

## Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 14 (2)

February 2021

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/14220211206>

Article link

<http://sea.ufr.edu.br/index.php?journal=SEA&page=article&p=view&path%5B%5D=1206&path%5B%5D=pdf>

Included in DOAJ, AGRIS, Latindex, Journal TOCs, CORE, Discoursio Open Science, Science Gate, GFAR, CIARDRING, Academic Journals Database and NTHRYS Technologies, Portal de Periódicos CAPES, CrossRef, ICI Journals Master List.



# Estimativa de casos COVID-19 no Brasil: estudo de modelagem matemática

## Estimation of COVID-19 cases in Brazil: mathematical modeling study

L. Y. Sheng & A. L. Sartori

Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Sinop

\* Author for correspondence: [leeufmt@yahoo.com.br](mailto:leeufmt@yahoo.com.br)

**Resumo.** Objetivou-se descrever um modelo matemático para estimar casos por COVID-19 no Brasil a curto prazo e identificar a existência de forças de inibição da propagação do SARS-CoV2. Casos confirmados por COVID-19 no Brasil de 16 de março a 31 de maio de 2020 foram utilizados para desenvolver uma equação matemática para estimação dos casos de COVID-19 para até 13 dias futuros. Fatores de correção foram calculados para identificar se houve a inibição da propagação da infecção no país. O erro relativo e a correlação de Pearson foram analisados para determinar o desempenho do modelo. Foram desenvolvidos seis modelos (bruto, S1, S2, S3, S4 e corrigido). O modelo corrigido mostrou boa aderência do número de casos estimados e observados. Oito fatores de correção foram calculados, os quais aumentaram durante o período do estudo. O aumento dos fatores de correção expressou a perda da força de inibição das intervenções implementada no país para a prevenção e controle da infecção. O modelo matemático proposto mostrou-se viável e factível para a implementação em serviços de vigilância epidemiológica.

**Palavras-chaves:** monitoramento epidemiológico, COVID-19, estimativa, modelagem matemática

**Abstract.** The objective was to describe a mathematical model to estimate cases by COVID-19 in Brazil in the short term and to identify the existence of forces to inhibit the spread of SARS-CoV2. Cases confirmed by COVID-19 in Brazil from March 16 to May 31, 2020 were used to develop a mathematical equation for estimating COVID-19 cases for up to 13 future days. Correction factors were calculated to identify whether there was an inhibition of the spread of infection in the country. The relative error and Pearson's correlation were analyzed to determine the model's performance. Six models were developed (gross, S1, S2, S3, S4 and corrected). The corrected model showed good adherence to the number of estimated and observed cases. Eight correction factors were calculated, which increased during the study period. The increase in correction factors expressed the loss of the inhibition force of interventions implemented in the country for the prevention and control of infection. The proposed mathematical model proved to be viable and feasible for implementation in epidemiological surveillance services.

**Keywords:** epidemiological monitoring, COVID-19, estimation, mathematical modeling

### Introdução

A Doença pelo Novo Coronavírus 2019 (COVID-19) é uma doença infecciosa emergente identificada pela primeira vez em dezembro de 2019 em Wuhan, China. Desde então, a COVID-19 se espalhou em larga escala pela China e por outros países<sup>1</sup>. Atualmente, milhões de pessoas já foram infectadas no mundo, culminando em milhares de óbitos. No Brasil, os casos confirmados ultrapassaram a cada de 1 milhão e o número de óbitos foi superior a 60.000<sup>2</sup>.

Frente os desafios impostos pela pandemia por COVID-19 no Brasil e no mundo, o trabalho dos serviços de vigilância epidemiológica tem sido protagonizado e desafiado. O processo de tomada de

decisão nestes serviços deve ser subsidiado por ferramentas que permitam agilidade e confiabilidade para a produção de resultados. Os estudos baseados em modelagens matemáticas podem contribuir para a compreensão da evolução da COVID-19. Objetivou-se descrever um modelo matemático para estimar casos por COVID-19 no Brasil a curto prazo e identificar a existência de forças de inibição da propagação de SARS-CoV2.

### Métodos

Para estimar a frequência de casos de COVID-19 no Brasil delineou-se um modelo matemático baseado em uma equação diferencial ordinária de primeira ordem. Foram utilizados dados

de domínio público sobre a frequência observada de casos confirmados por COVID-19 no Brasil de 16 de março à 31 de maio de 2020, extraídos da plataforma do Ministério da Saúde<sup>2</sup>. Os casos confirmados desde 26 de fevereiro de 2020 foram divulgados por esta plataforma, porém, optou-se por iniciar a série temporal em 16 de março, considerando a continuidade da divulgação dos dados e a declaração de pandemia pela OMS<sup>1</sup> e de publicação da Portaria n. 356, em 11 de março de 2020, que regulamenta a Lei 13.979/2020 sobre medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública internacional por COVID-19<sup>3</sup>.

Inicialmente, delineou-se um modelo matemático bruto, o qual considerou um vírus que apresenta elevada transmissibilidade e larga disseminação<sup>1</sup>, cuja velocidade de crescimento é proporcional à quantidade de casos confirmados. Denote-se por:  $Y(t)$  a frequência de casos confirmados, e por  $\lambda$ , o coeficiente de proporcionalidade à frequência dos casos confirmados, obtendo-se uma clássica equação diferencial ordinária de primeira ordem:

$$\dot{Y}(t) = \lambda Y(t)$$

Equação 1 - Equação diferencial ordinária de primeira ordem.

Uma solução geral para a Equação 1 onde,  $Y'(t)$  corresponde a taxa de variação do crescimento de casos confirmados por COVID-19, é dada por:

$$Y(t) = c e^{\lambda t}$$

Equação 2 – Solução geral da Equação 1.

O período de 16 a 31 de março constituiu a linha de base para a série temporal, a fim de se garantir estabilidade dos dados reportados pelo MS devido a contínua alimentação da plataforma e padronização de coletas de dados e análises de amostras<sup>2,8</sup>. Ao aplicar os dados de casos confirmados por COVID-19 no primeiro e décimo sexto dia da série à Equação 2 assumindo-se  $Y(0) = 234$  e  $Y(15) = 5.717$  casos, respectivamente. Logo, obteve-se o modelo bruto dado pela

Equação 3, em que

$$c = 234e\lambda = \frac{1}{15} \ln \left( \frac{5717}{234} \right) = 0,2130586;$$

$$Y(t) = 234 e^{0,2130586 t}$$

Equação 3 – Modelo bruto.

Desde março de 2020, diversas intervenções foram implementadas no país, concomitantemente ou em momentos distintos, em âmbito estadual e/ou

municipal. Assumiu-se no presente estudo a impossibilidade de especificar estas intervenções, o período de início e de manutenção das mesmas e a adesão da população. Para adequar o modelo bruto à realidade, ponderou-se que o coeficiente de proporcionalidade à frequência de casos confirmados ( $\lambda$ ) seria inibido de alguma maneira e em algum momento da série a partir de 31 de maio por um fator de correção diária ( $\alpha$ ) que foi aplicado à Equação 2.

$$Y(t) = c e^{\lambda \alpha t}$$

Equação 4 – Modelo bruto acrescido o fator de correção ( $\alpha$ ).

Considerou-se que:

$\alpha < 1$ , indica que há um fator inibindo o coeficiente de proporcionalidade;

$\alpha = 1$ , não há fator que afeta o coeficiente de proporcionalidade;

$\alpha > 1$ , indica que há um fator aumentando o coeficiente de proporcionalidade.

Com o propósito de facilitar a compreensão do impacto das intervenções implementadas no país pela inibição da propagação da infecção, as estimativas de casos utilizaram um fator de correção semanal, denominado de  $\alpha_n$ , capaz de corrigir diariamente o  $\lambda$  semanal. Foram calculados  $\alpha_n$  para as semanas de 01 a 07 de abril ( $\alpha_1$ ), 08 a 14 de abril ( $\alpha_2$ ), 15 a 21 de abril ( $\alpha_3$ ) e de 22 a 29 de abril de 2020 ( $\alpha_4$ ). Estes  $\alpha_n$  calculados foram aplicados ao modelo bruto para estimar a frequência de casos, sendo denominado de Modelo S1 o modelo bruto acrescido o fator de correção  $\alpha_1$ , Modelo S2 com correção por  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ , Modelo S3 com  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  e  $\alpha_3$  e Modelo S4 com  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  e  $\alpha_4$ . A partir destes modelos procurou-se automatizar um modelo  $S_n$ , denominado de modelo corrigido, para avaliar continuamente os dados, projetando assim uma estimativa matemática dos casos de COVID-19 para até 13 dias futuros, desde que não haja alteração do fator de correção semanal.

Para determinar o desempenho do modelo foi analisado o erro relativo de cada modelo (frequência de casos observada - frequência de casos estimada, normalizado pela frequência de casos observada) e calculada a correlação de Pearson com os dados estimados por cada modelo com uma extrapolação de 14 dias futuros.

## Resultados e discussão

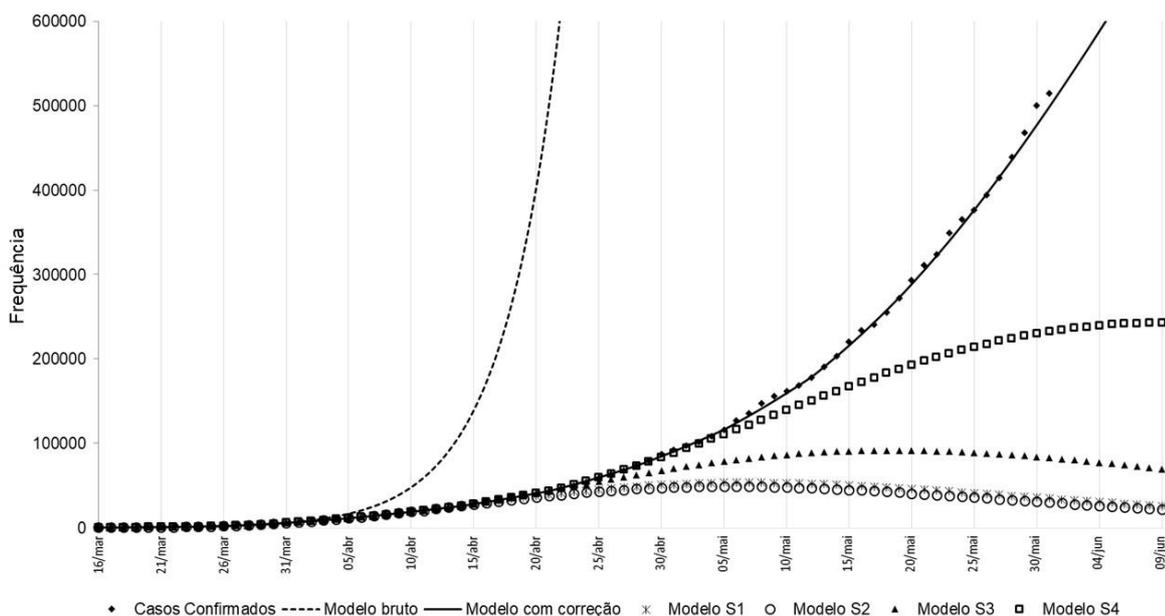
Do dia 16 de março a 31 de maio foram registrados 514.992 casos confirmados por COVID-19. Ao aplicar o modelo bruto à frequência de casos observada por COVID-19 identificou-se um aumento brusco do número de casos estimados, distanciando-se da frequência observada a partir de 05 de abril de 2020 (Figura 1). Para os modelos S1, S2, S3 e S4 os valores das frequências de casos estimada mostraram boa aderência até dez dias após o  $\alpha_n$  utilizado para gerar o respectivo modelo. À medida em que os dias avançaram, as frequências estimadas por estes modelos se distanciaram cada

vez mais da frequência de casos observada. Diferentemente, o modelo corrigido apresentou excelente aderência entre os casos observados e estimados em todo o período da série.

No modelo corrigido, até o dia 31 de maio, a diferença entre a frequência de casos por COVID-19 observada e estimada se manteve na grande parte abaixo de 5%, com uma média de 1,8%. Oito fatores de correção semanal foram calculados, um para cada semana da série temporal analisada. Todos os

fatores se mantiveram inferiores a 1,00. Entretanto, detectou-se o aumento do fator de correção ao longo da série de 0,98091, de 01 a 07 de abril, para 0,992545, de 27 a 31 de maio de 2020.

Na análise de correlação de Pearson calculada para cada modelo, extrapolando a simulação para 14 dias após os dados utilizados, obteve-se correlações de 0,9293, 0,9977, 0,9840, 0,9871, 0,9967, 0,9998, para os modelos bruto, S1, S2, S3, S4 e corrigido, respectivamente.



**Figura 1.** Frequências de casos de COVID-19 observada e estimadas pelos Modelos Bruto, S1, S2, S3, S4 e Corrigido.

O estudo descreveu um modelo matemático simples e realístico para estimar casos por COVID-19 no Brasil, limitado por fatores de correção semanal que pressupuseram a força das intervenções implementadas para mitigar a propagação do SARS-CoV2 no país.

Modelos biomatemáticos têm sido utilizados para estimar casos de COVID-19 no mundo<sup>4,5</sup>. Entretanto, a utilização de processos computacionais e modelos nem sempre factíveis para uso em sistemas de vigilância epidemiológica limitam o acesso a este tipo de análise durante o processo de tomada de decisão. Além disso, a previsão de casos feita por simulação de um cenário epidemiológico pode se basear em períodos superiores ou iguais a um mês após os valores observados. A equação descrita no presente artigo é de fácil aplicação prática, permitindo a rápida avaliação da situação da COVID-19 no Brasil a partir de um período de 10 dias após a detecção dos valores observados.

## Conclusão

Embora simples, o modelo incorporou uma função de amortecimento que afetou diretamente no coeficiente de proporcionalidade, representada pelos fatores de correção. Estes fatores refletiram,

rapidamente, o impacto das intervenções de prevenção e controle do vírus implementadas no país de maneira geral. Contudo, à medida em que o fator de correção aumentou ao longo da série, aproximando-se de um, houve perda da força de inibição dos mecanismos de contenção do vírus e, por conseguinte, aceleração da propagação da infecção no país.

Compreende-se a importância da adoção de intervenções pontuais embasadas em análises epidemiológicas locais para mitigar o avanço da pandemia, no entanto, questiona-se a força de tais medidas adotadas isoladamente. Suscita-se a importância da discussão de uma resposta coordenada a nível nacional, cujas medidas de prevenção e controle do vírus sejam passíveis de implementação ampliada em diferentes cenários do país, considerando a epidemiologia regional e as desigualdades sociais.

A metodologia do modelo corrigido mostrou alta correlação entre a frequência de casos observada e estimada para COVID-19 mesmo não incluindo parâmetros sobre a taxa de infectividade e transmissibilidade da COVID e a interação dos indivíduos suscetíveis e infectados e subnotificação.

A equação descrita contribuirá como ferramenta estatística para subsidiar o processo de tomada de decisões por gestores e profissionais de saúde, especialmente para identificar alterações de tendência em curto espaço de tempo em cenários com ou sem implementação de medidas de prevenção e controle para a COVID-19.

### Referências

BRASIL. Painel Coronavírus. [citado 15 jun 20120]. Disponível em: <https://covid.saude.gov.br/>

Brasil. Lei nº 13.979, de 6 de fevereiro de 2020. Dispõe sobre as medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública de importância internacional decorrente do coronavírus responsável pelo surto de 2019. [citado 15 jun 20120] Disponível em: <http://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-n-13.979-de-6-de-fevereiro-de-2020-242078735>

Ivorra B, Ferrández MR, Vela-Pérez M, Ramos AM. Mathematical modeling of the spread of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) taking into account the undetected infections. The case of China. *Commun Nonlinear Sci Numer Simul.* 2020;88:105303. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2020.105303>

Predictive Mathematical Models of the COVID-19 Pandemic Underlying Principles and Value of Projections. *JAMA.* 2020;323:1893-4. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.6585>

World Health Organization (WHO). Rolling updates on coronavirus disease (COVID-19) Updated 4 May 2020. [citado 15 jun 20120]. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/events-as-they-happen>