

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

Modelagem matemática e análise das ações públicas de distanciamento social para contenção da COVID-19 em Araranguá/SC***Mathematical modelling and analysis of social distancing public actions for restraining COVID-19 in Araranguá/SC***Jônatas Inácio de Freitas¹, Rodrigo da Costa Lima²**RESUMO**

O objetivo deste artigo é analisar as consequências das medidas públicas para regulação do distanciamento social como contenção da COVID-19, em nível municipal, em Araranguá, Santa Catarina. Foram compilados os decretos e portarias municipais sobre o tema e tabulados os dados de casos da doença divulgados pela Prefeitura Municipal. Foram analisados os dados de mobilidade em setores econômicos do *Google Analytics*. Um modelo matemático baseado no modelo SIR de Kermack e McKendrick (1927) foi construído e resolvido utilizando o software Geogebra. O coeficiente de determinação $R^2 \approx 1$ indicou um bom ajuste do modelo aos dados reais. As simulações indicaram a possibilidade de contaminação de até 90% da população se mantido o número básico de reprodução R_0 próximo a 2,5. Medidas legais mais rígidas de distanciamento social seriam capazes de evitar quase todos os óbitos por COVID-19 de residentes no município. A análise estatística revelou correlação forte entre a mobilidade em setores econômicos e os casos confirmados da doença, com maior influência do setor de varejo e lazer.

Palavras-chave: COVID-19; modelagem matemática; políticas públicas; SIR.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the impact of social distancing public legal actions as a restraint for COVID-19, at the municipal level, in Araranguá, Santa Catarina, Brazil. Municipal decrees and ordinances about the issue were compiled, as well as the tabulation of disease cases provided by the City Government. We analyze mobility data from economic sectors provided by Google Analytics. A mathematical model based on Kermack and McKendrick's SIR (1927) was built and solved in Geogebra. Determination coefficient $R^2 \approx 1$ pointed to a good data fit by the model. Simulations signed the possibility of contamination up to 90% of the population once maintaining basic reproduction number R_0 close to 2.5. Stricter social distancing legal actions would be able to avoid almost all COVID-19 deaths of municipal residents. Statistical analysis showed a strong correlation between the economic sector's mobility and disease confirmed cases, with larger influence by retail and leisure.

Keywords: COVID-19; mathematical modelling; public policies, SIR.

¹ Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC, Florianópolis/SC - Brasil. E-mail: jonatas.freitas@ifsc.edu.br

² E-mail: rodrigo.lima@ifsc.edu.br



1. INTRODUÇÃO

O ano de 2020 está sendo profundamente marcado pela pandemia causada pelo novo coronavírus SARS-CoV-2, responsável pela doença da COVID-19. Os primeiros casos registrados ocorreram na China, mais precisamente na cidade Wuhan, em dezembro de 2019. Por ser uma doença nova e não haver imunidade pré-existente entre os seres humanos e ter uma alta transmissibilidade (AQUINO *et al.*, 2020) ela dissemina-se rapidamente. Sem vacina e medicamentos eficazes no seu combate, e diante de uma epidemia de grandes proporções, as autoridades chinesas adotaram, na cidade de Wuhan, no dia 23 de janeiro de 2020, medidas rígidas de bloqueio total (*lockdown*) da circulação de pessoas, que foram tomadas no sentido de contenção da rápida disseminação da epidemia. (LEIVA; SATHLER; ORRICO FILHO, 2020). Mesmo com as fortes medidas restritivas adotadas pela China, o fato de o país ser um dos principais centros econômicos do mundo fez com que o vírus se espalhasse para outras partes do planeta.

Em poucos meses os seres humanos passaram a enfrentar a contradição de viver num mundo altamente globalizado e interconectado, mas tendo o confinamento em casa e o distanciamento social como algumas das garantias para a sobrevivência. Em um curto espaço de tempo a pandemia escancarou as contradições do sistema capitalista expondo abertamente as desigualdades sociais, as consequências de anos de políticas neoliberais e de ajuste fiscal, fazendo ressurgir com força o debate em torno da importância do sistema de saúde público, da presença do Estado na assistência social e na garantia mínima de direitos para a população. (MARICATO, 2020).

O cenário de crise econômica, social, política e sanitária que se intensificou no pós-pandemia colocou em xeque o controle do mercado sobre as nossas vidas. Como questiona Zizek (2020): “Será que isso tudo não assinala claramente a necessidade urgente de reorganizarmos nossa economia global de modo a não deixá-la mais à mercê dos mecanismos de mercado?”.

Aqui cabe um ponto de articulação entre dois aspectos a serem desenvolvidos na pesquisa. O primeiro diz respeito à importância do poder público como um organizador e planejador de políticas que preservem a vida e a saúde das pessoas, responsabilidade que não compete ao mercado. E o segundo relaciona-se às medidas de distanciamento social que devem ser adotadas como a melhor forma de combater o novo coronavírus, segundo orientações da própria Organização Mundial da Saúde (2020). Segundo Maricato (2020), as políticas públicas que vinham sendo fortemente atacadas estão sendo recuperadas. Contudo, tais questões devem ser problematizadas no contexto brasileiro.

O país, que teve seu primeiro caso de COVID-19 registrado oficialmente no dia 26 de fevereiro de 2020, viu rapidamente o número de contaminados subir, chegando às primeiras posições mundiais do ranking do número de contaminados e óbitos. Segundo dados disponibilizados pelo Ministério da Saúde, no dia 27 de setembro, o Brasil atingiu um total de 4.732.309 casos e de 141.776 óbitos. (BRASIL, 2020).



Dentre os diversos fatores que podem ser elencados para que o país tenha atingido esses números, com uma enorme perda de vidas humanas, um pode ser destacado: a falta de articulação entre os poderes e os entes federativos e da ausência de centralização do planejamento, tendo em vista que o Governo Federal adotou uma política anti-isolamento social, de negação dos impactos da pandemia e de confronto aberto do Presidente da República contra Governadores e Prefeitos, o que produziu intensa desestabilização e crise política. (AQUINO *et al.*, 2020). O cenário agravou-se com a demissão de dois ministros da saúde e a manutenção de um ministro interino, que não é da área da saúde, por quatro meses na pasta, até ser empossado definitivamente no dia 16 de setembro de 2020.

Segundo Rodrigues e Azevedo (2020), a expansão do vírus no território nacional expôs as barreiras e entraves na articulação entre os entes federativos e a confusão dos seus papéis, que se refletem na desarticulação e conflitos entre União, estados e municípios. Esse contexto, associado à falta de um planejamento centralizado por parte do governo Federal na gestão da crise decorrente da pandemia, levou o Supremo Tribunal Federal (STF) a decidir por unanimidade, no dia 15 de abril de 2020, que estados e municípios têm poder e autonomia para aplicar medidas de isolamento social.

A partir dessa decisão, as medidas tomadas no âmbito estadual e municipal ganharam relevância. No caso catarinense, no qual está inserido o município de Araranguá, os municípios ganharam maior centralidade nas decisões e gestão do surto de COVID-19, a partir do Decreto Estadual nº 630 do dia 1º de junho de 2020 (SANTA CATARINA, 2020), no qual o Governo do Estado estabeleceu que a governança das medidas sanitárias seria compartilhada com os municípios, que poderiam deliberar sobre o funcionamento de atividade públicas e privadas em seus respectivos territórios, com a finalidade de conter a disseminação do coronavírus. No caso brasileiro, em geral, e no catarinense, em particular, os municípios ganharam extrema relevância na adoção de medidas de distanciamento social.

A interpretação, pelo cidadão, das informações e estatísticas divulgadas requer conhecimentos matemáticos, que não deve ser acessível apenas a grupos sociais privilegiados, o que situa a matemática como instrumento para análise de características críticas de relevância social. (SKOVMOSE, 2001). Nesse sentido, Almeida e Silva (2010) defendem o uso da modelagem como elemento integrador entre a realidade a ser compreendida e determinado conhecimento matemático.

Com essa perspectiva, através de uma adaptação do modelo epidemiológico SIR de Kermack e McKendrick (1927), o objetivo desse trabalho foi analisar como as medidas de isolamento social adotadas pelo poder público no âmbito municipal impactaram no combate à expansão do novo coronavírus.



2. MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa aplicada com objetivo preditivo, tendo como principal eixo metodológico a modelagem matemática associada à análise quali-quantitativa.

A primeira fase da pesquisa consistiu na coleta e tabulação dos dados de: (a) casos de COVID-19 em Araranguá, Santa Catarina, a partir da divulgação realizada pela prefeitura municipal; b) decretos editados pelo município de Araranguá e pelo Estado de Santa Catarina, visando o combate à COVID-19; e, c) níveis de distanciamento social divulgados pela plataforma *Google Analytics*, no município de Araranguá.

A partir da pesquisa documental sobre os decretos municipais, foram investigadas as medidas de isolamento social e de flexibilização adotadas no período, através da análise de conteúdo.

Em seguida, a partir dos dados coletados, foi construído no software Geogebra (GEOGEBRA.ORG, 2020) um modelo de otimização para obtenção de parâmetros do modelo SIR através de regressão não-linear. Levando em considerações as datas de intervenção dos agentes públicos e as alterações no distanciamento social, construímos diferentes modelos SIR, programados também no Geogebra.

Sobre os dados de mobilidade social foi realizada análise estatística uni e multivariada com o intuito de correlacionar as variáveis de distanciamento social, respectivamente, com o número de casos confirmados e entre si.

As atividades não envolveram intervenção em seres humanos, animais, organismos geneticamente modificados, células-tronco embrionárias, patrimônio genético e conhecimento tradicional associado, energia nuclear, materiais radioativos ou resíduos químicos e/ou biológicos, não sendo necessária a autorização de comitê de ética em pesquisa.

3. AS MEDIDAS DE DISTANCIAMENTO SOCIAL NA LEGISLAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ/SC

O município de Araranguá fica localizado na microrregião do extremo-sul catarinense, com uma população estimada em 68.867 habitantes para o ano de 2020. Com uma densidade demográfica de 202,14 hab/km², ela ocupa a 23ª posição no ranking das cidades catarinenses com maior população. (IBGE, 2020). A cidade é administrada pelo Prefeito Mariano Mazzuco Neto, do Progressistas (PP), tendo como vice-prefeito Primo Menegalli Jr., do Partido Liberal (PL).

O primeiro caso do novo coronavírus foi registrado em Araranguá no dia 3 de abril de 2020. Contudo, o Poder Público Municipal já havia tomado as primeiras medidas para a contenção da propagação da doença no dia 17 de março de 2020. Através do Decreto nº 9181/2020 foi declarada a situação de emergência no município, com a definição de medidas para o enfrentamento do coronavírus. (ARARANGUÁ, 2020). Tal decisão foi tomada no lastro do Decreto nº 509 emitido pelo Governo do Estado de



Santa Catarina no mesmo dia 17 de março de 2020, que estabeleceu medidas de prevenção e combate ao coronavírus no âmbito estadual, após a confirmação da transmissão comunitária do vírus no estado. (SANTA CATARINA, 2020).

Em Araranguá, entre os dias 17 de março e 2 de setembro, foram emitidas 25 novas normas no âmbito municipal que versam sobre medidas relacionadas à pandemia. Tal legislação consiste em 21 decretos emitidos pelo chefe do poder executivo municipal, uma lei ordinária, uma lei complementar e duas portarias do executivo, o que revela uma forte centralização das decisões no poder executivo, que se apresenta como ator central no processo decisório na condução de políticas públicas sobre o coronavírus.

É importante ressaltar que nos âmbitos internacional e nacional foram adotadas diversas intervenções que visam conter a expansão do vírus. Segundo Aquino *et al.* (2020), as principais medidas não farmacológicas que vêm sendo adotadas consistem na higienização constante das mãos, na adoção da etiqueta respiratória, no uso massivo de máscaras faciais e na conscientização da população para as medidas de higiene e permanência em casa, além de medidas progressivas de distanciamento social, que vão do isolamento de casos suspeitos e confirmados até a proibição completa de circulação nas ruas, com exceção para saídas com objetivos de compra de alimentos ou de busca por serviços médicos e farmacológicos.

Conforme a Escola Nacional de Saúde Pública (2020), em seu Glossário sobre distanciamento social, há três grandes estratégias que podem ser utilizadas conforme o cenário epidêmico da doença. O primeiro é o chamado Distanciamento Social Seletivo (DSS), quando apenas grupos específicos ficam isolados, que podem ser pessoas sintomáticas e seus contatos domiciliares, ou pessoas que compõem grupos de risco para a doença, o que também é conhecido como isolamento vertical. O segundo é o Distanciamento Social Ampliado (DSA), o qual abrange toda a sociedade e todos devem restringir a circulação e o contato pessoal. Neste caso, mantêm-se os serviços essenciais, medidas mais rigorosas de higiene são adotadas e aglomerações não são permitidas. E por último, o Bloqueio Total, ou *lockdown*, no qual um determinado perímetro é totalmente isolado, no qual ninguém pode sair ou entrar nos limites territoriais estabelecidos.

No Quadro 1, temos um resumo das medidas legais de combate à COVID-19 no município de Araranguá, Santa Catarina.

Quadro 1 – Resumo das medidas legais de combate à COVID-19 em Araranguá (2020).

Legislação	Publicação	Medidas de distanciamento/flexibilização
Decreto 9181	17/03	- adiamento de consultas, exames e cirurgias eletivas das unidades básicas de saúde, exceto de cirurgias improrrogáveis; - suspensão por 30 dias das aulas presenciais nas unidades de ensino de todos os níveis educacionais; e, - suspensão da utilização da Biblioteca Pública e do Museu Histórico Municipal; suspensão de eventos e atividades esportivas, de lazer, artísticos,



Edição Especial COVID-19

		culturais, acadêmicos, políticos, científicos, comerciais, religiosos, com grupos de idosos, clube de mães, serviços de convivência, plenária e reuniões de conselhos municipais e outros com concentração de pessoas.
Decreto 9182	18/03	- fechamento por sete dias dos prédios públicos, com exceção da Secretária Municipal de Saúde e do Serviço Municipal de Água e Esgoto.
Decreto 9187	25/03	- suspensão por sete dias de atividades e serviços privados não-essenciais, como academias, shopping centers, bares, restaurantes e comércio em geral; dos serviços públicos considerados não essenciais em âmbito municipal, estadual e federal; circulação de transporte coletivo urbano e intermunicipal e circulação de veículos de transporte interestadual e internacional de passageiros; - suspensão pelo período de trinta dias de eventos e reuniões de qualquer natureza, públicos ou privados; concentração e permanência de pessoas em espaços públicos de uso coletivo, como praças, praias e parques; - suspensão das atividades de capacitação, treinamento e eventos coletivos realizados pelo poder público municipal que gerem aglomeração de pessoas; - suspensão de visita pública e atendimento presencial que possa ser prestado por meio eletrônico ou telefônico; - limitação em 50% da capacidade de atendimento dos serviços públicos ou atividades essenciais, com distância mínima de 1,5 m entre cada pessoa; e, - limitação do uso do transporte aquaviário de quatro veículos e 12 pessoas em cada travessia;
Decreto 9197	31/03	- prorrogação do período de isolamento social (quarentena) no âmbito do Município de Araranguá.* *Revogado tacitamente pelo Decreto Estadual 554 de 11 de abril de 2020 (SANTA CATARINA, 2020).
Decreto 9205	07/04	- retomada do atendimento presencial pela Prefeitura Municipal de Araranguá, com limitação de entrada de 50% da capacidade de público.
Decreto 9209	14/04	- uso obrigatório e massivo de máscaras faciais a partir de 20 de abril em todo o município, para deslocamento em vias públicas e para o ingresso em qualquer recinto, público ou privado.
Decreto 9229	30/04	- registro de ponto a partir do dia 5 de maio e retorno às atividades presenciais de servidores afastados por cautela, incluindo maiores de 60 anos de idade e gestantes com menos de 28 semanas de gestação.
Decreto 9241	15/05	- proibição de acesso ao Farol e Rampa de Voo Livre na localidade do Morro dos Conventos entre as 19h e as 7h e limitação a 30 minutos de permanência entre as 7h e as 19h.
Decreto 9255	01/06	- suspensão do programa de esportes e lazer da cidade, por tempo indeterminado.
Decreto 9260	05/06	- autorização da circulação de veículos de transporte coletivo, com limitação em 50% da capacidade, respeitando o distanciamento social, uso de máscaras e higienização das mãos com álcool gel, não sendo permitida o ingresso de pessoas acima de 65 anos.
Decreto 9338	20/07	- restrição, por 15 dias, de acesso a restaurantes, lanchonetes e congêneres com horário de funcionamento limitado até às 22h; aos sábados e domingos os bares deverão encerrar as atividades às 14h;



		<p>das 18h de sexta-feira até domingo fica proibido o consumo de bebidas alcoólicas em lojas de conveniência;</p> <ul style="list-style-type: none"> - determina que as famílias escolham uma única pessoa para realização de compras em supermercados e farmácias, por 15 dias; - que as famílias adotem o isolamento social domiciliar, deslocando-se apenas para atividades laborativas, de saúde, de aquisição de produtos alimentícios e de saúde, garantindo o distanciamento social, por 15 dias; - proibição da utilização de espaços públicos, tais como praças, parques e academias ao ar livre, por 15 dias; e, - estabelecimento de infração administrativa em caso de desobedecimento.
Decreto 9339	21/07	- restrição de acesso a restaurantes, lanchonetes e congêneres com horário de funcionamento limitado até às 21h.
Decreto 9340	23/07	- reconhece como autoridades de saúde a Polícia Militar, a Polícia Civil e o Corpo de Bombeiros Militar para a fiscalização e o cumprimento das medidas de combate à COVID-19.
Decreto 9343	27/07	<ul style="list-style-type: none"> - suspensão até o dia 9 de agosto do transporte público urbano municipal e intermunicipal de passageiros bem como a concentração e a permanência de pessoas em espaços públicos, como praças, parques e praias; - suspensão das aulas em todos os níveis escolares até o dia 7 de setembro; e, - reedição de medidas dos decretos 9338 e 9339;
Decreto 9412	26/08	- autorização da circulação de veículos destinados ao transporte coletivo de passageiros, com limitação em 50% da capacidade, respeitando o distanciamento social, uso de máscaras e higienização das mãos com álcool gel, não sendo permitida o ingresso de pessoas acima de 65 anos.
Decreto 9426	02/09	<ul style="list-style-type: none"> - suspensão das aulas presenciais em todos os níveis no Município de Araranguá até o dia 12 de outubro; - até 14 de setembro, restrição do funcionamento de restaurantes até as 23h, proíbe atividades de jogos em estabelecimentos comerciais, consideração de qualquer tipo de aglomeração como transgressão às normas de proteção da saúde, restrição do funcionamento de bares aos sábados e domingos às 16h, proibição do consumo de bebidas alcoólicas e permanência em lojas de conveniência a partir das 18h de sexta-feira até domingo e proibição de aglomeração residencial superior a 10 pessoas; e, - prorrogação do uso massivo e obrigatório de máscaras.

Fonte: Elaborada pelos autores.

É possível inferir, da leitura do Quadro 1, que Araranguá viveu um período de intenso isolamento social no lapso temporal de 25 de março a 11 de abril, com adoção de medidas de restrição compatíveis a um estágio intermediário de distanciamento entre o DSA e o *lockdown*. Neste período, o comércio não essencial foi fechado e a locomoção dentro do município foi desestimulada pela proibição da circulação de veículos de transporte coletivo. As maiores restrições no município foram adotadas, no entanto, no período em que a epidemia não se encontrava em franca expansão, como



melhor será observado ao capítulo 4 deste artigo. Ao contrário, a abertura ocorreu durante a aceleração do crescimento de casos.

4. A CONSTRUÇÃO DO MODELO EPIDEMIOLÓGICO

Desde a deflagração do surto de COVID-19 até o momento atual, a modelagem matemática exerceu um dos papéis centrais na análise da capacidade de expansão da pandemia e, por consequência, na tomada de decisão mais acurada por autoridades de saúde. (ZIMMER et al., 2017).

Para estudar processos epidemiológicos, existem proposições de diferentes modelos denominados *compartimentais*, em que a população é distribuída por estratos (indivíduos suscetíveis, infectados e recuperados, por exemplo), para simulação do desenvolvimento da pandemia ao longo do tempo. A transmissão entre os diferentes estágios epidêmicos pode ser modelada por sistemas de equações diferenciais, nos casos de modelos determinísticos, ou ainda por modelos estocásticos, como, por exemplo, em Shaman et al. (2013) e Yang et al. (2014).

Os modelos determinísticos simplificam as diferentes fases da população envolvida na epidemia e estabelecem relação entre elas por meio de equações diferenciais. Dentre eles, temos como expoente o modelo SIR de Kermack e McKendrick (1927), e seus derivados como SI, SIS, SEIR, SIRS, MSEIRS (ALMAN; RHODES, 2004) e MdSIR (GOMES et al., 2020).

O modelo SIR, utilizado como base para o desenvolvimento do presente estudo, divide a população envolvida no processo pandêmico em três grupos de indivíduos: *suscetíveis* (S), *infectados* (I) e *recuperados* (R). Para efeito de simplificação, os óbitos serão computados no grupo de recuperados, eis que aqui é presumida a impossibilidade de reinfeção por um indivíduo. Desta forma, o grupo de *recuperados* doravante será denominado *removidos* (R), como em Altmann (1995).

A interação entre as variáveis é dada na forma das equações:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI \quad (1)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I \quad (2)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I \quad (3)$$

De (2) temos que a taxa de variação da proporção de indivíduos infectados dI/dt na população é diretamente proporcional às interações entre as proporções de indivíduos suscetíveis S e infectados I , mas inversamente proporcional à proporção de infectados (ou seja, quanto mais indivíduos infectados e suscetíveis interagindo, mais a transmissão é acelerada). Por consequência, temos em (1) que o aumento de interações entre suscetíveis e infectados influencia negativamente a variação de indivíduos suscetíveis dS/dt . Por último, de (3) vem que a taxa de variação na



proporção de indivíduos removidos dR/dt aumenta conforme o incremento das infecções.

Além disso, no modelo SIR, há que se presumir a população N como estável, de modo que:

$$N = S + I + R \quad (4)$$

A solução aproximada do modelo SIR é possível por métodos numéricos como o de Runge-Kutta. (RUNGE, 1895; KUTTA, 1901). Desta forma, de posse dos parâmetros adequados, é possível projetar o avanço do número de indivíduos nos grupos S, I e R ao longo do tempo. O desafio, na modelagem de métodos compartimentais, está na parametrização de coeficientes como β e γ a partir da leitura de dados reais coletados.

A dificuldade da parametrização é apontada em Delamater *et al.* (2019), que expõem a complexidade de delimitar o principal estimador da capacidade de expansão da epidemia: o número básico de reprodução R_0 , definido pela razão entre os coeficientes β e γ . (ALMAN e RHODES, 2004). Conforme se infere das equações (1)-(3), β é relacionado à capacidade de transmissão da doença, enquanto γ é relacionado à capacidade de resolução da doença (cura ou óbito).

Desta forma, R_0 , com $R_0 = \beta/\gamma$, é um indicador da transmissibilidade e principal métrica para o estudo da dinâmica em doenças infecciosas. (DELAMATER *et al.*, 2019). A interpretação é simples: se $R_0 < 1$, a doença está em contração; se $R_0 = 1$, a doença é estável; se $R_0 > 1$, a doença tem potencial de expansão.

Para atacar a dificuldade de parametrização de β e γ , e consequente obtenção de R_0 , utilizamos o método de mínimos quadrados. (LEGENDRE, 1805). Contudo, antes é necessária a derivação de uma função mais simples, mas que resolva o sistema de equações (1)-(3) com razoável precisão. Nesse sentido, nos valem do fato de que o número de indivíduos suscetíveis no início de um processo epidêmico é muito próximo do número de indivíduos na população em estudo, isto é, $S \approx 1$ (em um intervalo de tempo suficientemente curto e com a proporção de casos confirmados suficientemente próxima de zero).

Fazendo $S \approx 1$, temos que:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta I \quad (5)$$

$$\frac{dI}{dt} = (\beta - \gamma) I \quad (6)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I \quad (7)$$



A solução de (6), com $t=0$ é:

$$I(t) = I(0)e^{(\beta-\gamma)t} \quad (8)$$

Substituindo (8) em (7), após resolver a equação diferencial, temos que:

$$R(t) = \frac{\gamma}{\beta-\gamma}I(0)((\beta-\gamma)t-1) + R(0) \quad (9)$$

Desta maneira, é possível obter uma equação para os casos confirmados, pois:

$$C = I + R \quad (10)$$

$$C(t) = \frac{I(0)}{\beta-\gamma}((\beta-\gamma)t-\gamma) + R(0) \quad (11)$$

A partir de um conjunto de dados reais dos casos confirmados $C(t)$ e valores iniciais de indivíduos infectados $I(0)$ e removidos $R(0)$, é possível efetuar o ajuste, por mínimos quadrados, dos parâmetros β e γ em (11). Neste estudo, construímos uma atividade no software Geogebra (GEOGEBRA.ORG, 2020) e utilizamos conjuntos de dados fornecidos com informações de 15 dias consecutivos para execução da otimização.

Para projeção da expansão da doença, na mesma atividade, construímos a solução numérica do modelo SIR (1)-(3) através do Geogebra. O software utiliza uma variação de Runge-Kutta como método numérico. (GEOGEBRA.ORG, 2020).

O conjunto de dados sobre casos de COVID-19 foi obtido pela coleta diária das informações prestadas pelo Município de Araranguá em seu *site* institucional. (ARARANGUÁ, 2020). O órgão municipal não dispõe de uma plataforma consolidada com as informações. Há que se ressaltar que dados consolidados de casos confirmados e óbitos podem ser obtidos em diferentes bases, como o *DataSUS* (BRASIL, 2020) e o portal de transparência para COVID-19 do Estado de Santa Catarina (2020). No entanto, nessas bases não há informação de casos ativos por dia. Outra razão para escolha dos dados fornecidos pelo município vem da existência de um lapso temporal entre o envio de dados da base municipal e o cômputo pelas bases de dados da Secretaria Estadual de Saúde e Ministério da Saúde.

Para definição de diferentes projeções de cenários, levamos em consideração, além dos textos legais obtidos por pesquisa documental nos *sites* institucionais do Município de Araranguá (2020) e do Estado de Santa Catarina (2020), as informações da base de dados abertos de mobilidade do *Google Analytics* (2020). O banco de dados dispõe de informações sobre a movimentação de pessoas em diferentes lugares, segmentado por setores da economia. No Município de Araranguá, foram consideradas as categorias “Varejo e Lazer”, “Supermercados e Farmácias”, “Trabalho” e “Residencial”, que dispunham de dados completos em todos os dias de interesse da pesquisa.

Os dados de mobilidade foram cruzados, categoria por categoria, com os dados de casos confirmados da COVID-19, para determinação dos coeficientes de correlação de



Pearson e Spearman. A análise multivariada por componentes principais (PCA) foi realizada sobre os dados autoescalados para determinação da categoria mais influente no aumento de casos.

A análise multivariada consiste num conjunto de métodos estatísticos para a avaliação simultânea de múltiplas medidas amostrais. (HAIR, 1975). Nesse sentido, buscou-se evitar a interpretação dos resultados unicamente por métodos estatísticos univariados, com o intuito de contemplar a correlação não só entre as categorias e o número de casos de COVID-19, mas também entre as categorias entre si.

A PCA produz novas variáveis (as componentes principais ou autovetores), que explicam a maior parte da variabilidade nos dados. As informações contidas no espaço de dimensão n sofrem compressão por meio de combinações lineares para um espaço bi ou tridimensional (HAIR, 1975), com $n = 5$ para $n = 2$ nesta pesquisa. Criado o novo espaço, os dados originais são coordenados sobre os novos eixos (as componentes principais). A projeção de cada ponto amostral sobre o novo eixo é denominada *score*. A representatividade ou contribuição de cada variável original sobre as novas variáveis é denominada *loading*. Por consequência, analisando conjuntamente *scores* e *loadings* é possível verificar a influência de cada variável em cada amostra. (HAIR, 1975).

Após a PCA, procedemos à simulação de novos cenários na atividade do Geogebra, escolhendo dias determinantes na curva de casos confirmados, tendo como critério alterações significativas nas curvas de casos confirmados e de mobilidade. Paralelamente, identificamos as medidas legais com impacto nas categorias de mobilidade já mencionadas.

5. ANÁLISE DE DADOS E PROJEÇÃO DE CENÁRIOS

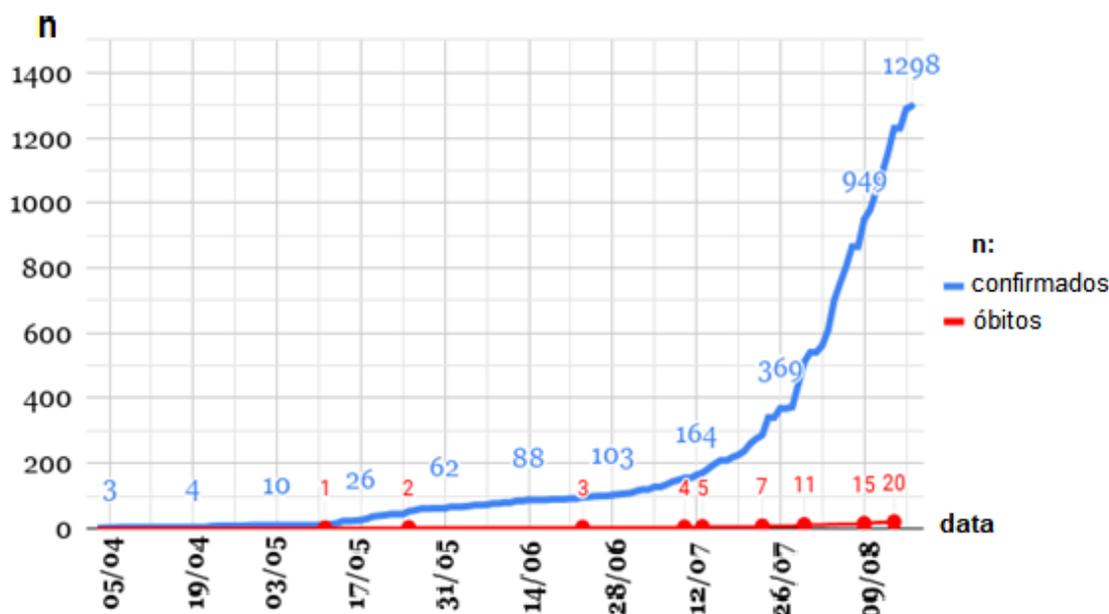
Apesar do período de DSA entre o advento dos decretos estaduais 515/2020 (SANTA CATARINA, 2020) e 554/2020 (SANTA CATARINA, 2020), em 17 de março e 11 de abril, respectivamente, com os consequentes decretos municipais elencados no Quadro 1, o primeiro dos casos de COVID-19 em Araranguá foi confirmado apenas em 3 de abril. Na Figura 1, apresentamos os dados de casos confirmados e óbitos desde o primeiro até 14 de agosto de 2020.

Há que ser ressaltada, no entanto, a provável subnotificação dos dados. De 21 a 24 de junho, o estudo EPICOID19-BR (HALLAL, 2020), coordenado pela Universidade Federal de Pelotas, que mapeia a epidemiologia do novo coronavírus no Brasil, obteve uma prevalência da doença de 0,4% na região Sul do país, nessas condições, evidenciando um potencial de 275 casos para Araranguá. No entanto, em 24 de junho o município reportava 97 casos, o que resulta em uma possível taxa de notificação de aproximadamente 1:2,835 casos. Uma nota técnica da Universidade Federal de Minas Gerais (RIBEIRO; BERNARDES, 2020) estima uma taxa de notificação ainda menor no Brasil, da ordem de 1:3,6 casos, em 12 de maio.



Edição Especial COVID-19

Figura 1 - Casos confirmados e óbitos por COVID-19 em Araranguá/SC até 14/08/2020.



Fonte: Elaborada pelos/as autores.

Por outro lado, considerando os dados de óbitos, e levando em consideração a taxa de mortalidade da doença, também é possível conjecturar a subnotificação. Em áreas em que não há o colapso do sistema de saúde, Russell *et al.* (2020) calculam a taxa de óbitos por casos em aproximadamente 1,2%. Mizumoto e Chowell (2020) estimam em 1% a probabilidade de óbito. Até 14 de setembro haviam ocorrido 40 óbitos na cidade, o que indica uma possível quantidade de 4000 casos.

5.1. UMA ESTIMATIVA PARA A PROJEÇÃO DOS CASOS EM ARARANGUÁ/SC

Apesar da divulgação livre dos dados de casos confirmados pelo Estado de Santa Catarina, há que se ressaltar que não são abertas à população simulações ou projeções, tampouco há informações sobre o histórico de casos ativos, necessários à formulação de modelos. Os dados neste trabalho foram tabulados a partir de publicações avulsas do Município de Araranguá.

Dos dados resumidos à Figura 1, escolhemos o período de 12 a 26 de julho de 2020 (data da simulação) para realização da regressão e otimização dos parâmetros β e γ na equação (11). Utilizando o método de mínimos quadrados disponível no software Geogebra, obtivemos valores de 0,1728 e 0,0684, para β e γ , respectivamente (valores aproximados para a quarta casa decimal). Por consequência, R_0 é estimado em 2,5236 para o dia 12 de julho. O ajuste da curva, mensurado pelo coeficiente de determinação R^2 , é de 0,98.



Nessas condições, a epidemia demonstrava se expandir francamente. Em 12 de julho, o total de casos confirmados era de apenas 164 e a população de Araranguá, conforme o IBGE (BRASIL, 2020), era estimada em 68.724 habitantes. Embora a proporção de indivíduos suscetíveis estivesse perto de 100% e R_0 indicando um valor esperado de 2,5 infecções secundárias por indivíduo (ALMAN; RHODES, 2004), não houve, por parte do poder público municipal, ações de intervenção não-clínicas relevantes para contenção da expansão da doença. Em contraponto, o DSA foi adotado quando ainda não havia casos confirmados e revogado antes do primeiro óbito.

Ressalve-se que decidimos não excluir, da população de suscetíveis, a proporção que está realizando atividades de trabalho remoto, tampouco os alunos da rede escolar fechada, eis que, nos dias considerados para calibração dos dados, tais segmentos já estavam afastados de situações potenciais de aglomeração de pessoas no trabalho ou na escola, mas não estavam impedidos de vivenciar as situações de contato cotidianas, como ir ao supermercado, à farmácia ou à agência bancária. Parametrizado o modelo, resolvemos o sistema de equações diferenciais (1)-(3) numericamente com o software Geogebra, que utiliza o método de Runge-Kutta. Na Figura 2, apresentamos o gráfico da predição obtida pelo modelo.

Do modelo, temos que se continuada a transmissão na velocidade da quinzena de 12 a 26 de julho, após dois meses, em 26 de setembro, o número de casos ativos atingiria seu ápice, com um total de 16.221 casos ativos. Ainda nesse sentido, caso não tomada qualquer medida de contenção da transmissão, até o final de 2020 o Município poderia aproximar-se de 61.500 casos, totalizando uma proporção infectada de 90% da população.

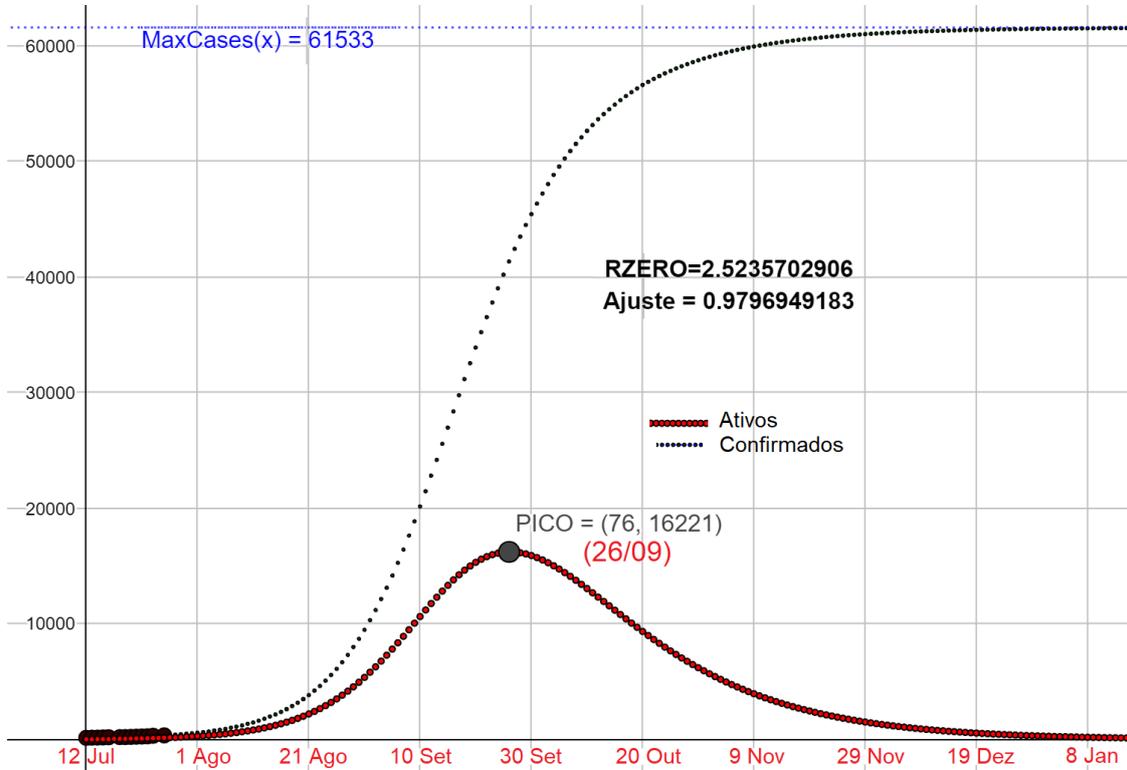
Apesar da ótima calibração da curva à série de dados ($R^2 = 0,98$), houve desaceleração na taxa de crescimento dos casos na semana seguinte à simulação. Considerando os dados da quinzena de 19 de julho a 2 de agosto, temos que R_0 é estimado em 1,3532 (Figura 3). O pico de casos foi projetado em 7 de outubro, com uma estimativa de 2578 casos ativos.

Considerando a razão de notificação igual a 1:2,835 temos que, apesar de divulgados 1914 casos no município de Araranguá, em 5 de setembro de 2020, uma melhor aproximação para a quantidade real de casos confirmados seria de 5426. Estimamos em 1124 a quantidade de casos ativos, acima dos 403 monitorados pelo ente municipal. O valor obtido com o modelo é muito próximo da estimativa de casos se considerada a subnotificação (1142 casos).



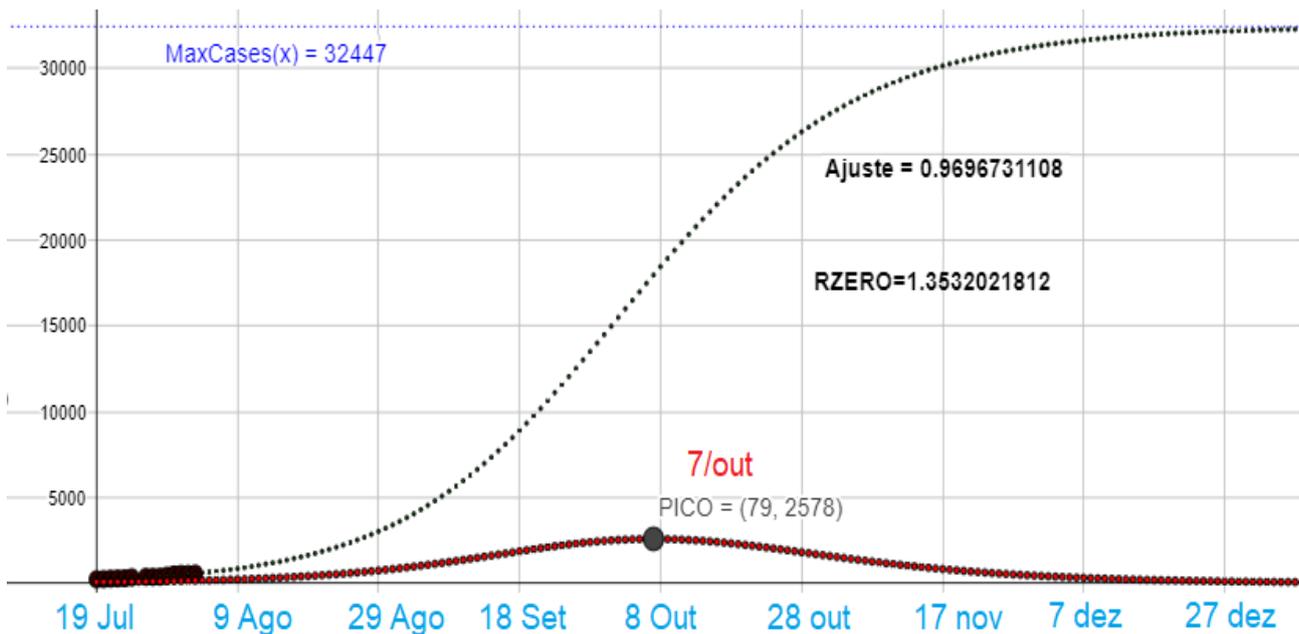
Edição Especial COVID-19

Figura 2 – Projeção com R0 obtido pelos dados de 12 a 26 de julho.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 3 – Projeção com R0 obtido pelos dados de 19 de julho a 2 de agosto.



Fonte: Elaborada pelos autores.



De acordo com o Estado de Santa Catarina (2020), em 5 de setembro de 2020, o número de leitos de UTI em Araranguá era de 31, para atender toda a região da Associação dos Municípios do Extremo Sul de Santa Catarina (AMESC), com uma população de aproximadamente 202.000 habitantes (AMESC, 2020). Proporcionalmente à população de Araranguá, consideremos um total de 11 leitos para seus residentes. De outro lado, o Centro de Controle de Doenças dos Estados Unidos (2020) aponta 40% como a melhor estimativa para a proporção de casos assintomáticos. He *et al.* (2020) estimam os casos sintomáticos que necessitam hospitalização em 20%. Desses, 5% precisam de tratamento intensivo. Nessas condições, estima-se que 0,6% de todos os casos confirmados necessitem de UTI. O limite de atendimento para Araranguá, sem impacto no sistema de saúde de outras cidades ou regiões, é aproximado em 1833 casos ativos, limiar que foi ultrapassado em 18 de setembro de acordo com o modelo. Sem ações de contenção, tem-se um potencial número máximo de casos em 32.447, quase metade da população do município (47,21%).

5.2. INFLUÊNCIA DE AÇÕES PÚBLICAS E MOBILIDADE EM CASOS CONFIRMADOS

Apresentada a projeção dos dados, passamos à análise do panorama atual, levando em conta ações recentes do poder público e o comportamento da população.

É possível inferir do Quadro 1 que o município teve as ações decorrentes da edição do decreto 9181/2020 (ARARANGUÁ, 2020) como as mais relevantes quanto aos efeitos no distanciamento. Esta norma foi provocada pela publicação do decreto estadual 515/2020. (SANTA CATARINA, 2020). As citadas normas, em síntese, estabelecem critérios para definição de serviços essenciais e não-essenciais durante o período de calamidade pública em virtude da pandemia. Nesse sentido, estabeleceram relativo *lockdown*, pois restringiam ao funcionamento as atividades inadiáveis como as desenvolvidas por supermercados, postos de gasolina, farmácias e serviços públicos de abastecimento. Em 11 de abril, o decreto estadual 554/2020 (SANTA CATARINA, 2020) perfectibilizou a definição de serviços essenciais e não-essenciais, mas não manteve o texto que fechava as atividades não-essenciais.

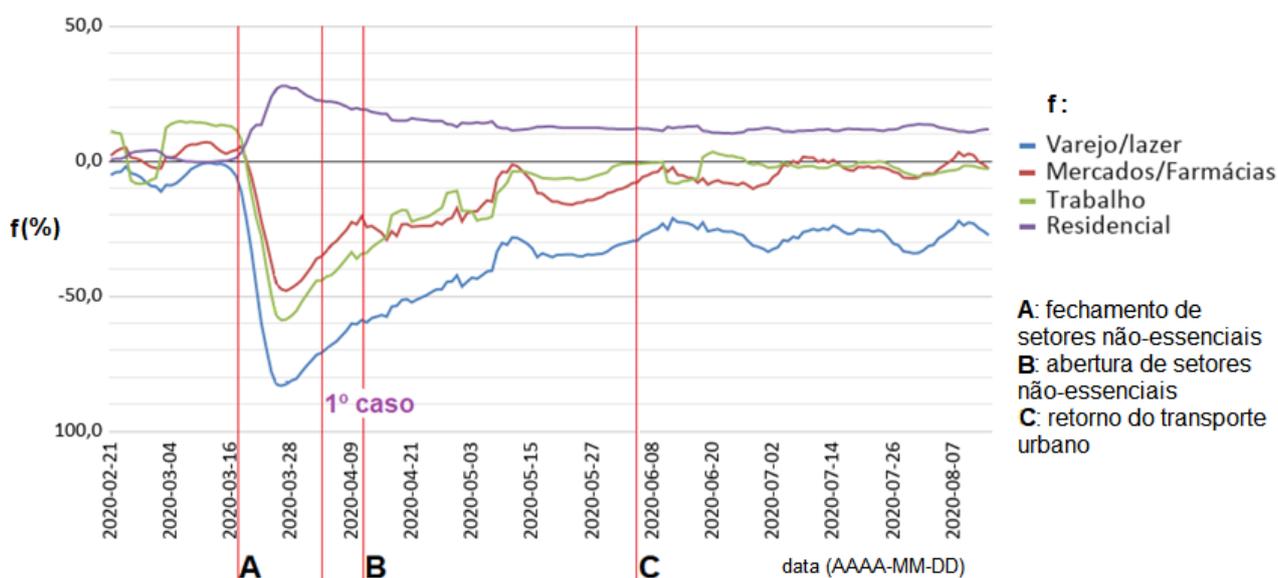
É possível verificar no gráfico à Figura 4 a imediata inflexão das curvas de mobilidade no município de Araranguá na proximidade das datas das citadas medidas. Mesmos serviços essenciais, como supermercados e farmácias, foram afetados. As informações referem-se à média móvel dos sete dias anteriores ao dia apresentado.

As medidas tomadas a partir de 11 de abril ou foram paliativas no sentido de estimular o distanciamento, ou foram de abertura. Destaca-se, nesse sentido, o retorno do transporte coletivo com 50% da capacidade, em 5 de junho de 2020, pelo decreto municipal 9260. (ARARANGUÁ, 2020). De 4 para 5 de junho, a curva de casos confirmados cresceu de 69 para 72 casos (+3 casos). Um mês depois, a curva cresceu de 120 para 128 casos (+8 casos). Dois meses depois, a curva cresceu de 701 para 754 casos (+53 casos). Utilizamos o teste T-Student para analisar se a diferença na



proporção de novos casos se deu ao acaso. A tabela 1 apresenta as estatísticas do incremento de casos de 5 de junho a 5 de agosto.

Figura 4 – Média móvel de 7 dias para a mobilidade nos setores econômicos em Araranguá, em comparação com a média histórica (em destaque, medidas relevantes de distanciamento e flexibilização no combate à COVID-19).



Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 1 – Comparação das proporções de incremento de casos nas semanas finalizadas em 5 de junho e 5 de agosto de 2020.

Semana	x (s) (%)	p
29/05 - 05/06	2,2 (3,1)	< 0,002
29/07 - 05/08	8,1 (5,7)	

x: média de incremento diário; s: desvio padrão; p: nível de significância

Fonte: Elaborada pelos autores.

Infere-se da Tabela 1, com um nível de significância $p < 0,002$, que o incremento médio diário de 8,1% de casos na semana de 29 de julho a 5 de agosto, em comparação com 2,2% na semana de 29 de maio a 5 de junho, não se deu aleatoriamente.

O fechamento do transporte coletivo e de estabelecimentos de lazer e a proibição de encontros coletivos foram associados à redução da incidência da COVID-19 por estudo de Tian *et al.* (2020). Tendência correlata é demonstrada na comparação de médias revelada à tabela 1: os casos confirmados cresceram de maneira significativa a partir da cessação da medida de proibição do transporte coletivo. No entanto, a administração municipal houve por tomar a controversa medida de abertura em meio à crescente da confirmação de casos.



Para analisar o impacto da abertura de setores econômicos nos casos acumulados de COVID-19, recorreremos à correlação entre as variáveis de mobilidade (comparadas com sua média histórica) e o número acumulado de casos confirmados. Apresentamos os resultados à Tabela 2.

Tabela 2 – Correlação entre a mobilidade em diferentes setores econômicos e a confirmação de casos de COVID-19 em Araranguá.

Setor econômico	r_{\log}	ρ
Varejo e lazer	0,86	0,73
Supermercados e farmácias	0,83	0,84
Trabalho	0,70	0,71
Residencial	-0,74	-0,69

r_{\log} : coeficiente de correlação de Pearson do logaritmo dos dados normalizados; ρ : coeficiente de correlação de Spearman.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Considerando a tabela de referência elaborada em Dancey e Reidy (2013), as alterações na mobilidade de todos os setores analisados tem correlação forte com o acumulado de casos confirmados de COVID-19. Em outras palavras, quanto mais as taxas de mobilidade se aproximam da normalidade histórica, maior a probabilidade de incremento no número de casos de COVID-19.

Através da análise multivariada por componentes principais (PCA) dos quatro setores, destacamos o setor de varejo e lazer como o principal indutor do aumento de casos confirmados. Consideramos para a PCA as variáveis: mobilidade em varejo e lazer, mobilidade em supermercados e farmácias, mobilidade no trabalho, mobilidade na área residencial e casos confirmados. A primeira componente principal (PC1) explica 83,65% da variabilidade dos dados, tendo “varejo e lazer” e “casos confirmados” como maiores *loadings*. Apresentamos o resultado da PCA à tabela 3 (com destaque para a PC1) e à figura 5.

Tabela 3 – *Loadings* da PCA para mobilidade de setores econômicos e casos confirmados de COVID-19 em Araranguá.

Variável / PC	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Casos confirmados	16,6134	-3,8936	0,0878	-0,0200	$1,8908 \times 10^{-16}$
Varejo e lazer	-11,3556	-4,1646	0,6100	-0,4636	$7,6328 \times 10^{-17}$
Supermercados e farmácias	-4,4258	0,6635	0,3095	0,9540	$9,3241 \times 10^{-16}$
Trabalho	-3,8417	0,2809	-1,4405	-0,1030	$-2,1424 \times 10^{-15}$
Residencial	3,0097	7,1138	0,4332	-0,3673	$2,6854 \times 10^{-15}$

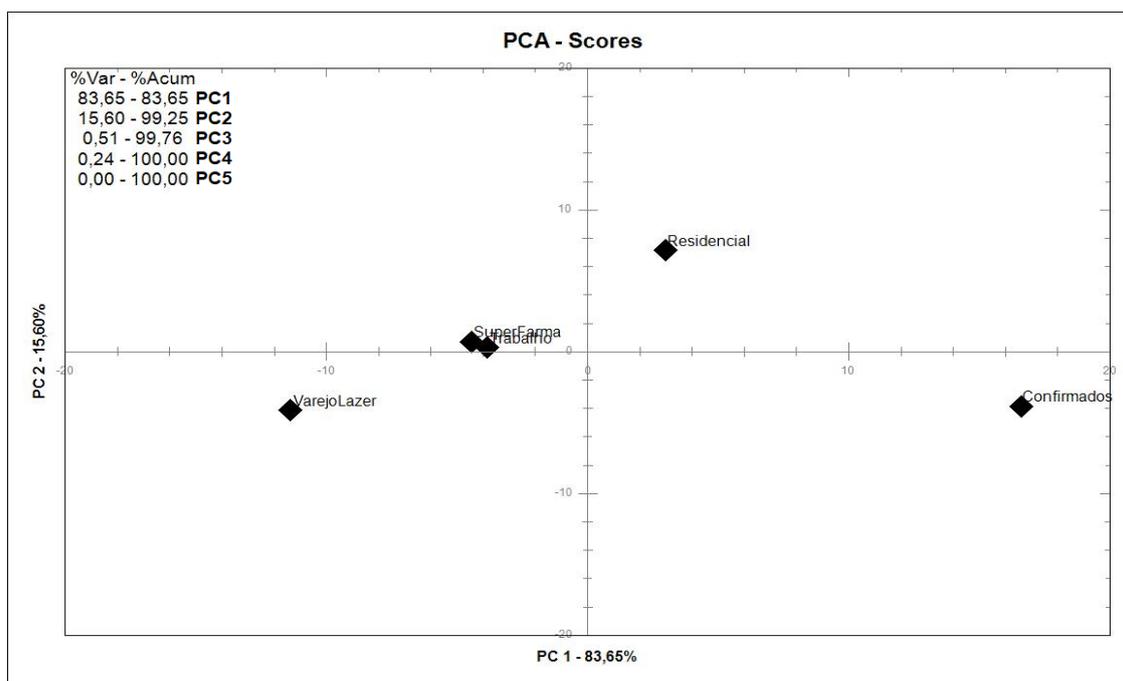
Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir dos *loadings* da PC1, componente mais relevante nesta PCA, temos que a variável “varejo e lazer” tem 2,6 vezes mais influência que a variável “supermercado



e farmácias”, 3 vezes mais que a variável “trabalho” e 3,8 vezes mais que a variável “residencial”. Portanto, segundo a PCA, a mobilidade (e por consequência, o distanciamento) sobre os lugares classificados como de varejo ou lazer é o fator mais importante para alterações no número de casos confirmados.

Figura 5 - Gráfico dos *loadings* da PC1 e da PC2.



Fonte: Elaborada pelos autores.

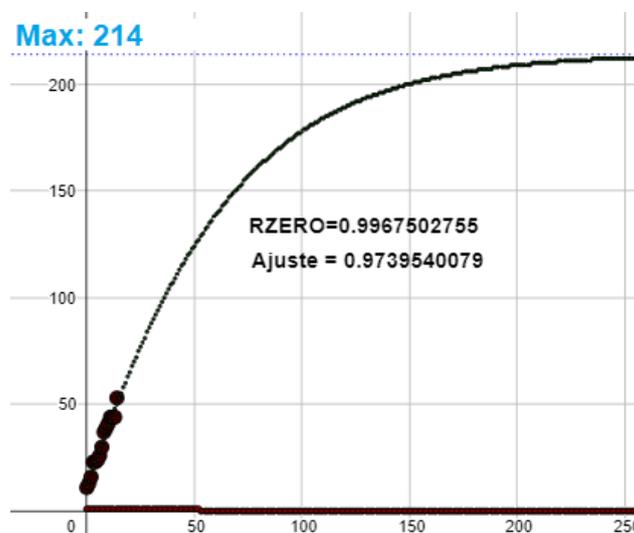
Em 11 de maio, a média semanal da mobilidade do setor de varejo e lazer estava 28% abaixo da média histórica (figura 4), sofrendo uma inflexão para a tendência decrescente. Simulamos as consequências da manutenção do comportamento de distanciamento da população naqueles patamares, selecionando o conjunto de dados de casos confirmados de 11 a 25 de maio, quando a mobilidade no setor estava 35% abaixo da média histórica e a curva sofreu nova inflexão, tornando-se crescente. O resultado da simulação é apresentado à figura 6.

A simulação apresenta uma projeção de aproximadamente 214 casos, no máximo, durante todo o período de pandemia, em Araranguá, desprezando transmissões externas. Com R_0 estimado em aproximadamente 0,997 e um número pequeno de casos, o processo epidêmico não encontraria sustentação no município.

Em 11 de maio, data do início da simulação, ocorreu o primeiro e único óbito no município, valor esperado como máximo, se considerada a taxa de mortalidade de 1%. (MIZUMOTO; CHOWELL, 2020; RUSSELL *et al.*, 2020). No entanto, em 21 de setembro de 2020, a Prefeitura Municipal de Araranguá computava 41 mortes de residentes no município.



Figura 6 - Projeção com R_0 obtido pelos dados de 12 a 26 de julho.



Fonte: Elaborada pelos autores.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo buscamos analisar as consequências das intervenções públicas através de medidas legais, no distanciamento social, com o objetivo de controle da disseminação da COVID-19, em nível municipal, para um município de aproximadamente 69 mil habitantes. (ARARANGUÁ, SC).

Um modelo matemático baseado no modelo SIR de Kermack e McKendrick (1927) foi construído e resolvido utilizando o software Geogebra e está disponível para uso da comunidade acadêmica em <https://www.geogebra.org/m/mmnughuk> para cópia e adaptação dos interessados. Considerando as simulações realizadas com o conjunto de dados de 19 de julho a 2 de agosto, o modelo mostrou-se com razoável calibração. Para todos os intervalos de dados utilizados neste trabalho, o coeficiente de determinação R^2 , obtido no processo de otimização dos parâmetros, ficou muito próximo de 1.

Simulações realizadas a partir de dados reais divulgados pelo Município de Araranguá mostraram que, com o número básico de reprodução R_0 próximo a 2,5, como o obtido na quinzena de 12 a 26 de julho de 2020, aproximadamente 90% da população do município poderia ser infectada. Por outro lado, levando em consideração as limitações do modelo, se medidas mais rígidas de distanciamento social tivessem sido tomadas a partir de 2020, quase todos os óbitos de munícipes por COVID-19 poderiam ter sido evitados.

As análises estatísticas uni e multivariadas sobre os dados de mobilidade do município obtidos na plataforma *Google Analytics* corroboram a influência do distanciamento social no aumento da confirmação de casos de COVID-19, tendo como principal fator, em Araranguá, o funcionamento do setor de varejo e lazer.



Nesse sentido, a falta de ação do poder público quanto à necessidade de regras mais rígidas no distanciamento social revelou-se fortemente correlacionada ao aumento da força da epidemia em nível local.

7. REFERÊNCIAS

ALLMAN, E. S.; RHODES, J. A. **Mathematical Models in Biology**. New York: Cambridge, 2004.

ALMEIDA, L. M. W.; SILVA, A. Por uma Educação Matemática Crítica: a Modelagem Matemática como alternativa. **Educação Matemática Pesquisa**, v.12, n.2, 2010.

ALTMANN, M. Susceptible-infected-removed epidemic models with dynamic partnerships. **Journal of Mathematical Biology**, v.33, n.6, 1995.

AMESC. **Desenvolvido pela Associação dos Municípios do Extremo Sul de Santa Catarina**. Portal institucional. Disponível em: <https://www.amesc.com.br>. Acesso em: 13 set. 2020.

ARARANGUÁ. **Decreto nº 9181 de 17 de março de 2020**. Decreta situação de emergência no Município de Araranguá, define outras medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública de importância internacional, decorrente do coronavírus (COVID-19) e dá outras providências. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: https://static.fecam.net.br/uploads/249/arquivos/1878327_Decreto_N_9181.pdf. Acesso em: 13 set. 2020.

ARARANGUÁ. **Decreto nº 9182 de 18 de março de 2020**. Dispõe sobre as medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública de importância internacional decorrente do novo coronavírus (COVID-19), e dá outras providências. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/a/ararangua/decreto/2020/919/9182/decreto-n-9182-2020-dispoe-sobre-as-medidas-para-enfrentamento-da-emergencia-de-saude-publica-de-importancia-internacional-decorrente-do-novo-coronavirus-COVID-19-e-da-outras-providencias?q=COVID-19>. Acesso em: 13 set. 2020.

ARARANGUÁ. **Decreto nº 9187 de 25 de março de 2020**. Dispõe sobre medidas de enfrentamento e combate ao COVID-19 e dá outras providências. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/a/ararangua/decreto/2020/919/9187/decreto-n-9187-2020-dispoe-sobre-medidas-de-enfrentamento-e-combate-ao-COVID-19-e-da-outras-providencias?q=COVID-19>. Acesso em: 13 set. 2020.

ARARANGUÁ. **Decreto nº 9197 de 31 de março de 2020**. Prorroga período de Isolamento Social no Município de Araranguá, de acordo com as disposições estaduais. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/a/ararangua/decreto/2020/920/9197/decreto-n-9197-2020-prorroga-periodo-de-isolamento-social-no-municipio-de-ararangua-de-acordo-com-as-disposicoes-estaduais?q=COVID-19>. Acesso em: 13 set. 2020.



ARARANGUÁ. **Decreto nº 9205 de 07 de abril de 2020.** Dispõe sobre a retomada de atendimento ao público na Prefeitura de Araranguá, após períodos de isolamento social. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/a/ararangua/decreto/2020/921/9205/decreto-n-9205-2020-dispoe-sobre-a-retomada-de-atendimento-ao-publico-na-prefeitura-de-ararangua-apos-periodos-de-isolamento-social?q=COVID-19>. Acesso em: 15 set. 2020.

ARARANGUÁ. **Decreto nº 9209 de 14 de abril de 2020.** Dispõe sobre adoção de medidas de combate à pandemia do COVID-19 e estabelece outras providências. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/a/ararangua/decreto/2020/921/9209/decreto-n-9209-2020-dispoe-sobre-adocao-de-medidas-de-combate-a-pandemia-do-COVID-19-e-estabelece-outras-providencias?q=COVID-19>. Acesso em: 15 set. 2020.

ARARANGUÁ. **Decreto nº 9229 de 30 de abril de 2020.** Dispõe sobre o retorno da obrigatoriedade do registro de ponto, dispõe sobre o retorno dos servidores afastados em razão da pandemia do COVID-19, dispõe sobre as possibilidades de afastamento de servidores em razão da pandemia do COVID-19, dispõe sobre a remessa de atestados para análise e dá outras providências. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/a/ararangua/decreto/2020/923/9229/decreto-n-9229-2020-dispoe-sobre-o-retorno-da-obrigatoriedade-do-registro-de-ponto-dispoe-sobre-o-retorno-dos-servidores-afastados-em-razao-da-pandemia-do-COVID-19-dispoe-sobre-as-possibilidades-de-afastamento-de-servidores-em-razao-da-pandemia-do-COVID-19-dispoe-sobre-a-remessa-de-atestados-para-analise-e-da-outras-providencias?q=COVID-19>. Acesso em: 15 set. 2020.

ARARANGUÁ. **Decreto nº 9241 de 15 de maio de 2020.** Dispõe sobre a proibição de acesso em locais e horários determinados, como medidas de combate à pandemia do COVID-19 e estabelece outras providências. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/a/ararangua/decreto/2020/925/9241/decreto-n-9241-2020-dispoe-sobre-a-proibicao-de-acesso-em-locais-e-horarios-determinados-como-medidas-de-combate-a-pandemia-do-COVID-19-e-estabelece-outras-providencias?q=COVID-19>. Acesso em: 16 set. 2020.

ARARANGUÁ. **Decreto nº 9255 de junho de 2020.** Suspende o Programa De Esporte e Lazer Das Cidades (PELC). Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/a/ararangua/decreto/2020/926/9255/decreto-n-9255-2020-suspende-o-programa-de-esporte-e-lazer-das-cidades-pelc?q=COVID-19>. Acesso em: 16 set. 2020.



ARARANGUÁ. **Decreto nº 9260 de 05 de junho de 2020.** Dispõe sobre a autorização para retomada gradual do transporte coletivo de passageiros em ônibus, micro-ônibus, vans e similares, considerando-se as medidas de combate à pandemia do COVID-19 e dá outras providências. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/a/ararangua/decreto/2020/926/9260/decreto-n-9260-2020-dispoe-sobre-a-autorizacao-para-retomada-gradual-do-transporte-coletivo-de-passageiros-em-onibus-micro-onibus-vans-e-similares-considerando-se-as-medidas-de-combate-a-pandemia-do-COVID-19-e-da-outras-providencias?q=COVID-19>. Acesso em: 16 set. 2020.

ARARANGUÁ. **Decreto nº 9338 de 20 de julho de 2020.** Dispõe sobre medidas restritivas de combate à pandemia do COVID-19 e estabelece outras providências. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/a/ararangua/decreto/2020/934/9338/decreto-n-9338-2020-dispoe-sobre-medidas-restritivas-de-combate-a-pandemia-do-COVID-19-e-estabelece-outras-providencias?q=COVID-19>. Acesso em: 16 set. 2020.

ARARANGUÁ. **Decreto nº 9339 de 21 de julho de 2020.** Altera o Decreto nº 9338/2020. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/a/ararangua/decreto/2020/934/9339/decreto-n-9339-2020-altera-o-decreto-n-9338-2020?q=COVID-19>. Acesso em: 16 set. 2020.

ARARANGUÁ. **Decreto nº 9340 de 23 de julho de 2020.** Reconhece como autoridades sanitárias a Polícia Militar, Polícia Civil e Corpo De Bombeiros Militar de Santa Catarina para fins de fiscalização das medidas de enfrentamento da Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional Decorrente da Infecção Humana Pelo Novo Coronavírus (COVID-19) no Município de Araranguá. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/a/ararangua/decreto/2020/934/9340/decreto-n-9340-2020-reconhece-como-autoridades-sanitarias-a-policia-militar-policia-civil-e-corpo-de-bombeiros-militar-de-santa-catarina-para-fins-de-fiscalizacao-das-medidas-de-enfrentamento-da-emergencia-de-saude-publica-de-importancia-internacional-decorrente-da-infeccao-humana-pelo-novo-coronavirus-COVID-19-no-municipio-de-ararangua?q=COVID-19>. Acesso em: 16 set. 2020.

ARARANGUÁ. **Decreto nº 9343 de 27 de julho de 2020.** Dispõe sobre medidas para combate à proliferação da pandemia da COVID-19, e dá outras providências. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/a/ararangua/decreto/2020/935/9343/decreto-n-9343-2020-dispoe-sobre-medidas-para-combate-a-proliferao-da-pandemia-da-COVID-19-e-da-outras-providencias?q=COVID-19>. Acesso em: 16 set. 2020.



ARARANGUÁ. **Decreto nº 9412 de 26 de agosto de 2020**. Dispõe sobre a autorização para retomada transporte coletivo de passageiros em ônibus, micro-ônibus, vans e similares, considerando-se as medidas de combate à pandemia da COVID-19 e dá outras providências. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/a/ararangua/decreto/2020/942/9412/decreto-n-9412-2020-dispoe-sobre-a-autorizacao-para-retomada-transporte-coletivo-de-passageiros-em-onibus-micro-onibus-vans-e-similares-considerando-se-as-medidas-de-combate-a-pandemia-da-COVID-19-e-da-outras-providencias?q=COVID-19>. Acesso em: 16 set. 2020.

ARARANGUÁ. **Decreto nº 9426 de 02 de setembro de 2020**. Dispõe sobre medidas para combate à proliferação da pandemia da COVID-19, e dá outras providências. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/a/ararangua/decreto/2020/943/9426/decreto-n-9426-2020-dispoe-sobre-medidas-para-combate-a-proliferacao-da-pandemia-da-COVID-19-e-da-outras-providencias?q=COVID-19>. Acesso em: 16 set. 2020.

ARARANGUÁ. **Compilação de notícias sobre a COVID-19**. Araranguá: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: <https://www.ararangua.sc.gov.br/tag/index/index/codTag/7209>. Acesso em: 13 set. 2020.

ARARANGUÁ. **Compilação de legislações sobre a COVID-19**. Disponível em: <https://www.ararangua.sc.gov.br/noticias/index/ver/codNoticia/607150/codMapaltem/4496>. Acesso em: 13 set. 2020.

BRASIL. **Dados demográficos de Araranguá (SC)**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/ararangua>. Acesso em: 13 set. 2020.

BRASIL. **Base de dados do Sistema Único de Saúde sobre a COVID-19**. Brasília: Ministério da Saúde, 2020. Disponível em: <https://COVID.saude.gov.br>. Acesso em: 13 set. 2020.

CDC. **COVID-19 Pandemic Planning Scenarios Pandemic Planning Scenarios**. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention, 2020. Disponível em: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/planning-scenarios.html>. Acesso em: 13 set. 2020.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

DELAMATER, P. L. *et al.* Complexity of the Basic Reproduction Number (R_0). **Emerging Infectious Diseases**, v.25, n.1, 2019.

ENSP. **Glossário do distanciamento social**. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública, 2020. Disponível em: <http://www.ensp.fiocruz.br/portal-ensp/informe/site/materia/detalhe/48730>. Acesso em: 20 set. 2020.



HALLAL, P. C. *et al.* **EPICOV19-BR divulga novos resultados sobre o coronavírus no Brasil**. Pelotas: UFPEL, 2020. Disponível em: http://www.epiCOVID19brasil.org/wp-content/uploads/2020/09/press_release_6.pdf. Acesso em: 20 set. 2020.

GEOGEBRA.ORG. **GeoGebra**. Boca Raton: Florida Atlantic University, 2020. Disponível em: <https://www.geogebra.org>. Acesso em: 13 set. 2020.

GOOGLE ANALYTICS. **Base de dados de mobilidade**. Mountain View: Alphabet Inc., 2020. Disponível em: <https://www.google.com/COVID19/mobility>. Acesso em: 2 set. 2020.

GOMES, S. C. P.; MONTEIRO, I. O.; ROCHA, C. R. Modelagem dinâmica da COVID-19 com aplicação a algumas cidades brasileiras. **Revista Thema**, v.18, n.especial, 2020.

HAIR, J. F. **Multivariate Data Analysis with Readings**. 4. ed. Upper Sadle River: Prentice Hall, 1995.

HE, J.; GUO, Y.; MAO, R. Proportion of asymptomatic coronavirus disease 2019: A systematic review and meta-analysis. **Journal of Medical Virology**, n.especial, 2020.

KERMACK, W. O.; MCKENDRICK, A. G. A contribution to the mathematical theory of epidemics. **Proceedings of the Royal Society London**, v.115, n.772, 1927.

KUTTA, M. W. Beitrag zur näherungsweise Integration totaler Differentialgleichungen. **Zeitschrift für Mathematik und Physik**, v.46, p.435-453, 1901.

LEGENDRE, A. M. **Nouvelles méthodes pour la détermination des orbites des comètes**. Paris: F. Didot, 1805.

LEIVA, G. C.; SATHLER, D.; ORRICO FILHO, R. D. Estrutura urbana e mobilidade populacional: implicações para o distanciamento social e disseminação da COVID-19. **Revista Brasileira de Estudos Populacionais**, v.37, n.118, 2020.

MARICATO, E. O coronavírus e um plano de emergência para as cidades. In: BORGES, A.; MARQUES, L. (Orgs.). **Coronavírus e as cidades no Brasil: reflexões durante a pandemia**. Rio de Janeiro: Outras Letras, 2020.

MIZUMOTO, K; CHOWELL, G. **Estimating the risk of 2019 Novel Coronavirus death during the course of the outbreak in China, 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.02.19.20025163v1>. Acesso em: 13 set. 2020.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. **Actualización de la estrategia frente a la COVID-19**. Ginebra: 2020. Disponível em: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/COVID-strategy-update-14april2020_es.pdf?sfvrsn=86c0929d_10. Acesso em: 20 set. 2020.



RIBEIRO, L. C.; BERNARDES A. T. **Atualização da estimativa de subnotificação em casos de hospitalização por síndrome respiratória aguda e confirmados por infecção por COVID-19 no Brasil e Estimativa para Minas Gerais.** Belo Horizonte: UFMG, 2020. Disponível em: <https://www.cedeplar.ufmg.br/noticias/1244-nota-tecnica-atualizacao-da-estimativa-de-subnotificacao-em-casos-de-hospitalizacao-por-sindrome-respiratoria-aguda-e-confirmados-por-infeccao-por-COVID-19-no-brasil-e-estimativa-para-minas-gerais>. Acesso em: 13 set. 2020.

RODRIGUES, J.N; AZEVED, D. A. Pandemia do Coronavírus e (des)coordenação federativa: evidências de um conflito político-territorial. **Espaço e Economia**, v.9, n.18, 2020.

RUNGE, C. Über die numerische Auflöfung von Differentialgleichungen. **Mathematische Annalen**, v.46, n.2, 1895.

RUSSELL, T. W. *et al.* Estimating the infection and case fatality ratio for coronavirus disease (COVID-19) using age-adjusted data from the outbreak on the Diamond Princess cruise ship, February 2020. **Eurosurveillance: Europe's journal on infectious disease surveillance, epidemiology, prevention and control**, v.25, n.12, 2020.

SANTA CATARINA. **Base de dados estaduais da COVID-19.** Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, 2020. Disponível em: <https://transparencia.COVID19.sc.gov.br/>. Acesso em: 13 set. 2020.

SANTA CATARINA. **Base de dados estaduais da legislação sobre COVID-19.** Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, 2020. Disponível em: <http://dados.sc.gov.br/dataset/COVID-19-decretos-estaduais/resource/521988b5-622e-4d51-8b5e-e41bef2a9c0d>. Acesso em: 13 set. 2020.

SANTA CATARINA. **Decreto nº 515, de 17 de março de 2020.** Declara situação de emergência em todo o território catarinense, nos termos do COBRADE nº 1.5.1.1.0 - doenças infecciosas virais, para fins de prevenção e enfrentamento à COVID-19, e estabelece outras providências. Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, 2020. Disponível em: http://dados.sc.gov.br/dataset/149a36ac-19c6-47b3-b873-9c0512f7a4db/resource/73d09d8d-3e06-4347-8442-100d35280230/download/decreto_515-17.03.2020.pdf. Acesso em: 13. set. 2020.

SANTA CATARINA. **Decreto nº 525, de 23 de março de 2020.** Dispõe sobre novas medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública de importância internacional. Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, 2020. Disponível em: http://dados.sc.gov.br/dataset/149a36ac-19c6-47b3-b873-9c0512f7a4db/resource/8a4b676f-2fbb-4fd7-9e73-07b44260739a/download/decreto_525-23.03.2020.pdf. Acesso em: 13 set. 2020.



SANTA CATARINA. **Decreto nº 630 de 01 de junho de 2020**. Altera o Decreto nº 562, de 2020, que declara estado de calamidade pública em todo o território catarinense, nos termos do COBRADE nº 1.5.1.1.0 - doenças infecciosas virais, para fins de enfrentamento à COVID-19, e estabelece outras providências. Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, 2020. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=396305#:~:text=Alterar%20o%20Decreto%20n%C2%BA%20562,19%2C%20e%20estabelece%20outras%20provid%C3%A2ncias>. Acesso em: 13 set. 2020.

SHAMAN, J. *et al.* Real-time influenza forecasts during the 2012–2013 season. **Nature Communications**, v.4, n.2837, 2013.

SKOVSMOSE, O. **Educação Matemática crítica: a questão da democracia**. Campinas: Papyrus, 2001.

TIAN, H. An investigation of transmission control measures during the first 50 days of the COVID-19 epidemic in China. **Science**, v.368, n.6491, 2020.

YANG, Wan; KARSPECK, A; SHAMAN, J. Comparison of Filtering Methods for the Modeling and Retrospective Forecasting of Influenza Epidemics. **PLoS Computational Biology**, v.10, n.4, 2014.

ZIMMER, C.; YAESOUBI, R.; COHEN, T. A Likelihood Approach for Real-Time Calibration of Stochastic Compartmental Epidemic Models. **PLoS Computational Biology**, v.13, n.1, p.1-21, 2017.

ZIZEK, S. Bem-vindo ao deserto do viral. **Carta Maior**, São Paulo, 16 mar. 2020.

Submetido em: **30/09/2020**

Aceito em: **02/03/2021**