



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
COLEGIADO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

**SIMULAÇÃO PARA OS CASOS DE INFECÇÃO PELO COVID-19 NA BAHIA:
UMA APLICAÇÃO DO MODELO *SIR***

Yasmin Oliveira¹

Cleiton Silva de Jesus²

Nota Técnica n. 01, elaborada em 31 de março de 2020.

¹ Graduanda em Ciências Econômicas na UEFS, Bolsista do PET Economia e Pesquisadora do GEMA. E-mail: yasminoliveirauefs@gmail.com

² Professor Adjunto do DCIS/UEFS, Tutor do PET Economia e Pesquisador do GEMA. E-mail: csj@uefs.br



1. Introdução

O avanço do novo coronavírus no mundo, também conhecido por Covid-19 ou SARS-Cov-2, levou a Organização Mundial da Saúde decretar estado de pandemia em 11 de março de 2020. Por pandemia entende-se por um momento em que uma doença já está espalhada por diversos continentes, inclusive com transmissão sustentada entre as pessoas. Até o momento foram registradas mais de 41 mil mortes no mundo atribuída ao Covid-19, a maioria delas na Itália, Espanha, China, França e Estados Unidos. A razão entre o número de mortos e o de casos confirmados, também conhecida como taxa de letalidade, tem sido de 4,9% no mundo e 3,6% no Brasil. Neste amplo contexto, nosso objetivo nesta nota é simular um simples modelo epidemiológico aplicado ao caso do Covid-19 no Estado da Bahia. No modelo aqui utilizado, busca-se estimar o dia aproximado em que o número de infectados ativos deve chegar no ponto máximo, assumindo que a curva de infectados possui um formato de sino. Além disso, o modelo simulado permite-nos calcular o número médio de pessoas saudáveis que são contaminadas por uma pessoa infectada, bem como a quantidade total de pessoas recuperadas (teoricamente imunes) no final da epidemia.

2. Dados e Metodologia

A base de dados utilizada na elaboração dessa nota foi construída a partir das informações contidas nos boletins diários emitidos pela Secretaria de Saúde do Estado da Bahia. A informação mais importante que capturamos nestes boletins é o número casos confirmados de pessoas que contraíram o Covid-19 no Estado, independentemente se elas foram recuperadas ou não. Além disso, usamos a estimativa populacional para o Estado que é disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. O tamanho da população e a trajetória conhecida de casos totais são as variáveis necessárias para se estimar os parâmetros do modelo e realizar as simulações.

O modelo analítico aqui utilizado foi originalmente proposto por Kermack e McKendrick (1927), e este modelo parte do pressuposto de que uma população fixa (N), pode ser dividida em três grupos de pessoas: Suscetíveis (S), Infectadas (I) e Recuperadas (R). Considera-se ainda que a o período de incubação do agente infeccioso é instantâneo e a duração da infecção é igual à duração da doença. A dinâmica do modelo funciona da seguinte forma: no estágio inicial da epidemia uma pessoa é infectada, nenhuma pessoa é imune e o restante da população não infectada ($N-1$) tem a possibilidade de contrair a doença. À medida em que o tempo passa, a pessoa inicialmente doente infecta uma pessoa suscetível e assim por diante, considerando uma dada taxa de infecção. Além disso, em cada momento do tempo, uma parte da população infectada passa a ser imunizada, considerando determinada dada taxa de recuperação. As proporções da população infectada, suscetível e imune variam enquanto durar a epidemia, sendo que no final deste processo (estado estacionário) o total de pessoas infectadas com a doença tende a zero e uma importante parcela da população passa a ser imune a doença. De maneira mais explícita, o modelo *SIR* busca resolver o seguinte sistema de equações diferenciais ordinárias:



Onde β é a taxa de infecção, γ é a taxa de recuperação, todas constantes, e t o tempo. A primeira equação assume que a variação no número de pessoas suscetíveis no tempo é uma função negativa do produto entre a taxa de pessoas infectadas (I/N) e o número absoluto de pessoas suscetíveis. A segunda equação assume que a variação no número de pessoas infectadas no tempo é uma função direta da taxa de pessoas infectadas e o número absoluto de suscetíveis, e uma função inversa do número absoluto de pessoas infectadas. A terceira equação mostra que a variação do número de pessoas recuperadas é uma função direta do número de pessoas infectadas. Os parâmetros β e γ para o Estado da Bahia são naturalmente desconhecidos, e há diferentes estratégias que podem ser utilizadas para se “calibrar” o valor destes parâmetros. Um processo de otimização interativo é a estratégia aqui utilizada para se obter os parâmetros β e γ . Os pacotes `deSolve`, `xts` e `dplyr` do Software R³ foram utilizados para a estimação destes parâmetros e para a resolução do sistema de equações diferenciais ordinárias. O modelo é simulado até o período em que as variáveis endógenas do modelo deixam de variar em função do tempo.

3. Panorama do Covid-19 na Bahia

O primeiro caso de Covid-19 na Bahia foi registrado no dia 6 de março, no município de Feira de Santana, nove dias após o registro do primeiro caso no Brasil (em São Paulo). A primeira pessoa infectada pelo vírus na Bahia foi uma mulher de 34 anos que havia retornado da Itália em 25 de fevereiro, com passagens pela Itália, onde provavelmente deve ter contraído o vírus. A Bahia registra, até o presente momento, 217 casos confirmados, o que representa pouco menos de 4% do total de casos notificados no Brasil, ou aproximadamente 1,4 casos por 100 mil habitantes. Registra-se também dois óbitos, 17 pessoas curadas e 42 internadas. O coeficiente de incidência por 100 mil habitantes tem sido maior entre as pessoas de 70 a 79 anos (3,44) e há uma forte concentração de casos na capital do Estado (60,8% do total do Estado). A Figura 1 mostra a evolução temporal do número de casos totais na Bahia, e na Figura 2 observa-se a distribuição espacial do número total de casos no Estado.

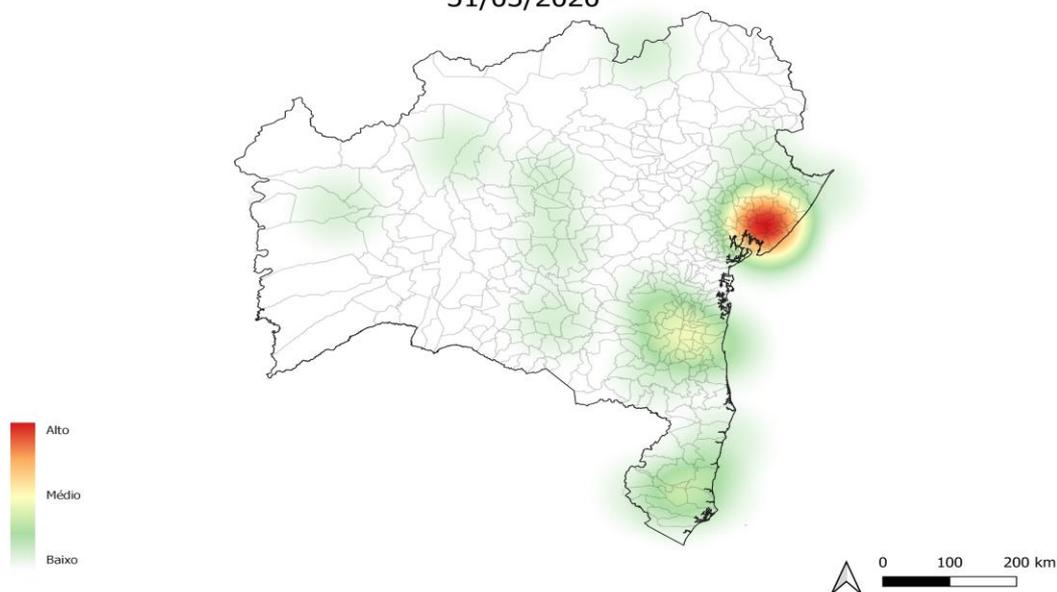
³ Os códigos utilizados na simulação estão disponíveis mediante requerimento a um dos autores.

Figura 1 – Evolução do Número de Casos Confirmados na Bahia



Nota: Elaboração própria a partir dos dados disponibilizados pela SESAB.

Figura 2 - Concentração dos Casos Confirmados de COVID-19 na Bahia até 31/03/2020



Nota: Elaboração própria a partir dos dados disponibilizados pela SESAB.

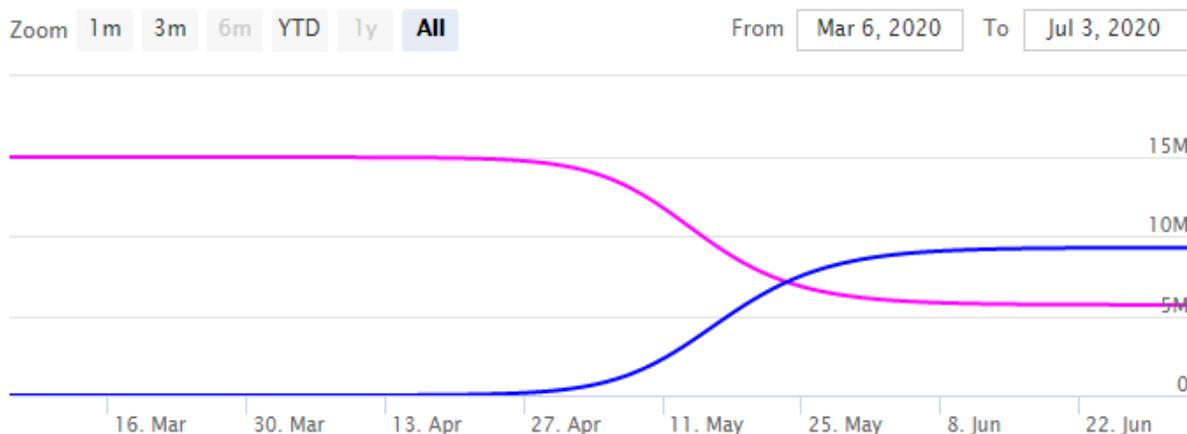
Os dados agregados para a Bahia revelam que a taxa de crescimento diária, de 6 a 31 de março, tem sido de 23%. Com esta taxa tem-se que em 3,3 dias, em média, dobram-se o número de casos no Estado.

4. Resultados da Simulação

As Figuras 3 e 4 resumam os principais resultados do exercício numérico. Assumindo que o Estado possui 14,9 milhões de habitantes, a nossa projeção indica que o pico esperado de contaminação atingirá cerca de 1,1 milhão de pessoas infectadas, o que representa aproximadamente 7,4% da população. Se considerarmos hipoteticamente que 15% dos

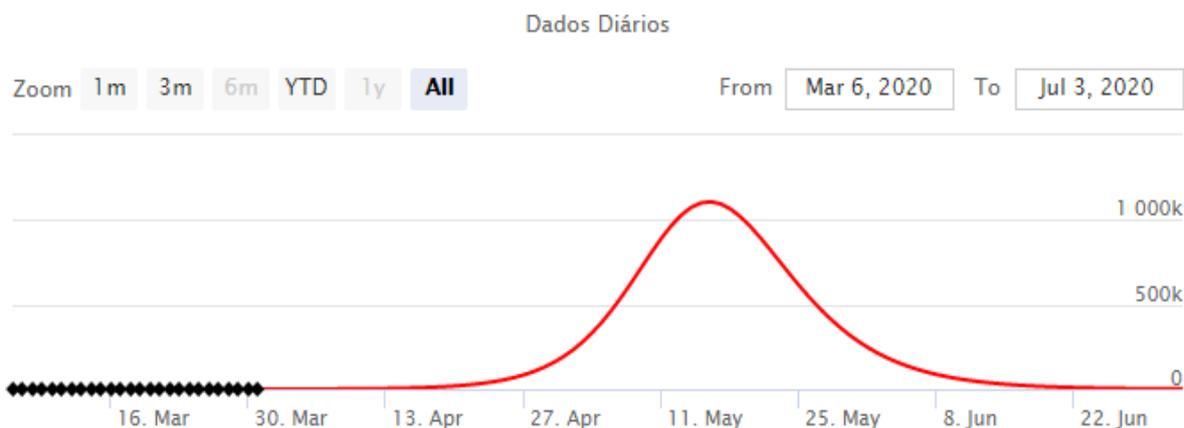
infectados necessitem de internação em um hospital e de cuidados especiais, tem-se que o Estado necessitará de aproximadamente 165 mil leitos disponíveis em um único dia. Quanto maior a fração de idosos infectados, espera-se que mais leitos são necessários para atender plenamente a demanda por cuidados especiais. Esta proposição é derivada apenas da ampla evidência internacional sobre a distribuição etária da população infectada pelo Covid-19 e que necessita de cuidados especiais, uma vez que o modelo aqui considerado não leva em conta a composição demográfica da sociedade. O modelo *SIR* também permite avaliar a taxa de reprodução secundária em dada população, isto é, quantas pessoas susceptíveis, em média, uma pessoa infectada contamina. Esta taxa é dada pela razão entre β e γ que no caso do modelo aqui estimado é 1,56 (0,61/0,39). Esta taxa é significativamente inferior à mediana das taxas (2,79) disponíveis na revisão da literatura realizada por Liu et al (2020), que foca essencialmente do caso chinês, e próxima daquela estimada pela Organização Mundial da Saúde para a China (1,95). Os resultados da simulação aqui realizada sugerem também que o pico de pessoas infectadas ativas ocorrerá em torno de 16 de maio na Bahia.

Figura 3– Dinâmica SIR entre Variáveis Suscetíveis e Recuperados para a Bahia



Nota: Elaboração própria a partir dos dados disponibilizados pela SESAB. A curva azul refere-se à população de recuperados e a rosa a de susceptíveis.

Figura 4 – Contaminados por Covid-19 e Previsão do Modelo SIR para Bahia



Nota: Elaboração própria a partir dos dados disponibilizados pela SESAB.

5. Considerações Finais

O principal objetivo desta nota foi simular um modelo epidemiológico para o Estado da Bahia, considerando os casos conhecidos de pessoas infectadas com o Covid-19. É importante ressaltar que os resultados encontrados valem sob determinadas condições impostas pelo modelo, e inclusive assume-se implicitamente que medidas adicionais de contenção não serão adotadas ao longo das próximas semanas, assim como o aumento da incidência de testes realizados no Estado. Isto implica que à medida que a população muda o seu comportamento e/ou a incidência de pessoas testadas varie, os parâmetros do modelo *SIR* serão alterados, assim como as séries fornecidas pelo modelo. Como o modelo *SIR* não leva em conta explicitamente o número de óbitos e nem o caso de pessoas infectadas que são assintomáticas, que são dois fenômenos marcantes da atual pandemia, os resultados aqui obtidos devem ser interpretados com uma cautela adicional. Acreditamos, entretanto, que insights importantes acerca da pandemia em curso e que está em seu estágio inicial na Bahia podem ser extraídos através deste tipo de modelo. A nossa proposta é continuar trabalhando neste modelo à medida que novos dados forem disponibilizados pela Secretaria Estadual de Saúde. Com novas informações oficiais, desejadamente menos imprecisas, será possível acompanhar a evolução da taxa de reprodução secundária e avaliar se esta taxa varia com a intensificação das medidas de distanciamento social e com a esperada massificação dos testes do Estado.

Referências

- Kermack, W. O.; McKendrick, A. G. A contribution to the mathematical theory of epidemics, *Royal Society*, 1927.
- Liu, Y., Gayle, A. A., Wilder-Smith, A.; Rocklöv, J. The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus, *Journal of Travel Medicine*, 2020.