS HOPKINS UNIVERSITY. 2020. **Johns Hopkins Coronavirus Resource Center**. Disponível em: <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>. Acesso em: 26 dez. 2020.

KAMEL BOULOS, M. N.; GERAGHTY, E. M. Geographical tracking and mapping of coronavirus disease COVID-19/severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) epidemic and associated events around the world: how 21st century GIS technologies are supporting the global fight against outbreaks and epidemics. **International Journal of Health Geographics**, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 8, s12942-020-00202–8, dez. 2020.

KANG, D. *et al.* Spatial epidemic dynamics of the COVID-19 outbreak in China. **International Journal of Infectious Diseases**, [S. l.], v. 94, p. 96–102, 1 maio 2020.

KHALATBARI-SOLTANI, S. *et al.* Importance of collecting data on socioeconomic determinants from the early stage of the COVID-19 outbreak onwards. **Journal of Epidemiology and Community Health**, [S. l.], v. 74, n. 8, p. 620–623, ago. 2020.

KULLDORFF, M. A spatial Scan Statistic. **Communications in Statistics: Theory and Methods**, Sweden, v. 26, p. 1481–1496, 1997.

KULLDORFF, M. Prospective time periodic geographical disease surveillance using a scan statistic. **Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)**, [S. l.], v. 164, n. 1, p. 61–72, jan. 2001.

LANA, R. M. *et al.* Emergência do novo coronavírus (SARS-CoV-2) e o papel de uma vigilância nacional em saúde oportuna e efetiva. **Cadernos de Saúde Pública**, [S. l.], v. 36, n. 3, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0102-311X2020000300301&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 4 maio 2021.

LILLA, J. A. C. *et al.* IMPACTO DA VACINAÇÃO E DAS MEDIDAS DE PREVENÇÃO PARA COVID-19 EM TRABALHADORES DA ÁREA DA SAÚDE DE 12 HOSPITAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **The Brazilian Journal of Infectious Diseases**, [S. l.], v. 26, p. 101797, 1 jan. 2022.

MACIEL, J. A. C.; CASTRO-SILVA, I. I.; FARIAS, M. R. de. Análise inicial da correlação espacial entre a incidência de COVID-19 e o desenvolvimento humano nos municípios do estado do Ceará no Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, [S. l.], v. 23, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1415-790X2020000100204&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 25 out. 2020.

MAGALHÃES, Mônica de Avelar Figueiredo Mafra *et al.* Pandemia de Covid-19: o processo de interiorização e aceleração da transmissão no país. *In*: FREITAS, C. M. de; BARCELLOS, C.; VILLELA, D. A. M. (org.). **Covid-19 no Brasil: Cenários**

epidemiológicos e vigilância em saúde. Informação para ação na Covid-19 series. Rio de Janeiro (RJ): Editora Fiocruz, 2021. p. 85–98.

MAGALHÃES, Mônica de Avelar F.M. *et al.* Sistemas de informações geográficas em saúde. **Abordagens espaciais na saúde pública.** 1. ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2006. v. 1, . Disponível em: <https://portolivre.fiocruz.br/abordagens-espaciais-na-sa%C3%BAde-p%C3%ABblica>. Acesso em: 19 mar. 2021.

MARINHO, P. R. D. *et al.* Covid-19 in Brazil: A sad scenario. **Cytokine & Growth Factor Reviews**, [S. l.], v. 58, p. 51–54, 1 abr. 2021.

MARSIGLIA, R. M. G.; SILVEIRA, C.; CARNEIRO JUNIOR, N. Políticas sociais: desigualdade, universalidade e focalização na saúde no Brasil. **Saúde e Sociedade**, [S. l.], v. 14, p. 69–76, ago. 2005.

MARTINES, M. R. *et al.* Detecting space–time clusters of COVID-19 in Brazil: mortality, inequality, socioeconomic vulnerability, and the relative risk of the disease in Brazilian municipalities. **Journal of Geographical Systems**, [S. l.], , p. 1–30, 8 mar. 2021.

MENDONÇA, F. D. *et al.* 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**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 20–37, 9 maio 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Boletim Epidemiológico**, n. 3. Brasília, DF: [s. n.], 2020a. Disponível em: <https://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2020/April/03/BE6-Boletim-Especial-do-COE.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Boletim Epidemiológico**, n. 2. Brasília, DF: [s. n.], fev. 2020b. Disponível em: <https://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2020/fevereiro/13/Boletim-epidemiologico-COEcorona-SVS-13fev20.pdf>. Acesso em: 3 maio 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Boletim Epidemiológico - COE COVID-19**, n. 3. Brasília, DF: [s. n.], 21 fev. 2020c. Disponível em: <https://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2020/fevereiro/21/2020-02-21-Boletim-Epidemiologico03.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Boletim Epidemiológico Especial**, n. 44. Brasília, DF: [s. n.], 2020d. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/media/pdf/2021/janeiro/07/boletim_epidemiologico_covid_44.pdf. Acesso em: 5 maio 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Boletim Epidemiológico Especial**, n. 29. Brasília, DF: [s. n.], 2020e. Disponível em: <http://antigo.saude.gov.br/images/pdf/2020/September/02/18h-Boletim-epidemiologico-COVID-29-final.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Boletim Epidemiológico Especial**, n. 52. Brasília, DF: [s. n.], 2020f. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/media/pdf/2021/marco/05/boletim_epidemiologico_covid_52_final2.pdf. Acesso em: 23 abr. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Boletim Epidemiológico Especial COE-COVID**, n. 14.

Brasília, DF: [s. n.], 2020g. Disponível em: <https://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2020/April/27/2020-04-27-18-05h-BEE14-Boletim-do-COE.pdf>. Acesso em: 5 maio 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. COVID-19 | Painel Coronavírus. 2020h. **Coronavírus | Brasil**. Disponível em: <https://covid.saude.gov.br/>. Acesso em: 20 dez. 2020. (Brasil).

MINISTÉRIO DA SAÚDE. DATASUS. 2020i. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=02>. Acesso em: 26 dez. 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Guia de vigilância epidemiológica - Emergência de saúde pública de importância nacional pela doença pelo coronavírus 2019**. Brasília, DF: Secretaria de Vigilância em Saúde, 2021.

MOHAMMED, I. *et al.* The efficacy and effectiveness of the COVID-19 vaccines in reducing infection, severity, hospitalization, and mortality: a systematic review. **Human Vaccines & Immunotherapeutics**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 2027160, 31 dez. 2022.

NIQUINI, R. P. *et al.* SRAG por COVID-19 no Brasil: descrição e comparação de características demográficas e comorbidades com SRAG por influenza e com a população geral. **Cadernos de Saúde Pública**, [S. l.], v. 36, p. e00149420, 24 jul. 2020.

NORONHA, K. V. M. de S. *et al.* Pandemia por COVID-19 no Brasil: análise da demanda e da oferta de leitos hospitalares e equipamentos de ventilação assistida segundo diferentes cenários. **Cadernos de Saúde Pública**, [S. l.], v. 36, 17 jun. 2020. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/csp/a/MMd3ZfwYstDqbpRxFRR53Wx/?lang=pt>. Acesso em: 13 abr. 2022.

NÚCLEO DE MÉTODOS ANALÍTICOS PARA VIGILÂNCIA EM SAÚDE PÚBLICA. **Tendências atuais da pandemia de COVID-19: interiorização e aceleração da transmissão em alguns estados**. Brasil: PROCC/FIOCRUZ e EMAP/FGV, 28 abr. 2020. Disponível em: https://portal.fiocruz.br/sites/portal.fiocruz.br/files/documentos/monitoracovid_notatecnica_28_04.pdf. Acesso em: 16 abr. 2021.

OBSERVATÓRIO COVID-19 FIOCRUZ. **Balço de dois anos da pandemia Covid-19**. Brasil: Fiocruz, 2022.

OBSERVATÓRIO COVID-19 FIOCRUZ. **Boletim Observatório Covid-19 após 6 meses de pandemia no Brasil**. Brasil: Fiocruz, 2020. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/documento/boletim-observatorio-covid-19-apos-6-meses-de-pandemia-no-brasil>. Acesso em: 19 abr. 2021.

OBSERVATÓRIO COVID-19 FIOCRUZ. **Um balanço da pandemia em 2020**. Brasil: Fiocruz, 2021.

PATEL, M. D. *et al.* Association of Simulated COVID-19 Vaccination and Nonpharmaceutical Interventions With Infections, Hospitalizations, and Mortality. **JAMA Network Open**, [S. l.], v. 4, n. 6, p. e2110782, 1 jun. 2021.

PEREIRA, M. D. *et al.* Aspectos epidemiológicos, clínicos e terapêuticos da COVID-19. **Journal of Health & Biological Sciences**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 1–8, 6 jul. 2020.

PINHEIRO, F. M. G. *et al.* INIQUIDADES REGIONAIS E SOCIAIS NA MORTALIDADE POR COVID-19 NO BRASIL. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, [S. l.], v. 16, n. 4, 15 dez. 2020. Disponível em: <https://rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/5978>. Acesso em: 14 abr. 2022.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD); FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO; INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA) (Org.). **Desenvolvimento humano nas macrorregiões brasileiras**. Primeira edição. Brasília, Distrito Federal, Brazil: PNUD Brasil, 2016.

READ, J. M. *et al.* Novel coronavirus 2019-nCoV: early estimation of epidemiological parameters and epidemic predictions. **medRxiv**, [S. l.], , p. 2020.01.23.20018549, 28 jan. 2020.

RIBEIRO, H. V. *et al.* City size and the spreading of COVID-19 in Brazil. **PLOS ONE**, [S. l.], v. 15, n. 9, p. e0239699, 23 set. 2020.

ROCHA, A. P. B.; OLIVEIRA, M. S. de. **Geografia Regional do Brasil**. Natal, RN: Ministério da Educação (MEC), 2011.

RODRIGUEZ-MORALES, A. J. *et al.* COVID-19 in Latin America: The implications of the first confirmed case in Brazil. **Travel Medicine and Infectious Disease**, [S. l.], v. 35, p. 101613, 1 maio 2020.

SADARANGANI, M. *et al.* Importance of COVID-19 vaccine efficacy in older age groups. **Vaccine**, [S. l.], v. 39, n. 15, p. 2020–2023, 8 abr. 2021.

SECRETÁRIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE | MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Boletim epidemiológico - COE Coronavírus**, n. 6. Brasil: [s. n.], 3 abr. 2020. Disponível em: <https://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2020/April/03/BE6-Boletim-Especial-do-COE.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2021.

SHAW, N. T. Geographical Information Systems and Health: Current State and Future Directions. **Healthcare Informatics Research**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 88–96, jun. 2012.

SILVA, L. L. S. da *et al.* Medidas de distanciamento social para o enfrentamento da COVID-19 no Brasil: caracterização e análise epidemiológica por estado. **Cadernos de Saúde Pública**, [S. l.], v. 36, 18 set. 2020. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/csp/a/gR6mkQmSqBHqvZb5YMNYjxD/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 30 jun. 2022.

SMITH, J. A.; JUDD, J. COVID-19: Vulnerability and the power of privilege in a pandemic. **Health Promotion Journal of Australia**, [S. l.], v. 31, n. 2, p. 158–160, abr. 2020.

SONG, Z. *et al.* From SARS to MERS, Thrusting Coronaviruses into the Spotlight. **Viruses**, [S. l.], v. 11, n. 1, 14 jan. 2019.

TOMASI, E. *et al.* Qualidade da atenção pré-natal na rede básica de saúde do Brasil: indicadores e desigualdades sociais. **Cadernos de Saúde Pública**, [S. l.], v. 33, 3 abr. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/csp/a/Ltr3JY8CdWTkboxmhTTFJsNm/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 14 abr. 2022.

WADMAN, M. *et al.* A rampage through the body. **Science**, [S. l.], v. 368, n. 6489, seç. Feature, p. 356–360, 24 abr. 2020.

WERNECK, G. L.; CARVALHO, M. S. A pandemia de COVID-19 no Brasil: crônica de uma crise sanitária anunciada. **Cadernos de Saúde Pública**, [S. l.], v. 36, n. 5, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0102-311X2020000500101&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 25 abr. 2021.

YANG, W. *et al.* Spatio-Temporal Patterns of the 2019-nCoV Epidemic at the County Level in Hubei Province, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [S. l.], v. 17, n. 7, p. 2563, jan. 2020.

ZHU, N. *et al.* A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. **New England Journal of Medicine**, [S. l.], 24 jan. 2020. Disponível em: <https://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMoa2001017>. Acesso em: 27 jan. 2021.