

**Análise matemática e estatística da doença COVID-19 e implicações em projeções  
futuras**

**Mathematical and statistical analysis of disease COVID-19 and implications for future  
projections**

**Análisis matemático y estadístico de la enfermedad COVID-19 e implicaciones para  
futuras proyecciones**

Recebido: 27/09/2020 | Revisado: 27/09/2020 | Aceito: 30/09/2020 | Publicado: 02/10/2020

**Gustavo Nogueira Dias**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1315-9443>

Colégio Tenente Rêgo Barros, Brasil

E-mail: [gustavonogueiradias@gmail.com](mailto:gustavonogueiradias@gmail.com)

**Vanessa Mayara Souza Pamplona**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2461-2103>

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil

E-mail: [vanessamayara2@gmail.com](mailto:vanessamayara2@gmail.com)

**Alessandra Epifânio Rodrigues**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8375-2923>

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil

E-mail: [alessandra.epifanio@ufra.edu.br](mailto:alessandra.epifanio@ufra.edu.br)

**Gilberto Emanuel Reis Vogado**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4763-4767>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail: [gvogado@globo.com](mailto:gvogado@globo.com)

**Washington Luiz da Silva Junior**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1413-0047>

Colégio Tenente Rêgo Barros, Brasil

E-mail: [jwl\\_pedrosa@hotmail.com](mailto:jwl_pedrosa@hotmail.com)

**Wagner Davy Lucas Barreto**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0675-9005>

Colégio Tenente Rêgo Barros, Brasil

E-mail: [profwlucas@yahoo.com.br](mailto:profwlucas@yahoo.com.br)

**Jamile Carla Oliveira Araújo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2273-2347>

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil

E-mail: [jamillecarla@gmail.com](mailto:jamillecarla@gmail.com)

**Eldilene da Silva Barbosa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9980-2286>

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil

E-mail: [eldilene.barbosa@gmail.com](mailto:eldilene.barbosa@gmail.com)

## **Resumo**

A análise matemática e estatística da doença COVID-19 e implicações em projeções futuras, mostra um levantamento utilizando os dados coletados dos casos do novo coronavírus, relacionados ao número de casos e de óbitos ocorridos em decorrência da doença. A metodologia utilizada foi do tipo quantitativa, apoiada em dados disponibilizados pelo Instituto brasileiro de Geografia e Estatística e pelo Ministério da Saúde, onde foram gerados modelo matemáticos, polinomiais do 3º e 4º grau, referindo-se ao números de óbitos e de casos respectivamente. O objetivo é desvendar as principais circunstâncias que contribuem para o aumento da taxa de letalidade da doença, além de mostrar o ocorrido a cada 10 mil de casos e óbitos da doença. Os resultados estimados, estão correlacionados com a densidade demográfica, indicaram em quais localidades ocorre um maior avanço da pandemia, além de amostrar projeções temporais estimadas da extinção do avanço do número de casos e de óbitos possíveis, considerando as medidas de restrição adotadas considerando as possibilidades do surgimento de uma nova curva, corroborando para que as autoridades competentes possam traçar estratégias para contê-la.

**Palavras-chave:** COVID-19; Levantamento matemático estatístico; Modelo matemático; Taxa de letalidade; Densidade demográfica.

## **Abstract**

The mathematical and statistical analysis of the disease COVID-19 and implications for future projections, shows a survey using the data collected from the cases of the new coronavirus, related to the number of cases and deaths resulting from the disease. The methodology used was of the quantitative type, supported by data made available by the Brazilian Institute of Geography and Statistics and by the Ministry of Health, where mathematical models were

generated, polynomials of the 3rd and 4th grade, referring to the numbers of deaths and cases respectively. The objective is to unveil the main circumstances that contribute to the increase in the lethality rate of the disease, in addition to showing what happened for every 10,000 cases and deaths from the disease. The estimated results, are correlated with the demographic density, indicated in which locations there is a greater advance of the pandemic, in addition to sampling estimated time projections of the extinction of the advance in the number of cases and possible deaths, considering the restriction measures adopted considering the possibilities the emergence of a new curve, corroborating so that the competent authorities can devise strategies to contain it.

**Keywords:** COVID–19; Statistical mathematical survey; Mathematical model; Lethality rate; Demographic density.

### **Resumen**

El análisis matemático y estadístico de la enfermedad COVID-19 e implicaciones para proyecciones futuras, muestra una encuesta utilizando los datos recolectados de los casos del nuevo coronavirus, relacionados con la cantidad de casos y muertes que ocurrieron como consecuencia de la enfermedad. La metodología utilizada fue de tipo cuantitativo, sustentada en datos puestos a disposición por el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística y por el Ministerio de Salud, donde se generaron modelos matemáticos, polinomios de 3 ° y 4 ° grado, referidos al número de muertes y casos respectivamente. El objetivo es desvelar las principales circunstancias que contribuyen al aumento de la tasa de letalidad de la enfermedad, además de mostrar qué sucedió por cada 10.000 casos y muertes por la enfermedad. Los resultados estimados, se correlacionan con la densidad demográfica, indicando en qué localidades hay un mayor avance de la pandemia, además de muestrear proyecciones de tiempo estimado de la extinción del avance en el número de casos y posibles muertes, considerando las medidas de restricción adoptadas considerando las posibilidades. la aparición de una nueva curva, corroborando para que las autoridades competentes puedan idear estrategias para contenerla.

**Palabras clave:** COVID–19; Encuesta estadística matemática; Modelo matemático; Tasa de letalidad; Densidad demográfica.

## 1. Introdução

A pandemia do novo coronavírus (COVID-19) gerou inúmeros problemas para a população, pois além da doença e dos males causados, a população foi obrigada a se adaptar a determinadas condições, em que a conscientização de não aglomeração é um dos maiores problemas enfrentados, tendo em vista que tal necessidade limita completamente a liberdade de ação e atitudes de qualquer indivíduo. Além disso, é muito difícil o poder público atuar nesta fiscalização, pois seria necessário criar órgãos para esta finalidade e dessa maneira iria majorar o quantitativo de funcionários, o que torna o processo extremamente complicado no atual momento.

De acordo com a OMS, a população mundial em 2019 chegou a 7,7 bilhões de pessoas e em julho de 2020 tem-se 13,6 milhões de pessoas contaminadas com a COVID-19, portanto o total de pessoas contaminadas com a doença é menor que 0,5% da população do planeta. Assim, se a população não obedecer a quarentena, bem como o distanciamento social, e sair as ruas como se estivesse na normalidade, as infecções irão acontecer de uma forma gigantesca, numa grande proporção.

Com base no comportamento dos casos de COVID-19, os governos decidiram reabrir vários segmentos com algumas restrições, tais como o uso obrigatório de máscaras e número reduzido de pessoas atendidas ou encontradas em um determinado local, como supermercados, escolas, cinemas, shoppings, feiras livres e comércio em geral. Estas decisões governamentais foram realizadas recentemente, com a reabertura a partir do dia 25 de junho, sem analisar o reflexo que a pandemia poderia causar.

O segmento educacional provavelmente foi muito afetado pela pandemia, sabendo-se que há colégios que agrupam de 150 a 250 alunos em uma única sala de aula, e com os prejuízos causados pela pandemia terão que readequar seus espaços e provavelmente suas finanças, o que provavelmente gerará custos nas mensalidades para os responsáveis. Neste segmento, mesmo que houvesse uma redução em 50% no número de alunos por sala não será possível a sua reabertura, vale destacar que nos países que já retornaram às aulas, geralmente são agrupados em uma sala de aula no máximo 20 alunos espaçados com 1,5 metros de distância, o que desarticula as escolas de grande porte, presente em várias localidades brasileiras.

Um dos grandes problemas no retorno às aulas, além da aglomeração em sala de aula, é o fato da maioria dos estudantes utilizarem o transporte público para se deslocarem de casa até a universidade ou colégio, pois o transporte público está funcionando precariamente, com

frota reduzida, o que proporciona uma lotação exarcebada e rotineira, dessa maneira tem se tornado uma forma de contágio muito freqüente. Assim, o retorno do funcionamento das escolas, mesmo que seja parcial e com restrições, provavelmente irá apresentar problemas sérios.

De modo geral, dos ramos da economia o ensino é o mais temeroso, pois para este segmento voltar funcionar normalmente, é necessários que várias pessoas fiquem presentes em no recinto por várias horas (4 ou 5 horas) na sua maioria, além dos intervalos de aula e da distribuição da merenda. Assim, se uma pessoa estiver contaminada rapidamente a doença irá se proliferar.

Diante do atual cenário, muitas empresas estão medindo a temperatura e higienizando as mãos das pessoas com álcool em gel a disposição da população, porém de acordo com Ventura et al. (2020), o indivíduo contaminado só irá manifestar reações após pelo menos 4 dias após o contágio. Assim, a pessoa com COVID-19 pode infectar outras pessoas sem saber que está com a doença.

## **2. Materiais e Métodos**

Os dados estudados foram obtidos através de informações no site do Ministério da Saúde([www.covid.saude.gov.br](http://www.covid.saude.gov.br)), e são referentes ao período de 15 de março a 20 de setembro de 2020.

Para o estudo foram obtidos a quantidade casos notificados e de óbitos por COVID-19, de acordo com cada estado do Brasil, assim como o número de habitantes por km<sup>2</sup>.

O estudo envolveu uma abordagem quali-quantitativa que usa os métodos quantitativos e qualitativos (Pereira, et al., 2018), foi realizado considerando o período de 01 de março de 2020 até 20 de setembro de 2020 de natureza exploratória.

Os dados foram organizados em uma planilha do Microsoft Excel®, posteriormente foi realizada a análise estatística por meio de tabelas, gráficos e curvas..

Para a modelagem matemática foi utilizados os modelos indicados no microsoft Excel®, curvas de tendência, exponencial, polinomial e logaritmo. Na análise matemática foi utilizada a interpolação quadrática e a de Newton (Barroso, et. al. 1987).

Na interpolação das curvas, Figuras 4 e 5, obteve-se uma polinomial de grau 03 e 04 respectivamente. O cálculo dessas polinomiais foi feita escolhendo-se 04 pontos e 05 pontos para os casos de óbitos e números de casos de COVID-19, respectivamente.

Para obtenção da melhor curva, a que tivesse mais pontos próximos a linha de tendência, foi realizada por tentativas e erros, até que se chegasse nos melhores pontos das curvas respectivas. Para a curva do número de órbitos foram realizadas 18 tentativas (18 curvas), utilizando quatro pontos diferentes de cada vez a fim de se obter a polinomial de grau 3 mais adequada. Já no cálculo da polinomial do número de casos de COVID-19, o grau estabelecido da curva que melhor se adaptou foi de 4º grau e utilizou-se um total de 32 tentativas (32 curvas), utilizando um total de cinco pontos diferentes de cada vez até se obter a polinomial mais apropriada.

Para obtenção de cada curva, utilizou-se o aplicativo Easy equations: linear equation solver (2018), versão 2.6, sistema android, obtida gratuitamente através do Google Play Store.

Esse aplicativo, calcula através de sistemas lineares os coeficientes das curvas de 3º até o 8º grau, se necessário, com uma exatidão bem confiável.

Na obtenção das raízes das curvas, os pontos em que a doença chegará próximo de zero, utilizou-se outro aplicativo que pudesse calcular rapidamente as raízes das 18 curvas, polinomial do 3º grau e também das 32 curvas polinomial de 4º grau.

O aplicativo utilizado foi a calculadora científica chamada de Tech calc (2013), versão 4.5.6, sistema android, obtida gratuitamente através do Google Play Stores.

Esse aplicativo, basta selecionar a aba equações algébricas e digitar as equações para que ele resolva imediatamente, apresentando todas as raízes possíveis, dando o suporte para equações de até 8º grau.

### **3. Subnotificações da COVID-19**

A quantidade de casos não documentados, porém capazes de transmitir a doença, é uma característica epidemiológica crítica que modula o potencial de pandemia de um vírus respiratório emergente. Dependendo da transmissibilidade e do número de infectados assintomáticos, uma parcela da população muito maior do que a efetivamente contabilizada é exposta ao vírus, aumentando sua taxa de propagação de forma vertiginosa. Li et al. (2020) estimaram que, até o início da implementação das restrições de viagens na China (23 de janeiro de 2020), o índice de subnotificação era de 86% e a taxa de transmissão por caso não documentado foi de 55%.

Uma linha de raciocínio lógico de acordo com Nogueira et al (2020), nos leva a crer que em diversas localidades brasileiras o número de subnotificações foi enormemente grande chegando em torno de 25 vezes mais do que o real, de acordo com inúmeros relatos médicos.

Significa dizer, que em cada 25 pessoas que adquiriram a COVID-19, apenas um era realmente notificada aos órgãos competentes do ministério da saúde.

O problema da subnotificação, ocorreu no Brasil de forma mais recorrente do que em outros países, principalmente por falta de testes, nos meses de abril, maio e junho de 2020, a falta de recursos nos hospitais, a quantidade exorbitante de pessoas presentes nos postos de atendimento e todas as frentes de saúde, como também a incompetência, de gestores de Hospitais públicos e privados em fazer o cadastro destas pessoas para futura testagem para uma cobertura estatística confiável.

O fato de termos uma relação que chegou a ser em torno de 25 vezes maior que os casos notificados significa dizer que no dia de hoje, 20 de setembro de 2020, possuímos um total de 4.544.629 casos notificados desde março de 2020, segundo essa informação nós estamos com um total de 113.615.725, pessoas que provavelmente apresentaram os sintomas ou até assintomáticas e que adquiriram provavelmente o vírus da COVID-19 mas que não foram notificadas. Muitas nem sequer procuraram órgãos de saúde e se trataram em casa, apresentando sucesso no tratamento.

A população brasileira estimada pelo IBGE(2020) é de 211.255.682 pessoas, sendo assim o total de 113.615.725, apresentando um percentual aproximado de 53,78% de pessoas que já adquiriram a COVID-19 no Brasil, o que constitui provavelmente uma imunidade grupal.

De acordo com Ribeiro & Bernardes (2020), a quantidade de casos subnotificados no Brasil é muito grande e apresenta diferentes aspectos nas diversas regiões brasileiras sendo muito importante, em face dos novos casos apresentados, ocasionando dessa forma uma justificativa plausível para a redução recorrente do número de casos da doença no Brasil.

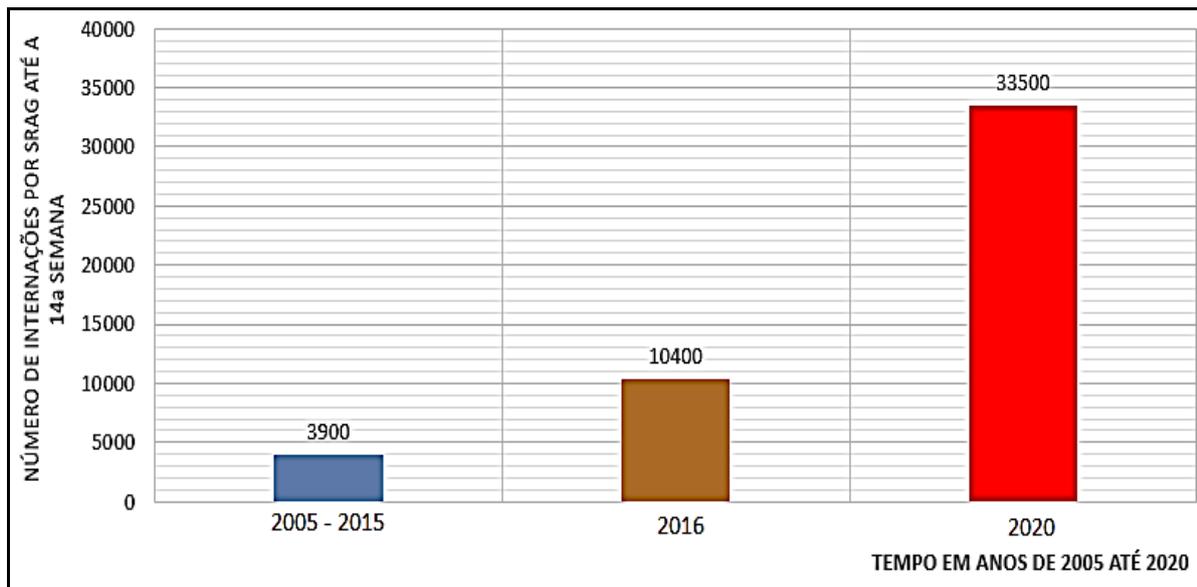
De acordo com o Portal G1(2020), temos as seguintes informações a respeito das subnotificações:

- i) Número total de mortes em São Paulo em março de 2020 ficou 168% acima do registro oficial;
- ii) Internações por síndromes respiratórias aumentaram quase 10 vezes em 2020 no Brasil;
- iii) Cartórios registraram aumento de 1.035% nas mortes por síndrome respiratória no Brasil em março e abril de 2020;
- iv) Número diário de enterros em cemitérios públicos de Manaus aumentou 161% entre 9 e 25 de abril;
- v) Número de enterros aumentou 18% em abril na cidade de São Paulo;

vi) Mortes de brasileiros em casa crescem 11% nos meses de março e abril de 2020 em comparação com o mesmo período do ano passado.

Segue abaixo a Figura 1 relativa ao aumento de número de casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), doença respiratória causada por um vírus que exige internação, seja ele o novo corona vírus, o influenza ou outro qualquer, estudados até a 14ª semana de infecção:

**Figura 1.** Internações totais por Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG).



Fonte: FIOCRUZ(2020).

A Figura 1 acima ratifica o problema que ocorre com a subnotificação no Brasil. Observamos no gráfico que até a 14ª semana de infecção, abril de 2020 o total de pessoas internadas por SRAG, representava o triplo do ano de 2016 e quase dez vezes mais que os totais de casos da década de 2005 até 2015. Em abril não havia testes disponíveis em quantidade no Brasil e a demora nos exames superavam a uma semana para se ter o diagnóstico real.

A propagação do vírus no Brasil, de acordo com Barbosa (2020), os voos da Itália e da China, inicialmente não possuíamos regras e nem protocolos necessários para impedir a proliferação do referido vírus. Assim, se nesse momento todos os passageiros fossem submetidos a uma quarentena de 15 dias impossibilitados de voltar para casa, fechando uma das portas importantes para a chegada do vírus. Provavelmente a pessoa contaminada, passou o vírus na viagem a pelo menos 5 passageiros que ao serem contaminados exatamente naquele voo, só foram apresentar sintomas de 5 a 6 dias após, e isso gerou uma poderosa cadeia de

contágio, e o Brasil nesse momento com números casos e óbitos por COVID-19 que só aumentam com critérios específicos e inúmeras variáveis a serem estudadas.

Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo realizar uma análise matemática e estatística da doença COVID-19 e suas implicações em projeções futuras.

#### **4. Resultados e Discussão**

A Figura 2 apresenta a taxa de casos e de óbitos de COVID-19 a cada 10.000 habitantes. No eixo localizado a esquerda representa a taxa de casos a cada 10 mil habitantes e é representado pela linha azul. No eixo localizado à direita é informado a taxa de óbitos a cada 10 mil habitantes e é representado pela linha vermelha.

Nela podem-se observar inúmeras situações extremamente interessantes. A proporção casos por 10.000 habitantes reflete a real situação independente da população da cidade. Reflete o estado crítico e real de determinada capital. Observamos que a capital Brasília é a cidade brasileira com maior número de casos por 10 mil habitantes, um total de 610 casos por 10 mil habitantes. Apenas fizemos a coleta dos dados, não possuímos razões para este quantitativo exorbitante e significativo diferentes de outras capitais, os dados utilizados são os do Ministério da Saúde(2020), divulgados diariamente.

A 2ª maior quantidade de casos é a capital de Porto Velho(RO), com um total de 550 casos por 10 mil habitantes. Com relação a cidade de Porto Velho, ela ocupa a menor densidade demográfica do Brasil e apresenta o 3º maior índice de óbitos no Brasil um total de 13,10 óbitos para cada 10 mil habitantes. Há necessidade de uma investigação cautelosa, de quais causas ocorreram na saúde pública do local para que esses fatos acontecessem.

A 3ª maior quantidade de casos é a capital de Aracaju(SE) com um total de 524 casos a cada 10 mil habitantes. Esses dados são extremamente atuais de 20 de setembro de 2020, e são cumulativos desde 15 de março desse mesmo ano. Há necessidade de fazer um levantamento comparativo de ações que levaram este quantitativo enorme de casos a cada 10 mil habitantes.

Com relação ao número de óbitos a capital do Rio de Janeiro(RJ) representa a capital com o maior número de óbitos por 10 mil habitantes um total de 15,6 pessoas. O problema mais agravante ainda é que a cidade do Rio de Janeiro apresenta o menor número de casos por 10 mil habitantes. Aparentemente, observando apenas os números o primeiro questionamento seria: A cidade apresenta a menor número de casos da doença no Brasil, levantada por 10 mil habitantes e possui o maior número de óbitos? Inúmeras razões devem ter ocorrido

principalmente com relação a saúde pública no local como também problemas de abastecimento e alocação de médicos no local, sem apresentar especificidades, pois haveria necessidade de um estudo mais detalhado. Estamos apresentando apenas os dados e uma forma díspar de interpretá-los. Fazendo um contraponto com o número de casos da cidade do Rio de Janeiro observamos que ela possui 146 casos por 10 mil habitantes. O que se percebe é que essa população não está sendo tratada corretamente, provavelmente não há um atendimento de qualidade ou até faltem remédios na cidade. Razão que teríamos que investigar. Outra possível razão que pode também influenciar, de acordo com o gráfico da Figura 3, o Rio de Janeiro é a 4ª cidade brasileira com a maior densidade demográfica, com um total de 5266 habitantes por Km<sup>2</sup>, ou seja um quantitativo populacional concentrado e com provavelmente pouco distanciamento social.

A 2ª posição com relação aos óbitos está com 4 capitais, que apresentaram o mesmo valor, 14,40 óbitos por 10 mil habitantes. São as Capitais: Belém(PA), Cuiabá(MT), Fortaleza(CE) e Recife (PE). Várias razões são elencadas. Uma delas é a densidade demográfica.

Fortaleza(CE) é a 1ª capital de acordo com a Figura 3 com a maior densidade demográfica do Brasil, um total de 8390 habitantes por Km<sup>2</sup>. A princípio parece ser essa a principal razão de momento ao olharmos os números. Um dado importante e relevante no estudo é que Fortaleza apresenta o 2º menor número de casos da doença por 10 mil habitantes Figura 2, apresentando um problema similar ao Rio de Janeiro. É evidente que os problemas da saúde pública do local e outras razões devem ter ocorrido.

Cuiabá(MT), não apresentou esse problema. Tem apenas uma concentração de 157 habitantes por Km<sup>2</sup> de acordo com a Figura 3, ocupando a 20ª posição no ranking da densidade demográfica brasileira. Provavelmente os problemas em Cuiabá não devem ser os decorrentes da concentração de pessoas, outras situações ocorreram que levaram esse número extremos de óbitos por 10 mil pessoas.

Recife(PE) observa-se que a concentração populacional também é grande, ela ocupa a 3ª posição no ranking, com 7039 habitantes por Km<sup>2</sup>, sendo um item muito relevante na análise desse quesito. Evidente que outros problemas também ocorreram, que a princípio não temos indicadores para isso.

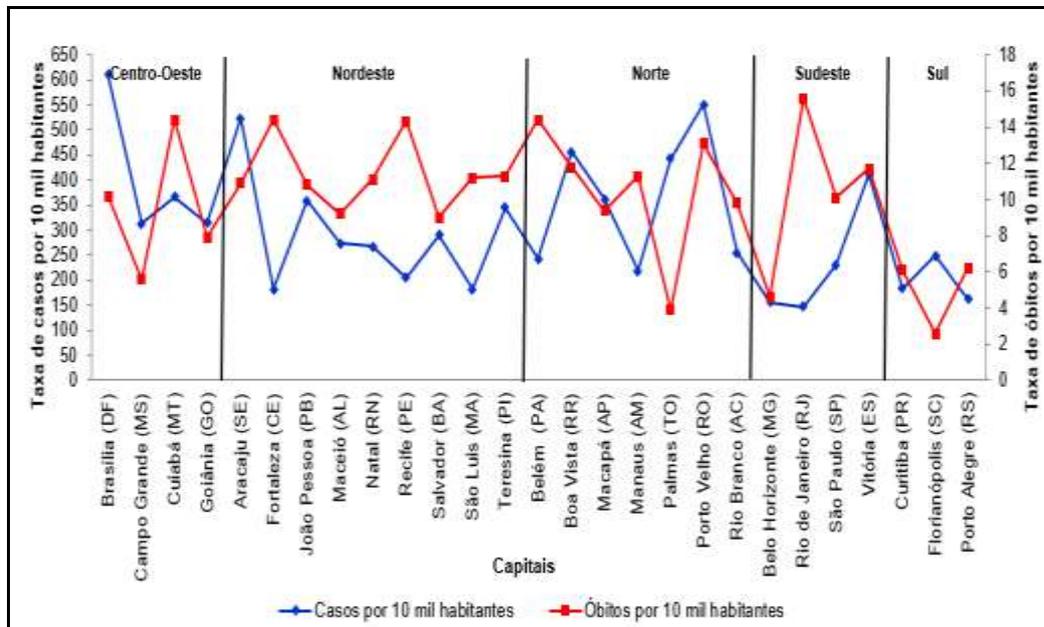
Belém(PA) é uma das quatro capitais que estão com o número de óbitos em 14,4 por 10 mil habitantes (2º maior), Figura 2, e inúmeras razões são elencadas de conhecimento público que tomamos a liberdade de descrever.

Muitos fatores são considerados, com relação a cidade de Belém(PA):

- i) A relação habitantes por Km<sup>2</sup> é a 13<sup>a</sup> maior do país, 1315,25 hab/km<sup>2</sup>, Figura 3
- ii) Caos no sistema de saúde nos meses de abril e maio de 2020; (Souza, 2020).
- iii) Falta de medicamentos necessários aos indivíduos infectados no comércio farmacêutico da grande Belém, nos meses de abril e maio de 2020. (Jornal liberal, 2020);
- iv) Não uso de máscaras em ambientes públicos no mês de abril e maio de 2020; (DOU, 2020).
- v) Parte do comércio seguiu aberto, sendo necessárias medidas do governo Estadual para contenção, como: Lockdown, (GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ, 2020).
- vi) Conjuntos residenciais com inúmeras pessoas vivendo em compartimentos reduzidos e pequeno espaço de convívio com outros moradores, vivendo nestas condições.(MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020)

A seguir a Figura 2, onde observamos a linha de azul o número de casos e a vermelha o número de óbitos, consideradas por 10 mil habitantes o que exibe a real condição e proliferação da doença não considerando o total de habitantes da cidade e sim o quantitativo de casos ou de óbitos por 10 mil habitantes, criando uma relação interessante de classificação mais transparente da Covid 19..

**Figura 2.** Casos de COVID-19 a cada 10.000 hab. Das capitais Brasileiras. A esquerda na figura a taxa de casos a cada 10 mil hab. (AZUL); A direita taxa de óbitos por 10 mil hab. (VERMELHA). Modelagem: autores.

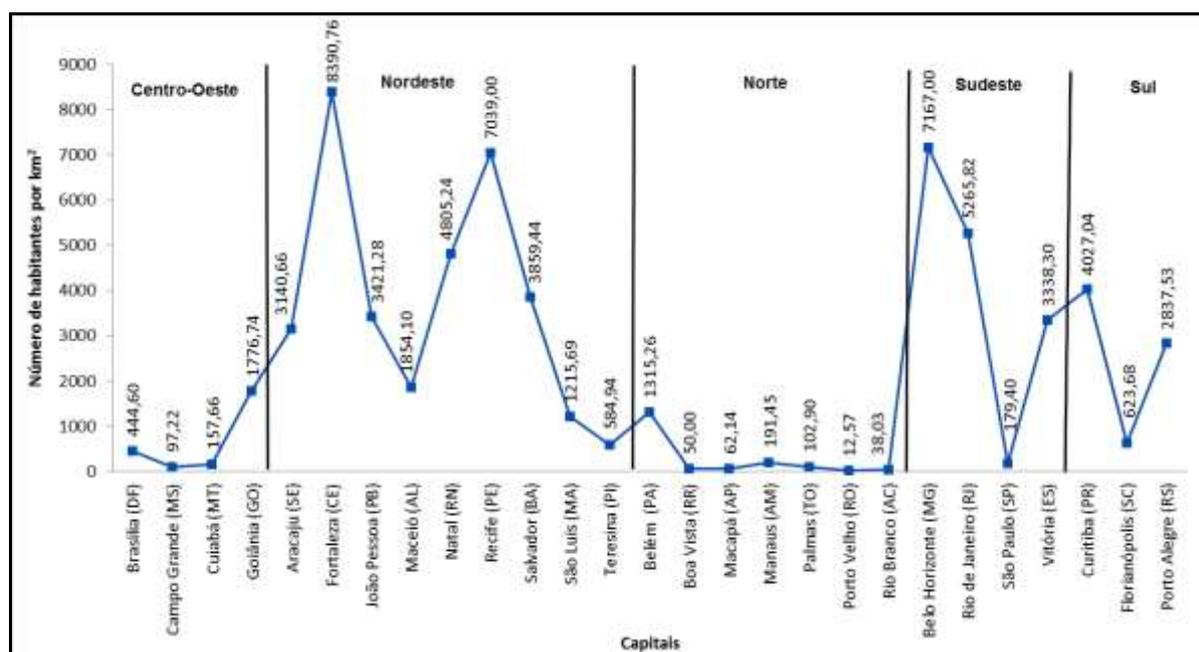


Fonte: Dados Ministério da Saúde.

A cidade de Florianópolis(SC), foi a cidade que apresentou o menor número de óbitos um total de 2,6 por 10 mil habitantes, e um número de casos não tão expressivo 249 casos por 10 mil habitantes. O sucesso dessa cidade também merece ser investigado, creio que falta integração em nosso país, para sabermos utilizar as medidas e soluções que trouxeram efeito positivo, principalmente na saúde pública.

Abaixo segue a densidade demográfica, IBGE (2020) de algumas principais localidades brasileiras, Figura 3:

**Figura 3.** Habitantes por km<sup>2</sup>.



Fonte: IBGE CIDADES.

Na Figura 3 acima, observamos a quantidade de habitantes por Km<sup>2</sup>, o que é importante para a interpretação e causas de aumento de casos e de óbitos da COVID-19, pois a principal recomendação da OMS (2020) é a não aglomeração de pessoas. Isto posto, pelo gráfico percebemos algumas capitais onde essa relação é extremamente alta como exemplo, Fortaleza (CE), Recife (PE), Belo Horizonte (MG) e o Rio de Janeiro (RJ).

Alguns índices da Figura 3, serviram para justificar determinados comportamentos da doença em algumas cidades amostradas na Figura 2.

## 5. Modelagem Matemática – COVID-19

As Figuras 4 e 5 representam o total de casos e óbitos no Brasil, com informações até o dia 20 de setembro de 2020.

Observa-se que a curva apresentada na Figura 4, é uma evolução dos óbitos ocorridos no Brasil desde 15 de março de 2020. Esses dados foram fornecidos pelo Ministério da Saúde, através da consulta no site oficial no dia 20 de setembro de 2020.

A plotagem da curva foi realizada pelo programa da Microsoft Excel®, sendo considerado a quantidade de óbitos em unidades de 10.000 no eixo das ordenadas e o total acumulado ao final de cada semana, sempre somando com a semana anterior, chegando ao total de 136.895 casos no dia 20 de setembro de 2020.

Naturalmente, com as mesmas condições e a taxa de isolamento mantendo-se constante (IN LOCO 2020), teremos uma previsão da possível data a ser encontrada. Porém o que observamos é que o isolamento está cada vez menor então se os casos estivessem em uma subida frequente provavelmente chegaríamos a um caos total o que é realmente muito insatisfatório e dramático para a realidade em que vivemos. Significa dizer que teríamos muito mais óbitos do que expressa por essa modelagem.

O que observamos de acordo com os dados do Ministério da Saúde (2020), é uma relativa baixa do número de casos e do número de óbitos, por diversas razões, que levaram a levantar inúmeras hipóteses ocorridas no Brasil desde março de 2020.

Abaixo segue a figura 3, relativa ao gráfico e a modelagem matemática realizada pelo número de casos da doença COVID-19 desde 15 de março até 20 de setembro de 2020. O modelo que mais se ajustou com a curva foi uma polinomial do 4º grau traçada pelo Microsoft Excel®. Este modelo foi traçado considerando o total semanal de casos de COVID-19, fato que viabiliza a visualização dos avanços e recuos da doença.

A curva foi traçada utilizando os dados do Ministério da Saúde(2020), até as atualizações de 20 de setembro de 2020. Inúmeros pontos foram utilizados a fim de gerar a curva e a polinomial de tendência do 4º grau. Para realização da melhor curva de tendência foram utilizados a combinação de 32 pontos a fim de escolhermos 5 que apresentassem melhor desempenho na geração de um modelo a fim de calcular a proximidade em que a mesma exibisse um número de casos nulos.

Ao se criar uma polinomial de grau 4, foi adotado no eixo das abscissas, eixo x, o fator temporal, número de semanas, que são representados pelo último dia de cada semana, sendo que a 1ª semana refere-se ao dia 15 de março de 2020, ponto zero e a última semana refere-se ao dia 20 de setembro de 2020, ponto 27.

A curva polinomial de 4º grau apresenta o total de quatro raízes, sendo que apenas duas são consideradas. Dizemos na análise matemática as raízes são os pontos que a curva toca o eixo das abscissas, portanto, possui ordenada nula, que neste caso, este eixo representa o número de casos da doença, Figura 3.

Fazendo os cálculo de extração de raízes, utilizando o aplicativo Tech calc (2013), observamos que ela apresenta duas raízes uma primeira igual a 27,56 seria o ponto aproximado a 28 e uma última igual a 54,30, ponto aproximado igual a 55 que registra o tempo em semanas, o que significa dizer que entre o ponto 28 e o ponto 55, ou seja tempo 55 semanas, teremos um quantitativo de casos próximos de zero. Significa dizer que no dia 20 de

setembro de 2020, havia passado 27 semanas desde o início da doença e agora serão necessárias mais 28 semanas para que cheguemos próximo a nenhum caso.

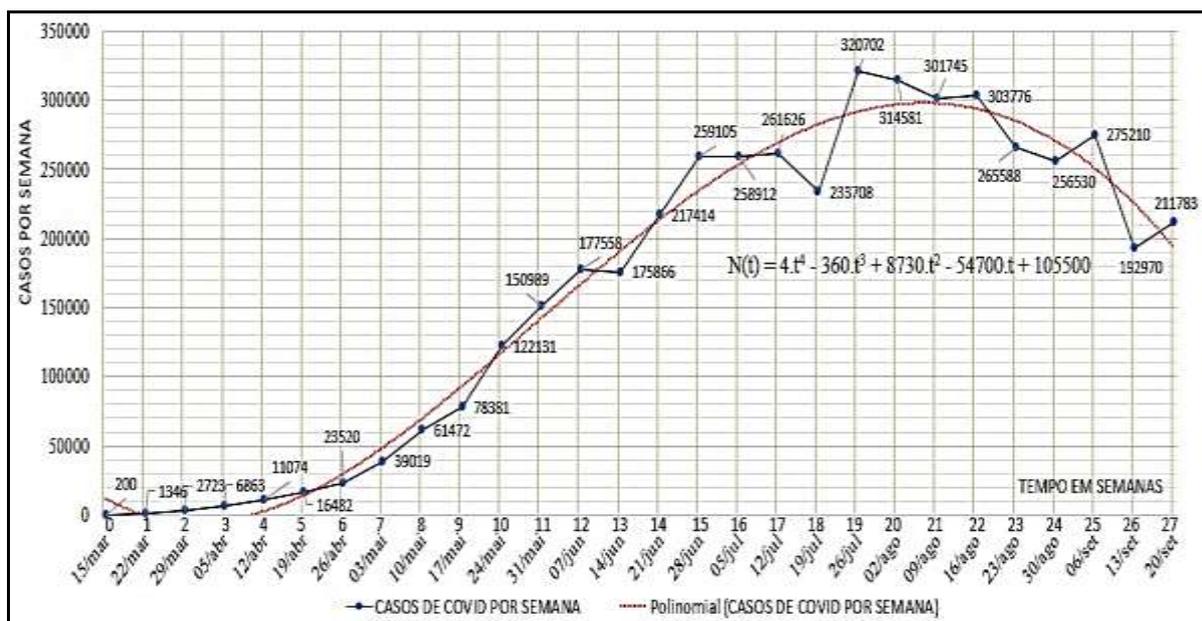
Utilizando o calendário, esta data está compreendida entre 28 de março e 04 de abril de 2021, consideramos uma data estimada provável em que chegaremos próximo da nulidade dos casos.

O modelo matemático utilizado e que mais se adequou a curva plotada foi:

$$N(t) = 4.t^4 - 360.t^3 + 8730.t^2 - 54700.t + 105500 \quad (1)$$

Onde  $N(t)$  representa o número de casos e “ $t$ ” o tempo em quantidade de semanas desde o dia 15 de março de 2020.

**Figura 4.** Gráfico relativo ao número de casos da doença COVID-19, variando com o tempo em semanas.



Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com a Quintella, (2020), Padin, (2020), em março de 2021, provavelmente, ainda não temos uma previsão precisa quanto a essa imunização, já teremos uma vacina testada e amplamente utilizada na população brasileira, o que seria improvável de atingirmos essa horrível e temerosa marca de óbitos.

De acordo com a projeção, estamos refém de uma “vacina” contra esses grande mal. Claro que não podemos apenas esperar por ela, pois todas as produzidas até o momento estão

em testes, muitas já em estágio avançado mais ainda não foram liberadas para a utilização em massa.

Pelo exposto, há necessidade de continuarmos a se policiar com relação aos cuidados, recomendados amplamente pela (OMS 2020b), como:

- i) Evitar aglomerações;
- ii) Utilização de máscaras devidamente e em todos os locais públicos;
- iii) Lavar as mãos com frequência;
- iv) Fazer a higiene devida antes das refeições e também ao retornar a casa;

Provavelmente se todos cumprissem os protocolos recomendados, talvez possamos reduzir essa previsão tão negativa exposta pela interpretação da modelagem apresentada por esta curva mostrada nas Figuras 3 e 4.

Atitudes que já foram tomadas anteriormente em algumas localidades como Lockdown, ou um policiamento mais ostensivo com relação as medidas de segurança, certamente farão a diferença no indicativo da letalidade no Brasil.

Abaixo, Figura 5, segue a curva de evolução do desempenho da doença apresentando apenas o total semanal de óbitos, obtidas em 27 semanas, contados a partir de 15 de março de 2020.

O gráfico foi obtido através do lançamento dos dados obtidos do Ministério da Saúde (2020), no programa da Microsoft Excel®, onde através de correlações lineares, foi obtida a curva, amostrada e a partir desta curva, traçou-se uma linha de tendência, onde através de ajustes de curvas foi obtida a melhor interpretação do gráfico, que agora, apresentou uma pequena queda, que é melhor descrita através de uma polinomial do 3º grau, sendo que esta equação foi a que apresentou melhor similaridade com a curva de casos obtida, considerando uma tendência de queda otimista, podendo desta maneira prever desempenhos semanais mais adequados de acordo com os dados interpolados.

Para realização da melhor curva de tendência foram utilizados a combinação de 18 pontos a fim de escolhermos 4 que apresentassem melhor desempenho na geração de um modelo a fim de calcular a proximidade em que a mesma exibisse um número de casos nulos.

Ao se criar uma polinomial de grau 3, foi adotado no eixo das abscissas, eixo x, o fator temporal, número de semanas, que são representados pelo último dia de cada semana, sendo que a 1ª semana refere-se ao dia 15 de março de 2020, ponto zero e a última semana refere-se ao dia 20 de setembro de 2020, ponto 27.

A curva polinomial de 3º grau apresenta o total de três raízes, sendo que apenas duas são consideradas. Dizemos na análise matemática as raízes são os pontos que a curva toca o

eixo das abscissas, portanto, possui ordenada nula, que neste caso, este eixo representa o número de casos da doença, Figura 4.

Observa-se que através dos dados apresentados de 24 de maio de 2020 até 23 de agosto de 2020, não houve um aumento considerável nos óbitos diários, formando uma espécie de platô, onde os dados sofrem pouca variação.

A partir do dia 23 de agosto de 2020, os casos de óbitos começam a cair, lentamente e voltam a subir na semana 27 indicada pelo dia 20 de setembro de 2020.

Interpretando o modelo matemático apresentado:

$$N(t) = 0,64.t^3 - 60.t^2 + 1452.t - 2500 \quad (2)$$

Podemos fazer previsões a respeito da evolução do número de óbitos semanais, considerando as taxas de medidas de isolamento social cumpridas no Brasil até 20 de setembro de 2020, que de acordo com a In Loco (2020), nesta data são de 43,70%.

Já possuímos uma melhoria na adoção dessa polinomial que admite a possível redução dos casos e permite prever que o número de óbitos tenderá a zero em um futuro não muito distante, claro mantendo as mesmas condições de isolamento e o uso contínuo de máscaras e o progressivo uso de todas as medidas adotadas pela (OMS 2020a).

Utilizou-se o conceito de função polinomial do 3º grau, momento em que calculamos os zeros da função, dessa forma resolvemos a modelagem da curva apresentada na Figura 5 apresentando dois valores de pontos em que a curva tende para zero:

$$T = 2,26(\text{desprezível})$$

$$T = 42,30 \text{ (1º ponto a ser considerado)}$$

$$T = 49,57 \text{ (Último ponto da curva)}$$

Entre a 43ª e a 50ª semana teremos uma quantidade de casos semanais de óbitos iguais ou próximos a zero. Como os dados pertencentes a curva foram atualizados até 20 de setembro de 2020, equivalendo a 27ª semana, então teremos uma estimativa máxima de  $50 - 27 = 23$  semanas, aproximadamente até que se tenha um valor semanal próximo a zero de óbitos.

Valor de óbitos próximos de zero, entende-se números compreendidos de zero a 50 óbitos diários, havendo variação dependendo da situação de comportamento da pandemia no Brasil. Nesse período de 23 semanas, não é descartada a hipótese de entrarmos em um modelo matemático distinto, caracterizando o que muitos chamam de 2ª onda. É imprevisível, temos

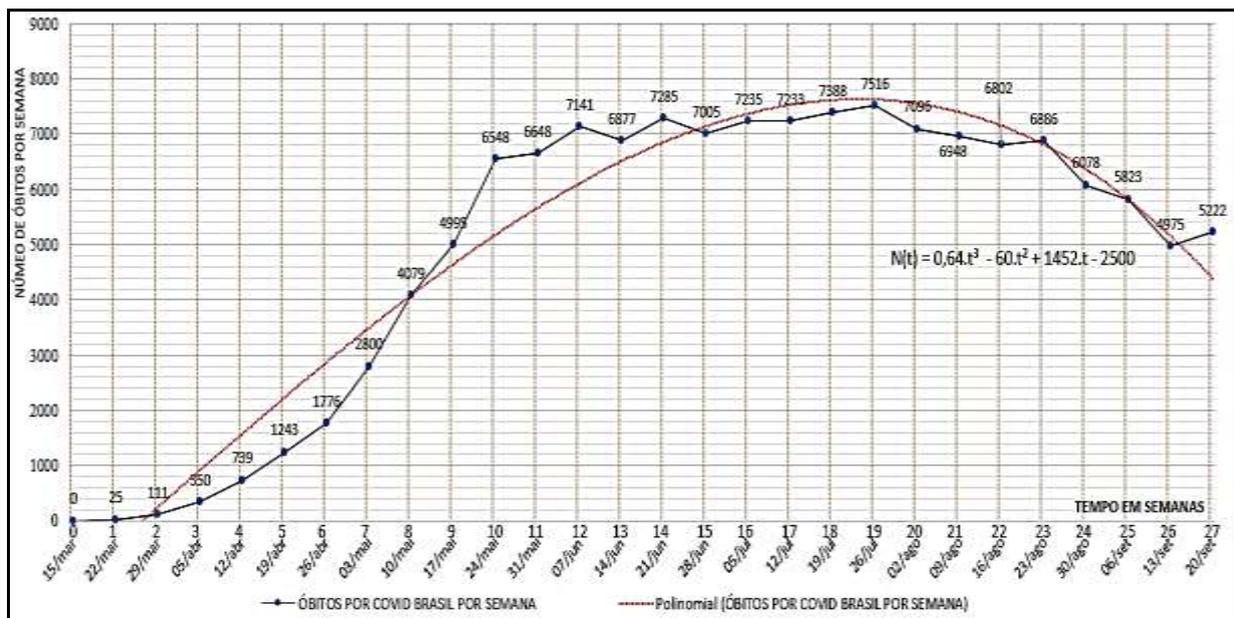
inúmeros fatores dentre eles a taxa de isolamento social no Brasil que em 20 de setembro de 2020 é de 43,7% (IN LOCO, 2020).

No momento atual a sociedade está retornando as suas atividades, e num prazo de 60 dias provavelmente todas as atividades no Brasil retornarão com medidas de baixa restrição e nesse momento o modelo matemático poderá sofrer alterações devido a possíveis novos contágios.

De acordo com a previsão da linha de tendência, expressa através da curva da Figura 5, equivale a dizer que ocorrerá na semana de 01 a 07 de março de 2021.

Este modelo é feito em estimativas otimistas em que haverá uma queda dos indicativos do número de óbitos. Poderá não ocorrer por inúmeros fatores associados a disseminação e contágio do vírus.

**Figura 5.** Gráfico de óbitos de COVID-19 por semana (Polinomial de grau 3).



. Fonte: dados da pesquisa.

Algumas cidades brasileiras, já possuem um modelo similar a esta curva, onde se chegou a um ápice, exorbitante de casos e óbitos, fazendo com que a população tomasse os cuidados necessários e obedecendo a todas as normas de isolamento e recomendação, pode-se chegar a este modelo.

## 6. Considerações Finais

Neste artigo, investigamos as tendências expostas pelas informações quantitativas veiculadas a respeito da COVID-19, o que nos levou a ter conhecimento em quais locais o avanço da pandemia no Brasil causou inúmeros efeitos e nos possibilitou traçar estratégias para tecer uma possível conclusão para o momento em que chegarmos a um quantitativo de casos e óbitos próximos de zero.

A Figura 1, casos de Covid x Óbitos, permite identificar inúmeros fatores, em que a população e o número de habitantes da localidade estão diretamente relacionados com a pandemia. Inferimos que a relação casos por 10.000, habitantes, em que é explícita pela Figura 1, onde percebemos diferenças gritantes e justificadas pela colaboração da população em comprimento das medidas de isolamento.

Pelo gráfico da Figura 1, observamos que a capital do Rio de Janeiro (RJ) possui o maior número de óbitos por 10 mil habitantes e o menor número de casos da doença por 10 mil habitantes, fatores extremamente bizarros e de compreensão muito complicada, contrariando todas as lógicas possíveis de aumento do número de óbitos.

Outras cidades apresentaram índices curiosos, como Cuiabá (MT) componente das quatro cidades que ocupam a 2ª posição do maior número de óbitos, mas que possui a uma densidade demográfica muito pequena.

Dentre os fatores comuns que ocasionaram esse quantitativo estão relacionadas a densidade demográfica exorbitante, a taxa de isolamento baixa, saúde pública obsoleta no local e falta de medicamentos básicos para contenção e não evolução da doença.

A modelagem apresentada na Figuras 3 e 4, nos permite concluir que se as medidas de restrição, isolamento e higiene recomendadas forem mantidas em um patamar sugerido até a semana 27, localizada até 20 de setembro de 2020, teremos um final aproximado do número de casos até o dia 04 de abril de 2021 e para o número de óbitos até o dia 07 de março de 2021.

Como a curva de óbitos há uma variação percentual do número de casos relativamente pequena em torno de 0 a 5% dos casos, o caminhar da curva sugerida encerra-se antes dos números de casos.

Os modelos matemáticos desenvolvidos são utilizados estimativas de possíveis resultados que devido ao desenvolvimento da pandemia e as alterações comportamentais da população da economia da e também do educacional poderá acarretar um aumento inesperado do número de casos atingidos pelo vírus, isso pode ocasionar o estudo de um

novo modelo ainda não estudado, o qual é denominado de “2ª onda”, que poderá ter características mais suaves, mas não deixará de existir sem a vacinação em massa.

Para trabalhos futuros sugere-se a análise matemática e estatística nos Estados que estão apresentando grande alteração, como exemplo o Rio de Janeiro. Seria conveniente fazer o levantamento dos problemas de saúde pública, densidade demográfica, gestão financeira e operacional da saúde no estado e outros recorrentes que surgirem, de forma a traçarem metas que possibilitem diminuir o avanço da doença.

## Referências

Barroso, L. C., Barroso, M. M. A., Filho, F. F. C., Carvalho, M. L. B., Maia, M. L (1987). Cálculo Numérico com Aplicações. (2a ed.), Ed. Harbra.

Bastos, L. R., Niquini, R. P., Lana, R. M., Villela, D. A. M., Cruz, O. G., Coelho, F. C., Codeço, C. T., Gomes, M. F. C. (2020). COVID-19 e hospitalizações por SRAG no Brasil: uma comparação até a 12a semana epidemiológica de 2020. Cadernos de Saúde Pública 2020; 36(4):e00070120

Barbosa, A. C. Q. (2020). Lições sobre a Pandemia da COVID-19 e a Informação Científica, APS em Revista ARTIGOS, 2(1), 70-72 | Janeiro/Abril – 2020 ESPECIAL COVID-19 ISSN 2596-3317 – DOI 10.14295/aps.v2i1.60.

Diário Oficial da União(DOU) (2020). Lei nº 14.019, de 2 de julho de 2020, Obrigatoriedade do Uso de Máscaras Individuais de Proteção, Publicado em: 03/07/2020 | Edição: 126 | Seção: 1 | Página: 2. Órgão: Atos do Poder Legislativo.

Easy Equations: Linear Equation Solver (2018). Calculadora Científica, sistema android, obtida gratuitamente em 28 de maio de 2019, através do Google Play Store. Endereço do desenvolvedor Kasun Dissanayake, Etaweeragollewa, Madawachchiya, Sri Lanka.

Gimenez, A. M. N., Souza, G., Feltrin, R. B.(2020). O papel da comunidade científica no enfrentamento da pandemia de Covid-19. Boletim do DPCT, n.1, 2020a.

Governo do Estado do Pará. (2020). Cartilha Lockdown, Suspensão Total De Atividades Não Essenciais, Com Restrição De Circulação De Pessoas. Governo do Estado do Pará, Procuradoria Geral do Estado do Pará, 2020. Recuperado de [http://www.secom.pa.gov.br/arquivos/cartilha\\_LOCKDOWN\\_GOV\\_PA\\_2020.pdf](http://www.secom.pa.gov.br/arquivos/cartilha_LOCKDOWN_GOV_PA_2020.pdf)

IBGE Cidades. (2020). Conheça Cidades e Estados do Brasil. É o sistema agregador de informações do IBGE sobre os municípios e Estados do Brasil. Recuperado de <https://cidades.ibge.gov.br/>

In Loco. (2020). Índice de Isolamento Social: Brasil. Recuperado de <http://mapabrasileirodacovid.inloco.com.br/pt/>

Jornal da USP. (2020). Jornal da Universidade de São Paulo, ‘Reduzir transporte público durante pandemia pode ampliar contaminação’, Nabil Bonduki em 09 de abril de 2020, jornal Recuperado de ISSN - 2525-6009, <https://jornal.usp.br/radio-usp/reduzir-transporte-publico-durante-pandemia-pode-ampliar-contaminacao/>

Jornal O Liberal. (2020). Remédios para combater o novo coronavírus estão em falta em farmácias da Grande Belém. Redação Integrada. 25 de abril de 2020. <https://www.oliberal.com/belem/remedios-para-combater-o-novo-coronavirus-estao-em-falta-em-farmacias-da-grande-belem-1.261301>

Li R., S. Pei., B. Chen, Y. Song, T. Zhang, W. Yang, J. Shaman, (2020). *Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV2)*, Science, 10.1126/science.abb3221, 2020.

Ministério da Saúde. (2020). Painel Coronavirus Brasil, Recuperado de <https://covid.saude.gov.br/>

Ministério da Saúde. (2020). Painel Analítico Coronavírus Brasil Recuperado de [https://susanalitico.saude.gov.br/extensions/covid-19\\_html/covid-19\\_html.html](https://susanalitico.saude.gov.br/extensions/covid-19_html/covid-19_html.html)

Ministério da Saúde. (2020) Diretrizes para Diagnóstico e Tratamento da COVID-19, ,coordenação de gestão de protocolos clínicos e diretrizes terapêuticas –

CPCDT/CGGTS/DGITIS/SCTIE/MS, Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde – SCTIE, Brasília – DF, 06 de abril de 2020.

Nogueira, A. L., Zibetti, A. W., Roqueiro, N., Carciofi, B. A. M. (2020). Estimativa da Subnotificação de Casos da COVID-19, Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Joinville (SC).

OMS – Organização Mundial De Saúde. (2020). Recuperado de <https://www.who.int/ith/diseases/sars/en/>; <https://www.who.int/emergencies/mers-cov/en/>. Acesso em: 05 de julho de 2020.

OMS – Organização Mundial De SAÚDE. (2020) Recuperado de <https://www.who.int/ith/diseases/sars/en/>; <https://www.who.int/emergencies/mers-cov/en/>.

Padin, G.(2020). Entenda por que a vacina contra covid-19 ainda não foi produzida. R7 notícias, 2020. Recuperado de <<https://noticias.r7.com/tecnologia-e-ciencia/entenda-porque-a-vacina-contracovid-19-ainda-nao-foi-produzida02042020>

Pereira, A. S., et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM.

Portal Fiocruz. (2020). Aceleração de Internações por Síndrome Respiratória Aguda. <https://portal.fiocruz.br/noticia/infogripe-destaca-aceleracao-de-internacoes-por-sindrome-respiratoria-aguda-grave>

Portal G1 Globo de Notícias. (2020). Aglomeração e Distanciamento no Rio de Janeiro. Portal Recuperado de <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/07/03/1a-noite-com-bares-liberados-tem-aglomeracao-e-desrespeito-a-regras-de-distanciamento-no-rio.ghtml>

Portal G1 Bem Estar. (2020). Vacina contra COVID 19. Recuperado de <https://g1.globo.com/bemestar/coronavirus/noticia/2020/06/03/2-mil-voluntarios-brasileiros-participam-de-testes-de-vacina-contrao-covid-19-de-oxford.ghtml>

Portal G1 Globo. (2020). Casos de Subnotificação. Recuperado de <https://g1.globo.com/bemestar/coronavirus/noticia/2020/04/29/subnotificacao-4-indicadores-de-que-ha-mais-casos-de-covid-19-no-brasil-do-que-o-governo-divulga.ghtml>

Quintella, C. M., Mata, A. M. T., Ghesti, G. F., Mata, P. M. A. L.(2020). Vacinas para Coronavírus (COVID-19; SARSCOV-2): mapeamento preliminar de artigos, patentes, testes clínicos e mercado. Cadernos de Prospecção – Salvador, 13(1), 3-12.

Ribeiro, L. C., Bernardes, A. T. (2020), Atualização da Estimativa de Subnotificação em Casos de Hospitalização por Síndrome Respiratória Aguda e Confirmados por Infecção por Covid-19 no Brasil. Nota Técnica. Universidade Federal de Minas Gerais, maio de 2020.

Souza, D. O. (2020). A pandemia de COVID-19 para além das Ciências da Saúde: reflexões sobre sua determinação social *Ciência & Saúde Coletiva*, 25(Supl.1):2469-2477.

Tech Calc (2013). Calculadora científica. Recuperado de <https://roamingsquirrel.com/legal.html>.

Ventura, D. F. L., Ribeiro, H., Giulio, G. M., Jaime, P. C., Nunes, J., Bogus, C. M., Antunes, J. L. F., Waldman, E. A. (2020). Desafios da pandemia de COVID-19: por uma agenda brasileira de pesquisa em saúde global e sustentabilidade *Cad. Saúde Pública*.

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Gustavo Nogueira Dias – 35%

Vanessa Mayara Souza Pamplona – 20%

Alessandra Epifânio Rodrigues – 10%

Gilberto Emanuel Reis Vogado – 10%

Washington Luiz da Silva Junior – 8%

Wagner Davy Lucas Barreto – 7%

Jamile Carla Oliveira Araújo – 5%

Eldilene da Silva Barbosa – 5%