

Núcleo Interinstitucional de Estudos Epidemiológicos (NIEE)

Nota Técnica NIEE - nº 04/2020

**Metodologia utilizada para o cálculo do  
número básico de reprodução do SARS-CoV-2  
no estado do Espírito Santo**

Dra. Ethel Maciel (UFES)

Dr. Etereldes Gonçalves Júnior (UFES)

Dr. Fabiano Petronetto do Carmo (UFES)

Ms. Hélio Gomes Filho (UFES)

Ms. Antônio Rocha (IJSN)

Ms. Gustavo Ribeiro (IJSN)

Dr. Pablo Jabor (IJSN)

Dr. Pablo Lira (IJSN)



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

## 1. Introdução

Nesta Nota Técnica, apresentamos o modelo matemático e metodologia utilizados para o cálculo do Número Básico de Reprodução do SARS-CoV-2 no estado do Espírito Santo, a partir dos resultados dos inquéritos sorológicos realizados no estado. Número Básico de Reprodução de um patógeno,  $R_0$ , determina a velocidade de transmissão em condições naturais numa população, ou seja, sem medidas de mitigação. Com medidas de mitigação, o potencial de propagação da doença é alterado no tempo, neste caso usamos a notação  $R_t=R(t)$ . Basicamente,  $R_t$  determina a velocidade de propagação da doença no instante  $t$ . Nesta nota, apresentamos uma estimativa para o  $R_t$  no estado, e a partir deste valor, projetamos os números de infectados e óbitos.

## 2. Modelo matemático e metodologia de tratamento dos dados

O modelo matemático utilizado para simulação da epidemia e estimativa do  $R_t$  é o método SIR (*Susctible, Infecious and Recovered*), com uma adaptação que propomos para o cálculo do número de óbitos

$$\begin{aligned} \Delta I &= \beta I \frac{S}{N} \\ \frac{dS}{dt} &= -\Delta I \\ \frac{dI}{dt} &= \Delta I - \gamma I - \theta \Delta I(t - \tau) \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I \\ \frac{dD}{dt} &= \theta \Delta I(t - \tau) \end{aligned}$$

onde  $S$ ,  $I$ ,  $R$  e  $D$  são os números de suscetíveis, infectados, recuperados e óbitos, respectivamente;  $N = S + I + R + D$  é o tamanho da população;  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\theta$  são taxas de infecção, recuperação e letalidade; e  $\tau$  é o tempo médio até o óbito. Todas as variáveis, exceto quando indicado, são calculadas no

tempo  $t$ . Nós utilizamos a variável  $\Delta I$  para guardar o número de novos infectados no tempo  $t$ . Tal variável será utilizada no cálculo dos óbitos. Por último, consideramos  $\gamma$ ,  $\theta$  e  $\tau$  constantes.

A taxa de reprodução do vírus,  $R_t$ , é dada pela equação

$$R_t = \frac{\beta}{\gamma}$$

e pode ser substituída diretamente no sistema de equações acima, possibilitando a modelagem da epidemia utilizando diretamente essa taxa de reprodução.

Para solução do método SIR, utilizou-se o Método de Euler de solução numérica de equações diferenciais.

## 2.1. Entrada de dados no modelo

Para encontrar a solução por meio do Método de Euler é necessário conhecer o valor das variáveis  $S$ ,  $I$  e  $R$  no instante de tempo inicial e, além disso, conhecer o número de casos,  $\Delta I$ , nos  $\tau$  dias anteriores ao instante de tempo inicial. Caso o processo seja realizado a partir do primeiro dia da epidemia, as variáveis podem ser consideradas nulas, exceto  $I$  e  $S$ . Neste caso,  $S$  é a população inteira. No entanto, ao se modelar a epidemia a partir de um momento mais avançado no tempo, é necessário definir as variáveis

$$S(0) = N - \hat{I}_{ac}$$

$$I(0) = \hat{I}$$

$$D(0) = \hat{D}_{ac}$$

$$R(0) = \hat{I}_{ac} - \hat{I} - \hat{D}_{ac}$$

onde  $\hat{I}_{ac}$  é o número de infectados acumulados,  $\hat{I}$  é o número de indivíduos infecciosos (infectados ativos) e  $\hat{D}_{ac}$  é o número de óbitos acumulado, todos no instante de tempo inicial da modelagem.

Para estimar os valores de  $R_t$ , pode-se, ao invés de calcular  $S$ ,  $D$ ,  $R$  e  $\Delta I$ , utilizar os valores reais, calculados como mostrado acima, e calcular apenas  $I$ , variando os valores de  $R_t$ , através de uma rotina de otimização, para certos intervalos de tempo até se encontrar  $I$  o mais próximo de  $\hat{I}$  possível<sup>1</sup>, de acordo com limites estabelecidos.

## 2.2. Tratamento dos dados

Os dados utilizados apresentam algumas notificações incompletas devido à falta de preenchimento de campos, tempo excessivo até o resultado de exames e devido à demora na realização dos registros. Com isso, alguns registros apresentam inexatidão de datas ou se encontram incompletos, mesmo após cura ou óbito.

Considerou-se a data de notificação como a data em que o indivíduo se tornou infectado e a de data de encerramento do processo como a data em que o indivíduo se tornou curado ou como data de óbito. Através dessas datas, é possível calcular  $\hat{I}$ ,  $\hat{I}_{ac}$  e  $\hat{D}_{ac}$ .

Para tentar sanar problemas com alguns registros em relação à data de encerramento incompleta, realizou-se as seguintes considerações: se a data de encerramento existe, considera-se ela como fim do período infeccioso. Se não existe, verifica-se se o indivíduo veio a óbito ou está classificado como curado. Em caso afirmativo, verifica-se se o indivíduo foi hospitalizado e se há registro

---

<sup>1</sup> Devido a complexidade no fluxo de registro de dados, as informações quanto a infectados acumulados são mais precisas do que quanto o número de indivíduos infecciosos, e por esse motivo a rotina de otimização, na verdade, compara o número acumulado.

da data de alta. Caso a data de alta exista, considera-se esta como a data de encerramento. Caso não haja data de alta ou não tenha sido hospitalizado, considera-se a data de encerramento igual a data de notificação somada de quatorze dias.

### 2.3. Inquérito Sorológico

Para que os resultados do inquérito sorológico fossem considerados na modelagem, calculou-se a constante de “subnotificação” que multiplicada pelo número de infectados acumulados, apresentado pelos dados oficiais, no dia do encerramento do inquérito faz com que seja igual ao número de infectados estimado pelo inquérito. Dessa forma, o número de infectados acumulados em todos os outros dias é multiplicado por essa constante, supondo que esta proporção se manteve constante ao longo da epidemia. Isso foi feito para o primeiro inquérito sorológico.

A partir do segundo inquérito sorológico, como não podemos usar os dados do Painel Covid-19 ES devido ao delay no registro de informações nos dias mais recentes, não multiplicamos todos os dados por essa constante de “subnotificação”. Ao invés disso, buscou-se o valor de  $R_t$  capaz de aumentar o número de infectados apresentado no primeiro inquérito até o número atual, considerando-se o intervalo de tempo transcorrido de 15/05/2020 a 29/05/2020.

### 2.4. Parâmetros utilizados

Através de análise dos dados estimou-se valores médios para os parâmetros  $\gamma$  e  $\tau$  constantes. O tempo médio de recuperação considerado foi de 14 dias e o tempo médio até a morte, 12 dias. O parâmetro  $\beta$  não é definido diretamente, pois é considerado através do valor de  $R_t$ . O valor da taxa de letalidade média da doença,  $\theta$ , é ajustada a cada atualização dos dados considerada, de forma a aproximar a curva de óbitos real da curva calculada pelo modelo SIR modificado.

Importante ressaltar que a taxa de letalidade pode variar a cada fase do inquérito realizada.

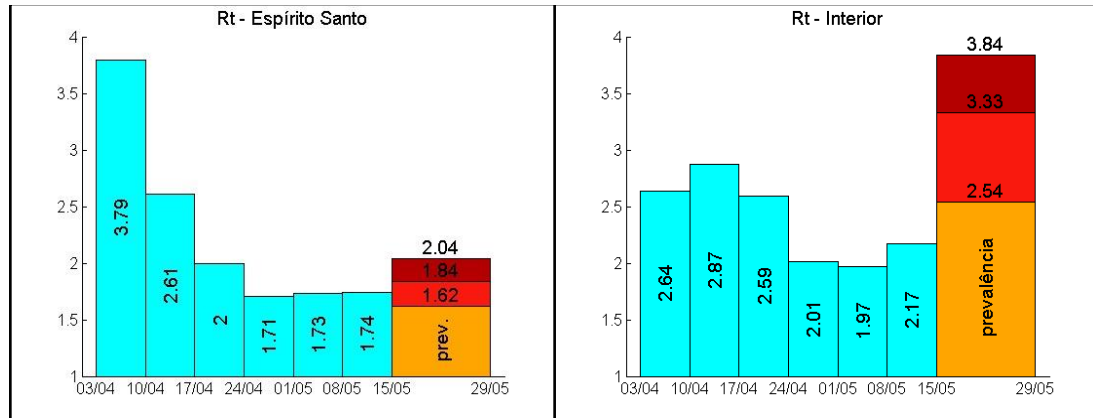
### 3. Análise de Resultados

A Figura 1 ilustra taxas de transmissão semanal da COVID-19 obtidas. Na esquerda a taxa de transmissão no estado do Espírito Santo e, na direita, a taxa no interior, aqui considerado como o estado menos os municípios de Cariacica, Serra, Vila Velha e Vitória. As últimas duas semanas, período de 15 a 29 de maio, considera-se apenas um único  $R_t$  para o período de 14 dias e as cores representam os limites na margem de erro do resultado do último inquérito sorológico. Os gráficos mostram que os números de reprodução do SARS-CoV-2 no ES estão muito altos, em especial no interior do estado.

O  $R_t$  do estado do Espírito Santo caiu de 3,79 na semana do dia 03/04 até 1,71 na semana do dia 24/04. Nas duas primeiras semanas de maio, o  $R_t$  estadual foi de 1,73 e 1,74, respectivamente, mostrando que houve pouca variação na primeira quinzena. Na semana do dia 15/05, o  $R_t$  calculado a partir das informações dos inquéritos sorológicos foi de 1,62 no limite inferior, 1,84 na média e 2,04 no limite superior.

O  $R_t$  do interior do ES reduziu de 2,59 na semana do dia 17/04 para 2,01 na semana do dia 24/04. Posteriormente, na primeira semana de maio, o  $R_t$  diminuiu para 1,97. Na semana seguinte o  $R_t$  aumentou para 2,17. Na semana do dia 15/05, o  $R_t$  calculado com base nos dados do inquérito sorológico, foi de 2,54 no limite inferior, 3,33 na média e 3,84 no limite superior. Cabe ressaltar que as medidas de mitigação/flexibilização não fazem efeito imediato no valor do  $R_t$ .

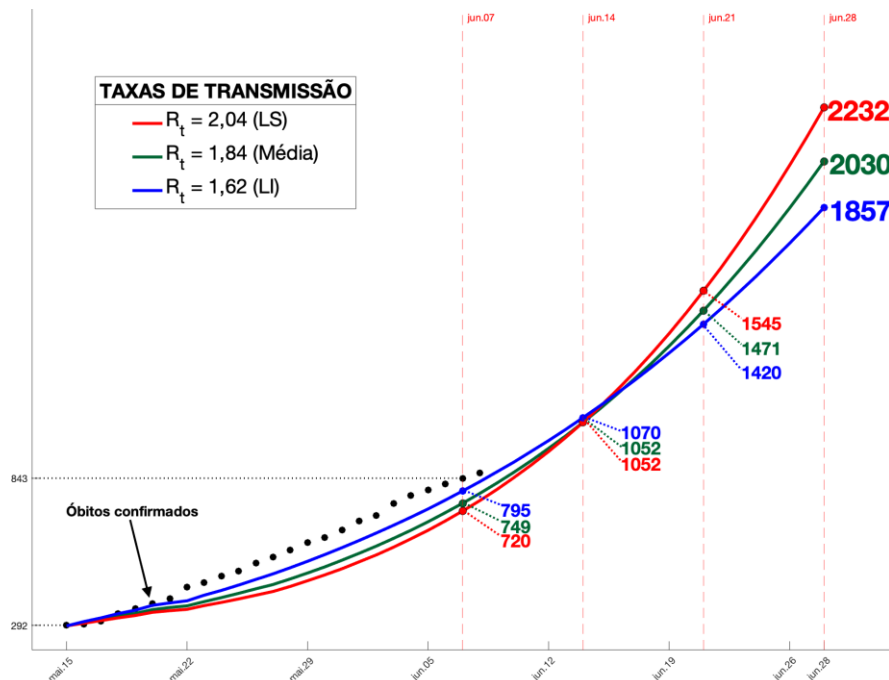
Figura 1 – Taxas de Transmissão ( $R_t$ ) da COVID, ES e Interior



Elaboração: Núcleo Interinstitucional de Estudos Epidemiológicos.

Na Figura 2, apresentamos estimativas de óbitos acumulados fixando  $R_t$  como valor estimado no período imediatamente anterior. Este gráfico mostra que podemos preservar muitas vidas capixabas se conseguirmos diminuir a velocidade do contágio, ou seja, diminuir o valor de  $R_t$ . Outra coisa importante é que o pico da epidemia no ES não foi suplantado, uma vez que a prevalência no estado está em torno de 5,14% e aumentou aproximadamente 140% no período de 14 dias entre um inquérito e outro, ou seja, estamos em ascensão.

Figura 2 – Número de óbitos de COVID-19 no estado do Espírito Santo



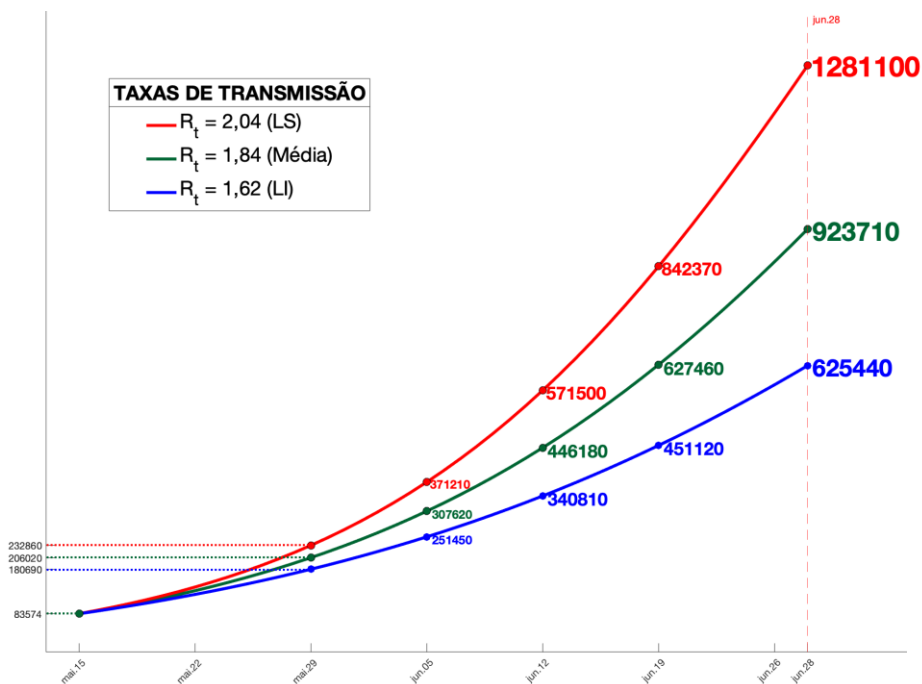
Elaboração: Núcleo Interinstitucional de Estudos Epidemiológicos.

Na Figura 3, apresentamos estimativas de infectados acumulados fixando  $R_t$  como valor estimado no período imediatamente anterior. Importante observar que não podemos comparar o resultado obtido com o observado, pois temos a prevalência observada apenas em dois momentos 15/05/2020 e 29/05/2020, que foram utilizados para ajustar as curvas. Outra observação relevante é que todos os valores deste gráfico são projetados a partir do resultado dos inquéritos sorológicos.

Destacamos ainda que uma pequena variação na velocidade de contágio implica em grande diferença no número de infectados e por consequência no número de óbitos.



Figura 3 – Projeções para o número de casos de COVID-19 no estado do Espírito Santo



Elaboração: Núcleo Interinstitucional de Estudos Epidemiológicos.

#### 4. Considerações Finais

Ressaltamos que o  $R_t$  calculado nesta Nota Técnica foi estimado a partir do inquérito sorológico finalizado no dia 29/05/2020. O aumento da interação social promovida pelo aumento de circulação de pessoas tende impactar a curva epidemiológica. A alta taxa de contágio ( $R_t$ ) causa uma elevação expressiva do número de casos e, conseqüentemente, de óbitos. Principalmente no interior do estado, tendo em vista que a maior parte destas cidades não conta com serviços hospitalares locais. Neste sentido, os resultados demonstram que se torna necessária a adoção de medidas de mitigação e uma maior conscientização por parte da população.

Mesmo que se considere o  $R_t$  de 1,84 no Espírito Santo, o número de mortes esperadas em um período de um mês é excessiva e exige que medidas efetivas possam ser implementadas, tais como isolamento social e funcionamento apenas de serviços essenciais, para que haja impacto na velocidade de transmissão da doença desacelerando o crescimento do número de casos.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) sistematizou os parâmetros para orientar o processo de saída do isolamento social e afrouxamento de medidas de distanciamento. Os critérios estão agrupados em três dimensões, que devem ser avaliadas para responder três perguntas centrais: 1) a pandemia está ou não controlada? 2) o sistema de saúde tem ou não, capacidades para enfrentar um eventual surto de casos COVID-19; 3) o sistema de vigilância em saúde tem ou não, capacidade para detectar os casos novos (incluindo assintomáticos) e membros da comunidade não-infectados, e realizar o manejo por meio das medidas de distanciamento social e quarentena, bem como prevenir novos surtos de casos? Estas três dimensões de avaliação sistematizadas pela OMS foram avaliadas à luz dos dados no Espírito Santo:

1. Para que uma pandemia seja considerada controlada, o indicador de velocidade de Reprodução ou de transmissão, o  $R_t$ , precisa estar abaixo de 1 por pelo menos duas semanas. No momento o  $R_t$  está em 1,84 no ES.
2. O indicador chave é se o número de casos que requerem hospitalização é menor do que a capacidade máxima de leitos hospitalares e de UTIs do Sistema de Saúde (ou seja, que o Sistema de Saúde pode enfrentar novas hospitalizações sem ficar sobrecarregado e manter, ao mesmo tempo, a prestação de serviços essenciais). Ao se considerar a projeção dos números de casos infectados e número de leitos disponíveis era possível inferir que até meados de junho poderíamos não ter leitos de UTI suficientes para todos os acometidos pela forma mais grave da COVID 19. Todavia, observa-se o empenho contínuo do estado do Espírito Santo, nos últimos meses, para ampliar a capacidade de atendimento do

sistema de saúde, o que possibilitou uma taxa de ocupação de 82,57% no dia 16 de junho de 2020. Complementarmente a essa estratégia é muito importante uma maior conscientização por parte da sociedade para aumentar o isolamento social.

3. Com a entrada da pandemia em comunidades vulneráveis e com as análises do inquérito epidemiológico demonstrando que a maioria das pessoas vive em casas com 5 ou mais residentes, a fragilidade das medidas de isolamento social já tem sido demonstrada.

Como pode ser observado na página do Ministério da Saúde (<https://coronavirus.saude.gov.br/medidas-nao-farmacologicas>) sobre as ações de medidas não farmacológicas durante a pandemia da COVID-19, o bloqueio total ou a adoção de medidas de risco extremo é o nível mais alto de segurança e pode ser necessário em situação de grave ameaça ao sistema de saúde. Ele “É eficaz para redução da curva de casos e para dar tempo para reorganização do sistema em situação de aceleração descontrolada de casos e óbitos. Os países que implementaram, conseguiram sair mais rápido do momento mais crítico.”

Diante do exposto, constata-se que a atual taxa de transmissão (1,84) da COVID-19 se mostra elevada nessa fase em que tem-se muitos casos ativos. Medidas restritivas devem ser implementadas para se buscar aumentar o isolamento social. Além das ações implementadas pelos poderes públicos nas escalas estadual e municipal, também torna-se fundamental por parte da sociedade uma maior conscientização e respeito ao isolamento social, suas regras, e aos protocolos de mitigação da disseminação da doença. O desafio da pandemia demanda uma ação conjunta norteadas a partir da responsabilidade compartilhada desde as instâncias institucionais públicas, do setor produtivo e organizações mais amplas até os níveis individuais.

## Referências

- 1 - Kermack, W. O., e 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 - 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](http://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados)>. Acessado em: 27/04/2020.
- 3 - OMS, Organização Mundial da Saúde. **Coronavirus disease (COVID-2019) situation reports**. Disponível em (Acessado em 26/05/2020): <[www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports](http://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports)>.
- 4 - Ethel Maciel, Etereldes Gonçalves Júnior, Fabiano Petronetto do Carmo, Hélio Gomes Filho, Gustavo Ribeiro, Pablo Lira. **Análise da propagação da pandemia de COVID-19 no estado do Espírito Santo e na conurbação da Grande Vitória a partir de modelos matemáticos**. Disponível em: <[www.ijsn.es.gov.br](http://www.ijsn.es.gov.br)>. Acessado em: 17/05/2020.
- 5- WHO, World Health Organization. **Public health criteria to adjust public health and social measures in the context of COVID-19**. Disponível em (Acessado em 26/05/2020): <[www.who.int/publications-detail/public-health-criteria-to-adjust-publichealth-and-social-measures-in-the-context-of-COVID-19](http://www.who.int/publications-detail/public-health-criteria-to-adjust-publichealth-and-social-measures-in-the-context-of-COVID-19)>