

Núcleo Interinstitucional de Estudos Epidemiológicos (NIEE)

Nota Técnica NIEE - nº 01/2020

**Análise da propagação da pandemia de
COVID-19 no estado do Espírito Santo e na
conurbação da Grande Vitória a partir de
modelos matemáticos**

Dra. Ethel Maciel (UFES)

Dr. Etereldes Gonçalves Júnior (UFES)

Dr. Fabiano Petronetto do Carmo (UFES)

Ms. Hélio Gomes Filho (UFES)

Ms. Gustavo Ribeiro (IJSN)

Dr. Pablo Lira (IJSN)



**GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO**
*Secretaria de Economia
e Planejamento*

1. Introdução

Em 2019, o mundo se deparou com um novo vírus que se espalhou a partir da região de Wuhan, na China. A Organização Mundial da Saúde (OMS) classificou a situação como emergência internacional e, em 11 de março de 2020, o vírus passou a ser considerado uma doença pandêmica. Ele pertence à família dos coronavírus, um grupo que reúne desde agentes infecciosos que provocam sintomas de resfriado até outros com manifestações mais graves, como os causadores da SARS (sigla em inglês para Síndrome Respiratória Aguda Grave) e da MERS (Síndrome Respiratória do Oriente Médio).

Todos os países, a partir de então, ficaram em estado de alerta, preparando-se de diferentes formas para o enfrentamento da pandemia. A confirmação, no dia 26 de fevereiro de 2020, do primeiro caso no Brasil de COVID-19 (*coronavirus disease*), nome com o qual a doença foi batizada, deixou a população brasileira ciente de que a epidemia também estava entre nós.

De acordo com dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), até o dia 27 de abril de 2020, cerca de 3 milhões de pessoas haviam sido infectadas e mais de 207 mil pessoas tinham morrido em decorrência do novo coronavírus (COVID-19). O Brasil, até então, apresentava 63.100 infectados e 4.286 óbitos pela citada doença. A taxa de letalidade no país é de 6,7% (OMS, 2020).

O estado do Espírito Santo havia contabilizado 1.819 casos confirmados e 57 mortes pelo novo coronavírus. A taxa de letalidade capixaba é de 3,1%. O número de casos no ES equivale a 2,8% do total de casos registrados no Brasil (SESA, 2020). O número de óbitos no Espírito Santo equivale a 1,3% do total de mortes computadas no país. Esses resultados relativos se mostram coerentes com a representatividade populacional do ES. Segundo o IBGE (2020), com 4.018.650 habitantes o ES representa 1,9% das pessoas residentes no Brasil.

A necessidade em compreender e analisar uma epidemia fez surgir uma quantidade de métodos matemáticos que modelam a dinâmica da doença a partir de algumas variáveis. Esses métodos estão dando origem a alguns ensaios produzidos no meio acadêmico brasileiro.

Recentemente, o jornal A Gazeta publicou uma reportagem com o seguinte título “Estudo prevê que podem faltar leitos de UTI no ES a partir de maio”. O estudo citado na reportagem foi produzido no formato de Nota Técnica pelo Laboratório de Tecnologias de Apoio à Decisão em Saúde (LABDEC), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O título da Nota Técnica é “Previsão de disponibilidade de leitos nos estados brasileiros e Distrito Federal em função da pandemia de COVID-19” (ALMEIDA et al., 2020). No que se segue, apresentamos alguns comentários sobre os aspectos metodológicos utilizados na Nota técnica do LABDEC e apresentamos novas projeções, sobre a contaminação pelo coronavírus no estado do Espírito Santo, obtidas a partir de duas abordagens propostas.

2. Previsões do LABDEC/UFMG sobre a COVID-19

As previsões de Almeida et al. (2020) se baseiam no modelo de *Array Advisors*, que foi implementado originalmente para calcular a disponibilidade de leitos nos Estados Unidos, adaptado aos parâmetros brasileiros. Os autores consideraram que haveria nas semanas de abril de 2020 “um grande aumento de casos em todos os estados e eventuais colapsos dos sistemas de saúde estaduais podem ocorrer se a curva de crescimento não se modificar” (ALMEIDA et al., 2020, p. 01).

A metodologia é aplicada a cada estado tomando como referência o número de casos COVID-19 no dia 02/04/2020 e outros parâmetros, obtendo como resultado final uma curva de casos reportados (cumulativa). O número de leitos

UTI é, então, obtido a partir de um percentual fixo sobre o número de casos reportados e tempo médio de ocupação do leito.

Sobre a metodologia, duas considerações são importantes: 1) considera-se a princípio que um percentual fixo de uma população testará positivo para a SARS-Cov-2; e 2) a taxa de crescimento exponencial da curva de casos reportados é constante ao longo de toda a epidemia, foi considerado que a cada 8,7 dias o número de casos reportados dobra. Ambas as premissas são limitações do modelo pois não é possível estimar o percentual de casos reportados numa população e não é razoável considerar a taxa de crescimento dos casos reportados constante. Se considerarmos que a curva de casos ativos diários da epidemia é uma gaussiana, ou várias ondas em formato gaussiano, as premissas do modelo são frágeis.

A partir destas considerações e com outros dados como percentual de casos críticos, tempo médio de utilização do leito, números de leitos disponíveis, dentre outros parâmetros, são apresentados alguns cenários de percentual da população que testarão positivo para o novo coronavírus.

Algumas observações são relevantes nesta metodologia. Ela deve ser usada para curtíssimo prazo, até 14 dias, pois a curva de casos reportados positivos para o Sars-Cov-2 é muito sensível aos protocolos de testagem e medidas de distanciamento social, de modo que supor uma taxa constante de crescimento exponencial num longo prazo pode levar a erros muito grandes, a grosso modo por que se está aproximando uma parábola por uma reta e esta curva de casos reportados varia com parâmetros externos à epidemia.

A curva de casos totais reportados neste modelo é obtida pela função $C_r(d) = (T \cdot C_r(0) \cdot \text{Exp}(s \cdot d)) / (T - C_r(0) + C_r(0) \cdot \text{Exp}(s \cdot d))$, onde T é o total de casos reportados final, $C_r(0)$ é número de casos reportados no dia zero escolhido e s é a taxa de crescimento da exponencial, todos dados de entrada do modelo. Esta curva nos

dá o número cumulativo de casos reportados a partir de um dado observado num dia específico ($d=0$).

3. Projeções para o estado do Espírito Santo

3.1. Modelos matemáticos de estimativas: método de extrapolação da curva de contaminação

Neste método simples de extrapolação, supomos que a curva de casos reportados da COVID19 é exponencial por partes. Por partes, porque as diferentes estratégias de distanciamento social modificam a taxa de variação da curva, além de alterações nos protocolos de testagem. Consideramos semanas epidemiológicas como períodos para calcularmos a taxa média de crescimento em dois cenários: taxa de crescimento médio na última semana e nos últimos 14 dias.

De forma mais técnica, considere a função $C(d)$ que a cada dia representa o número de casos reportados da COVID19. Supondo essa função exponencial por partes aplicamos o Logaritmo natural em $C(d)$ e obtemos a taxa de crescimento semanal (s) ou quinzenal (q). Com isso, extrapolamos a curva de casos reportados usando as funções $C_s(d)=C(d_0)*\text{Exp}(s*(d-d_0))$ e $C_q(d)=C(d_0)*\text{Exp}(q*(d-d_0))$, onde d_0 é o dia inicial da extrapolação.

Basicamente, esse método é semelhante ao do LABDEC, com a diferença que usamos taxas de crescimento diferentes por período, simulando cenários de curto prazo, e não fixando um percentual da população que será testada positiva para simular cenários de longo prazo.

Partimos das seguintes premissas para calcular as projeções por meio do modelo matemático de estimativas:

- A curva de contaminados é exponencial por partes;
- O tempo médio para uma pessoa transmitir o vírus é de cerca de 14 dias; e
- Medidas de diminuição de aglomeração e circulação de pessoas não impactam de imediato na redução do número de contagiados.

Com base nessas premissas, foram considerados os seguintes parâmetros no mencionado modelo:

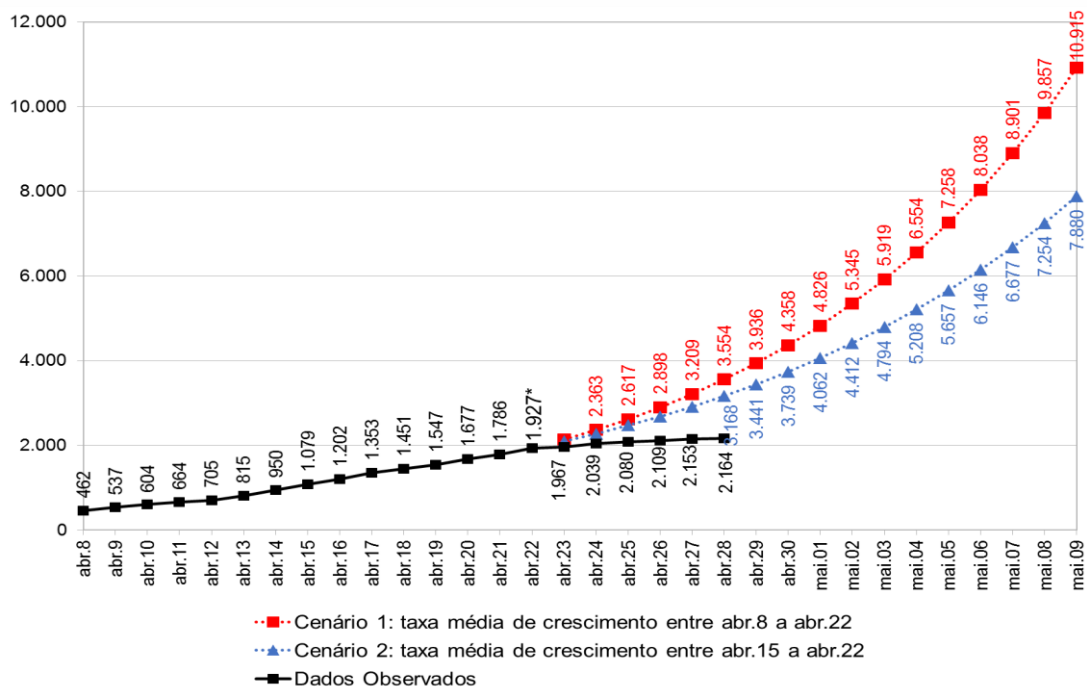
- Data base mais atualizada 22/04;
- Data limite das projeções 09/05 (maior segurança estatística);
- Taxa de internação em UTI em 24/04 no ES: 5,8%
- A taxa da exponencial foi calculada simulando dois cenários:
 - Cenário 1: a taxa média da semana 08/04 a 22/04; e
 - Cenário 2: a taxa média da semana de 15/04 a 22/04.

O modelo matemático de estimativas possibilitou projetar o número de casos confirmados e óbitos pela COVID-19 nos dois cenários especificados. O gráfico da Figura 1 estima que, no Cenário 1, o estado do Espírito Santo registrará 10.915 casos confirmados do novo coronavírus no dia 09 de maio de 2020. Considerando uma taxa média de crescimento menos intensa, no Cenário 2, projeta-se que no mesmo dia 09 de maio, o ES computará 7.880 casos da COVID-19. A diferença de casos projetados entre os dois cenários seria de 3.035 casos. Esse número pode representar o quantitativo de indivíduos preservados da doença, caso os dados observados se aproximem do Cenário 2, projeção mais otimista.

Como as projeções dos Cenários 1 e 2 foram calculadas na data de referência de 22 de abril de 2020, a apuração dos dados observados possibilita constatar que o quantitativo de casos confirmados no ES se aproxima mais do Cenário 2. Insta salientar que as últimas informações dos dados observados apresentam um gap dos dados confirmados. No decorrer das atualizações diárias dos dados

da SESA, a linha preta do gráfico (dados observados) tende se aproximar da linha azul do gráfico (Cenário 2). Cabe ressaltar que problemas nas máquinas de testes PCR do LACEN, na última semana, podem ter ocasionado represamento de testes e ter causado o descolamento das curvas de dados observados e projetados, dando uma falsa impressão de desaceleração do crescimento da curva de casos reportados.

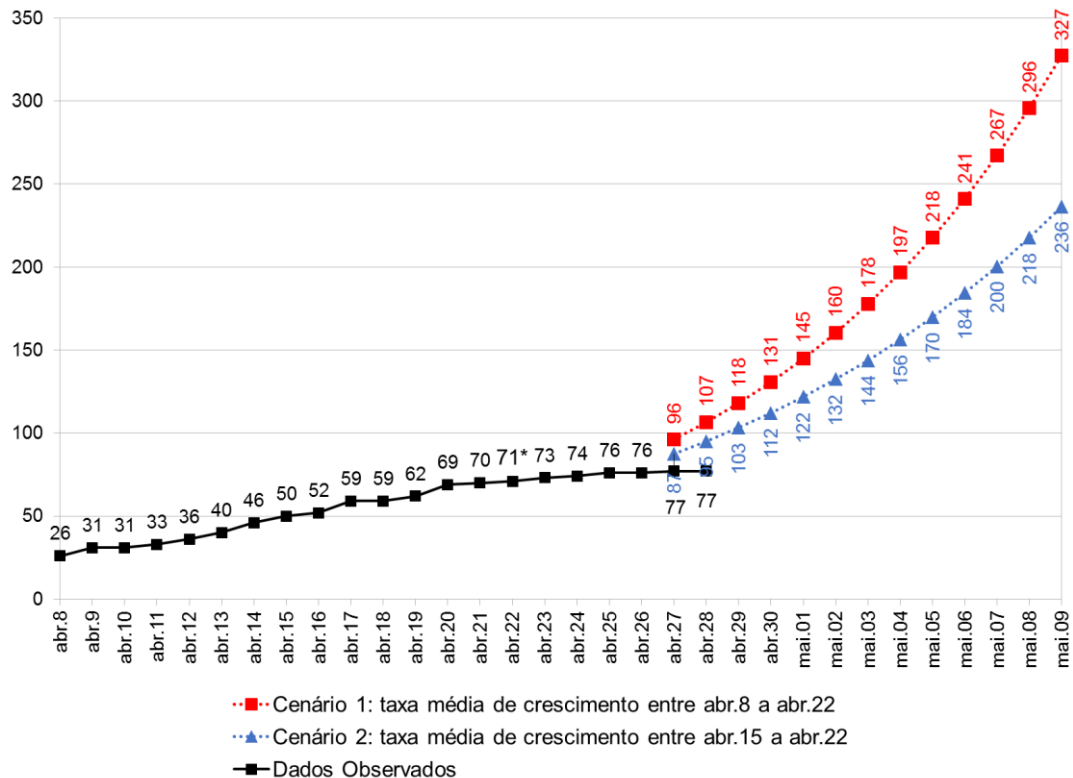
Figura 1 - Projeção dos casos confirmados de COVID-19 no Espírito Santo, no período de 08/04/2020 a 09/05/2020



Fonte: SESA; Data de referência das projeções: 22/04/2020

Por meio do gráfico da Figura 2, constata-se que na perspectiva do Cenário 1 o estado do Espírito Santo tende a registrar 327 mortes pelo novo coronavírus no dia 09 de maio de 2020. De acordo com os valores projetados para o Cenário 2, o ES computará 236 óbitos pela COVID-19 no dia 09 de maio desse ano. Os dados observados após a data de referência (22/04) sinalizam que as projeções se mostram calibradas. No dia 28/04 foram apuradas 77 mortes pela COVID-19, enquanto os Cenários 1 e 2 previam, respectivamente, 95 e 107 óbitos.

Figura 2 - Projeção dos óbitos por COVID-19 no Espírito Santo, no período de 08/04/2020 a 09/05/2020



Fonte: SESA; Data de referência das projeções: 22/04/2020

3.2. Modelos Matemáticos baseados no SIR: método de classes compartimentadas de indivíduos

Um dos métodos mais conhecidos é o método denominado SIR, nome definido a partir das iniciais das palavras *Susceptible, Infected and Rehabilitated*; e, em português: Suscetível, Infectado e Reabilitado. O método SIR considera uma população fixa dividida em três classes: Suscetível, Infectado e Recuperado. A classe Suscetível é definida por indivíduos não infectados e suscetíveis à infecção. A classe Infectado é dada por indivíduos infectados e que transmitem a doença. Por último, a classe Recuperado é dada por indivíduos que já foram infectados, estão curados, não transmitem a doença e são imunes à infecção.

O método SIR modela a dinâmica da doença a partir da evolução do número de indivíduos em cada uma das três classes ao longo do tempo, onde estes valores são alterados de acordo com equações que, de forma sucinta, descrevem a taxa de inclusão de indivíduos suscetíveis na classe infectado e de indivíduos infectados na classe recuperado.

Outros métodos surgiram a partir da extensão do método SIR. Por exemplo, o método *Susceptible, Exposed, Infected and Rehabilitated* (SEIR); e, em português Suscetíveis, Expostos, Infectados e Reabilitados. O modelo SEIR inclui uma classe de indivíduos expostos, em inglês *exposed*, que pode modelar a fase latente da doença, na qual um indivíduo infectado ainda não se tornou infeccioso. Métodos ainda mais complexos incluem outras classes de indivíduos, tais como assintomáticos e hospitalizados, as quais podem fornecer mais elementos para a análise de epidemias.

No estudo da epidemia dos quatro mais populosos municípios da Grande Vitória (Vitória, Vila Velha, Serra e Cariacica), onde ocorre uma interação social mais intensa na Região de conurbação da Grande Vitória (RMGV), nós utilizamos o método *Susceptible, Exposed, Infected, Hospitalized and Rehabilitated* (SEIHR); e, em português Suscetíveis, Expostos, Infectados, Hospitalizados e Reabilitados, o qual modela a dinâmica entre as classes de indivíduos suscetíveis, expostos, infectados, hospitalizados e recuperados [1,2,3,4,5,].

Para o modelo de equações diferenciais SEIHR, utilizado para as projeções da conurbação da Grande Vitória, os parâmetros foram definidos da seguinte forma:

- Número de dias da recuperação dos hospitalizados geral (7 dias);
- Proporção de casos críticos (19,534% - Brasil);
- Taxa de fatalidade da doença (2,81% - ES);
- Probabilidade de hospitalização por faixa etária (dados do estado de São Paulo);

- Tempo média desde o início da doença até a hospitalização (entre 2,7 e 4 dias); e
- Tempo médio desde o início da doença até ao óbito (entre 12,8 e 17,5 dias).

As variáveis consideradas no mencionado modelo foram as seguintes:

- Matriz de interação social (países europeus) por faixa etária;
- Proporção de assintomáticos no dia zero da simulação;
- Proporção de recuperados no dia zero da simulação; e
- Proporção de expostos no dia zero da simulação.

Ressalta-se que alguns parâmetros e variáveis utilizadas em nossos resultados foram obtidos com base nas referências da SESA.

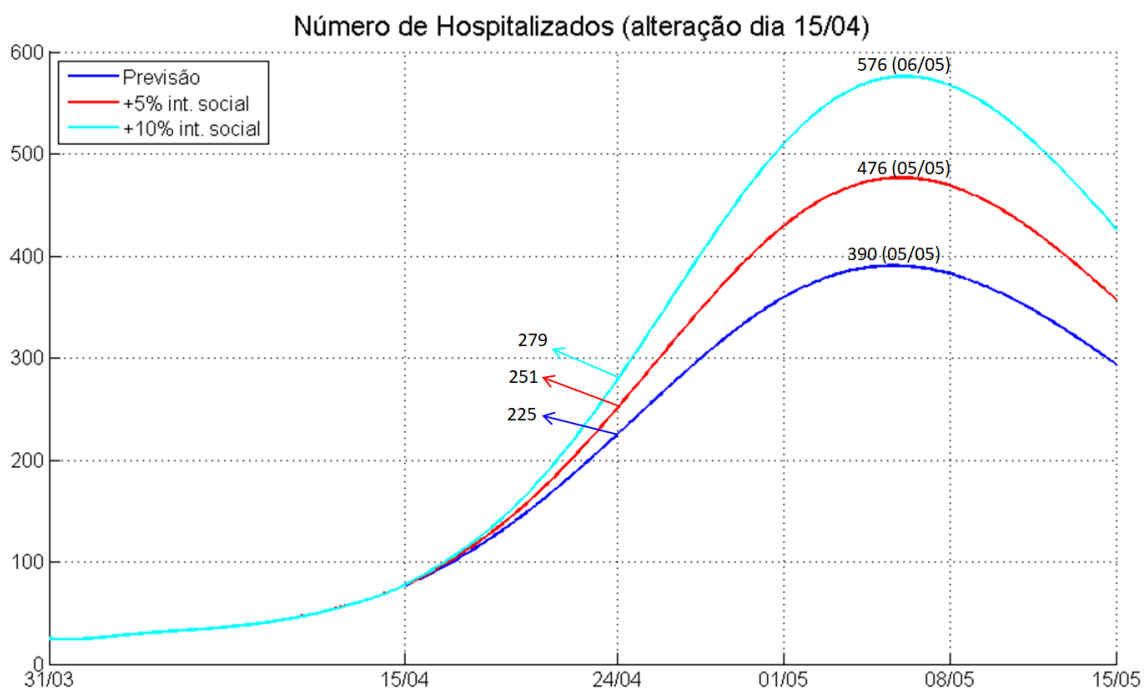
Do conjunto de variáveis apresentadas, no dia 21/04/2020 foram simulados 2880 cenários para se observar aquele que mais se assemelha aos dados de hospitalizados da conurbação da Grande Vitória entre os dias 31/03/2020 a 13/04/2020. Esse intervalo de datas foi escolhido, pois datas muito próximas do dia atual desconsideram os pacientes cujos exames ainda não deram resultados.

A **Figura 3** apresenta em azul o cenário mais adequado e sua previsão até o dia 15/05/2020, onde é possível se observar um número máximo de hospitalizados de 390 no dia mais crítico na conurbação da Grande Vitória.

Vale ressaltar que a interação social altera fortemente as proporções da pandemia e medidas adotadas pelo governo refletem diretamente nessas interações. Além disso, só é possível perceber mudanças no comportamento da pandemia após, em média, 14 dias de mudanças na interação social. Sendo assim, para tentar prever mudanças de comportamentos ocorridas semanas antes da simulação, gerou-se duas curvas com aumento na interação social de 5% e 10%, que são exibidas na **Figura 3** no contexto da conurbação da Grande Vitória.

É possível observar que apenas com 5% de aumento de interação entre as pessoas, tem-se um aumento de aproximadamente 22% no número de hospitalizados no dia crítico na Grande Vitória. Já um aumento de 10% na interação social leva um aumento de aproximadamente 48% no número de hospitalizados.

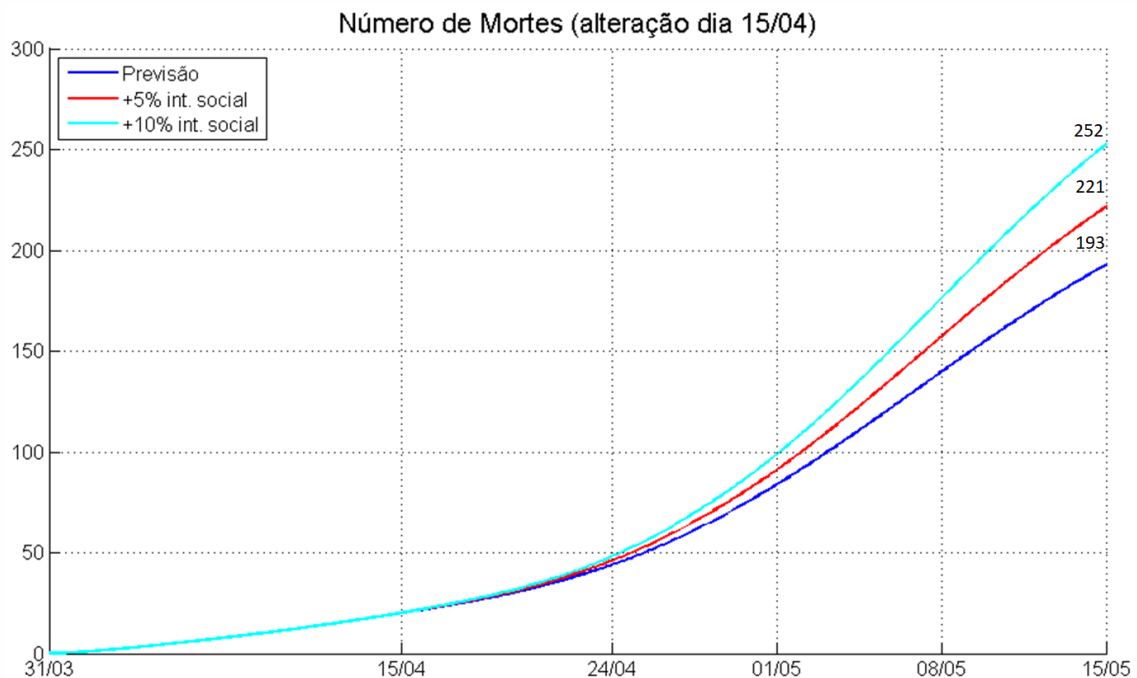
Figura 3 - Comparação da previsão do número de hospitalizados com variação da interação social na conurbação da Grande Vitória, no período de 31/03/2020 a 15/05/2020



Fonte: SESA; Data de referência das projeções: 15/04/2020

A Figura 4 apresenta a previsão do número de mortes para os mesmos cenários descritos anteriormente. Nela pode-se perceber que um aumento de 5% de interação social provoca um aumento de 14,5% no número de mortes, enquanto que um aumento de 10% na interação social provoca um aumento de 30,6% nos óbitos na conurbação da Grande Vitória.

Figura 4 - Comparação da previsão do número de mortes com variação da interação social na conurbação da Grande Vitória, no período de 31/03/2020 a 15/05/2020



Fonte: SESA; Data de referência das projeções: 15/04/2020

A **Tabela 1** apresenta uma comparação de previsões do número de mortos considerando com e sem um aumento de interação social de 10% e variando a taxa de mortalidade entre 2,81%, que foi a taxa registrada no dia 21/04/2020 no estado do Espírito Santo, e 4,2%, que foi a taxa registrada no Brasil no dia 04/04/2020, data em que as primeiras simulações foram geradas. Pode-se observar que no final de maio, a variação do número de mortes é de 31,9% considerando a taxa de mortalidade de 2,81% e de 32,16% considerando a taxa de mortalidade de 4,2%. A comparação entre o melhor e o pior cenário da tabela gera uma diferença de 97,2% no número de mortos.

Tabela 1 - Comparação de números de mortes com variação de interação social e taxa de mortalidade na conurbação da Grande Vitória, no período de 18/04/2020 a 30/05/2020

Data	Mortalidade 2,81%		Mortalidade 4,2%	
	Previsão de óbitos	Previsão de óbitos (+10% int. social)	Previsão de óbitos	Previsão de óbitos (+10% int. social)
18/04/2020	26	27	39	39
25/04/2020	48	54	72	80
02/05/2020	91	109	136	162
09/05/2020	148	188	221	281
16/05/2020	199	261	297	381
23/05/2020	232	307	346	458
30/05/2020	248	327	370	489

Fonte: SESA; Data de referência das projeções: 15/04/2020

4. Considerações finais

As previsões, até o momento, apontam para uma aceleração da curva epidêmica em maio com aumento de internações e óbitos. Importante destacar, que as modelagens matemáticas utilizam parâmetros que podem se modificar no tempo e de acordo com mudanças nas estratégias adotadas tanto na definição de casos, como mudanças não previstas nas interações sociais e isolamento social.

Destacamos ainda, que as simulações apresentadas demonstram que uma interação em torno de 10% pode impactar o número de mortes em até 97,2% no pior cenário estudado. Ainda que, se considerarmos que projeções são indicativos de tendências e que os números não devem ser tomados como absolutos e não devem ser usadas para prever o pico da epidemia. As tendências sinalizam para um cenário de ascendência nas curvas epidêmicas,

especialmente as curvas de hospitalizados e óbitos, que são menos sensíveis a alterações nos protocolos de testagem.

Por fim, nossas análises evidenciam que, no momento, o estado está controlando a epidemia e que decisões que alterem padrões de interação podem impactar a estratégia de proteção de vidas, adotadas pelo governo.

Referências

- 1 - Kermack, W. O., & McKendrick, A. G. (1927). **A contribution to the mathematical theory of epidemics**. Proceedings of the royal society of london. Series A, Containing papers of a mathematical and physical character, 115(772), 700-721.
- 2 - Li, M. Y., & Muldowney, J. S. (1995). **Global stability for the SEIR model in epidemiology**. *Mathematical biosciences*, 125(2), 155-164.
- 3 - Lant, T., Jehn, M., Christensen, C., Araz, O. M., & Fowler, J. W. (2008, December). **Simulating pandemic influenza preparedness plans for a public university: a hierarchical system dynamics approach**. In 2008 Winter Simulation Conference (pp. 1305-1313). IEEE.
- 4 - Hsu, S. B., & Hsieh, Y. H. (2008). **On the role of asymptomatic infection in transmission dynamics of infectious diseases**. *Bulletin of Mathematical Biology*, 70(1), 134-155.
- 5 - Yang, K. H., & Hsu, J. Y. (2012). **A new SIR-based model for influenza epidemic**. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 67(4), 374-379.
- 6 - ALMEIDA, João Flávio; CONCEIÇÃO, Samuel; PINTO, Luiz Ricardo; MAGALHÃES, Virginia; NASCIMENTO, Ingrid; COSTA, Marcene; FARIA, Horácio; CAMPOS, Francisco. **Previsão de disponibilidade de leitos nos estados brasileiro e Distrito Federal em função da pandemia de COVID-19**. Belo Horizonte: LABDEC/UFMG. Disponível em: <www.labdec.nescon.medicina.ufmg.br/>. Acessado em: 27/04/2020.

7- Array Advisors. Disponível em: <www.info.array-architects.com/en-us/covid-19>. Acessado em: 27/04/2020.

8 - IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da População.** Disponível em: <www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>. Acessado em: 27/04/2020.

9 - OMS, Organização Mundial da Saúde. **Coronavirus disease (COVID-2019) situation reports.** Disponível em: <www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports>. Acessado em: 27/04/2020.

10 - SESA, Secretaria de Saúde do Estado do Espírito Santo. **Painel COVID-19 do Estado do Espírito Santo.** Disponível em: <www.coronavirus.es.gov.br/painel-covid-19-es>. Acessado em: 27/04/2020.