

# Modelagem e simulação dos Diferentes Cenários da Pandemia de COVID-19 no Brasil

Anny M. A. Silva<sup>1</sup>

IFPR, Pinhais, PR

Marina Lima<sup>2</sup>

DMA - IMECC - Unicamp, Campinas, SP

João Frederico C.A. Meyer<sup>3</sup>

DMA - IMECC - Unicamp, Campinas, SP

## 1 Introdução

Desde o início de 2020, o Mundo vem sofrendo com a COVID-19, uma doença inédita e misteriosa, de origem desconhecida, que apresenta sintomas como tosse seca, febre alta e evolui para problemas respiratórios graves. O primeiro caso no Brasil foi registrado em 26 de fevereiro, sendo também o primeiro na América do Sul [2]. Em 11 de março de 2020, a Organização Mundial da Saúde declarou o surto como uma pandemia e, desde então, o mundo acompanhou um aumento inimaginável no número de casos e mortes e a doença expôs a sociedade a problemas gravíssimos, como a saturação da saúde, serviços religiosos, morte sem rituais e despedidas, o colapso do sistema funerário e a devastação dos asilos. Então, como medida de controle, a OMS indicou o uso massivo de máscaras, campanhas de higiene e distância física entre as pessoas e, de fato, alguns locais adotaram medidas para reduzir a circulação de pessoas e *lockdown* [4].

O pico da primeira onda no Brasil ocorreu no início de agosto e, logo após, as medidas de restrição e distância foram relaxadas. Porém, em meados de novembro de 2020, observamos um aumento no número de casos ativos de COVID-19, o que resultou em uma segunda onda da doença, com amplitude significativamente maior que a primeira [5]. Dentre as possíveis causas dessa segunda onda, podemos elencar a mudança de comportamento da população frente ao surgimento das vacinas, que gera certa ‘segurança’ nas pessoas, as quais reduzem as medidas de prevenção da doença; os eventos ‘super propagadores’ no Brasil, em especial as eleições municipais; e o surgimento de novas variantes no mundo, principalmente no Brasil.

Neste trabalho, desenvolvemos um modelo que descreve a primeira onda de COVID-19 no Brasil e, utilizando técnicas de modelagem matemática, aprimoramos esse modelo para descrever a segunda onda, com base nas informações sobre o surgimento da nova variante do vírus, que é mais infeccioso que a primeira variante e é capaz de infectar, de forma mais severa, pessoas que não apresentavam sintomas quando expostas à primeira variante do vírus. Além disso, fizemos outro modelo incluindo a vacinação no Brasil, analisando as duas vacinas disponíveis até o momento e a forma de imunização de ambas. Para todos os modelos descritos acima, realizamos simulações e discutimos os resultados.

---

<sup>1</sup>anny.silva@ifpr.edu.br

<sup>2</sup>marina@ime.unicamp.br

<sup>3</sup>jmeyer@unicamp.br

## 2 Modelagem Matemática

Como proposta inicial, utilizamos uma simplificação da modelagem SCEAIRD, proposta por [1], em que temos as seguintes classes de indivíduos: Suscetíveis -  $S(t)$ , Confinados -  $C(t)$ , Expostos -  $E(t)$ , Assintomáticos -  $A(t)$ , Infectados -  $I(t)$ , Recuperados -  $R(t)$  e Mortos -  $D(t)$ , cuja dinâmica está apresentada na Figura 1.

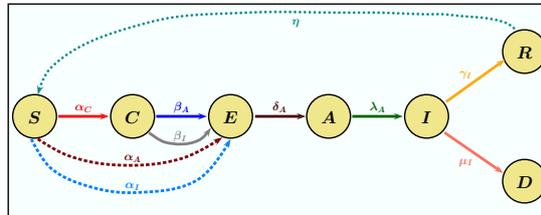


Figura 1: Relações entre os compartimentos de indivíduos para o estudo da dinâmica da COVID-19.

Baseado no esquema proposto na Figura 1, construímos um sistema de equações diferenciais ordinárias e incluímos as novas cepas do vírus e a vacinação, com as duas vacinas disponíveis no Brasil até o momento: a CoronaVac<sup>®</sup>, desenvolvida pelo laboratório chinês Sinovac Life Science Co. Ltd. em parceria com o Instituto Butantan e a AZD1222 - ChAdOx1-S nCoV-19<sup>®</sup>, desenvolvida pela Universidade de Oxford, em parceria com o laboratório AstraZeneca e a Fiocruz [3].

Dessa forma, incluímos os compartimentos referentes às pessoas infectadas com as novas variantes e às pessoas vacinadas, respeitando o tempo de imunização e a eficácia de cada vacina. Fizemos simulações e analisamos os resultados, com diferentes cenários para a evolução da pandemia, principalmente quanto ao possível final da mesma e aos possíveis danos humanos causados.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelo auxílio financeiro e ao grupo de estudos da COVID-19 do IMECC, pelas discussões produtivas.

## Referências

- [1] Meyer, J.F.C.A. , Lima,M., Espitia, C. , Longo,F. , Laiate, B., Gois, A. and Kunz, C. Different approaches to the modelling of COVID-19, *TEMA*, 2021. DOI: to appear.
- [2] Ministério da Saúde, Brasil confirma primeiro caso da doença, Disponível em <https://www.saude.gov.br/noticias/agencia-sau-de/46435-brasil-confirma-primeiro-caso-de-novo-coronavirus>, Online; Acesso em 23 de março de 2021.
- [3] Ministério da Saúde, COVID-19 Vacinação - Doses Aplicadas, [https://viz.saude.gov.br/extensions/DEMAS\\_C19Vacina/DEMAS\\_C19Vacina.html](https://viz.saude.gov.br/extensions/DEMAS_C19Vacina/DEMAS_C19Vacina.html), Online; Acesso em 28 de abril de 2021.
- [4] Van Bavel, J.J., Baicker, K., Boggio, P.S., Capraro, V., Cichocka, A., Cikara, M., et al. Using Social and Behavioural Science to Support COVID-19 Pandemic Response, *Nature Human Behaviour*, 4:460–471, 2020. DOI:10.1038/s41562-020-0884-z.
- [5] Worldometers, COVID-19 Coronavirus Pandemic, <https://www.worldometers.info/coronavirus>, Online; Acesso em 29 de abril de 2021.