

SIMULAÇÃO DA PANDEMIA DO SARS-COV-2 UTILIZANDO O MODELO SEIRD PARA AS MAIORES CIDADES DO SUL DA BAHIA

SIMULATION OF THE SARS-COV-2 PANDEMIC USING THE SEIRD MODEL FOR THE LARGEST CITIES IN SOUTHERN BAHIA

Fabício Berton Zanchi¹, Orlando Jorquera Cortés², Alan Gomes de Oliveira³

Resumo:

A pandemia do SARS-COV-2 trouxe no final de 2019 a 2021, muita preocupação na área da saúde e efeitos econômicos para o globo, porém simulação com modelos matemáticos, proporcionam maior entendimento sobre o formato que cada governo trata os cenários pandêmicos, optando as melhores formas de precauções, para salvaguardar vidas. Com o objetivo de entender a evolução da pandemia foram estudados três cenários: sem restrição e com mobilidade total, quarentena flexível e um cenário restritivo próximo ao lockdown. O método utilizado foi o Modelo SEIRD rodados para as cidades de Itabuna, Ilhéus, Eunápolis, Porto Seguro e Teixeira de Freitas e que partiu de cálculos baseado em cinco compartimentos: Susceptíveis (S), Expostos (E), Infectados (I), Recuperados (R) e Óbitos (D), com os seguintes parâmetros: tamanho da população, período de incubação, número de casos e óbitos, taxa de contágio, taxa de letalidade e tempo que uma pessoa leva para se recuperar, parâmetros que variam ao longo do tempo e dependem da qualidade dos dados oficiais, bem como pelas futuras medidas adotadas pelos municípios e a taxa de vacinação. Com resultados, das simulações da pandemia nos três cenários, o primeiro, de mobilidade total, teve as maiores taxas de contaminações e óbitos, já o segundo de quarentena flexível e terceiro cenário, próximo do lockdown, tiveram as menores taxas de perdas. Os resultados serviram para entendermos a velocidade do contágio e os possíveis reflexos na ocorrência dos óbitos, a depender da supressão de fluxo de pessoas, podendo servir de “farol” para as autoridades sanitárias traçarem suas estratégias e para o cidadão comum planejar o futuro da pandemia nos municípios.

Palavras-Chave: Covid-19. Extremos Sul da Bahia. Lockdown, Cenários pandêmicos.

¹ Doutor em Ecohidrologia - Área de Concentração em Ciências Ambientais. Docente da Universidade Federal do Sul da Bahia. E-mail: fabricao.berton@ufsb.edu.br

² Doutor em Energia e Ambiente - Área de Concentração em Ciências Ambientais. Docente da Universidade Federal do Sul da Bahia. E-mail: ojqorquerc@ufsb.edu.br

³ Bacharel Interdisciplinar em Ciências Ambientais - Área de Concentração em Ciências Ambientais. Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal do Sul da Bahia. E-mail: alan.oliveira@gfe.ufsb.edu.br

Abstract:

The SARS-COV-2 pandemic brought, at the end of 2019 to 2021, many global health and economic effects, but the use of mathematic models' simulation to understanding the format that each government treated the pandemic scenarios, taking the opportunity to safeguard lives. With the aim of developing the pandemic in three scenarios: without restriction and with full mobility, quarantine restriction, and a restrictive scenario to the lockdown. The method was the SEIRD Model run for Itabuna, Ilhéus, Eunápolis, Porto Seguro and Teixeira de Freitas, based on calculations based on five compartments - Susceptible (S), Exposed (E), Infected (I), Recovered (R) and Deaths (D) – parameters: population size, incubation period, number of cases and deaths, contagion rate, fatality rate and time it takes a person to recover, which vary over time and depend on the quality of the data as well as the future measures adopted by the municipalities and the vaccination rate. With worrying results, the pandemic simulations consisted of three scenarios: the first, without restriction to the flow, total mobility, that had the highest rates of contamination and deaths, the second, some restriction as an effort to suppress the flow of people (flexible quarantine) and third, a restrictive scenario as a lockdown that had the lowest loss rates. The results helped to understand how fast the contagion and the possible deaths results is. Depending on people mobility suppression, being able to attend as a "warning light" for the health authorities to outline their strategies and for the common citizen to plan the municipality pandemic future.

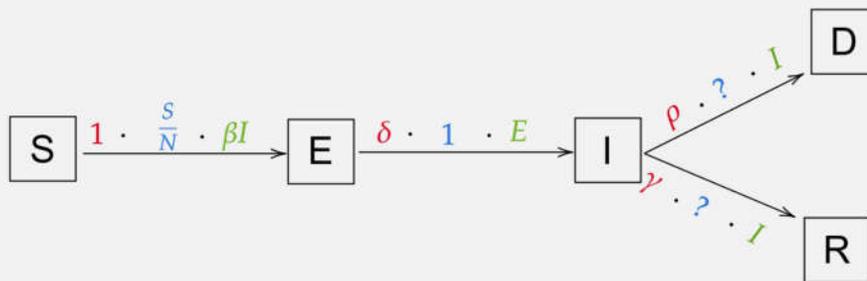
Keywords: Covid-19, South of Bahia, lockdown, Pandemic Scenarios

INTRODUÇÃO

Diferentes modelos compartimentais para doenças infecciosas têm sido descritos desde a década de 1920 (Kermack; McKendrick, 1927); um modelo clássico é o modelo SIR (Suscetíveis, Infectados e Recuperados), adaptado e melhor desenvolvido por Cooke em 1979. No entanto, estes autores consideraram as seguintes premissas: a) a infecção é transmitida ao homem por um vetor; pessoas susceptíveis recebem a infecção através de um vetor infeccioso e vetores susceptíveis recebem a infecção de pessoas infectadas; b) a infecção em humanos confere imunidade insignificante e não resultará em morte ou isolamento; c) o tamanho da população humana em consideração é fixo; nascimentos, mortes e migração são ignorados; d) quando um vetor suscetível é infectado por uma pessoa, existe um tempo fixo "t" durante o qual o agente infeccioso se desenvolve no vetor; no final desse período, o vetor pode infectar um ser humano suscetível; e) há uma mistura homogênea das populações humana e vetorial; f) os infectados têm uma taxa de recuperação.

Com modificações nos compartimentos, o modelo SIR tem sido aplicado para a pandemia do Sars-Cov-2, considerando: pessoas expostas, óbitos, hospitalização, admissão em UTI, infectados assintomáticos e sintomáticos, diagnosticados e isolados etc. (Li et al., 2020; Oliveira et al., 2020; Ghanam et al., 2020; Prem et al., 2020; Yang et al., 2020; Piccolomini; Zama, 2020; Chen; Lu, 2020; Chatterjee et al., 2020). Uma destas versões modificadas, o modelo SEIRD se caracteriza por trabalhar com cinco compartimentos (Figura. 1): Susceptíveis de serem infectados (S); Expostos (E); Infectados (I); Recuperados (R) e Óbitos (D).

Figura. 1: Modelo SEIRD.



Adaptado de <https://towardsdatascience.com/infectious-disease-modelling-beyond-the-basic-sir-model-216369c584c4>.

Por meio destas melhorias e adaptações no modelo SIR para o SEIRD, os resultados da modelagem e projeções de cenários futuros, facilitam o entendimento de cenários da pandemia, bem como, permitem visualizar possíveis políticas de enfrentamento dos municípios em estudo. Para isto o objetivo deste trabalho foi entender a evolução da pandemia em três cenários: sem restrição e com mobilidade total, quarentena flexível e um cenário restritivo de lockdown, em cinco cidades do extremo sul da Bahia, utilizando modelos matemáticos como uma metodologia indireta, para nortear os efeitos que cada cenário poderá trazer para os municípios e a população, além de propor ações para o enfrentamento da pandemia.

MATERIAL E MÉTODOS

No enfrentamento da pandemia do COVID-19 no Brasil, que se iniciou em 27 de fevereiro de 2020, foram tomadas medidas distintas pelos diferentes estados no país. No entanto, o estado da Bahia adotou uma política de confinamento voluntário e fechamento de escolas, hotéis, comércio e locais públicos de

reunião/aglomeração. Com estas informações e dados de tendências e comportamento da população, propôs se um modelo SIIRD ajustado para entendermos a taxa de contágio e possíveis reflexos na ocorrência dos óbitos, por meio da descrição de alguns cenários de comportamento da população local e funcionalidade da dinâmica das principais cidades do extremo sul baiano Itabuna, Ilhéus, Eunápolis, Porto Seguro e Teixeira de Freitas.

O modelo foi implementado na linguagem Python para integrar as equações diferenciais mediante uso de método numérico. Foram calibrados parâmetros como: população total; quantidade diária de pessoas infectadas; período de incubação; taxa de letalidade local; taxa de recuperados; número de pessoas que transmite o vírus; e também a variação da taxa de letalidade (no dia 15/07/2020) em relação ao SARS-COVID-19 para os municípios de Itabuna (2,45%), Ilhéus (3,1%), Eunápolis (2,4%), Porto Seguro (1,8%) e Teixeira de Freitas (1,8%).

Todos os valores foram obtidos nos boletins disponíveis nos sites oficiais de cada prefeitura e da Secretaria de Estado da Saúde (SESAB).

SOBRE O MODELO SEIRD

As equações diferenciais que descrevem tal modelo são as seguintes:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\beta I \frac{S}{N} \\ \frac{dE}{dt} &= \beta I \frac{S}{N} - \delta E \\ \frac{dI}{dt} &= \delta E - (1 - \alpha)\gamma I - \alpha\rho I \\ \frac{dR}{dt} &= (1 - \alpha)\gamma I \\ \frac{dD}{dt} &= \alpha\rho I\end{aligned}$$

Sendo os parâmetros:

β : a quantidade esperada de pessoas infectadas por pessoa por dia.

N : população total do estudo.

δ : período de incubação de 5 dias.

α : taxa de Letalidade. Probabilidade de passar de infectado para óbito.

γ : taxa em que as pessoas se recuperam (tempo que demora para uma pessoa se recuperar). ($\gamma = 1/D_i$)

ρ : taxa em que as pessoas morrem (tempo que demora uma pessoa em morrer).

$(1-\alpha)$: taxa de recuperação. Probabilidade de passar de infectado para recuperado.

D_i : duração da viremia em uma pessoa e de espalhamento da doença.

$R_0(t)$: o número total de pessoas infectadas por uma pessoa infectada ($R_0(t) = \beta / \gamma$)

O $R_0(t)$ ou número básico de reprodução da doença, podemos variar utilizando uma função hiperbólica assintótica (Tabatabai et al, 2005) que depende diretamente de um limite, o número total da população, e este padrão segue esta variação ao longo de tempo pela equação abaixo.

$$R_0(t) = \frac{R_{0\text{inicial}} - R_{0\text{final}}}{1 + e^{-k(-t+x_0)}} + R_{0\text{final}}$$

Onde: $R_{0\text{inicial}}$ e $R_{0\text{final}}$ são os valores de R_0 no primeiro e último dia; x_0 é o valor no tempo em que ocorre o ponto de inflexão (ou seja, a data do declínio mais acentuado para o possível valor em R_0 , isso poderia ser considerado como a data principal de "bloqueio ou isolamento"); k nos permite variar a rapidez com que R_0 declina (Froese, 2020).

As taxas de letalidade são calculadas dividindo-se o número de óbitos pelo número de casos confirmados, aportam uma informação muito importante, uma vez que taxas maiores são intrinsecamente relacionadas com o perfil etário da população e com o grau de isolamento de cada cidade, embora assumamos que possam também significar subnotificação de casos confirmados.

Para melhor entendermos o comportamento dinâmico e projeções da pandemia nos maiores municípios do sul baiano, foram considerados três cenários:

- 1- Cenário sem qualquer medida restritiva;
- 2- Cenário levando em consideração o atual esforço de cada município;
- 3- Cenário de isolamento social próximo de um *lockdown*, com resultados a partir de 01/08.

A variação da taxa de contágio, o $R_0(t)$ ao longo do período inicial foi utilizado como base para o modelo, projetando-se o desdobramento da pandemia até 31/12/2020.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Simulações da pandemia em três cenários

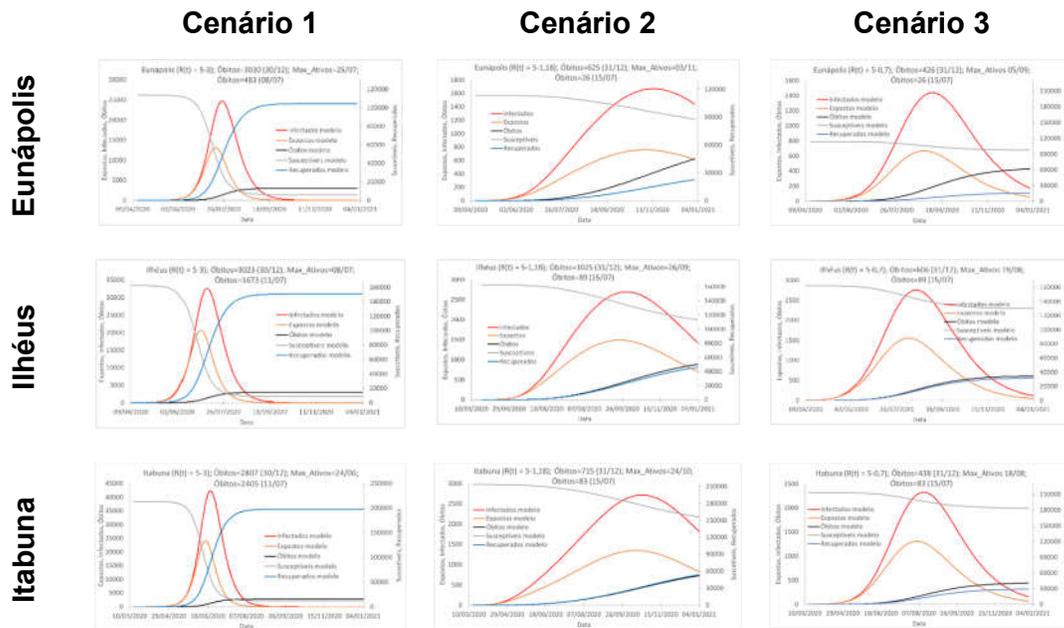
Segundo a OMS, a cada 10 infectados 1 precisa de tratamento e dos que porventura precisarem de tratamento, 15% deles necessitarão de UTI. Os números de óbitos são característicos de cada regime de isolamento adotado. Se não houvesse qualquer isolamento social, poderíamos ter tido uma

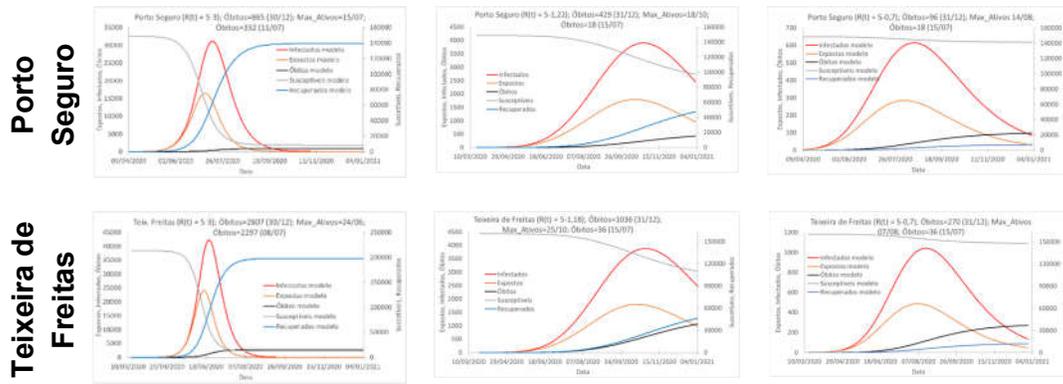
mortalidade altíssima e teríamos gerado o caos na saúde como vemos no 1º cenário.

1º Cenário: Sem qualquer medida restritiva de isolamento

Caso as cidades não implementassem nenhum tipo de Isolamento social (toque de recolher, fechamento do comércio não essencial, interrupção de transporte intermunicipal e de voos turísticos) ou de orientação quanto ao uso de máscara e álcool em gel, teríamos uma taxa alta de contágio ($R_0(t) = 5$ a 3 como valores máximos e mínimos nos municípios, pois as teorias de contaminação são primeiramente iniciadas com o máximo de contágio $R_0(T) = 5$ (Chatterjee et al., 2020, Ghanam et al., 2020, <https://farolcovid.coronacidades.org/>). Isto significa que cada pessoa infectada poderia infectar de 3 até 5 pessoas ao longo do tempo da infecção (Figura 2). Neste cenário, o pico teria ocorrido entre o mês de junho e julho de 2020, exceto para Itabuna (Bezerra et al., 2021), que estaria experimentando o pico naquele momento, mas com resultados caóticos para toda a sociedade (Tabela 1), pois o número de óbitos seria muito alto (Oliveira et al., 2020, Yang et al., 2020, Prem et al., 2020).

Figura 2. Simulações da pandemia em três Cenários (Cenário 1 - Sem restrição ao fluxo; Cenário 2 – Mantida a mobilidade; Cenário 3 - Isolamento semelhante ao *lockdown*) para Itabuna, Ilhéus, Eunápolis, Porto Seguro e Teixeira de Freitas até 31/12/2020.





Fonte: Autores.

2º Cenário: Mantidos os índices de isolamento atuais

Nas condições de isolamento praticados pelos municípios, temos um $R_0(t)$ variando entre 5 a 1,18 (Figura 2), um $R_0(t)$ mais baixo obtido nas últimas semanas de junho de 2020, quando somente ficaram abertos os serviços essenciais e com medidas restritivas à locomoção dos transeuntes na maioria dos municípios (Li et al., 2020, Yang et al., 2020, Prem et al., 2020). Este 2º cenário proporciona um achatamento nas curvas de contágio ($R_0(t)$ mínimas menores), trazendo-as mais para o final do ano, diluindo e amenizando o crescimento abrupto da infecção, evitando a superlotação em leitos de UTI. Isto também traz uma maior eficiência no tratamento contra o vírus. Quando comparado com o Cenário 1, nota-se um aumento expressivo no número de óbitos de 293%, 195%, 385%, 102% e 171% para Itabuna, Ilhéus, Eunápolis, Porto Seguro e Teixeira de Freitas, respectivamente (Tabela 1).

3º Cenário: Assumindo isolamento mais rígido, próximo ao *lockdown*.

Notem pelos resultados que, esse seria o cenário ideal para salvaguardar vidas, pois traríamos o $R_0(t)$ abaixo de 1, o que significa uma taxa de contágio muito reduzida (Oliveira et al., 2020). Para a adaptação do Modelo, foi então ajustado um $R_0(t)$ variando de 5 - 0,7 (Figura 2). Nesse cenário, assumiríamos que no mês de julho já iniciáramos um isolamento mais rígido que se refletiria no mês de agosto, cujo $R_0(t)$ ficaria abaixo de 1 após 01/08/2020. Resumidamente, o Cenário 3 traria um ganho maior em número de vidas quando comparado com o Cenário 2 (atual), pois haveria uma redução de 39%, 41%, 32%, 78% e 74% do número de óbitos nos municípios de Itabuna, Ilhéus, Eunápolis, Porto Seguro e Teixeira de Freitas, respectivamente (Tabela 1).

Quando comparamos os três cenários, o melhor para salvar vidas seria o terceiro, com redução do $R_0(t)$ para menos de 1 (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados das projeções e taxa de aumento de óbitos (em porcentagem) nas cidades de Itabuna, Ilhéus, Eunápolis, Porto Seguro e Teixeira de Freiras até 31/12/2020.

Cidade	Nº de Óbitos Cenário 1	Nº de Óbitos Cenário 2	Nº de Óbitos Cenário 3	% de aumento Cenário 2/ Cenário 1	% de redução Cenário 3/ Cenário 1
Itabuna	2807	715	438	293	-39
Ilhéus	3023	1025	606	195	-41
Eunápolis	3030	625	426	385	-32
Porto Seguro	865	429	96	102	-78
Teixeira de Freitas	2807	1036	270	171	-74

Fonte: Autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS TRÊS CENÁRIOS

Como notamos nas simulações feitas para os 3 cenários, todos os municípios tiveram uma fase inicial de crescimento exponencial e as medidas de redução de mobilidade ou as quarentenas parciais adotadas, não solucionaram o problema do auto contágio e incremento nos casos de óbitos.

No entanto, considerando que o 1º cenário simulado, foi o de afrouxamento das restrições, o 2º com quarentena parcial ou algumas restrições de mobilidade e o 3º cenário, seria o com restrições à mobilidade total e a adoção de lockdown, notamos que este último cenário seria o ideal para salvaguardar vidas. Mas o 2º e o 1º cenário, foram os que mais tiveram suas opções adotadas pelos municípios. O fato que partes destas restrições tiveram muitas negligências pelos municípios, sendo difícil o controle total em todos os bairros e níveis sociais, uma vez que, o país não proporciona a mesma segurança alimentar e de assegurar a vida em momentos críticos como numa pandemia.

Porém, as medidas adotadas tardiamente pelos municípios produziram efeitos positivos e evitaram um maior número de óbitos, mas se não fossem mantidas ou se forem relaxadas, estes valores aumentariam consideravelmente. A alternativa seria a adoção de procedimentos mais restritivos, como a conscientização da população nos municípios, para uma higienização correta e

uso obrigatório de máscara facial (uma vez que já foi comprovado a eficácia da máscara) e horário de abertura e fechamento do comércio para evitar aglomerações nos estabelecimentos e transporte público.

Segundo o modelo, caso as cidades optem por medidas mais restritivas (fechamento total sem qualquer fluxo intermunicipal), ainda teríamos um resquício de óbitos decorrentes do que foi feito até a presente de adoção do período restritivo, mas podemos ter uma redução em torno de 80-95% no número óbitos e evitar o colapso do SUS.

Notamos também que se uma cidade em isolamento (cenário 3), não tenham suas entradas e saídas controladas, é pouco provável que os efeitos restritivos também tragam o efeito desejado. Estas medidas só funcionariam, entretanto, se todos os municípios da região fizerem por um período mínimo de 20 dias (levando em consideração a duração da infecção de 14 dias e permanência do vírus por 4 dias na circulação do ambiente). Com estas medidas, o comércio poderia ser reaberto de forma gradativa até sua totalidade. Neste caso, as medidas de locomoção intermunicipal funcionariam se houvessem restrições. Essas medidas precisariam vir acompanhadas por outras: as cidades devem ter equipes para assistência aos que se fizerem reclusos; estas equipes precisam estar aptas para apoiar os sintomáticos e devem ser imediatamente contatadas para qualquer sintoma; o tratamento deve ser feito corretamente; e evitar transmissão em sua casa e vizinhança. Sem isolamento e sem quaisquer medidas restritivas, as perdas de vidas continuarão.

REFERÊNCIAS

Kermack, W. and McKendrick A.G. 1927, A contribution to the Mathematical Theory of Epidemics, Proceeding of the Royal Society A, 700-721.

Bezerra, A. A. L. ; Zanchi, F.B. ; Costa, F. M. ; Segundo, G. S. A. ; Lisboa, J. G. ; Costa, O. S. ; Stein, P. P. ; Costa, P. A. D. ; Santos, R. B. ; Gomes, R. L.. PROPOSTA PARA ENFRENTAMENTO DO COVID 19 NO MUNICÍPIO DE ITABUNA-BA. Revista Focando a Extensão, v. 8, p. 61-78, 2021

Cooke, K. L.: Stability analysis for a vector disease model. Rocky Mount. J. Math. 7, 253-263 (1979).

Piccolomini E.L. and Zama F., 2020, Monitoring Italian COVID-19 spread by an adaptive SEIRD Model, medRxiv, 1-15.

Li Y., Wang B., Peng R., Zhou C., Zhan Y., Liu Z., Jiang X. and Zhao B., 2020, Mathematical Modeling and Epidemic Prediction of COVID-19 and Its Significance to Epidemic Prevention and Control Measures, *Annals of Infectious Disease and Epidemiology*, (5),1-9.

Yang Z., Zeng Z., Wang K., Wong S-S, Liang W., Zanin M., Liu P., Cao X., Gao Z., Mai Z., Liang J., Liu X., Li S., Li Y., Ye F., Guan W., Yang Y., Li F., Luo S., Xie Y., Liu B., Wang Z., Zhang S., Wang Y., Zhong N., He J. 2020, Modified SEIR and AI prediction of the epidemics trend of COVID-19 in China under public health interventions, *Journal of Thoracic Disease*, 12(3),165-174.

Prem K., Liu Y., Russell T.W., Kucharski A.J., Eggo R. M., Davies N., 2020, The effect of control strategies to reduce social mixing on outcomes of the COVID-19 epidemic in Wuhan, China: a modelling study, *The Lancet*, (5), e261-e270.

Ghanam R., Boone E.L., Abdel-Salamc A-S G., 2020, Seird model for qatar covid-19 outbreak: a case study, *Letters in Biomathematics*, [arXiv:2005.12777](https://arxiv.org/abs/2005.12777).

Chen Y-C., Lu P-E., 2020, A Time-dependent SIR model for COVID-19 with Undetectable Infected Persons, [arXiv:2003.00122](https://arxiv.org/abs/2003.00122)

Chatterjee K., Chatterjee K., Kumar A., Shankar S., 2020, Healthcare impact of COVID-19 epidemic in India: Astochastic mathematical model, *Medical Journal Armed Forces India*, 147-155.

Oliveira, J.F., Jorge D.C. P., Veiga R. V., Rodrigues M.S., Torquato M. F., da Silva N. B., Fiaconne R.L., Castro C. P., Paiva A. S. S., Cardim L.L., Amad A. A. S., Lima E. A. B. F., Souza D. S., Pinho S.T. R., Ramos P.I. P., Andrade R.F. S., 2020, Evaluating the burden of COVID-19 on hospital resources in Bahia, Brazil: A modelling-based analysis of 14.8 million individuals, *medRxiv*, preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.05.25.20105213>.

Tabatabai M., Williams D. K. and Bursac Z., 2005, Hyperbolastic growth models: theory and application, *Theoretical Biology and Medical Modelling*, (2) 14, 1-13.