

# Demandas na área da saúde em virtude da COVID-19 no Estado de São Paulo

Antony Aparecido Pavarin  
Gabriel Kenzo Kakimoto  
Paulo Yoshio Kuga  
Pedro Henrique Barbosa Gazarini

Abril de 2020

## 1 Introdução

No momento de escrita deste documento, o mundo enfrenta uma pandemia de COVID-19 (do inglês Coronavirus Disease 2019). O vírus, que teve início em Wuhan (China) não tardou a dispersar para outros países e hoje é grande causa de preocupação devido a rápida disseminação pelo ar e pelo contato humano.

Em virtude da facilidade de contágio, a doença ameaça é uma ameaça à saúde pública brasileira, que já sofre de sucessivos cortes de investimentos e falta de infraestrutura. Essa carência, somada a urgência da Pandemia em si, torna necessária a ampliação de leitos de UTI. Dessa forma, as autoridades de saúde do Governo do Estado de São Paulo solicitaram ao Poder Executivo que fosse instaurada uma quarentena como medida emergencial, para que não haja sobrecarga e consequente colapso do sistema de saúde.

Deste modo, é estudada a possibilidade de implementação de mais UTI's no sistema, a partir de uma simulação feita em Python, utilizando as bibliotecas Numpy para as contas e Matplotlib para gerar os gráficos dos modelos, com a intenção de auxiliar as autoridades paulistanas a tomarem decisões para evitar um colapso do sistema de saúde pública.

## 2 Metodologia

Para descrever esse cenário, será utilizada de uma análise SIR, isto é, Sujeito(S), Infectado(I) e Recuperado(R). Este modelo nos permite separar a população em três categorias, de tal forma que cada categoria está associada a uma equação de crescimento em função do tempo: os Sujeitos a doença, os Infectados pela doença e os pacientes Recuperados. Para simplificar a análise, não levaremos em conta o nascimento nem a morte de pessoas. Além disso,

também usaremos duas constantes:  $\beta$  e  $\gamma$ , que representam, respectivamente, a taxa de infecção e a taxa de recuperação. Por fim, deve-se notar que a razão entre essas constantes indicam o valor  $R_0$  ( $R_0 = \frac{\beta}{\gamma}$ ), que indica a média do número de pessoas que um infectado contagia

A partir destas ideias, três equações diferenciais são criadas:

$$S + R + I = P$$

$$\frac{dS}{dt} + \frac{dR}{dt} + \frac{dI}{dt} = 0$$

A variável  $S$  representa o número de Sujeitos à doença. Este tende a cair em virtude do crescimento do número de infectados. Portanto, a sua variação tende a ser negativa, pois imagina-se que ao decorrer do tempo, o número de infectados aumente. Além disso, sabemos que a taxa de diminuição dos indivíduos Sujeitos ( $S$ ) é proporcional ao número de Infectados, que, por sua vez, são diretamente ligados à taxa de transmissão ( $\beta$ ).

Com base nessas características a respeito da variável  $S$  indicadas anteriormente, pode-se encontrar a sua taxa de variação:  $\frac{dS}{dt}$ . Assim, temos:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta * S(t) * I(t)$$

A população dos Recuperados refere-se às pessoas que adquiriram a doença e já estão imunizados ou mortos pela doença. Para encontrar a sua taxa de crescimento ( $\frac{dR}{dt}$ ), pode-se usar um raciocínio semelhante ao aplicado anteriormente para a variável  $S$ : o aumento do número de Recuperados ( $R$ ) é proporcional à quantidade de Infectados ( $I$ ) e à taxa de recuperação ( $\gamma$ ). Portanto, teremos a seguinte fórmula:

$$\frac{dR}{dt} = \gamma * I(t)$$

Ja o grupo temporal dos Infectados ( $I$ ) é definido por um número inicial de infectados, que aumenta conforme o número de Sujeitos à doença ( $S$ ) decresce e diminui na mesma proporção com que o cresce a quantidade de Recuperados ( $R$ ). Dessa forma podemos encontrar a taxa de crescimento dos Infectados ( $\frac{dI}{dt}$ ), que seria:

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{dS}{dt} - \frac{dR}{dt}$$

ou

$$\frac{dI}{dt} = \beta * S(t) * I(t) - \gamma * I(t)$$

Além dessas funções, para fazer a simulação, também foi preciso encontrar os valores iniciais do número de Sujeitos  $S(0)$ , Infectados  $I(0)$ , recuperados  $R(0)$  e os valores das constantes  $\beta$  e  $\gamma$ .

Tendo isso em vista, notamos-se que:

A quantidade de  $I(0)$  refere-se ao número de pessoas infectadas no dia em que foi feita a análise;

$S(0)$  é a quantidade de habitantes do estado de São Paulo menos  $I(0)$ ;

$R(0)$  indica a quantidade de mortos pela doença somado a uma estimativa de 80 pessoas que se recuperaram da doença;

O valor de  $\gamma$  foi encontrado por meio da razão:  $\frac{1}{\gamma}$ , que representa o período de incubação do vírus;

E, por fim, o valor  $\beta$  foi estimado utilizando a sua relação entre  $\gamma$  e a média de pessoas que alguém contagia( $R_0$ ) :  $\beta = R_0 * \gamma$ .

Para resolvermos estes modelos, criamos um código em Python, nos utilizando da biblioteca Numpy, para resolver as equações diferenciais por métodos numéricos. A biblioteca Matplotlib é utilizada para plotar o gráfico e entendermos visualmente o fenômeno.

Definimos a função derivada para retornar o nosso sistema de equações diferenciais. Desta forma, fazemos com que na memória seja assumido as três associações.

Logo após, definimos os valores associados a cada variável e definimos também o intervalo de tempo associado na equação.

Definimos a condição inicial como sendo os parâmetros iniciais  $S(0)$ ,  $R(0)$  e  $I(0)$ . Logo após isso, o sistema é definido a partir do modelo de resolução de sistemas equações diferenciais da Numpy e após isso é determinado localmente pelo intervalo de tempo.

Logo após este processo, o gráfico é definido e plotado, se utilizando dos valores obtidos pela equação diferencial.

Depois, é feita a análise dos dados numéricos que nos retorna valores importantes para nossa análise.

```
#BIBLIOTECAS
```

```
import numpy as np
from scipy.integrate import odeint
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
#FUNCOES
```

```
def deriv(y, t, N, beta, gamma):
    S, I, R = y
    dSdt = -beta * S * I / N
    dIdt = beta * S * I / N - gamma * I
    dRdt = gamma * I
    return dSdt, dIdt, dRdt
```

```

#PARAMETROS

N = 45919049 #populacao sp
I0 = 3506 #infectados sp
R0 = (188 + 80) #mortos + passam bem
S0 = N - (I0 + R0) #saudaveis
R_0 = 2 #R0, coeficienete epidemiologico
gamma = 1/5.1 #taxa de recuperacao, gamma
beta = R_0*gamma #taxa de transmissao, beta

t = np.linspace(0, 160, 160) #grade de dias

#EXECUCAO

y0 = S0, I0, R0 #condicao inicial
ret = odeint(deriv,y0,t,args=(N,beta,gamma)) #integral (?)
S, I, R = ret.T #aplicacao

#PLOTAGEM DAS CURVAS DE INFECCAO

fig = plt.figure(facecolor='w')
ax = fig.add_subplot(111, axisbelow=True)
ax.plot(t, S/N, 'b', alpha=0.5, lw=2, label='Suscetiveis')
ax.plot(t, I/N, 'r', alpha=0.5, lw=2, label='Infectados')
ax.plot(t, R/N, 'g', alpha=0.5, lw=2, label='Recuperados com imunidade')
plt.title('Evolucao Epidemiologica do Covid-19 no Estado de Sao Paulo')
ax.set_xlabel('Tempo (dias)')
ax.set_ylabel('Porcentagem da Populacao')
ax.set_ylim(0,1)
ax.yaxis.set_tick_params(length=0)
ax.xaxis.set_tick_params(length=0)
ax.grid(b=True, which='major', c='w', lw=2, ls='--')
legend = ax.legend()
legend.get_frame().set_alpha(0.5)
for spine in ('top', 'right', 'bottom', 'left'):
    ax.spines[spine].set_visible(False)
plt.savefig('sp_20_51_p.jpg',format = 'jpg') #R0 = 2.0, Y = 5.1, t =
total
plt.show()

#ANALISE DOS DADOS

print('Populacao Infectada no pico:',max(I),max(I)*100/N)
for i in range(len(I)):
    if I[i] == max(I):
        print('Numero de dias ate o pico apos (03/04):',i)
print('Numero de leitos de UTI necessitados no pico:',max(I)*0.05)
print('Populacao infectada apos 120 dias:',N - S[120],1-(S[120]/N))

```

```
print('Numero de mortes apos 120 dias:',(N - S[120])*0.0066)
print('Numero de leitos de UTI necessitados no pico:',max(I)*0.01796)
```

### 3 Resultados

Os resultados encontrados foram:

A população infectada no pico será de 7.041.720, isto é 15.34 % da população paulista.

Numero de dias até o pico: 47 (A partir de hoje, 03/04 para 19/05)

Numero de leitos de UTI atuais:  $11.835 + 2600 = 14.435$

Numero de leitos necessitados no pico: 126.740

População infectada após 120 dias:

36.587.268. 79.68 % da população

Numero de mortes após 120 dias: 241.476. equivalente a 0.5 % da população.

Utilizando  $R_0$  como sendo 2, fator gamma como sendo 0.196 e beta como sendo 0.392.

População: 45.919.049

Infectados em 03/04/2020: 3506

Mortos e recuperados em 03/04 de 2020: 268

Custo total para atender a demanda no pico, considerando 2 meses: R\$ 4,085,740,088.40

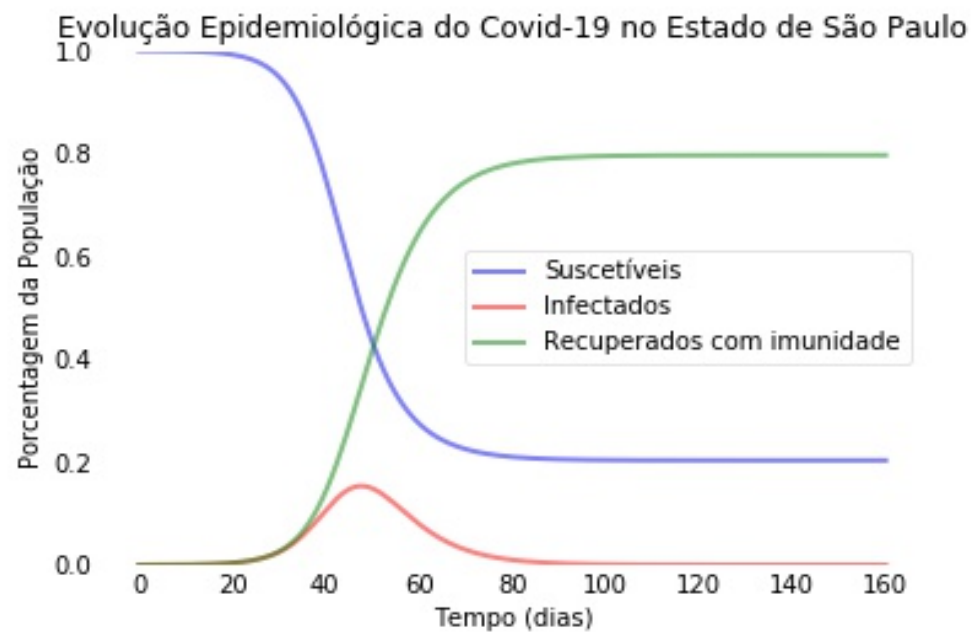


Figura 1: Gráfico gerado pela análise do algoritmo

## 4 Discussão

A partir dos resultados, pode depreender-se que o numero de infectados pela doença será um numero de grandes proporções. Num proporcionalismo, seria equivalente a aproximadamente 6 cidades de Campinas infectadas, sendo esta a maior cidade do interior paulista, por exemplo. E é necessário ressaltar que a maioria destes casos não serão registrados em virtude da falta de testes que ainda não foram disponibilizados a população. Desta forma, urge profundamente a necessidade de aumentar a quantidade de leitos de UTI. Mesmo com o aumento de 2400 ordenado pelo atual governador do estado, João Dória Jr., é notável que este numero não é capaz de comportar a demanda no caso do surto adquirir as proporções previstas pelo modelo.

O numero de leitos necessários estimados no pico seria de 126,740. Mesmo com muito esforço da produção inteira do estado, acaba sendo um numero um tanto utópico de ser atigido. Este numero implicaria em 4 bilhões de reais sendo usados para tentar solucionar o problema. O estado de São Paulo tem este recurso, mas mesmo assim, temos que considerar que a viabilização de um investimento deste porte seria algo demorado, devido a burocracia generalizada do país.

Ainda que o numero de leitos corrobore, mas não define o numero de mortes que calculamos em si, o numero de mortes está explicitado sem a intervenção dos novos leitos. Caso sejam implantados novos leitos, por exemplo estes 2400, é esperado, que de certa forma isso influencie e o numero de mortes seja menor.

Para analisarmos os dados e obter uma conclusão pertinente ao problema estudado, utilizamos o método MECE (Mutualmente Exclusivo e Coletivamente Exhaustivo), que propõe a divisão das categorias trabalhadas. Entretanto, o método não apresenta exaustão, dado que desconsideramos a categoria outros no segundo nível dado sua baixa relevância para o assunto, conforme concluimos após destrinchá-lo. Assim, nossa análise do modelo SIR, junto aos dados publicados na imprensa, nos permitiu determinar as possibilidades para os custos do Estado e da sociedade e dos atendimentos da saúde para pacientes infectados ou não com o Coronavírus.

Dessa forma, temos que a crise provocada pela COVID-19 terá um grande impacto sobre o Estado e sociedade, como a queda do PIB e os custos de investimento na saúde e logística. Além disso, tem-se que haverá um impacto negativo tanto para os pacientes com a infecção, dado o déficit de leitos de UTI, como para os que não a possuem, em virtude da superlotação do sistema e a possibilidade de se contaminar.

## 5 Recomendações

A partir dessas análises, concluímos que em virtude de uma precarização crônica do sistema de saúde, há um déficit que precisa ser coberto a curto prazo.

Como estamos tratando de vidas, mínimos esforços importam, de modo a mudar o cenário. Desta forma, sugerimos alternativas além da UTI. Como por exemplo, dado que serão muitos casos, alguns sistemas menores e mais portáteis já estão sendo desenvolvidos. Unidades de atendimento móvel ajudariam a conter o problema e a auxiliar as pessoas, dado que a sua mobilidade evitaria com que houvesse aglomerações, como ocorre em grandes hospitais.

Outros métodos podem ser utilizado. Barracas podem ser aplicadas localmente, de forma a reduzir a movimentação interbairros, de tal maneira a diminuir a propagação e ao mesmo tempo avaliar a taxa de propagação. O aumento de investimentos em testes rápidos também auxiliaria uma rápida solução.

Uma medida importante para prevenir uma segunda onda de infectados - ou seja, uma situação em que o número de infectados volta a adquirir grandes proporções - seria realizar testes para a doença em unidades de saúde como Hemocentros e Hospitais, de forma a conseguir prever e mapear a segunda infecção e, assim, planejar uma quarentena regional, como ocorreu em Wuhan.

Com essas medidas, de curto prazo, esperamos que parte do problema seja contido, de tal forma a reduzir os impactos no sistema de saúde, assim buscando sanar a crise e evitar situações surpresa como esta em que vivemos.



## 6 Referências Bibliográficas

- (1) THE SIR Epidemic Model. [S. l.], 13 set. 2019. Disponível em: <https://scipython.com/book/chapter-8-scipy/additional-examples/the-sir-epidemic-model/>. Acesso em: 3 abr. 2020.
- (2) JONES, James Holland. Notes on R0. [S. l.], 10 maio 2017. Disponível em: <https://web.stanford.edu/~jhj1/teachingdocs/Jones-on-R0.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2020.
- (3) ALMEIDA, Sidia Fonseca. Análise de custo-leite de UTI hospitalar. Simpósio de Gestão de Projetos, [s. l.], 20 set. 2018. Disponível em: <https://singep.org.br/4singep/resultado/396.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2020.
- (4) VERITY, Robert. Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: a model-based analysis. The Lancet, [s. l.], 30 mar. 2020. Disponível em: <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S1473-30992822930243-7>. Acesso em: 3 abr. 2020.
- (5) FERGUSON, Neil. Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID19 mortality and healthcare demand. Imperial College, [s. l.], 16 mar. 2020. Disponível em: <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/medicine/sph/ide/gida-fellowships/Imperial-College-COVID19-NPI-modelling-16-03-2020.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2020.
- (6) Severe Outcomes Among Patients with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) — United States, February 12–March 16, 2020. MMWR Morb Mortal Wkly Rep 2020;69:343-346. DOI: <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6912e2external> icon.
- (7) KERMACK, William Ogilvy et al. A contribution to the mathematical theory of epidemics. Proceedings of Royal Society of London, [s. l.], v. 115, n. 772, 1 ago. 1927. Disponível em: <http://www.math.utah.edu/~bkohler/Journalclub/kermack1927.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2020.