

## Modelo epidêmico SEIHR aplicado à cidade de São Paulo

Rodrigo M. Malagutti<sup>1</sup>

EPUSP, São Paulo, SP

Marcio Eisencraft

EPUSP, São Paulo, SP

Com a crise de saúde causada pelo coronavírus a partir do final de 2019, a relevância do estudo de modelos epidêmicos se tornou evidente para o manejo de recursos de saúde, especialmente no Brasil. Um modelo compartimental [Kermack e McKendrick 1927] promissor para estudar a evolução dessa doença é o modelo epidêmico SEIHR de [Niu et al. 2020], baseado em 5 compartimentos. O estado **S**, *susceptible*, indica indivíduos não afetados pela doença; **E**, *exposed*, refere-se a assintomáticos infectados que podem transmitir; **I**, *infected*, indica os sintomáticos; **H**, *hospitalized*, representa os infectados hospitalizados e **R**, *recovered*, são indivíduos que foram infectados previamente, não apresentam mais o vírus e não transmitem por estarem imunes ou mortos.

No presente trabalho, aplica-se o modelo para a cidade de São Paulo. Para a solução dos tamanhos compartimentais, usaram-se as equações diferenciais incluídas no seguinte sistema, com os parâmetros definidos na tabela 1:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -p\Delta_{SE}S(t) = \left[ -p\varepsilon \frac{E(t)}{N} - p\alpha \frac{I(t)}{N} \right] S(t) \quad (1)$$

$$\frac{dE(t)}{dt} = p\Delta_{SE}S(t) - (\Delta_{EI} + \delta_E)E(t) \quad (2)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \Delta_{EI}E(t) - (\Delta_{IH} + \delta_I)I(t) \quad (3)$$

$$\frac{dH(t)}{dt} = \Delta_{IH}I(t) - \delta_H H(t) \quad (4)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \delta_E E(t) + \delta_I I(t) + \delta_H H(t). \quad (5)$$

Crucialmente,  $p$  é ajustado para determinar a força da redução nas transmissões, obtida principalmente por meio de medidas públicas de distanciamento social.

Para otimizar a curva aos dados reais [SEADE], dividiu-se o período a partir da primeira contaminação em relação às taxas de isolamento da população, com 3 percentis separando o período total em fases vermelhas, de maiores taxas, amarelas e verdes, de menores. O dia de mudança entre fases correspondeu ao momento de troca de  $p$  utilizado na otimização.

Em seguida, foram feitos testes de predição. Com os dados até 28/01/2021, aplicou-se o processo de obtenção de  $p$ , sendo que  $p$  do período roxo foi imposto como igual ao do anterior. Os resultados são vistos na Figura 1. Pela proximidade das curvas após 28/01, percebe-se que o modelo tem potencial de previsão. Após esse teste, resultados assumem uma fase verde de 28/01 até 12/03.

Na Figura 2a, vê-se a data em que as taxas voltam para o patamar mínimo de transmissões diárias, obtido em 11/10/2020, para  $p$  diferentes aplicados a partir de 20/04/2021. Destaca-se que intervenções mais fracas correspondem a recuperações mais tardias somente até  $p \simeq 0.6$ , após o

---

<sup>1</sup>rodrigo.malagutti123@usp.br

qual volta a redução no período. Combinado com os dados na Figura 2b, esse traço indica que o modelo reproduz o fenômeno da imunidade de rebanho, em que, com grande parte da população sendo infectada e portanto imunizada, a doença perde força. Fica evidente que uma abordagem intermediária é, portanto, que mais prolonga a epidemia. Espera-se que tais resultados possam ser de interesse para analisar decisões públicas relacionadas à pandemia.

Parâmetro	Definição	Valor
$\epsilon$	Taxa de transmissão de assintomáticos	0.5
$\alpha$	Taxa de transmissão de sintomáticos	0.41
$\delta_E$	Taxa de recuperação de assintomáticos	0.1
$\delta_I$	Taxa de recuperação de sintomáticos	0.1
$\delta_H$	Taxa de recuperação de hospitalizados	0.1
$\Delta_{EI}$	Período latente de nós assintomáticos	1/7
$\Delta_{IH}$	Taxa de hospitalização de sintomáticos	1
$p$	Índice de intervenção	A definir
$N$	População total	12.325.232

Tabela 1: Definições e valores para cada argumento das equações.  $p$  é definido dinamicamente

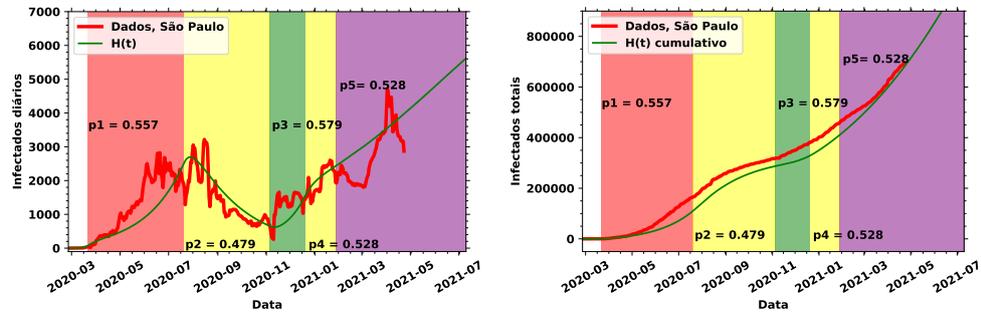


Figura 1: Dados do modelo SEIHR em comparação com dados reais, respectivamente diários e cumulativos. Dados a partir da fase roxa são somente das equações diferenciais, sem otimização

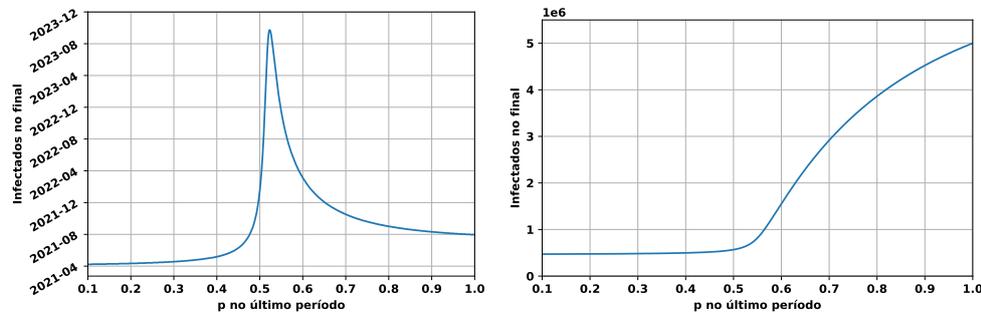


Figura 2: Relação entre  $p$  final e entre o dia até o retorno ao mínimo e o número de contaminados totais nessa data, respectivamente

## Referências

[Kermack e McKendrick 1927]KERMACK, W. O.; MCKENDRICK, A. G. A contribution to the mathematical theory of epidemics,. *Proc. R. Soc. Lond. A, Math. Phys. Sci.*, 1927.

[Niu et al. 2020]Niu, R. et al. Modeling the covid-19 pandemic using an seihhr model with human migration. *IEEE Access*, v. 8, p. 195503–195514, 2020.

[SEADE]SEADE. <https://github.com/seade-R/dados-covid-sp>. Acesso em 24/04/2020.