

NOTA TÉCNICA – 18/12/2020

SITUAÇÃO DA PANDEMIA DE COVID-19 NO BRASIL E IMPACTOS DA CAMPANHA DE VACINAÇÃO

EQUIPE:

- **Dr. Antônio Carlos Guimarães de Almeida – Laboratório de Neurociência Experimental e Computacional, Departamento de Engenharia de Biosistemas/UFSJ**
- **Me. Antônio José Assunção Cordeiro – IFBA e Unopar Can-deias.**
- **Dr. Fulvio Alexandre Scorza, Departamento de Neurologia e Neurocirurgia, Escola Paulista de Medicina/UNIFESP**
- **Dr. Marcelo A. Moret – SENAI CIMATEC e UNEB**
- **Dr. Tarcísio M. Rocha Filho – Núcleo de Altos Estudos Es-tratégicos para o Desenvolvimento-CIFMC e Instituto de Física/UnB**
- **Dr. Walter Massa Ramalho – FCE e Núcleo de Medicina Tropical/UnB**

1 INTRODUÇÃO

A COVID-19 é uma doença grave causada pelo vírus SARS-CoV-2, da classe dos coronavírus, que teve o primeiro caso reportado em dezembro de 2019 e se alastrou pelo mundo. Hoje presente em todos os países, conta com um registro com mais de 75 milhões de casos e ultrapassando um milhão e seiscentas mil mortes [1]. O primeiro caso registrado no Brasil ocorreu na cidade de São Paulo em 26 de fevereiro deste ano, tendo se alastrado desde então para todos os estados brasileiros. A partir de junho o Brasil se posicionou como um novo epicentro da pandemia, ocupando o segundo lugar mundial de casos e mortes, sendo suplantado posteriormente pela Índia em número de casos, mas mantendo a segunda posição em número de mortos, contabilizando até a presente data cerca de 7 milhões de casos e 184 mil mortes.

No Brasil a pandemia passou por um pico nos meses de julho a setembro, e posteriormente apresentando queda no número de casos novos por semana. A situação no Brasil se deteriorou fortemente nas últimas semanas, com o início de uma segunda onda de crescimento de casos. Tal situação decorre, como vem sendo observado em muitos outros países, de uma sistemática queda dos níveis de isolamento social, mas também da ausência de campanhas de esclarecimento e uma falsa sensação de segurança disseminada na população. O quadro é particularmente preocupante pois espera-se dificuldades em adotar medidas mais duras de mitigação da pandemia, como o fechamento de atividades não essenciais, única arma efetiva até termos uma grande parcela da população vacinada, o que ainda levará boa parte do próximo ano para ocorrer.

2 DADOS DE CASOS E ÓBITOS POR ESTADO

A presente análise é baseada em dados oficiais atualizados até 17/12/2020, divulgados por cada Secretaria Estadual de Saúde e podem ser acessados no sítio do Ministério da Saúde:

<https://covid.saude.gov.br/>. Alternativamente, o sítio <https://covid19br.wcota.me/>, mantido por Wesley Cota, da Universidade Federal de Viçosa, é utilizado para complementar os dados.

A principal causa de morte por COVID-19 é a Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) com notificações de internações e óbitos obrigatórias para as Secretarias Estaduais de Saúde, e computadas a cada semana epidemiológica. Os dados de casos e óbitos por síndrome respiratória aguda grave foram obtidos no site INFOGRIPE da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) no endereço web <http://info.gripe.fiocruz.br/>, que disponibiliza tais dados desde 2009 até o presente. Para cada semana epidemiológica tomamos a diferença entre o total de óbitos por SRAG em 2020 e o maior número de óbitos relatado na respectiva semana epidemiológica entre 2009 e 2019. O valor assim obtido fornece uma estimativa do número real de óbitos por COVID-19. A proporção de mortes em excesso por SRAG com relação às mortes por COVID-19 estão dadas na tabela a seguir. Alguns estados apresentam problemas na coleta e atualização de dados, pois o número de óbitos por SRAG relatados é menor do que os óbitos por COVID-19, indicados por um traço na tabela.

AC	AL	AP	AM	BA	CE	DF	ES	GO	MA	MT	MS	MG	PA
–	1.46	–	1.35	1.41	1.46	1.40	–	1.38	1.11	–	1.45	1.75	1.42
PB	PR	PE	PI	RJ	RN	RS	RO	RR	SC	SP	SE	TO	
1.49	1.54	1.66	1.21	1.33	1.12	1.42	1.31	1.01	1.40	1.55	1.24	1.21	

Tabela 1: Proporção de mortes em excesso por síndrome respiratória aguda grave, com relação ao número oficial de mortes por COVID-19, em cada unidade da federação.

As mortes em excesso por SRAG apontam para o fato que o número real de mortes por COVID-19 é superior aos valores anunciados, o que também é observado em diferentes proporções em outros países [3], e varia de estado para estado a depender da qualidade do sistemas de vigilância. Diferentes fatores podem explicar isso: atraso na notificação da morte por COVID-19 pela demora nos resultados de testes, demora na testagem após o óbito resultando em falso-negativo, e também a não realização do teste, a morte sendo registrada como devida a SRAG por causa desconhecida. Salientamos que há também uma demora para a consolidação e transmissão das Secretarias Estaduais de Saúde, entre um a dois meses segundo o estado.

3 Medidas de circulação do vírus

Uma medida de quão intensa está a circulação do vírus SARS-CoV-2 é dada pelo número de novos casos no últimos sete dias por 100 mil habitantes. Os dados para cada unidade da federação estão dados na tabela abaixo:

AC	AL	AP	AM	BA	CE	DF	ES	GO	MA	MT	MS	MG	PA
141	82	270	112	163	88	170	364	109	29	146	293	141	66
PB	PR	PE	PI	RJ	RN	RS	RO	RR	SC	SP	SE	TO	
132	420	87	94	99	146	270	164	219	433	98	203	122	

Tabela 2: Casos novos por 100 mil habitantes nos últimos sete dias para cada unidade da federação.

Esses dados estão representados na forma de mapa de calor na figura 1. A título de comparação, a situação é considerada verde caso o número de casos por 100 mil seja inferior ou igual a 25, sendo este o patamar estabelecido para a situação vermelha na Alemanha (lá entre 20 e 25 é estado amarelo e o estado verde é para menor do que 20) [5]. Todos os estados e o Distrito Federal continuam muito acima desses valores.

Por outro lado, o número de mortes total por milhão de habitantes reflete o estágio atual da pandemia, e quão eficazes foram as medidas de mitigação em cada estado e no Distrito Federal, variando significativamente entre eles. Cabe comparar os valores da tabela a seguir com o mesmo índice para alguns outros países como os Estados Unidos (956 mortes/milhão), França (912 mortes/milhão), Alemanha (300 mortes/milhão), a fortemente atingida Espanha (1043 mortes/milhão) e Israel (332 mortes por milhão). Todos esses países já estão na “segunda onda” da pandemia (dados obtidos em <https://www.worldometers.info/coronavirus/#countries>). No Brasil como um todo temos 867 mortos por milhão, no momento em que ainda se inicia a segunda onda.

AC	AL	AP	AM	BA	CE	DF	ES	GO	MA	MT	MS	MG	PA
845	714	1003	1200	584	1076	1350	1155	932	620	1204	709	513	809
PB	PR	PE	PI	RJ	RN	RS	RO	RR	SC	SP	SE	TO	
868	623	973	838	1394	803	695	936	1214	634	965	1029	761	

Tabela 3: Total de mortes por milhão de habitantes em cada unidade da federação.

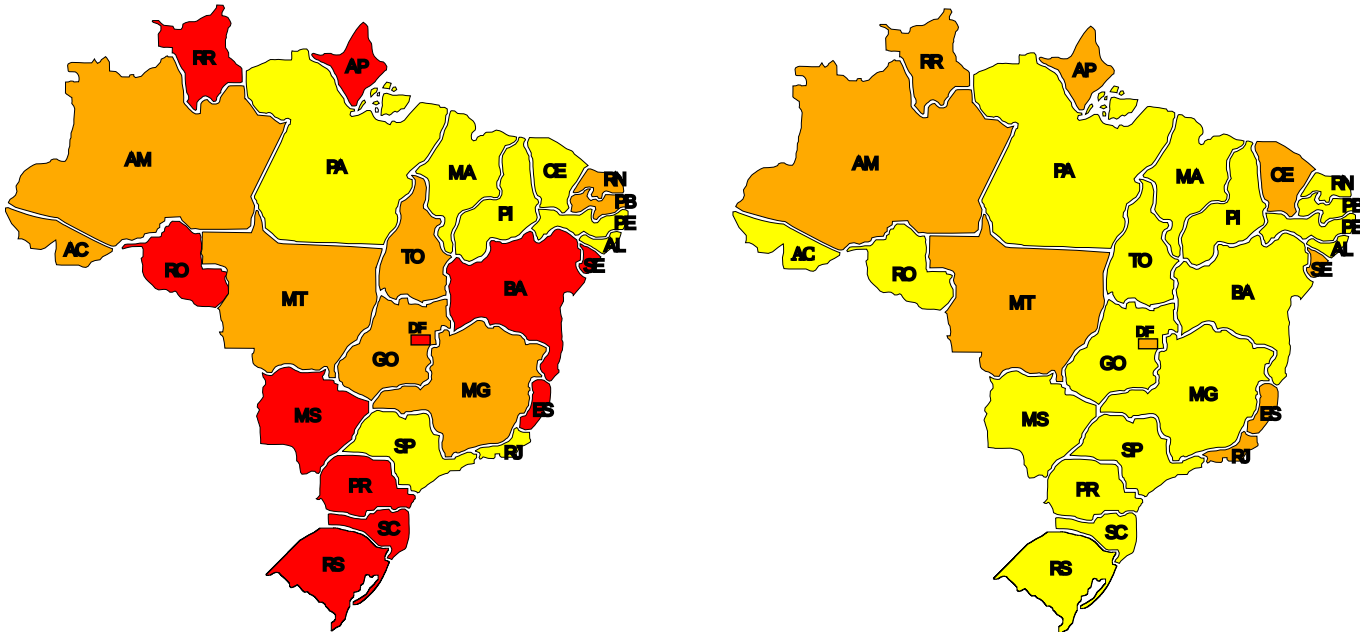


Figura 1: Esquerda: Mapa de calor de acordo com o número de casos novos nos últimos 7 dias por 100 mil habitantes: 0–25 Verde; 26–100 Amarelo; 101–150 Laranja e >150 Vermelho.

Direita: Mapa de calor de acordo com o número cumulativo de mortes por milhão: 0–500 Verde; 501–1000 Amarelo; 1001–1500 Laranja e >1500 Vermelho.

O estágio da pandemia também é comumente caracterizado pelo número de reprodução básico variando no tempo R_t , definido como sendo o número médio de pessoas infectadas por um indivíduo com o vírus ao longo de todo o tempo que permanece contagioso. Caso o valor de R_t seja menor que 1, a pandemia está contida, e o número de infectados, e conseqüentemente o de óbitos, diminui com o tempo. Por outro lado, se R_t for maior que 1, significa que a pandemia está em expansão. O valor estimado para o R_t da SARS-CoV-2 na ausência de qualquer medida de controle no início da pandemia é próximo a 3 [6]. Ele é calculado a partir do número de casos novos conforme descrito em [16], e é sujeito a todas as limitações inerentes a tais dados. Caso o nível de subnotificação de casos for razoavelmente constante ao longo do tempo, os valores obtidos para R_t são representativos da situação real. A figura abaixo mostra os valores de R_t em cada unidade da federação, a partir da média móvel de casos sobre 14 dias para reduzir flutuações estatísticas. As barras de erros são obtidas da variação do valor de R_t sobre a semana anterior com intervalo de confiança de 95%. Observe-se que em alguns casos a barra de erro é muito grande, possivelmente sinalizando

problemas na coleta de dados de casos de COVID-19.

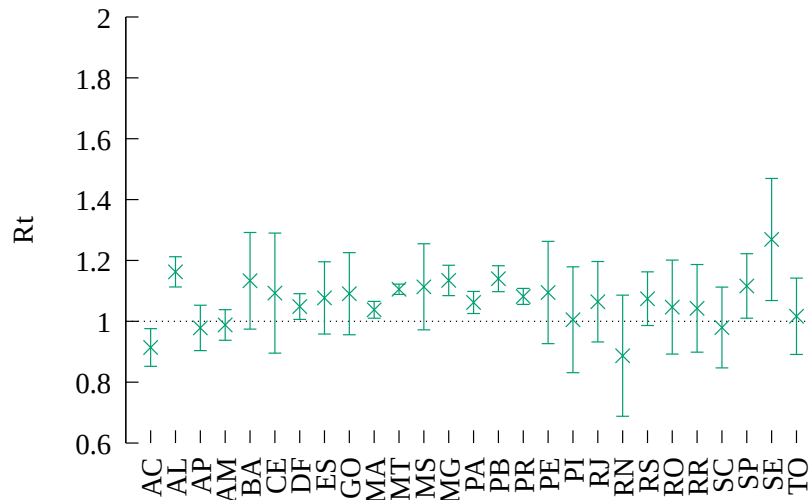


Figura 2: Número de reprodução básico R_t em cada unidade da federação em 17/12/2020 , a partir do número oficial de casos.

Percebemos que para a maioria estados R_t está claramente acima de 1, indicando o início de uma segunda onda. Na figura abaixo mostramos os valores do número de reprodução R_t para cada capital. De modo geral, o valor de R_t nas capitais já é maior do que 1 ou perigosamente perto desse limiar.

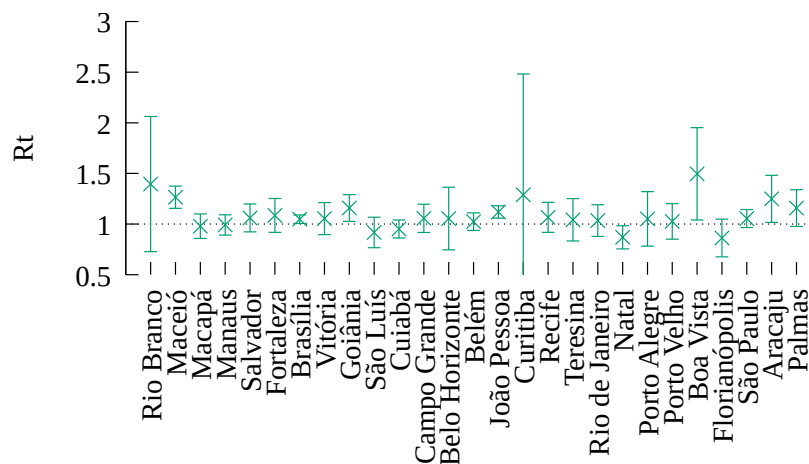


Figura 3: Número de reprodução básico R_t em cada capital de estado e DF em 17/12/2020 , a partir do número oficial de casos.

O crescimento recente de R_t coincide com o gradativo relaxamento das medidas de distanciamento social, que forem essenciais para o controle inicial da pandemia.

A seguir temos o mapa de calor segundo o valor de R_t (as cores estão explicadas na legenda), para as datas de 9 e 27 de novembro, e 9 de dezembro, onde vemos claramente a forte deterioração da situação em grande parte do país no período entre eles. Alguns estados atualizam os dados de forma irregular, o que explica uma barra de erro grande em alguns casos. Esses dados refletem tanto se a pandemia está em expansão ou contração, mas também a qualidade do sistema de notificação de cada estado.

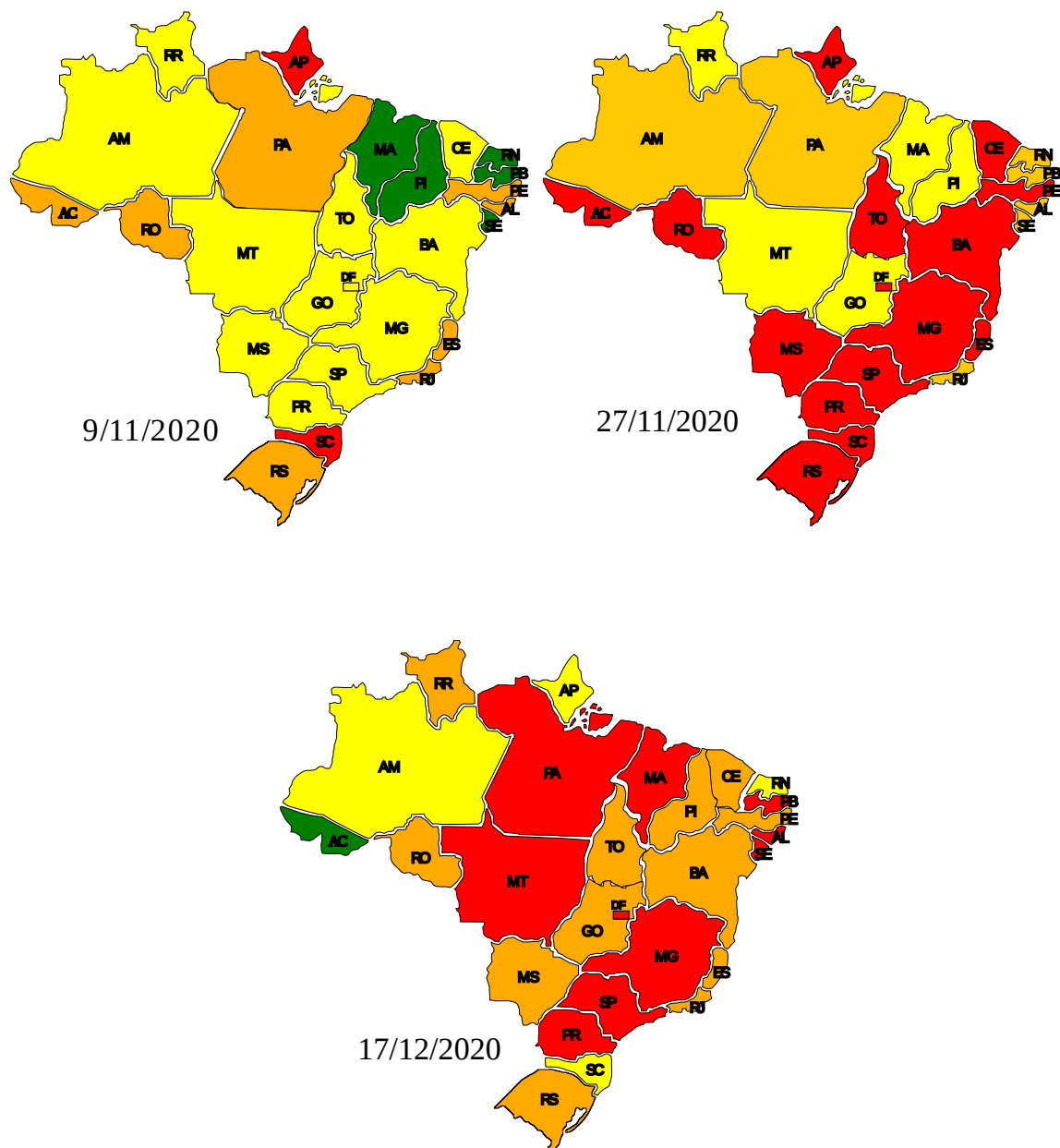


Figura 4: Mapa de calor de acordo com o valor médio de R_t e as estimativas do intervalo de erro $[R_{t,min}, R_{t,max}]$ (valores mínimo e máximo estimados para R_t). As cores correspondem a: verde $R_t, R_{t,min}, R_{t,max} < 1$, amarelo $R_t, R_{t,min} < 1$ e $R_{t,max} > 1$, laranja: $R_t < 1$ e $R_{t,min}, R_{t,max} > 1$ e vermelho: $R_t, R_{t,min}, R_{t,max} > 1$.

4 ISOLAMENTO AO LONGO DA PANDEMIA

Como medida do grau de isolamento utilizamos a variação do tempo de permanência em residência com relação à linha de base do período de 3 de janeiro a 6 de fevereiro de 2020, como medido pela Google e disponível em <https://www.google.com/covid19/mobility/>. Como mostrado nos gráficos abaixo, o isolamento social vem caindo sistematicamente em todo o país desde que as primeiras medidas de distanciamento foram implementadas em março, o que explica as ainda muito altas taxas de transmissão do vírus. Notamos que na região houve um discreto aumento no isolamento social nas duas últimas semanas, possivelmente motivado pela situação crítica lá observada no mesmo período.

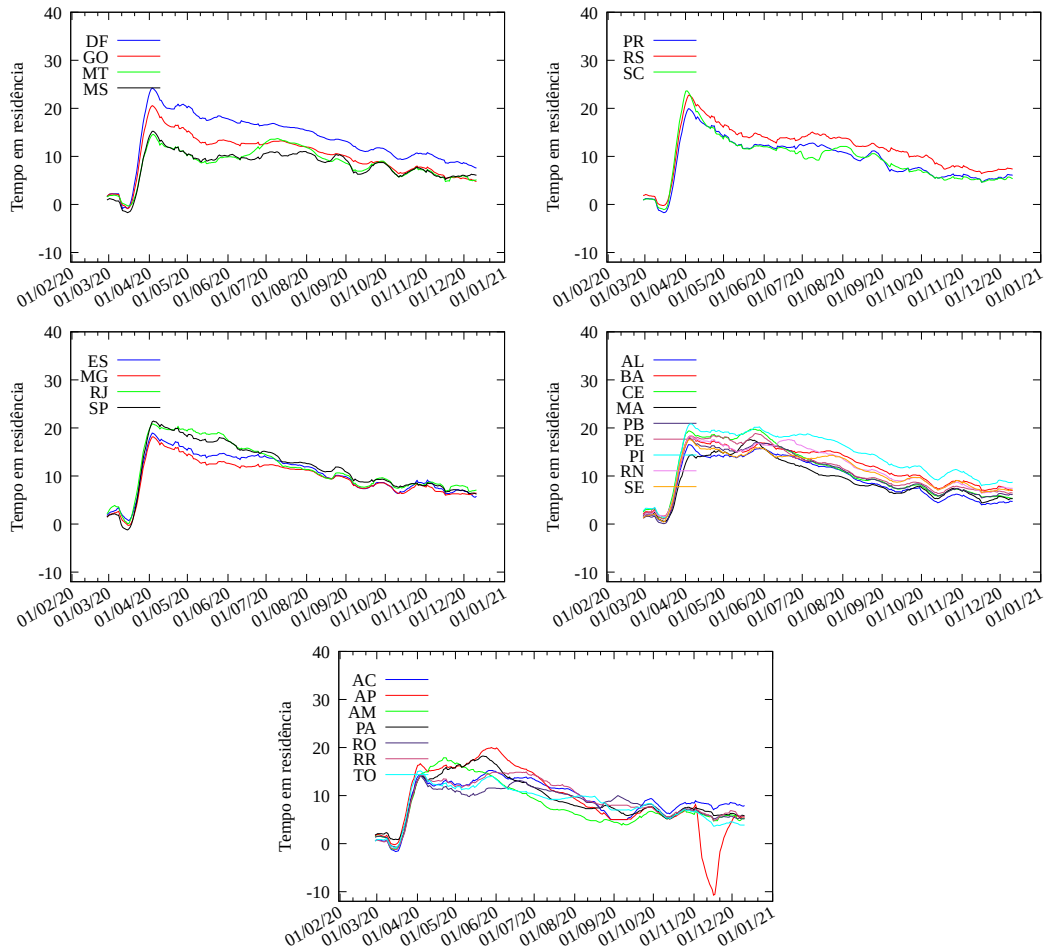


Figura 5: Variação percentual com relação à linha de base do tempo de estada em casa. O valor indicado para este último é o valor médio sobre as duas semanas anteriores à data indicada.

5 População já exposta ao vírus

Os percentuais da população já infectada pelo vírus em cada estado foram obtidos a partir de um modelo epidemiológico ajustado a partir do número oficial de mortes (vide anexo), e estão dados na tabela a seguir:

AC	AL	AP	AM	BA	CE	DF	ES	GO	MA	MT	MS	MG	PA
15%	14%	21%	21%	14%	19%	24%	22%	18%	11%	27%	17%	13%	15%
PB	PR	PE	PI	RJ	RN	RS	RO	RR	SC	SP	SE	TO	
22%	27%	19%	17%	28%	15%	14%	18%	37%	13%	18%	18%	14%	

Tabela 4: Estimativa do percentual da população já infectada pelo vírus SARS-CoV-2, incluindo casos assintomáticos, em cada unidade da federação.

Evidentemente esses valores dependem fortemente da identificação correta de mortes por COVID-19, e também refletem a taxa de mortalidade pela doença, que pode variar a depender da qualidade e quantidade do atendimento hospitalar em cada localidade, e podem ser maiores até a proporção na tabela 1 de mortes em excesso por SRAG com relação às por COVID-19. Estima-se que a imunidade de rebanho para o vírus seja de pelo menos 60 a 80% da população [17], e portanto ainda muito longe de ser atingida em todos os estados.

Permitir que a pandemia se alastre até atingir a imunidade de rebanho implicaria em um número de mortes muito maior do que o já observado até hoje (entre três e quatro vezes maior), com um forte saturação do sistema de saúde, que por sua vez aumentaria ainda mais o número de mortes. Cada uma das medidas de isolamento adotadas no Brasil contribuiu para a redução da taxa de transmissão do Sars-Cov-2. Apesar dos impactos econômicos, permitir que a pandemia se desenvolva livremente também traz impactos econômicos, por vezes até maiores, como bem ilustra o caso da Suécia que preferia não adotar um isolamento rigoroso inicialmente e viu seu PIB cair um proporção ainda maior que os outros países escandinavos, que adotaram políticas de isolamento muito mais estritas [19, 20]. Medidas de isolamento já salvaram um grande número de vidas, mesmo que não diretamente observados pela população, mas atualmente bem compreendidos graças a modelos de simulação [21, 22].

6 PROGNÓSTICOS E VACINAÇÃO

Os prognósticos aqui apresentados foram obtidos com o ajuste do modelo apresentado acima, ajustando os dados de óbitos cada estado até o presente sem distinção de faixas etárias. A partir desse ponto, utilizamos o modelo com diferentes faixas etárias segundo a mortalidade relatada na literatura e dadas na tabela 7. Simulamos uma campanha de vacinação, supondo que o país contará com 250 milhões de doses da vacina, o que permitiria vacinar 125 milhões de pessoas (duas doses cada). Supomos uma eficácia de 95% para a vacina, e que são necessários 30 dias para atingir pleno efeito das duas doses (segunda dose após três semanas da primeira). A vacinação é iniciada pela faixa etária com 80 anos ou mais, seguida pela faixa de 70 a 79 anos, e assim subsequentemente em ordem decrescente de idade.

Consideramos seis cenários distintos

1. Modelo ajustado até o presente e evolução mantidas as mesmas condições observadas até agora (curva em azul).
2. Modelo ajustado até o presente e evolução a partir daí com aumento do isolamento social com $R_t = 1$ (curva em verde).
3. Mesmo caso que que no cenário (1) e vacinação iniciando em 15 de janeiro de 2021 (curva em vermelho).
4. Mesmo caso que que no cenário (2) e vacinação iniciando em 15 de janeiro de 2021 (curva preta).
5. Mesmo que o cenário 3 (com vacinação), mas pleno retorno à normalidade a partir de 1º de julho de 2021 (curva em laranja).
6. Mesmo que o cenário 1 (sem vacinação), mas pleno retorno à normalidade a partir de 1º de julho de 2021 (curva em lilás).

As seguintes hipóteses foram consideradas nesses cenários:

- Que a vacina tem uma eficácia de 95%.
- Que após a primeira dose o indivíduo vacina, e para o qual não houve falha primária da vacina, estará totalmente protegido após 30 dias.
- que a imunidade resultante da vacina é permanente.
- A volta à normalidade supõe que os contatos são os mesmos do período pré-pandemia, supondo uma matriz de transmissão $\beta_{i,j}$ que resultaria em $R = 3$ no momento inicial. Assim supõe-se também nenhuma medida de mitigação, como o uso de máscaras.
- Após vacinar todas as faixas etárias, as crianças entre 0 e 4 anos de idade permanecem sendo vacinadas continuamente
- A vacina confere proteção a quem a recebeu e também impede que transmita o vírus.

Estimativas realizadas em nosso grupo, baseada no efeito das férias escolares sobre surtos de sarampo no período anterior à existência de vacinação [23, 24], mostram que o retorno completo às atividades escolares seria suficiente para causar um aumento de 10% no valor de R_t , o que resultaria em uma forte piora dos indicadores. Por outro lado as diferentes medidas de mitigação na disseminação da doença, como o simples uso de máscaras, mesmo as feitas em casa com tecido, consegue reduzir entre 30% a 50% a probabilidade de contágio [25].

As evoluções para o Brasil até a presente data, ajustadas estado a estado com o modelo epidemiológico, assim como as previsões de evolução estão dadas nas figuras a seguir:

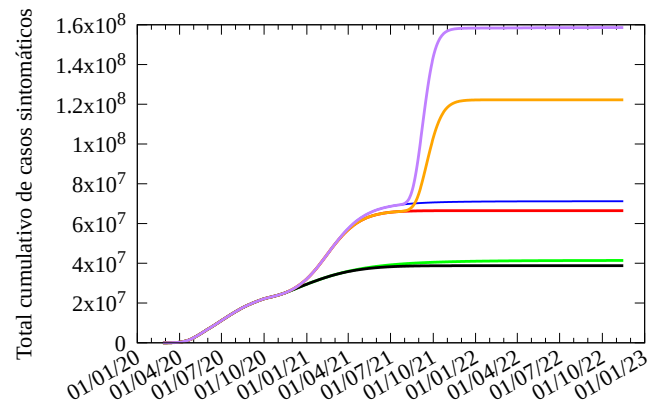


Figura 6: Modelo ajustado até o presente e prognósticos: total de casos sintomáticos no Brasil.

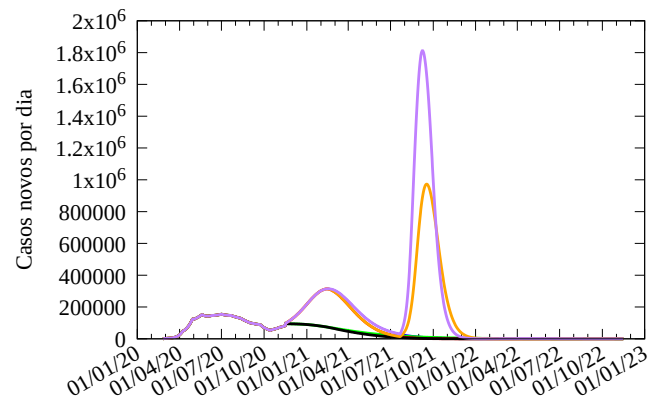


Figura 7: Modelo ajustado até o presente e prognósticos: casos sintomáticos novos por dia no Brasil.

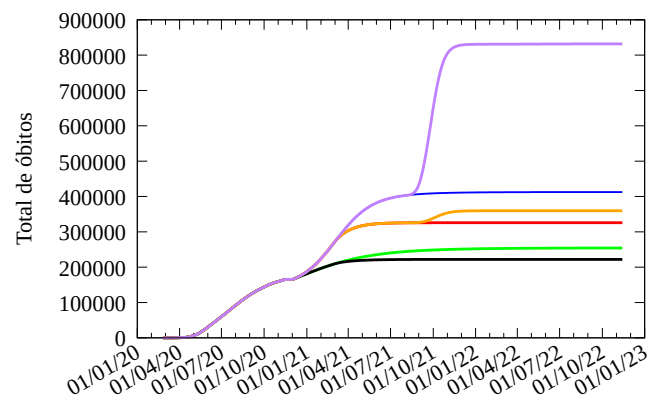


Figura 8: Modelo ajustado até o presente e prognósticos: total de mortes no Brasil por COVID-19 no Brasil.

7 Urgência para o início da vacinação

Para avaliar o impacto da demora no início da campanha de vacinação estimamos, com base nas projeções do modelo epidemiológico, o número de mortes projetado em função da data de início da vacinação no cenário em que o nível de contatos sociais são mantidos no nível observado até a data presente. Supomos a mesma campanha de vacinação descrita acima (250 milhões de doses por ano). A figura a seguir mostra o número de mortes no país além do que teria ocorrido caso a vacinação se iniciasse em 1/1/2021. Percebemos que cada semana de atraso implica no acréscimo de cerca de dez mil mortes por COVID-19 no computo final da pandemia. Isso equivale a cerca de uma morte por minuto de espera para o início da vacinação.

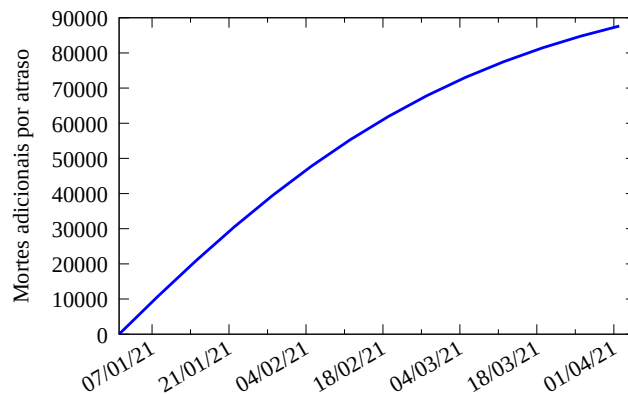


Figura 9: Mortes adicionais em todo o Brasil em função da data de início da vacinação comparada com o início ocorrendo em 1/1/2021.

8 DISCUSSÃO

Os dados aqui apresentados mostram uma retomada da pandemia em quase todo o país, decorrente de um afrouxamento das medidas de isolamento social, de uma falsa sensação de segurança e de um grande desconhecimento de como evitar a disseminação do vírus, cujas taxas de circulação continuam sendo muito altas.

Se o Brasil seguir a tendência observada em outros países, a segunda onda que ora se inicia será ainda mais intensa que a primeira, com o complicante que essa retomada ocorre a partir de patamares ainda muito elevados de circulação do vírus SARS-CoV-2, e fatalmente resultará na sobrecarga do sistema de saúde, que já demonstra esgotamento em alguns locais.

Os nossos prognósticos mostram que, se mantida a atual situação, uma campanha de vacinação ampla que, ao que tudo indica se estenderá por no mínimo um ano, pode não ocorrer a tempo de evitar um elevado número de casos e mortes. Assim sendo, tornam-se imprescindíveis medidas mais duras de controle, de forma a reduzir o número de reprodução R_t até valores abaixo de 1, evitando que o número de mortes que ocorrerá antes que a vacinação tenha efeito visível sobre a evolução da pandemia seja ainda muito elevado.

O Brasil possui uma experiência acumulada ao longo de décadas de campanhas de vacinação, o que nos coloca em vantagem com relação a outros país, inclusive Europa e Estados Unidos. Com um quadro de pessoal altamente qualificado e experimentado no planejamento e execução de campanhas de vacinação, não há razão para que, havendo as doses em quantidade suficiente, não se inicie de imediato a vacinação contra o SARS-CoV-2.

Voltamos a insistir que acreditar ser possível atingir a imunidade de rebanho é impraticável do ponto de vista humano, pois resultaria numa enorme perda de vidas, com um demanda de cuidados hospitalares que ultrapassaria em muito a capacidade existente. Acarretaria também uma ainda

maior queda da atividade econômica, que até o momento já foi considerável. Nossas estimativas apontam para o fato de que em todas as unidades da federação o percentual de pessoas que já tiveram contato com o vírus está muito aquém da imunidade de rebanho.

9 RECOMENDAÇÕES

Diante dos fatos aqui expostos e das análises realizadas, com o objetivo de limitar o custo social e econômico da pandemia de COVID-19, já muito elevados, recomendamos:

- Adotar medidas de contenção de contatos sociais, dimensionadas de acordo com as realidades locais, a fim de conter o crescimento da pandemia;
- Planejar e iniciar o mais rapidamente possível uma campanha de vacinação em massa, disponibilizando o maior número de doses no menor intervalo de tempo possíveis.
- Correlacionar as projeções de campanhas de vacinação com um modelo de estrutura logística para acoplar capacidade de distribuição de vacinas e a vacinação propriamente dita;
- Implementar um sistema de logística que supra a cadeia de serviços que envolve desde a compra ou fabricação de vacinas, sua distribuição e armazenamento, de todos os insumos pertinentes;
- Mobilizar profissionais capacitados, montagem e coordenação de equipes, para atuar nas campanhas de vacinação nos três níveis federativos;
- Estabelecer uma coordenação central no governo federal para monitorar a fabricação, compra e planejamento de vacinação em cada Estado, ou Cidade quando for o caso;
- Estabelecer uma coordenação central no governo federal para planejar com as coordenações estaduais e municipais, as diferentes medidas necessárias para o enfrentamento da atual crise sanitária;
- Realizar extensas campanhas públicas de informação sobre os cuidados essenciais, como o porte de máscara e distância mínima entre pessoas, enfatizando a real gravidade da COVID-19.
- Divulgar amplamente as inúmeras sequelas observadas em pessoas curadas, a inexistência de tratamento definitivo, e que um retorno a uma situação próxima à normalidade pré-pandemia só será possível após uma grande parcela da população ter sido vacinada;
- Gestores e autoridades públicas devem basear suas decisões na melhor evidência científica disponível, assessorados por painéis de especialistas, das diferentes áreas do conhecimento pertinentes ao momento;

Referências

- [1] COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at John Hopkins University (JHU), <https://gisanddata.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6> – Consultado em 12/12/2020 .
- [2] <https://portal.fiocruz.br/documento/boletim-infogripe-semana-37>.
- [3] https://www.nature.com/articles/d41586-020-02497-w?utm_source=Nature+Briefing&utm_campaign=91ddd34d75-briefing-dy-20200902&utm_medium=email&utm_term=0_c9dfd39373-91ddd34d75-45497350
- [4] R. Verity, L. Okell, I. Dorigatti, P. Winskill, C. Whittaker C, et al. *Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: A model-based analysis*. Lancet Infectious Diseases (2020) <https://brasilensintese.ibge.gov.br/populacao/>
- [5] <https://www.berlin.de/sen/gpg/service/presse/2020/pressemitteilung.976835.php>.
- [6] T. Zhou, Q. Liu, Z. Yang, J. Liao, K. Yang, W. Bai, X. Lu, W. Zhang, *Preliminary prediction of the basic reproduction number of the Wuhan novel coronavirus 2019-nCoV*. Journal of Evidence Based Medicini (2020). DOI: 10.1111/jebm.12376.
- [7] Mossong, N. Hens, M. Jit, P. Beutels, K. Auranen, R. Mikolajczyk, M. Massari, S; Salmaso, G. S. Tomba, J. Wallinga, J. Heijne, M. Sadkowska-Todys, M. Rosinska, W. J. Edmunds, *Social Contacts and Mixing Patterns Relevant to the Spread of Infectious Diseases*, PLOS Medicine **5** (2008) 74.
- [8] Wang C, Hornby PW, Hayden FG, Gao GF. *A novel coronavirus outbreak of global health concern*. Lancet (2020) 395, 470. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30185-9.
- [9] The Novel Coronavirus Pneumonia Emergency Response Epidemiology Team. *The Epidemiological Characteristics of an Outbreak of 2019 Novel Coronavirus Diseases (COVID-19) — China, 2020*. CCDC Weekly (2020) 2(x): 1.
- [10] Linton NM, Kobayashi T, Yang Y, Hayashi K, Akhmetzhanov AR, Jung S, Yuan B, Kinoshita R, Nishiura H, *Incubation Period and Other Epidemiological Characteristics of 2019 Novel Coronavirus Infections with Right Truncation: A Statistical Analysis of Publicly Available Case Data*. Journal of Clinical Medicine (2020) 9: 538.
- [11] R. Li, S. Pei, B. Chen, Y. Song, T. Zhang, W. Yang, J. Shaman Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV2). Science (2020) DOI:10.1126/science.abb3221.
- [12] T. M. Rocha Filho, F. S. G. Santos, V. B. Gomes, T. A. H. Rocha, J. H. R. Croda, W. M. Ramalho, W. N. Araujo, *Expected impact of COVID-19 outbreak in a major metropolitan area in Brazil*. MedRxiv <https://doi.org/10.1101/2020.03.14.20035873>.
- [13] *Severe Outcomes Among Patients with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) — United States, February 12–March 16, 2020*, Morbidity and Mortality Weekly Report, CDC-USA, March 18, 2020.
- [14] T. W. Russell et al. *Estimating the infection and case fatality ratio for COVID-19 using age-adjusted data from the outbreak on the Diamond Princess cruise ship*. MedRxiv doi: <https://doi.org/10.1101/2020.03.05.20031773>.

-
- [15] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
<https://brasilensintese.ibge.gov.br/populacao/>
- [16] C. Fraser, *Estimating Individual and Household Reproduction Numbers in an Emerging Epidemic*. PLoS ONE (2007) 2(8): e758. doi:10.1371/journal.pone.0000758.
- [17] K. On Kwok, F. Lai, W. I. Wei, S. Y. S. Wong, J. W. T. Tang, *Herd immunity – estimating the level required to halt the COVID-19 epidemics in affected countries*. Journal of Infection (2020) **80**, e32-e33.
- [18] Murari TB, Nascimento Filho AS, Rocha Filho TM, Scorza CA, Scorza FA, Almeida ACG, Moret MA, *RE: Evidences of reduction in SARS-CoV-2 transmission due to local measures and policies in early stages of the pandemic*. Science (E-letter, 23 June 2020). Disponível em <https://science.sciencemag.org/content/368/6489/395/tab-e-letters>.
- [19] S.-W. Cho, *Quantifying the impact of nonpharmaceutical interventions during the COVID-19 outbreak: the case of Sweden*, Econometrics Journal **23** (2020) 323.
- [20] A. Sheridana, A. L. Andersena, E. T. Hansena, N. Johannesena, *Social distancing laws cause only small losses of economic activity during the COVID-19 pandemic in Scandinavia*, Proceedings of the National Academy of Sciences, **117** (2020) 20468.
- [21] S. Hsiang, D. Allen, S. Annan-Phan, K. Bell, I. Bolliger, T. Chong, H. Druckenmiller, L. Yue Huang, A. Hultgren, E. Krasovich, P. Lau, J. Lee, E. Rolf, J. Tseng, T. Wu, *The effect of large-scale anti-contagion policies on the COVID-19 pandemic*, Nature **584** (2020) 262.
- [22] Imperial College COVID-19 Response Team, *Report 9: Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand*, <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/medicine/sph/ide/gida-fellowships/Imperial-College-COVID19-NPI-modelling-16-03-2020.pdf>.
- [23] F. M. G. Magpantay, *Vaccine impact in homogeneous and age-structured models*, J. Math. Biol. 75 (2017) 1591.
- [24] F. M. G. Magpantay, A. A. King and P. Rohani, *Age-structure and transient dynamics in epidemiological systems*, J. R. Soc. Interface **16** (2019) 151.
- [25] D. K. Chu, E. A. Akl, S. Duda, K. Solo, S. Yaacoub, H. J. Schünemann, on behalf of the COVID-19 Systematic Urgent Review Group Effort (SURGE) study authors, *Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis*. The Lancet [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31142-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31142-9).
- [26] J. A. Lednicky, M. Lauzardo, Z. Hugh Fan, A. Jutla, et al, *Viable SARS-CoV-2 in the air of a hospital room with COVID-19 patients*. medRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.08.03.20167395>.

ANEXO: MODELO EPIDEMIOLÓGICO

Um modelo matemático é sempre uma representação simplificada da realidade mas que mantém alguns elementos importantes desta de tal forma que ele retem os elementos mais relevantes para o estudo quantitativo desejado. Assim a escolha de qual modelo utilizar depende das informações disponíveis, da qualidade destas, e de que aspectos do mundo real desejamos compreender e descrever melhor.

O modelo utilizado nesta nota técnica consiste em separar toda a população nas categorias descritas na tabela 5. Os parâmetros relevantes estão dados nas tabelas 6, 7 e 8, com as respectivas fontes na literatura científica. O estudo realizado por Li e colaboradores [11] a partir de dados da China mostra que cerca de 86% dos casos não foram relatados, e que cada um destes contaminou, em média, 55% do número de pessoas que um caso relatado contaminou.

O modelo corresponde a um sistema de equações diferenciais com atraso e está representado esquematicamente no diagrama da figura 8 e foi utilizado na referência [12].

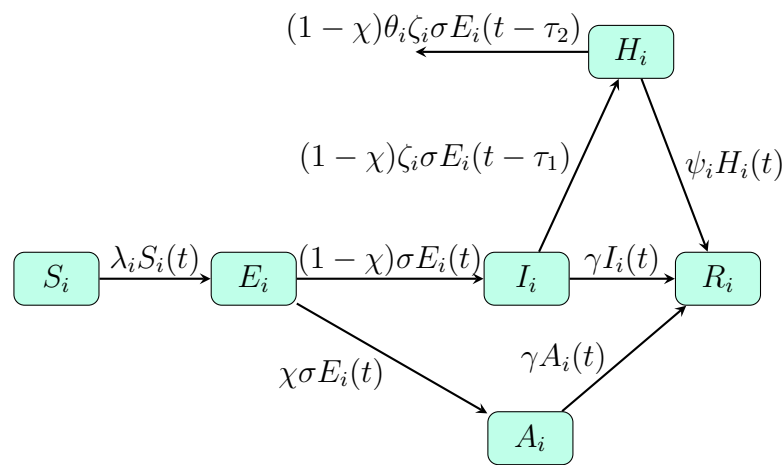


Figura 10: Diagrama do modelo epidemiológico para a COVID-19.

A força de infecção denotada por λ_i no diagrama acima é dada por

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^M \beta_{i,j} \frac{I_j + \xi A_j}{n_i},$$

para M faixas etárias e sendo n_i a proporção da faixa etária i com relação à população total, e mede quão facilmente um indivíduo suscetível da i -ésima faixa etárias pode ser contaminado. A matriz $(\beta_{i,j})$ mede a probabilidade de contágio de um indivíduo da i -ésima faixa etária pode ser contaminado por um indivíduo infectado (contagioso) da j -ésima faixa etária, de pode ser obtida da matriz de contato (que mede o número médio de contatos entre indivíduos de diferentes faixas etárias) multiplicada pela probabilidade de transmissão por contato [7]. A parte de vacinação corresponde a um acréscimo ao modelo acima representado pelo diagrama a seguir:

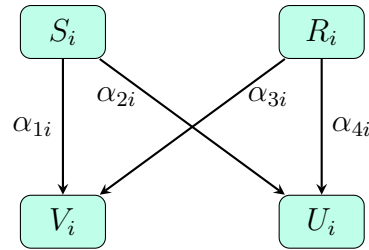


Figura 11: Diagrama adicional para a vacinação. Os coeficientes α_{1i} , α_{2i} , α_{3i} e α_{4i} são calculados a partir do número de doses aplicadas por unidade de tempo na faixa etária i no período considerado da campanha e da taxa de falha primária da vacina.

Variável	Descrição
S_i	Proporção de indivíduos suscetíveis (não imunizados e não infectados).
E_i	Proporção de indivíduos expostos (infectados mas ainda não contagioso).
I_i	Proporção de indivíduos sintomáticos (infectados, contagiosos e com sintomas).
A_i	Proporção de indivíduos infectados e não relatados (usualmente infectados leves e assintomáticos).
H_i	Proporção de indivíduos hospitalizados.
R_i	Proporção de indivíduos recuperados de COVID-19 e imunizados.
V_i	Proporção de indivíduos vacinados sem falha primária.
U_i	Proporção de indivíduos vacinados com falha primária.

Tabela 5: Variáveis no modelo SEIAHR para a faixa etária i .

Variáveis	Definição	Valor (IC 95%) [Ref]
ψ	Taxa de recuperação de internação hospitalar	$1/17,5 \text{ dias}^{-1}$ [8]
$L^{(0)}$	Mortalidade média devida ao COVID-19 ajustada para a demografia do Brasil	0,347% [4]
θ	Mortalidade entre os indivíduos hospitalizados	$L^{(0)}/\zeta$
σ^{-1}	Inverso da taxa de incubação	$5,0 \text{ dias}^{-1}$ [10]
γ^{-1}	Inverso do tempo de recuperação dos indivíduos não-hospitalizados	$3,69 \text{ dias}^{-1}$ [11]
ζ	Probabilidade média de hospitalização ajustada para a demografia do Brasil	2,62% [13]
τ_1	Tempo mediano entre início dos sintomas e hospitalização	3,3 [10]
τ_2	Tempo médio entre início dos sintomas e morte	15,0 [10]
χ	Proporção de casos assintomáticos	0,179% [14]
ξ	Infecciosidade de indivíduos assintomáticos com relação aos sintomáticos	55% [11]

Tabela 6: Parâmetros do COVID-19 utilizados no modelo SEIAHR com distinção de faixas etárias.

0 a 9	10 a 19	20 a 29	30 a 39	40 a 49	50 a 59	60 a 69	70 a 79	80 ou mais
0.00161%	0.00695%	0.0309%	0.0844%	0.161%	0.595%	1.93%	4.28%	7.8%

Tabela 7: Mortalidade θ_i por faixa etária sobre o total de casos [4].

0 a 9	10 a 19	20 a 29	30 a 39	40 a 49	50 a 59	60 a 69	70 a 79	80 ou mais
0%	0.408%	1.04%	3.43%	4.35%	8.16%	11.8%	16.6%	18.4

Tabela 8: Probabilidade de hospitalização ζ_i por faixa etária sobre o total de casos [13].

O modelo é inicialmente ajustado considerando uma única faixa etária (a totalidade da população). A taxa de transmissão por contato β é obtida tomando intervalos contíguos de tempo de 21 dias, supondo β constante ao longo de cada intervalo, para reproduzir os dados reais de óbitos, uma vez que a subnotificação em casos é muito maior que a subnotificação de óbitos, resultando assim em um modelo mais próximo da realidade.