

COVID-19: APLICAÇÃO DA INTEGRAÇÃO NUMÉRICA NA ANÁLISE DO ISOLAMENTO SOCIAL EM BOM JESUS DA LAPA

Adilson Aguiar Soares¹ – adilsonaguiarsoares1@gmail.com

Daniel Silva de Souza² – danielld17@gmail.com

Fábio Brasil Foly³ – brasil.fabio@gmail.com

Vanessa Cristina Pereira Miranda⁴ – nessapereira2405@gmail.com

Leandro Brito Santos⁵ – lbsantos@ufob.edu.br

William de Souza Santos⁶ - William.souza@ifpb.edu.br

^{1,2,3,4 e 5} Universidade Federal do Oeste da Bahia – Bom Jesus da Lapa, BA, Brazil

⁶ Instituto Federal da Paraíba – Cajazeiras, PB, Brazil

Resumo. A covid-19, doença infecciosa que iniciou na China (Wuhan) em 2019 obteve um grande potencial epidemiológico e se espalhou pelo mundo inteiro. Frente a isso, vários países do mundo tomaram medidas restritivas a fim de conter o avanço do vírus e minimizar o número de mortes. Nesse contexto, o isolamento social foi utilizado como forma de intervir na propagação do vírus. Portanto, o objetivo deste artigo é realizar um estudo aplicando métodos numéricos e verificar a influência do isolamento social no combate à pandemia. Como metodologia foi aplicado o método dos mínimos quadrados para um ajuste exponencial da curva de contaminação e o método do Trapézio para calcular a quantidade de casos na cidade de Bom Jesus da Lapa, a fim de se aproximar o máximo da realidade. Como resultado, foi possível comprovar a eficácia do isolamento social, verificando que ele é uma ferramenta essencial no combate ao crescimento exponencial do vírus.

Palavras-chave: COVID-19; Isolamento Social; Método do Trapézio; Método Numérico.

1. INTRODUÇÃO

A SARS-COV-2 (Coronavírus 2 da síndrome respiratória aguda grave), conhecida como Coronavírus ou Covid-19 é uma doença que afeta o sistema respiratório do ser humano e que se caracteriza pela facilidade de transmissão, isso por que, o meio de transmissão é o ar, onde “uma pessoa infectada transmite o vírus através de pequenas partículas infecciosas que são expiradas da boca, se propagando no ar” (GIRARDI, J.M. et al., 2021). Essas partículas podem ser inaladas por pessoas que se encontra em um raio próximo a pessoa infectada, como também pode ocorrer por contato, onde essas partículas infecciosas pousam em objetos e posteriormente outra pessoa vem a toca no objeto e acaba se contaminando. A sua alta capacidade de transmissão resultou-se em surtos da doença em diversos países chegando ao ponto de ser caracterizado como uma pandemia.

Visto que “o período médio de incubação de uma pessoa que se contaminou com o vírus é de 5 a 14 dias” (GIRARDI, J.M. et al., 2021) e que o número de casos estava aumentando exponencialmente, a secretaria de Administração, Governo e Planejamento do município de Bom Jesus da Lapa-Ba publicou o decreto N°.086, no dia 03 de junho de 2020 referente ao isolamento social no município no intuito de haver o achatamento na curva do número de

casos. Entretanto houve questionamento da sociedade sobre se era necessária tamanha rigorosidade de isolamento.

Diante disto, para estudar os efeitos dos isolamentos, ressaltamos a “importância de modelos matemáticos, que são ferramentas utilizada para compreensão de fenômenos reais” (SOUZA, T. et al., 2020), assim como, projeções diante de certas circunstâncias que forem levadas em considerações.

Assim, com intuito de investigar a importância do isolamento social, o objetivo deste trabalho é estabelecer uma projeção do número de casos sem o isolamento social, a partir dos dados sobre os casos em Bom Jesus da Lapa-Ba e fazer uma comparação com o número de casos reais referente ao primeiro período de isolamento, assim como, fazer uma projeção no momento atual em que a cidade foi liberada para evento turístico religiosos. Para obter tais resultados, foi aplicado o modelo de ajuste exponencial, os métodos mínimos quadrados, método de Gauss-Seidel para encontrar a função exponencial e o método dos trapézios para determinar as projeções do total do número de casos.

O isolamento social é um ato no qual o ser humano deixa de praticar uma interação com a sociedade, seja na prática de trabalho assim como entretenimento em geral. Normalmente, esse ato pode ocorrer de duas formas, voluntária onde o ser humano deixa de participar do convívio social por conta própria e/ou por motivos pessoais, ou involuntário, no qual o indivíduo pratica o ato por motivos maiores como pandemia ou eventos de gravidade maior. Geralmente, o isolamento social involuntário é determinado pelo órgão governamental responsável pela gestão da sociedade. Esse foi o procedimento que ocorreu na cidade de Bom Jesus da Lapa-Ba.

Com o aumento significativo do número de casos na cidade, a prefeitura foi obrigada a recorrer a essa alternativa para que os números de casos diminuíssem e, como consequência, achatasse a curva de infecção (achatamento de curva é prolongar o número de casos de modo que os hospitais não ficassem com superlotação) como mostra a figura 1.

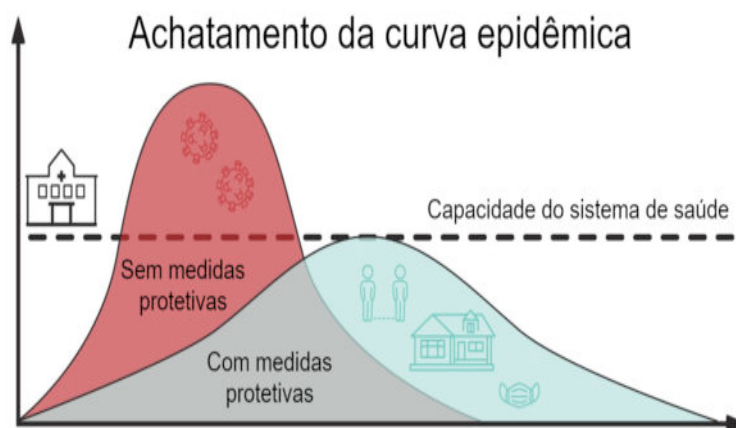


Figura 1 Achatamento de Curva. Fonte: Infoescola¹

Essa preocupação surge devido a cidade não possuir estrutura para comportar uma demanda grande de pacientes em seus hospitais. Para isso, foi determinado além do isolamento, o fechamento de todos os comércios com exceção daqueles que prestam serviços essenciais como farmácias, mercados e entregas delivery, bem como o uso obrigatório de máscaras nas vias públicas e a proibição de aglomerações.

¹ <https://www.infoescola.com/saude/achatamento-da-curva-de-contaminacao/>

Para analisar o efeito do primeiro isolamento social e fazer as projeções para verificar se a decisão tomada diante da primeira e da segunda onda de infecção foi a correta, serão apresentadas nas próximas seções análises matemáticas para dar fundamentação ao questionamento da adesão e não adesão do isolamento social.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A COVID-19 trouxe mudanças drásticas na vida da população mundial. Desde que foi descoberta, várias projeções futuras, estimativas do número de casos infectados e de picos da pandemia foram criados. É necessário dizer que os modelos matemáticos auxiliam as entidades governamentais a prever os próximos cenários e a verificar se há necessidade de uma intervenção mais rígida ou não. Nesse contexto, analisando o número de infectados no município de Bom Jesus da Lapa, foi possível simular o cenário futuro da cidade se não houvesse isolamento social.

A curva característica que modela a situação tem aspecto exponencial devido ser um fenômeno que se multiplica rapidamente ao longo do tempo. Embora nem sempre seja possível determinar com toda precisão os resultados, devemos lembrar que o que ocorre na vida real depende de vários fatores e, a modelagem matemática, tenta reproduzir esses valores o mais próximo da realidade. Nesse artigo será necessário fazer uso, portanto, do modelo do Ajuste Exponencial, do Método dos Mínimos Quadrados, do Método de Gauss-Seidel e do Método do Trapézio a fim de prever futuros cenários epidêmicos no município de Bom Jesus da Lapa.

3.2 Ajuste Exponencial, Método dos Mínimos Quadrados

A curva crescente de habitantes infectados não tem característica linear. Como forma de resolver essa situação, aplicaremos o ajuste exponencial e encontraremos a equação que modela a taxa de crescimento. Portanto, a função pode ser descrita da seguinte forma (RUGGIERO, 1997):

$$y = be^{ax} \quad (1)$$

Para determinar os parâmetros a e b da função, aplicaremos o Método dos Mínimos Quadrados que apresenta alto grau de precisão na determinação de parâmetros de equações e na resolução de sistemas lineares, como verificado abaixo:

$$\begin{cases} Bm + A \sum_{i=1}^m x = \sum_{i=1}^m \ln(y) \\ B \sum_{i=1}^m x + A \sum_{i=1}^m x^2 = \sum_{i=1}^m x \cdot \ln(y) \end{cases} \quad (2)$$

Partindo desses parâmetros, aplicamos o Método de Gauss-Seidel para determinar a e b devido sua praticidade em resolver sistemas lineares e ser um método iterativo mais rápido, necessitando de poucas interações para ter convergência.

3.3 Método de Gauss-Seidel

O método de Gauss-Seidel é um método iterativo que têm como objetivo aproximar soluções de sistemas de equações lineares. Esse método converte um sistema linear $Ax = b$ em um sistema equivalente $x = Cx + d$, através da separação de diagonal, (RUGGIERO, 1997).

Esse método consiste em, a partir de uma aproximação inicial x^0 calcular $x^1, x^2, \dots, x^k, \dots$ o processo iterativo se dá a partir das equações abaixo:

$$\begin{cases} X_1^{k+1} = \frac{1}{a_{11}} (b_1 - a_{12} \cdot X_2^k - a_{13} \cdot X_3^k - \dots - a_{1,n-1} \cdot X_{n-1}^k - a_{1n} \cdot X_n^k) \\ X_2^{k+1} = \frac{1}{a_{22}} (b_2 - a_{21} \cdot X_1^{k+1} - a_{23} \cdot X_3^k - \dots - a_{2,n-1} \cdot X_{n-1}^k - a_{2n} \cdot X_n^k) \\ X_3^{k+1} = \frac{1}{a_{33}} (b_3 - a_{31} \cdot X_1^{k+1} - a_{32} \cdot X_2^{k+1} - \dots - a_{3,n-1} \cdot X_{n-1}^k - a_{3n} \cdot X_n^k) \\ X_n^{k+1} = \frac{1}{a_{nn}} (b_n - a_{n1} \cdot X_1^{k+1} - a_{n2} \cdot X_2^{k+1} - \dots - a_{n,n-1} \cdot X_{n-1}^{k+1}) \end{cases} \quad (3)$$

3.4 Método do Trapézio

Sabemos do Cálculo Diferencial e Integral que dada uma função $f(x)$ contínua em um intervalo $[a,b]$, existe uma $F(x)$ primitiva nesse mesmo intervalo, tal que $F'(x) = f(x)$. Se fizermos a integral de $f(x)$ e aplicarmos seus intervalos, encontramos a função primitiva (RUGGIERO, 1997).

$$F(x) = \int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a) \quad (4)$$

Entretanto, nem sempre conseguimos determinar a função primitiva com facilidade. Às vezes, conhecemos apenas alguns pontos do intervalo, mas não sabemos a expressão analítica de $f(x)$, tornando inviável o cálculo da equação 4. Dessa forma, é necessário recorrer aos métodos numéricos.

Basicamente, a integração numérica consiste em substituir a função $f(x)$ por um polinômio que se aproxime razoavelmente no intervalo $[a,b]$, resolvendo o problema por integração polinomial.

A Regra do Trapézio é uma das mais simples dos métodos numéricos. Ela consiste em aproximar a função $f(x)$ a um polinômio de grau 1. Ao realizar essa aproximação, dividimos a área abaixo da curva em n -repartições (n -áreas do trapézio) a fim de ganhar maior precisão na integração, visto que esse modelo não é tão preciso quanto outros métodos numéricos.

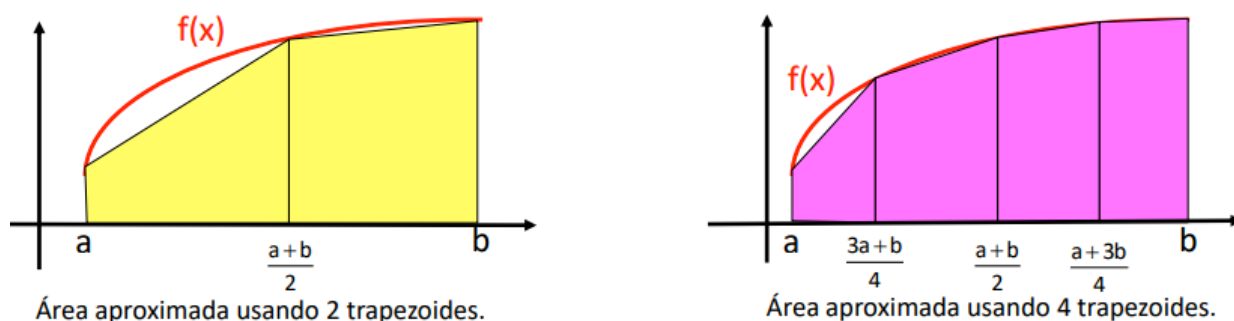


Figura 2 - Aproximação da regra do Trapézio

A figura 2 mostra como funciona o método. Primeiro, dividimos a área abaixo da curva em vários trapézios e depois somamos essas áreas. Quanto maior o número de subdivisões,

mais próximo da área real chegamos. Além disso, é indicado realizar partições igualmente espaçadas a fim de facilitar a aplicação do método.

De modo geral, a fórmula para obtenção da integral é:

$$T = \frac{h}{2} (y_0 + 2y_1 + 2y_2 + \dots + y_n) \quad (5)$$

h: Largura do Trapézio

n: número de intervalos

O “h” geralmente é dado em função de “n”:

$$h = \frac{(b-a)}{n} \quad (6)$$

Assim, para garantir a precisão do método, fazemos n tender ao infinito e h tender a zero.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 e a Figura 3 indicam o período estudado que se inicia no primeiro caso registrado no município até os 45 primeiros dias. Sendo que os 15 primeiros dias não houve isolamento de fato, após esse período o prefeito decretou *lockdown*, fechando todos os estabelecimentos não-essenciais.

Tabela 1 – Funções Exponenciais

Casos confirmados	
Período	Função
20/05/2020 a 03/06/2020	$y = 0,7888e^{0,2024x}$
20/05/2020 a 03/07/2020	$y = 2,5183e^{0,0865x}$

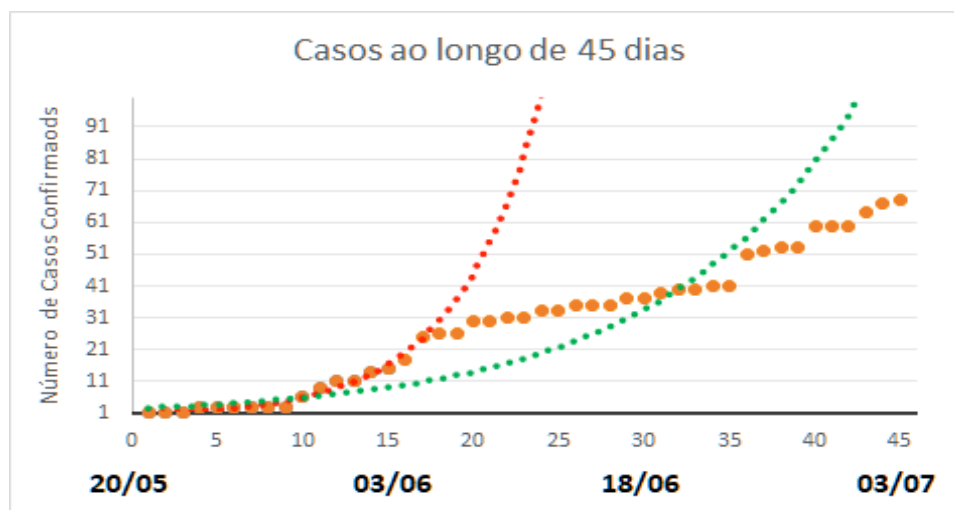


Figura 3 – Gráfico

As funções da Tabela 1 foram obtidas através do Ajuste Exponencial, Método dos Mínimos Quadrados e aplicação do Método de Gauss-Seidel. Observe que houve uma projeção exponencial. A primeira função do período 20/05/2020 até 03/06/2020 evidencia o comportamento dos números de casos sem o isolamento. Além disso, pode ser melhor visualizada, na Figura 3 pela cor vermelha. Por conseguinte, a segunda função da Tabela 1 que caracteriza o período 20/05/2020 a 03/07/2020 mostra a projeção do número de casos em

um faixa temporal de 45 dias. Ela também está sendo representada na Figura 3 pela cor verde. Os pontos em laranja representam o número de casos confirmados durante o período estudado.

Analisando a curva vermelha da Figura 3, observa-se que para os 15 primeiros dias, o número de casos sem isolamento social tem um comportamento exponencial. Entretanto, embora a curva em verde mostre um crescimento também exponencial, observa-se que o expoente da função diminuiu evidenciando uma queda na taxa de contaminação e fazendo uma análise mais profunda, a partir da Figura 4, temos que:

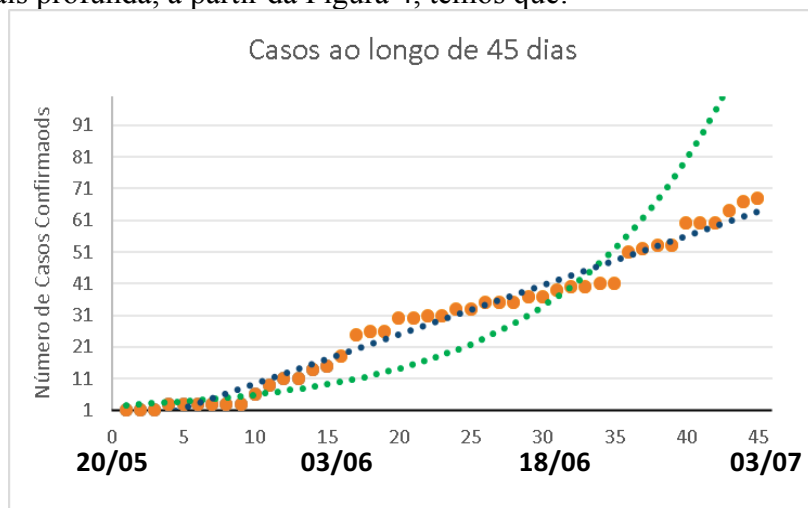


Figura 4 – Gráfico

Tabela 2 – Funções Exponencial e Linear

Casos confirmados	
Período	Função
20/05/2020 a 03/07/2020	$y = 2,5183e^{0,0865x}$
20/05/2020 a 03/07/2020	$y = 1,5491x - 5,897$

A partir do 16º dia o município começou o isolamento de fato e isso ocasionou em um achatamento da curva. Devido esse fator, o comportamento humano permitiu que o crescimento do número de casos crescesse de forma linear e não de forma exponencial como na figura 3. Por esse motivo, a função que melhor descreve esse período é linear (em azul) e está representada na Tabela 2. O gráfico abaixo na Figura 5, representa essa conclusão.

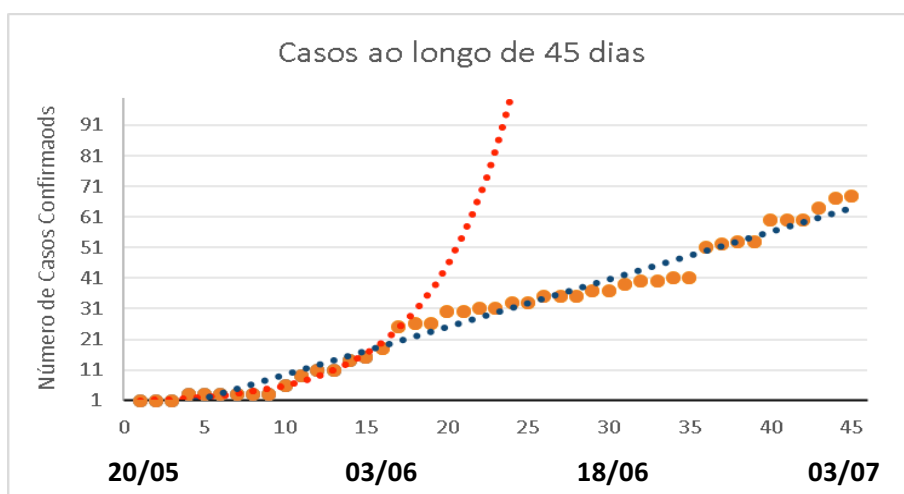


Figura 5 - Comportamento aproximado dos Casos Confirmados

A fim de realizarmos a projeção para os 45 dias (até o dia 03/07), se não houvesse o isolamento social, calculamos um provável número de casos confirmados por meio do Método do Trapézio, considerando a área abaixo da curva em vermelho com n-subdivisões, ou seja, dividimos a área abaixo da exponencial em vários trapézios. Como forma de melhorar a precisão do método, devemos fazer “n” tender ao infinito. Entretanto, por limitações de hardware, definimos n=10.000.

Segue abaixo o pseudocódigo implementado:

```
Início Algoritmo
  Leia os dados iniciais a,b,n
  h = (b-a)/n
  soma = 0
  Para i=0 até n-1 Faça
    soma = soma + ((F(a)+F(a+h))*h)/2
    a = a+h
  Fim-Para
  escreva(soma)
Fim Algoritmo
```

Figura 6 - Pseudocódigo do Método do Trapézio aplicado na Curva Exponencial Vermelha

Sabe-se que a integral de uma função em um intervalo [a,b] determina o valor da área abaixo de uma curva. Como na nossa base de dados os números de casos confirmados são acumulativos a integral contabiliza repetições de valores. Uma forma de retirar essa repetição é calcular a integral através da equação abaixo.

$$Area = \int_a^b f(x)dx - \int_a^{b-1} f(x)dx \quad (7)$$

Calculando a projeção da exponencial da curva (vermelha) referente aos 45 dias caso não houvesse o isolamento, obteríamos o número de casos confirmados de aproximadamente 6446, ou seja, em 45 dias teríamos quase mesma quantidade de casos confirmados que temos atualmente comparando com a bases de dados do Brasil.io². Realizando a projeção da linha (azul) para os 45 dias onde a partir do 16º dia houve o isolamento social, obtivemos aproximadamente 63 casos, ou seja, ratificando a projeção com os dados reais. Analisando o impacto do isolamento social nos casos da Covid-19 podemos perceber que houve uma redução de 99,02% no número de casos da doença, confirmando assim a efetividade e importância do isolamento.

Para entender o comportamento do número de casos novos durante o evento da romaria (04/08/2021 a 06/08/2021), os dados foram analisados a partir de um mês antes e 15 dias depois do evento. A Tabela 3, indica a exponencial que descreve esse período:

Tabela 3 – Funções Exponencial

Casos confirmados semanalmente	
Período	Função
04/07/2021 a 21/08/2021	$y = 180,34e^{-0,359x}$

² <https://brasil.io/home/>

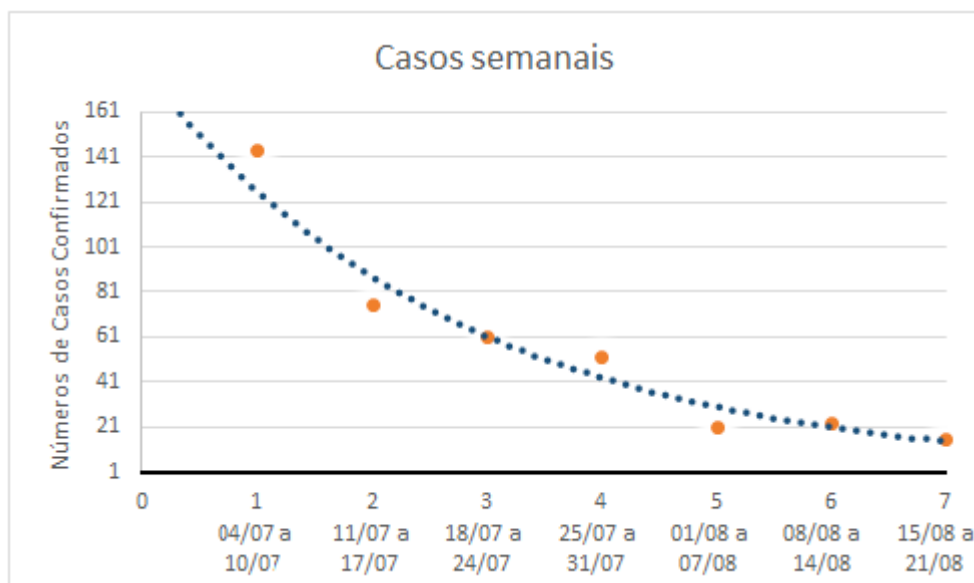


Figura 7– Gráfico referente aos casos confirmados semanalmente.

Analisando a Figura 7, observa-se que o número de casos estão diminuindo a cada semana e apesar de ter ocorrido o evento, o número de casos continua a decrescer. Isso mostra que a sociedade está se comprometendo a cumprir as ações de prevenção bem como o fato de o evento ser planejado de forma a atender as medidas preventivas e juntamente com a vacinação da primeira dose das pessoas, que atualmente já se encontra na faixa etária de 20 anos conforme dados da secretaria de saúde.

Diante desse contexto, realizamos uma projeção de quando atingiríamos o *status* de no mínimo um caso confirmado, indicando que em aproximadamente 8 semanas, teremos esse fato no município de Bom Jesus da Lapa. Apesar desta tendência de queda, devemos continuar com todas medidas de segurança já adotadas, uma vez que a variante Delta pode proporcionar uma terceira onda de casos de covid-19.

4. CONCLUSÕES

Diante desse estudo, foram utilizados os métodos numéricos para contabilizar o número de casos através das projeções, e foi demonstrado que caso não houvesse o isolamento social involuntário atingiríamos em aproximadamente 45 dias o número total de casos que temos atualmente, provocando um colapso no sistema de saúde do município de Bom Jesus da Lapa-Ba. Entretanto com o isolamento, o número de casos diminuiu 99,02% com relação a projeção feita dos 45 dias sem o isolamento. É notório a eficiência do isolamento social, onde se for aplicado e seguido a risca, o número de casos decai consideravelmente.

A partir da análise do estado atual da Covid-19, considerando o período da romaria, conclui-se que, apesar da ocorrência do evento, os números de casos continuam em tendência de queda, reforçando a importância das medidas de segurança, pois o evento foi executado em escala reduzida para se adequar as medidas restritivas.

REFERÊNCIA

- BARROSO, Leônidas Conceição et al.. Cálculo Numérico Com Aplicado. 2. Harba. 1987
SANTOS, William & SOUZA, Taciana & (2020). COVID-19: uma análise numérica sobre a importância do isolamento social no estado da paraíba. In. VII ECMAT – Encontro Cajazeirense de Matemática. Cajazeiras-Pb.

GIRARDI, Juliana da Motta et al. Uso de máscaras para a redução da transmissão da COVID-19: revisão integrativa. *Comunicação em Ciências da Saúde*, v. 32, n.1, p. 17-30, 2021.

DECRETO Nº. 086 DE 03 DE JUNHO DE 2020.. Diário Oficial do Município, Bom Jesus da Lapa, BA, N ° 2468, 04 junho 2020. p.11.

DEITEL, P. J. *Como Programar*. 6 ed. São Paulo: Pearson, 2011.

Achatamento da Curva de Contaminação. Ifoescola, 2021. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/saude/achatamento-da-curva-de-contaminacao/>>. Acesso em: 26/08/2021.

RUGGIERO, Márcia A. Gomes; LOPES, Vera Lúcia da Rocha. (1997). *Cálculo numérico: aspectos teóricos e computacionais*. Makron Books do Brasil.

Abstract. *Covid-19, an infectious disease that started in Wuhan, city in China country, in 2019 has had great epidemiological potential and has spread throughout the world. Faced with this, several countries around the world have taken restrictive measures in order to contain the spread of the virus and minimize the number of deaths. In this context, social isolation was used as a way to avoid the spread of the virus. Therefore, the aim of this article is to carry out a study applying numerical methods and verify the impact of social isolation in the fight against the pandemic. As applied, the combined method was applied for an exponential adjustment of the contamination curve and the Trapezium method to calculate the number of cases in the city of Bom Jesus da Lapa, in order to get as close to reality as possible. As a result, it was possible to prove the effectiveness of social isolation, verifying that it is an essential tool in the fight against the exponential growth of the virus.*

Keyword: *COVID-19; Social isolation; Trapezoid Method; Numerical Method*