

<https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.18982>



A APLICAÇÃO DE UM MODELO ESTOCÁSTICO PARA O ACOMPANHAMENTO DA EVOLUÇÃO DA COVID-19 NO MUNICÍPIO DE MACAÉ-RJ

THE APPLICATION OF A STOCHASTIC MODEL TO MONITOR THE EVOLUTION OF COVID-19 IN MACAÉ-RJ

Recebido em: 21 dez. 2020

Aprovado em: 26 abr. 2021

Versão do autor aceita publicada online: 26 abr. 2021

Publicado online: 30 jun. 2021

Como citar esse artigo - American Psychological Association (APA)

Santos, R. F. (2023, abr./jun.). A aplicação de um modelo estocástico para o acompanhamento da evolução da Covid-19 no município de Macaé-RJ. *Exacta*, 21(2), 455-478. DOI:

<https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.18982>

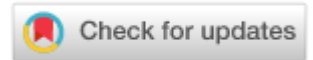
Submeta seu artigo para este periódico

Processo de Avaliação: *Double Blind Review*

Editor: [Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto](#)



Dados Crossmark



A APLICAÇÃO DE UM MODELO ESTOCÁSTICO PARA O ACOMPANHAMENTO DA EVOLUÇÃO DA COVID-19 NO MUNICÍPIO DE MACAÉ-RJ

THE APPLICATION OF A STOCHASTIC MODEL TO MONITOR THE EVOLUTION OF COVID-19 IN MACAÉ-RJ

 Ricardo França Santos¹

Resumo: Poucos são os modelos estocásticos disponíveis na literatura para utilização em casos de estimativas de cenários considerando a Covid-19. O objetivo desta pesquisa é apresentar quatro cenários envolvendo modelagem determinística e modelagem estocástica para a tomada de decisão por parte dos administradores municipais em relação a ocupação de leitos de UTI. A partir da literatura buscou-se parâmetros em modelos epidemiológicos e por meio de um estudo de caso foi feita uma simulação para validação dos dados e estimativa dos resultados. Como contribuição para a teoria ressalta-se a diferença significativa entre a estimativa determinística e a estimativa estocástica. Como contribuição prática destaca-se o emprego da modelagem estocástica para a tomada de decisão pelo gestor municipal considerando as medidas de isolamento social. Como contribuição para a sociedade ressalta-se a importância do distanciamento social no combate a covid-19 bem como a necessidade do cumprimento dos decretos municipais expedidos pela Prefeitura Municipal de Macaé.

Palavras-Chave: Modelos Estocásticos. Covid-19. Distanciamento Social.

Abstract: Few stochastic models are available in the literature for use in case of scenario estimates considering Covid-19. The aim of this research is to present four scenarios involving deterministic modeling and stochastic modeling for decision making by municipal administrators regarding the occupation of ICU beds. Parameters in epidemiological models were achieved and, through a case study, a simulation was carried out to validate the data and estimate the results. As a contribution to the theory, the significant difference between the deterministic estimate and the stochastic estimate stands out. As a practical contribution, we highlight the use of stochastic modeling for decision making by the municipal manager considering the measures of social distancing. As a contribution to society, the importance of social isolation in the fight against covid-19 is highlighted, as well as the need to comply with the municipal decrees issued by the Municipality of Macaé.

Keywords: Stochastic Models. Covid-19. Social Distancing.

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) / Rio de Janeiro (RJ) - Coordenador do Curso de Engenharia de Produção – Engenharia, UFRJ – Macaé - r_frana@yahoo.com.br

1.0 Introdução

A evolução da velocidade de propagação da covid-19 tem preocupado as autoridades no tocante à preservação da saúde e à segurança da população. Por outro lado, a sociedade encontra-se ávida por resultados de pesquisas que mostrem como realmente está a situação neste ambiente preocupante.

O SARS-CoV-2 surpreendeu a comunidade global e a melhor alternativa para o entendimento do comportamento do vírus foi estudar a pandemia de influenza (MOORE *et al.*, 2020). Visando contribuir para a diminuição dessa lacuna com a modelagem do SARS-CoV-2, esta pesquisa apresenta uma forma de buscar uma previsão e tendências da evolução da pandemia da covid-19 para a cidade de Macaé-RJ. Neste contexto, verificou-se que alguns pesquisadores estão elaborando modelos e trabalhando para acompanhar a evolução da pandemia (LIXIANG LI *et al.*, 2020; RODA, VARUGUESE, HAN & LI, 2020; ROOSA *et al.*, 2020; CHOWELL & MIZUMOTO, 2020).

Segundo Almeida (2020), modelos são abstrações da realidade e contém erros devido à complexidade envolvida ser normalmente abarcada e isto contribui para que o modelo possa não refletir a totalidade da realidade. Buscando minimizar os erros algumas simplificações são realizadas e entendidas como pressupostos durante a modelagem.

Desta forma, esta pesquisa tem como propósito buscar uma estimativa por meio de uma modelagem estocástica para avaliação da capacidade de leitos públicos para atendimento da população da cidade de Macaé-RJ.

Diversos grupos de modelagem têm realizado estimativas e previsões para estudar o comportamento da covid-19 (RODA *et al.*, 2020). Enquanto que na modelagem determinística há um conjunto de valores fixos para as variáveis independentes do modelo e estes geram uma única saída para uma variável dependente, na modelagem estocástica, um processo aleatório permite explorar o comportamento do modelo contemplando sua evolução com o tempo. Entretanto, a escolha da faixa de valores na qual as variáveis independentes oscilam em aleatoriedade deve ser selecionada com base em opiniões de especialistas ou histórico de ocorrências sustentadas por pesquisas científicas (RODA *et al.*, 2020; ALMEIDA, 2020).

A metodologia utilizou uma abordagem exploratória e quantitativa e foi consolidada por um estudo de caso. Partiu-se de um levantamento sistemático na literatura e com os dados obtidos da Prefeitura da Cidade de Macaé, foi realizado o ajuste em uma curva representativa que por meio de uma simulação de Monte Carlo, obteve-se a estimativa de leitos para 60, 70, 80 e 90 dias. O objetivo é prever se haverá ou não um estrangulamento da logística hospitalar na cidade de Macaé.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo apresentar aos gestores públicos municipais da saúde, por meio de 4 cenários, uma modelagem estocástica para a predição e o monitoramento da



capacidade de leitos de UTI em virtude da evolução dos casos confirmados da covid-19 em um município do norte fluminense.

2.0 Referencial Teórico

2.1 Modelos de Transmissão Epidemiológicos

Alguns modelos foram desenvolvidos para estudar a evolução de epidemias e entre os principais se encontram os modelos SIR, SIS, SIRS, SEIS, SEIR, SEIAR, MSIR, MSEIR, MSEIRS.

Não é objetivo deste trabalho descrever detalhadamente tais modelos e sim apresentar os conceitos básicos para o entendimento da modelagem utilizada neste trabalho. Toda modelagem normalmente estabelece pressupostos e, desta forma, dependendo dos pressupostos estabelecidos deve-se considerar o comportamento de mais variáveis, o que aumenta a complexidade do modelo.

Segundo Shil (2016), o modelo mais simples estudado é o modelo SIR. Ele considera uma população fixa com apenas três componentes: Sensíveis ou Suscetíveis (S), Infectados (I) e os Removidos ou Recuperados (R). Este modelo resultou em três equações diferenciais ordinárias que representam a taxa de variação instantânea dos representantes da população: Suscetíveis, Infectados e os Recuperados.

A partir deste modelo outros foram propostos considerando alguns pressupostos. Alguns consideram que a população não é fixa e contempla os nascimentos e as mortes, outros consideram que um indivíduo recuperado poderia se recontaminar e realimentar o processo, outros modelos consideram que um suscetível poderia estar com a doença incubada e contaminar outros suscetíveis, entre outras situações.

Considerando que qualquer indivíduo na população possa ser suscetível, ou seja, no início os suscetíveis equivalem ao total da população (N). Um novo indivíduo infectado pode em média infectar $\beta N/\alpha$, onde α é o coeficiente que representa a proporcionalidade entre a taxa de recuperados ($dR(t)/dt$) e os infectados (I). Portanto $\beta N/\alpha$ passa a ser conhecido como R_0 e representa o número de reprodução básico. Enquanto R_0 for maior que 1 a epidemia continua (SHIL, 2016).

A partir deste modelo foi considerado que um indivíduo suscetível após ser contaminado pode apresentar um período de incubação da doença e seu estado passa a ser reconhecido como latente ou exposto (E) podendo ser considerado um caso de infecção. Segundo Shil (2016) o modelo SEIR contempla este estágio e neste caso há uma taxa de transmissão k entre o estado exposto (E) e o estado infectado (I). Considerando $1/k$ a duração média do período latente da doença, os indivíduos infectados (I) podem transmitir a doença para os suscetíveis (S) a uma taxa de transmissão β . Portanto, neste novo modelo a população N será igual ao somatório de S, E, I e R. O R_0 passa a ser calculado pela seguinte equação:

$$R_0 = (1+r/\alpha).(1+r/k)$$

Kirkeby *et al.* (2017) propõem um método para a estimativa da taxa de infecção média (β) em situações epidemiológicas como alternativa ao método de Poisson.

Outro parâmetro relevante é a taxa de crescimento da pandemia, conhecida por r , e calculada a partir dos casos confirmados acumulados de infectados (CC) e relacionados com os Infectados (I) e os Recuperados (R) pela expressão $CC = I + R$. No estágio inicial há uma tendência de crescimento exponencial de CC.

Considerando que há uma tendência de crescimento exponencial tanto dos casos confirmados acumulados (CC) como dos casos dos Infectados (I), os erros relacionados as suas estimativas também podem ocorrer de forma exponencial, o que refletirá em estimativas pouco precisas. Neste contexto é necessário acompanhar a evolução da pandemia com a coleta de dados de fontes fidedignas e com certa frequência visando à atualização nas projeções realizadas.

Considerando que no modelo SIR somente pessoas infectadas (I) podem transmitir o coronavírus, esta seria uma limitação para utilização deste modelo pois já se constatou que as pessoas saudáveis e suscetíveis (S) podem contrair a doença e não apresentar os sintomas sendo elas um transmissor e que não estariam sendo contabilizadas para contribuição na taxa de infecção β . Outro pressuposto que não será considerado nesta modelagem é que uma pessoa recuperada (R) possa se reinfectar o que também aumentaria a taxa de transmissão e o número de Infectados (I).

Almeida (2020) trabalhando com duas séries temporais observou que ao estimar os casos confirmados de covid-19 com um número de ocorrências inferior a 20, isto poderia causar um viés na modelagem, o que não seria percebido, por exemplo, com 10 ocorrências.

2.2 Trabalhos elaborados com modelos e estimativas para a covid-19 fora do Brasil

Yang *et al.* (2020) estudaram a propagação e predição da covid-19 e utilizaram a teoria de distribuição gaussiana no modelo proposto com dados baseados em casos oriundos da China, da Coréia, da Itália e do Irã. O estudo revelou que os fatores chave que explicaram a evolução da pandemia são: o número básico de reprodução, o período de incubação e o número de infecções diárias. Eles avaliaram o impacto de diferentes controles na evolução da covid-19 e constataram que sem controle algum o número básico de reprodução médio encontrado foi de 3,8, com medidas de isolamento social caiu para 0,5 e com aumento de restrições chegou a 0,1.

Dos resultados encontrados, Yang *et al.* (2020) constataram que um valor médio para o período de incubação é de 6 dias e revelaram que se fosse feito um controle com 5 dias de antecipação poderia haver uma diminuição para 28.000 casos, o que corresponde a 42% do número atual de casos confirmados. Esses autores constataram também que a média de tempo de cura a partir da data da



diagnose é de 21 dias. Cabe ressaltar que o modelo proposto se ajustou bem para dados da localidade de Hubei na China para o número de óbitos e para o número de pessoas curadas, contudo apresentou uma distorção em relação ao número de pessoas infectadas em relação ao informado oficialmente, o que sinalizou que pode ter havido uma subavaliação dos dados oficiais.

Baseado em valores de simulação com Distribuição Gaussiana, o modelo teve um melhor ajuste quando o tempo médio para contágio foi de 8 dias. Valores considerados para esta simulação variaram de 3 a 9 dias para o período de incubação e 5 dias o tempo médio de morbidade. O modelo de Distribuição Gaussiana analisa a transmissão do vírus considerando a média e o desvio padrão, sendo que este último apresentou pouca influência. No estudo verificou-se que o desvio padrão variou de 1,5 a 2,0, considerando um período médio de contágio de 8 dias (YANG *et al.*, 2020).

Roda *et al.* (2020) avaliaram as dificuldades para a predição da evolução da covid-19 por modelos, e constataram que a não identificação de um modelo na etapa de calibração torna-se a principal dificuldade. Entende-se por não identificação de um modelo quando há a disponibilidade de vários conjuntos de parâmetros que levam a um mesmo conjunto de ajustes. Utilizando critérios de ajuste AIC (Akaike Information Criterion) esses autores verificaram que em modelos mais simples como o SIR há melhores ajustes do que em modelos mais complexos como o SEIR. O aumento no número de parâmetros desconhecidos e que precisam ser estimados em um modelo pode aumentar a incerteza na predição.

Roda *et al.* (2020) revelaram que diversas modelagens levaram a trabalhar com número básico de reprodução R_0 variando de 2 a 6 e que no início do surto, devido a pouca informação disponível, houve necessidade de rigorosos métodos de calibração utilizando a Máxima Verosimilhança e a Inferência Bayesiana com base na cadeia de Markov e na amostragem de Monte Carlo. Esses autores comparam os casos confirmados da covid-19 como sendo a área visível na superfície de um iceberg e a parte afundada as pessoas infectadas que são desconhecidas ou por não apresentarem sintomas ou por não fazerem testes, o que faz com que a taxa de infecção β varie muito.

O período de latência é considerado o tempo entre o momento em que a pessoa se infecta e o tempo em que ela se torna infectante. Já o período de incubação é o tempo entre o indivíduo estar infectado e o momento em que aparecerem os sintomas clínicos. Para a Síndrome Respiratória Aguda Grave (SARS), em média, o indivíduo se torna infectante após 2 dias de aparecimento dos sintomas clínicos, então o período de latência é maior que o período de incubação. Como o período de latência é difícil de ser detectado, o modelo SEIR passa a ser mais complexo pois depende deste parâmetro (RODA *et al.*, 2020).

Roda *et al.* (2020) trabalharam com simulações sustentadas pelo modelo SIR realizadas com dados da província de Wuhan, na China, e observaram que o aumento da taxa de transmissão é diretamente proporcional ao aumento da taxa de diagnose. Além disso, foi verificado que o número de

reprodução básico inicial na província de Wuhan foi 2 e teve um valor médio de 1,629. Além disso, esses autores verificaram que a combinação da redução de 10% na taxa de transmissão, e um aumento de 90% na taxa de diagnose, podem ser indícios de medidas efetivas para garantir que a quarentena e a procura de casos suspeitos produzam resultados para o combate à epidemia. Esses autores ressaltaram que se as medidas restritivas incluindo *lockdown* não tivessem sido tomadas a epidemia em Wuhan não teria terminado em final de fevereiro ou março de 2020.

Roosa *et al.* (2020) ressaltaram que as previsões de curto prazo em tempo real devem ser priorizadas por modelos fenomenológicos dinâmicos já testados por epidemias anteriores. Para isso eles empregaram vários modelos dinâmicos em uma janela temporal de 5 dias com simulações para 5, 10 e 15 dias a frente para estimar casos acumulados na província de Hubei e também para avaliar a trajetória global da epidemia na China excluindo Hubei. A calibração do modelo incluiu 15 ocorrências para o primeiro dia e, em seguida, foram adicionados outros dias até um total de 4 dias, totalizando 19 ocorrências. O ajuste envolveu uma simulação com 6.000 curvas carregadas pelo método dos mínimos quadrados não lineares com estimativas de incertezas por Bootstrap e uma estrutura de erros com 95% de confiança assumindo uma distribuição de Poisson. Os modelos sugeriram que as amplas medidas de distanciamento social implementadas ajudaram a estabilizar a epidemia.

O monitoramento do comportamento pode evidenciar como está a evolução da covid-19, haja vista que as intervenções de distanciamento físico ajudam a reduzir o avanço da doença entre pessoas. As medidas de distanciamento social tomadas pelo Reino Unido e estimadas em torno de 73% foram efetivas para as reduções no número de contatos entre as pessoas. Este fato evidenciou que o número de reprodução da covid-19 permaneceu abaixo de 1, levando a diminuição dos casos da covid-19. Contudo verificou-se que este declínio não se refletiu imediatamente, pois houve um significativo descompasso entre o momento da infecção e o aparecimento da doença e a hospitalização, bem como em relação ao aparecimento de novos casos (JARVIS, VAN ZANDVOORT, GIMMA, & PREM, 2020).

Mizumoto e Chowell (2020) estudaram a transmissão de coronavírus a bordo de um navio recreio de cruzeiro no Japão. Eles observaram que o número de reprodução da covid-19 alcançou valores próximos de 11. As evidências sugerem que o coronavírus se dissemina muito mais rápido em ambientes confinados como hospitais, navios, prisões e igrejas. Esses autores revelaram que as estimativas foram baseadas em estudos prévios e utilizaram uma distribuição gama com média e desvio-padrão de 7,5 e 3,4, respectivamente, obtendo o valor máximo alcançado em até 20 dias. As projeções foram feitas com método bayesiano com a abordagem da cadeia de Markov e com a amostragem de Monte Carlo com 95% de confiabilidade. Esses autores observaram que seguindo as diretrizes de quarentena a taxa de reprodução diminuiu substancialmente quando comparada aos valores iniciais estabelecidos.



Scarabel, Pellis, Bragazzi. e Wu (2020) afirmam que o pico da epidemia na província de Hubei na China ocorreu duas semanas após o *lockdown* ter sido decretado. Na Itália as restrições iniciaram com um *lockdown* e, em seguida, fechou o comércio não essencial e, posteriormente, foram encerradas todas as atividades excetuando as essenciais.

O Canadá implantou restrições de viagens com acesso ao país para seus residentes, para os que possuem visto permanente e para os cidadãos dos EUA. O fechamento de escolas e universidades foi gradualmente implementado e também em alguns tipos de comércio. Dos casos reportados da covid-19, 9% requisitaram hospitalizações e destes 3% foram críticos para tratamento em UTI (Scarabel *et al.*, 2020).

Scarabel *et al.* (2020) revelaram que na pesquisa realizada foram coletados dados da Itália, EUA e Canadá referente aos casos diários da covid-19. Estes dados evidenciaram crescimentos exponenciais para um ajuste realizado por meio de modelos de regressão linear para uma escala logarítmica utilizada em diferentes períodos de acordo com a situação do país avaliado. Esses autores assumiram que a situação do Canadá era semelhante a situação da Itália e, deste modo, 40% do número total de casos foram verificados em hospitalizações onde a população mais idosa era a predominante (SCARABEL *et al.*, 2020).

Scarabel *et al.* (2020) ressaltaram que 80% das mortes estavam relacionadas a pessoas com mais de 65 anos. Eles assumiram que as restrições impostas na Itália reduziram a taxa de crescimento da pandemia em duas semanas, fazendo com que o tempo de propagação da covid-19 passasse para 6 a 7 dias. Neste estudo esses autores consideraram que o Canadá teria menos recursos hospitalares que a Itália, ou seja, 1,95 leitos por 1000 pessoas e 2,62 leitos por 1000 pessoas, respectivamente. Desta forma, a ausência de intervenções de saúde pública poderia levar o Canadá a ter 15.000 casos confirmados no final do mês analisado e que as medidas restritivas tomadas possibilitaram chegar a 4.000 casos reduzindo pela metade a taxa de crescimento.

2.3 Trabalhos elaborados com modelos e estimativas para a covid-19 no Brasil

Nos estudos realizados por Almeida (2020) observou-se os dados para ajuste deverão ter pelo menos 20 dias de registro com valores maiores que 50 casos, em virtude da incerteza associada a limitação dos dados.

Outro trabalho realizado com dados do Brasil foi o relatório 21 disponibilizado pelo *Imperial College*. Esta pesquisa trata especificamente de estimativas para a evolução da covid-19 no Brasil e descreve a epidemia sob três medidas: o número de infecções, o número de óbitos e o número de reprodução. O estudo limitou-se aos 16 estados que possuíam mais de 50 óbitos na época. Verificou-se que a distribuição das mortes foi altamente heterogênea entre os estados com 5 deles possuindo mais de 81% do total de óbitos. O número de pessoas infectadas variou de 3,3 % a 10, 6% (MELLAN, 2020).

Segundo Mellan (2020) o número de reprodução no início da epidemia mostrou que 1 pessoa em média poderia infectar outras 3 ou 4. As medidas de intervenção adotadas nos estados referentes ao fechamento das escolas e o isolamento social contribuiu para diminuir o número de reprodução que se manteve ainda nos 16 estados superior a 1, indicando que a epidemia não estaria controlada. Utilizando um modelo epidemiológico dinâmico, bayesiano e hierárquico estimou-se o número de pessoas infectadas, o número de óbitos e a transmissão em função das restrições de isolamento social com o objetivo de mensurar o impacto dessas intervenções para evidenciar as tendências futuras e sugerir o afrouxamento das medidas de controle empregadas ou outras a serem adotadas.

Os resultados da pesquisa do *Imperial College* mostraram que o decréscimo da mobilidade urbana em 29% resultaria em um decréscimo da taxa de crescimento em aproximadamente 54%. Resultados de redução da mobilidade urbana na Itália em 53% mostrou que a taxa de crescimento seria reduzida em 85%, o que levaria a uma taxa de crescimento inicial inferior a 1%. Isto destaca que a ausência de maiores intervenções resulta em piores resultados. Esses autores ressaltam que a correlação existente entre a mobilidade e taxa de transmissão é dinâmica e pode ser alterada por fatores como comportamento da população por distanciamento físico e uso de máscaras (MELLAN, 2020).

2.4 Estimativa da Evolução da Covid-19 em Macaé – RJ

2.4.1 Objeto de Estudo

A cidade de Macaé é conhecida como a princesinha do mar. Trata-se de um município da Região Norte Fluminense, contemplando uma área territorial de 1.215,49 km², que faz divisa com os municípios de Carapebus e Conceição de Macabu ao norte e com Rio das Ostras e Casimiro de Abreu ao sul, com Trajano de Moraes e Nova Friburgo a Oeste e com a orla marítima a Leste. Macaé encontra-se a 182 km da capital, possui uma população de 244.139 habitantes e uma densidade demográfica de 211,17. Possui 23 km de litoral e tem como fontes de economia a agricultura, a pecuária e a exploração de petróleo e gás (Prefeitura Municipal de Macaé, 2020).

Segundo dados do Governo Federal sobre o Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES), disponível em Ministério da Saúde (2020), a cidade de Macaé possui uma rede hospitalar particular contemplando a clínica São Lucas, o Hospital São João Batista de Macaé, a Unimed Costa do Sol Hospital, totalizando 51 leitos. Na rede pública conta com o Hospital Público Municipal da Serra e o Hospital Público Municipal de Macaé, contabilizando 75 leitos. Desse total, 91 leitos estão disponíveis para o Sistema Único de Saúde (SUS).



3.0 Metodologia

A metodologia possui uma abordagem exploratória e quantitativa e foi consolidada por um estudo de caso.

Os passos para execução da metodologia foram os seguintes:

- 1) Pesquisa na literatura sobre modelos epidemiológicos
- 2) Coleta de dados oficiais da Prefeitura Municipal de Macaé (<http://www.macaee.rj.gov.br/conteudo/leitura/titulo/informe-coronavirus>) e dados específicos de isolamento social de Macaé fornecidos pela empresa InLoco (<https://mapabrasileirodacovid.inloco.com.br/pt/>) com tratamento destes últimos (redução em 4 casas decimais) e plotagem, ordenamento e apresentação por meio de planilhas Excel® considerando o período de 09/04/2020 a 08/05/2020.
- 3) Plotagem dos gráficos representativos dos ajustes da modelagem
- 4) Cálculo de parâmetros necessários para obtenção das faixas para a simulação
- 5) Simulação e validação para estimativa dos resultados.

4.0 Resultados

4.1 Levantamento na Literatura

No levantamento realizado recorreu-se ao portal Periódicos Capes e foram inseridas as seguintes palavras-chave para uma busca: modeling AND covid-19. Inicialmente obteve-se 223 resultados, porém em um refino realizado pelo filtro “periódicos revisados por pares” e em tópicos específicos “covid-19” e “pandemia”, foram obtidas 103 ocorrências. Destas buscou-se as que tratavam especificamente de modelagem e obteve-se 9 documentos. Depois de verificar a pertinência e tratar a duplicidade nestes registros obteve-se 5 ocorrências como resultado. Foram adicionados outros arquivos encontrados na internet realizados por pesquisadores que trabalham com modelagem epidemiológica baseada em estimativas da evolução da covid-19 e chegou-se a um total de 10 registros.

4.2 Coleta e tratamento dos dados

Nesta etapa foram tabulados os dados em uma planilha Excel® conforme apresentado na Tabela 1. Os dados da coluna “índice de isolamento social” foram obtidos por meio de uma parceria da Universidade com a empresa InLoco.

Os dados utilizados na tabela 1 referentes aos casos confirmados, aos casos acumulados e aos óbitos foram obtidos no site oficial da Prefeitura de Macaé no período avaliado.



Tabela 1

Casos confirmados da covid-19

DATA	Ocorrência	Casos Confirmados	Casos Acumulados	Óbitos	Casos Estimados	% de Erro	Índice de Isolamento Social
09/04/2020	1	0	20	2			0,4743
10/04/2020	2	4	20	2			0,5379
11/04/2020	3	0	20	3			0,5404
12/04/2020	4	0	22	3			0,5806
13/04/2020	5	2	25	3			0,4935
14/04/2020	6	3	25	4			0,4933
15/04/2020	7	0	38	4			0,4838
16/04/2020	8	13	38	5			0,4621
17/04/2020	9	0	44	5			0,4755
18/04/2020	10	6	51	6			0,4949
19/04/2020	11	7	54	6			0,5726
20/04/2020	12	3	63	7			0,4793
21/04/2020	13	9	74	8			0,5274
22/04/2020	14	11	81	8			0,4595
23/04/2020	15	7	90	8			0,5165
24/04/2020	16	9	93	9			0,4497
25/04/2020	17	3	99	9			0,4837
26/04/2020	18	6	104	10			0,5677
27/04/2020	19	5	110	10			0,4717
28/04/2020	20	6	123	10			0,4706
29/04/2020	21	13	130	10			0,4521
30/04/2020	22	7	150	12			0,4309
01/05/2020	23	20	164	14			0,5052
02/05/2020	24	14	167	14			0,4557
03/05/2020	25	3	175	14			0,5342
04/05/2020	26	8	189	14			0,4475
05/05/2020	27	14	205	14			0,4384
06/05/2020	28	6	235	14			0,4426
07/05/2020	29	30	256	14			0,4860
08/05/2020	30	21	262	14			0,4314
09/05/2020	31	6	265	14	273	2,93	0,4541
10/05/2020	32	16	278	15	296	6,08	0,4900
11/05/2020	33	41	319	15	320	0,31	0,4513
12/05/2020	34	36	355	16	347	2,25	
13/05/2020	35	28	383	16	376	1,83	
14/05/2020	36	18	401	20	407	1,47	

Fonte: Autor.



4.3 Plotagem dos gráficos representativos dos ajustes da modelagem

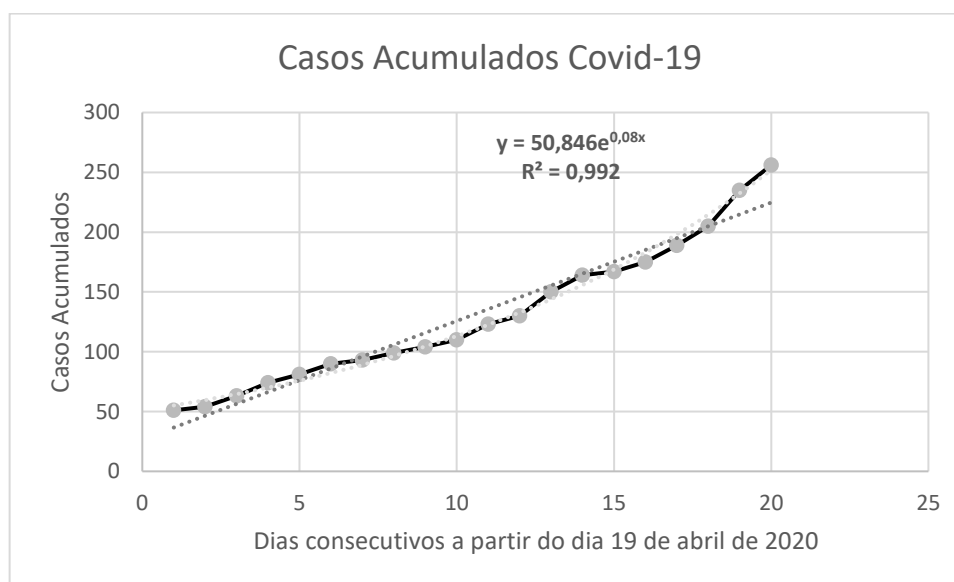
Nesta etapa foram transcritos para a planilha Excel[®] os dados da coluna “ocorrência” e da coluna “casos acumulados” no período entre os dias 19/04/2020 e 08/05/2020. Criou-se uma coluna denominada “ocorrência” para registrar na planilha a ordem cronológica de ocorrência e facilitar a plotagem dos gráficos pelo Excel[®].

A partir de então foi plotado e gerado o gráfico no Excel[®] que representa os registros da evolução diária dos casos acumulados por dia da covid-19. No gráfico de casos acumulados buscou-se avaliar qual a função matemática que seria mais representativa para o ajuste dos dados. Neste caso, a melhor curva ajustada foi com uma distribuição exponencial, representada por $y = 50,846e^{0,08x}$, onde y são os casos confirmados e x é o tempo em dias. O R^2 encontrado foi de 0,989, o que infere uma boa explicação para o relacionamento entre as variáveis tempo em dias (x) e casos acumulados (y). Foram testados outros ajustes com a distribuição logarítmica e com a distribuição polinomial de 2^a ordem, porém estas distribuições apresentaram um pior ajuste avaliados pelo R^2 .

A figura 1 apresenta os casos acumulados da covid-19 e a função de ajuste.

Figura 1

Casos Acumulados da covid-19 em Macaé



Fonte: Autor.

4.4 Cálculo de parâmetros necessários para obtenção das faixas para a simulação

Durante esta etapa foi elaborado o cálculo de parâmetros necessários para realização da simulação e da visualização do comportamento do modelo. Os seguintes resultados foram encontrados:

Parâmetro α – A taxa de recuperação foi obtida pelo inverso do tempo de recuperação. Foi informado pelo pessoal da Prefeitura de Macaé que trabalha nos hospitais que o tempo de recuperação do infectado com a covid-19 varia entre 14 e 21 dias. Yang *et al.* (2020) reportaram 21 dias como o tempo de recuperação verificado em sua pesquisa. Desta forma, neste trabalho serão previstas variantes para dois cenários considerando 14 e 21 dias, e com isso, a taxa de recuperação α resultou em 0,0714 e 0,04761, respectivamente.

Parâmetro k (taxa de transmissão do estado exposto para o estado infectado) – Considerando que a transmissão da pandemia pode ocorrer com ou sem período de incubação, serão consideradas duas situações para a simulação dos dados. Considerando que somente haverá o parâmetro k se houver incubação, neste caso o valor obtido será o inverso do tempo de exposição ou incubação. Na literatura Kusharski *et al.* (2020) observaram um período médio de incubação de 5,2 dias para a cidade de Wuhan. Yang *et al.* (2020) trabalharam com valores de 3 a 9 dias para o período de incubação para as simulações. Diante dos dados apresentados, este trabalho irá utilizar para período de incubação o valor de 5,2 dias. Desta forma, o valor do parâmetro k será equivalente a 0,192, independente do tempo de recuperação do indivíduo contaminado.

Parâmetro μ (taxa de letalidade) - A taxa de letalidade varia de acordo com a faixa etária e a existência de comorbidades pelos infectados, com o distanciamento social praticado no local, e os outros fatores impactantes. Segundo informação disponibilizada pelo Grupo de Trabalho para enfrentamento da covid-19 nos municípios do norte fluminense (GT-Covid), até 27 de abril de 2020 foram registrados 10 óbitos no município de Macaé. Como os casos confirmados na data correspondente aos 10 óbitos foi de 110, a taxa de letalidade no município é de 9,09%. Verificou-se que a letalidade média no Estado do Rio de Janeiro é de 9,03% e a média de todas as 36 ocorrências registradas é 8,9%, portanto não há alteração significativa em se considerar a taxa de letalidade de 9,09% para o município de Macaé.

Parâmetro β (taxa de transmissão média) – A taxa de transmissão será levantada de modo indireto estimando-se a taxa de crescimento da epidemia pelo procedimento proposto por Fraser *et al.* (2009) e utilizado por Almeida (2020):

$$r = 1/(t_2 - t_1) \ln (CC_2/CC_1)$$

$$\text{Neste caso: } r = 1/(20-19) \ln (110/104) = 0,05609$$

Com estes parâmetros calculados, estima-se pela equação seguinte o número básico de reprodução (R_0), considerando os dois cenários para tempo de recuperação de 14 dias e 21 dias e que haverá somente infecção e recuperação:



$$R_0 = 1 + r/\alpha$$

Segundo Shil (2016) de forma mais precisa com exposição, infecção e recuperação:

$$R_0 = (1 + r/\alpha).(1+r/k)$$

Com isso, β pode ser calculado como:

$$\beta = R_0 . \alpha$$

A tabela 2 apresenta todos os parâmetros calculados para os dois cenários (Tr = 14 dias e Tr = 21 dias) considerando incubação e sem incubação.

Tabela 2

Consolidação dos parâmetros considerando os dois cenários

Parâmetro	Tr = 14 dias		Tr = 21 dias	
	Sem incubação	Com incubação	Sem incubação	Com incubação
α	0,0714	0,0714	0,0476	0,0476
k	N/A	0,1920	N/A	0,1920
R_0	1,7856	2,3072	2,1784	2,8148
β	0,1275	0,1647	0,1037	0,1340

Legenda: N/A – não se aplica

Fonte: Autor.

Os dados referentes ao isolamento social fornecidos pela empresa InLoco foram transcritos para a coluna índice de isolamento social da tabela 1.

4.5 Simulação e validação para estimativa dos resultados

A última etapa é a simulação e validação dos casos confirmados estimados. A partir do ajuste da distribuição exponencial por meio da equação da curva de casos acumulados, $y = 50,846e0,08x$, foi feita a estimativa dos casos acumulados considerando 20 dias decorridos a partir do primeiro dia que foi o dia 19 de abril de 2020. Na calibração do modelo ao estipular para a variável tempo o valor de 21 dias encontra-se como resultado pela equação proposta o valor de 272,82 casos confirmados que quando comparado aos casos realmente ocorridos em 09 de maio de 2020 (21º dia) obtemos um erro intrínseco de 2,93%, ou seja, este erro encontra-se dentro do intervalo de confiança de 95%. Alocando valores equivalentes aos observados no 22º, 23º, 24º, 25º e 26º dia, obtivemos como estimativa os

valores de 296, 320 347, 376 e 407, com erros intrínsecos de 6,08%, 0,31%, 2,25%, 1,83% e 1,47%, respectivamente.

A partir de uma modelagem com auxílio de uma planilha Excel® foi obtido o seguinte cenário estático conforme apresentado na tabela 3.

Nesta tabela os campos com a coloração azul são campos com variáveis de entrada de dados e os campos com coloração vermelha são campos com variáveis de saída de dados.

Tabela 3

Modelagem com Cenário Estático

MODELAGEM	18/06/2020	28/06/2020	08/07/2020	18/07/2020
ÓBITOS ESTIMADOS				
INTERNADOS NA UTI	17	37	83	184
HOSPITALIZADOS	556	1.238	2.754	6.129
CASOS CONFIRMADOS	6.178	13.750	30.601	68.105
TAXA DE LETALIDADE	9,0909	9,0909	9,0909	9,0909
R ₀	2,4966	2,4966	2,4966	2,4966
TEMPO EM DIAS	60	70	80	90
TAXA DE HOSPITALIZAÇÃO	0,09	0,09	0,09	0,09
TAXA DE OCUPAÇÃO DA UTI	0,03	0,05	0,05	0,05
ISOLAMENTO SOCIAL	0,4865	0,4865	0,4865	0,4865

Fonte: Autor.

Na estimativa dos resultados utilizou-se a função matemática ajustada produzida no Excel® para a curva de casos acumulados apresentada na figura 1 com entrada de valores para a variável tempo correspondentes a 60, 70, 80 e 90 dias, contados a partir de 19 de abril de 2020, isto é, o primeiro dia considerado por ter no mínimo 50 casos. Para o dia 18/06/2020, houve o tempo decorrido de 60 dias a partir de 19/04/2020 e, conseqüentemente, a estimativa de casos confirmados foi de 6.178 pessoas com a covid-19, estimado pela função matemática da figura 5, isto é, $50,846(0,08 \cdot 60)$. Para calcular o número de pessoas hospitalizadas multiplicou-se esse resultado pela taxa de hospitalização (9%), o que resultou em 556 pessoas hospitalizadas. O resultado multiplicado pela taxa de internação para UTI (3%) resultou em 17 pessoas. O raciocínio idêntico foi realizado para os outros dias.

O resultado apresentado na tabela 3 aponta que no dia 18/06, 28/06, 08/07 e 18/07 teríamos 556, 1.238, 2.754 e 6.129 pessoas hospitalizadas em Macaé vítimas da covid-19, respectivamente. Segundo informação do GT-Covid nem todos os hospitalizados permaneceram no hospital sendo a maioria removidos para serem acompanhados por teleatendimento médico domiciliar.

Para a estimativa de ocupação de leitos de UTI obteve-se, para os mesmos dias 18/06, 28/06, 08/07 e 18/07, os valores de 17, 37, 83 e 184 pessoas internadas na UTI em estado grave,

respectivamente. Esses resultados apresentados na tabela 3 consideram que em média haveria um índice de isolamento social equivalente ao atual de 48,65%.

No entanto, se utilizarmos esta mesma modelagem para fazer uma simulação dinâmica com a técnica Monte Carlo utilizando o software @Risk[®] versão 7.5.2 da empresa Palisade, obteremos as informações probabilísticas suportadas por dados estatísticos para os mesmos dias 18/06, 28/06, 08/07 e 18/07. Nesta simulação estocástica, os valores dos parâmetros de entrada variam em faixas e estas foram buscadas na literatura.

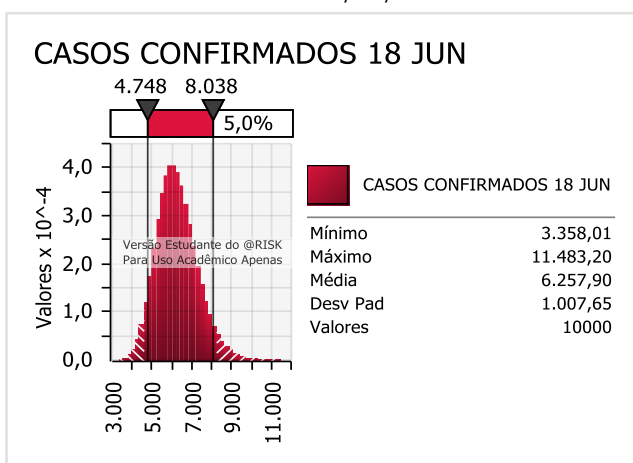
A taxa de utilização da UTI não é um valor fixo de 3% e sim uma média de valores considerando uma distribuição uniforme com variação de 20% desse valor para mais ou para menos. Para a taxa de hospitalização foi sugerida uma distribuição normal com valor médio de 0,09 e desvio padrão de 0,02. Já a variável temporal foi sugerida uma distribuição normal equivalente ao valor de entrada e desvio padrão 2. Para a taxa de letalidade sugeriu-se uma distribuição normal com valor médio de 10% e desvio padrão 2, valores correspondentes a taxa de letalidade verificada no Estado do Rio de Janeiro.

A partir dessas distribuições para as faixas das variáveis de entrada e, utilizando a mesma sistemática de cálculo na modelagem estática, projetou-se os resultados com simulações de Monte Carlo em amostragens de 10.000 ocorrências e nível de confiança de 95%. A figura 2 apresenta a previsão do número de casos confirmados em Macaé no dia 18/06/2020. A partir da simulação de Monte Carlo pode-se inferir que existirão 8.038 casos acumulados da covid-19, na data considerada, com intervalo de confiança no nível de 95%.

Por esse gráfico pode-se concluir, com uma confiabilidade de 95%, que para um total de 10.000 casos, em média, haverá uma probabilidade de se ter 8038 casos confirmados da covid-19 em Macaé no dia 18/06/2020.

Figura 2

Casos Confirmados no dia 18/06/2020

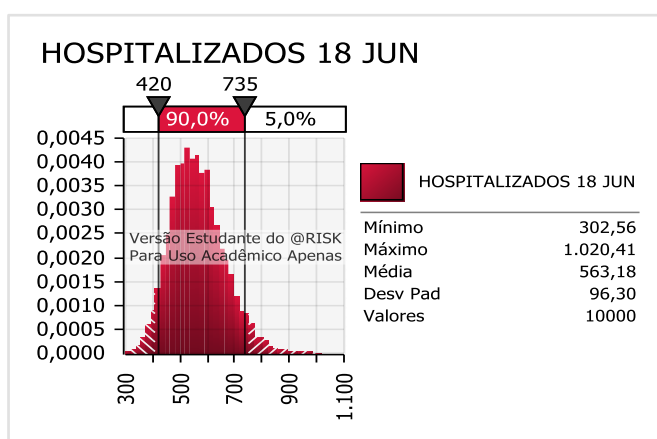


Fonte: Autor com base no @Risk[®] v.7.5.2.

A figura 3 apresenta os hospitalizados nessa mesma data. No gráfico apresentado pode-se concluir com 95% de confiabilidade que para um total de 10.000 casos confirmados e hospitalizados, em média, há uma probabilidade de 735 pessoas estarem ocupando leitos de hospitais em Macaé como consequência da covid-19 em 18 de junho de 2020. Com base nesses dados estatísticos existe uma probabilidade mínima e máxima de se ter 303 e 1020 leitos ocupados, respectivamente.

Figura 3

Hospitalizados em 18/06/2020



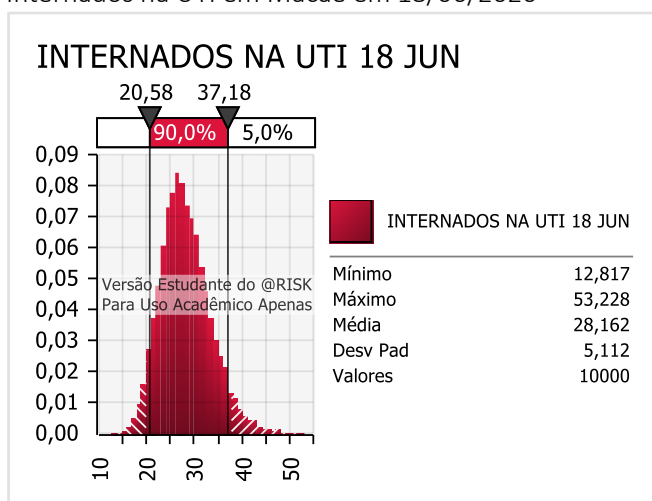
Fonte: Autor com base no @Risk® v.7.5.2.

A figura 4 apresenta os pacientes internados em leitos na Unidade de Terapia Intensiva (UTI) na data de 18 de junho de 2020. Considerando o índice de isolamento social atual do município de 48,65% pode-se inferir, com 95% de confiabilidade, a cada 10.000 internados, em média, haverá 37 leitos de UTI ocupados nesta data. Ainda com base nesses dados estatísticos existe uma probabilidade mínima de 13 e máxima de 53 leitos estarem ocupados nessa data.



Figura 4

Internados na UTI em Macaé em 18/06/2020



Fonte: Autor com base no @Risk® v.7.5.2.

Repetindo-se o mesmo procedimento de simulação para os demais dias, ou seja, 28/06/2020, 08/07/2020 e 18/07/2020, e considerando a variação do índice de isolamento social de 48,65%, 58,65%, 63,65% e 75,00%, respectivamente, encontramos os seguintes resultados representados na tabela 4.

Tabela 4

Simulação de Monte Carlo com variação do Índice de Isolamento Social

Simulação com Índice de Isolamento Social de 48,65%	18/06/2020	28/06/2020	08/07/2020	18/07/2020
Internados na UTI	31	70	155	345
Hospitalizados	834	1871	4167	9265
Casos Confirmados	8037	17889	39808	88595
Simulação com Índice de Isolamento Social de 58,65%			08/07/2020	18/07/2020
Internados na UTI			69	257
Hospitalizados			1915	6917
Casos Confirmados			19569	68366
Simulação com Índice de Isolamento Social de 63,65%			08/07/2020	18/07/2020
Internados na UTI			31	215
Hospitalizados			874	5822
Casos Confirmados			9453	58238
Simulação com Índice de Isolamento Social de 75,00%				18/07/2020
Internados na UTI				120
Hospitalizados				3360
Casos Confirmados				35276

Fonte: Autor.

5.0 Discussão dos Resultados

5.1 Levantamento na Literatura

Em que pese que o número de publicações encontrados por meio do levantamento bibliográfico foi pequeno as informações disponíveis nessas publicações permitiram subsidiar a pesquisa.

5.2 Coleta e tratamento dos dados

Na tabela 1 estão apresentados os dados referentes as ocorrências, os casos confirmados, os casos acumulados e a taxa de isolamento social mensurada. A linha em destaque correspondente ao dia 19 de abril de 2020 representa o primeiro ponto a ser considerado para a plotagem do gráfico representativo do ajuste da modelagem.

Visando evitar distorções na estimativa, conforme já mencionado por Almeida (2020), foram utilizadas para o ajuste da equação matemática as ocorrências com frequência acumulada de no mínimo 50 casos até totalizar 20 registros, ou seja, do dia 19 de abril de 2020 até o dia 08 de maio de 2020.

5.3 Plotagem dos gráficos representativos dos ajustes da modelagem

Verifica-se pela figura 1 que os dados estão bem ajustados a curva.

5.4 Cálculo de parâmetros necessários para obtenção das faixas para a simulação

Foram calculados o Parâmetro α (taxa de recuperação), o parâmetro k (taxa de transmissão do estado exposto para o estado infectado), o parâmetro μ (taxa de letalidade) e o parâmetro β (taxa de transmissão média). Os dados foram sumarizados na tabela 2. O parâmetro referente a taxa de transmissão média irá estabelecer a faixa de variação que será utilizada na simulação de Monte Carlo.

Em relação aos dados de isolamento social fornecidos pela empresa InLoco, percebe-se que o menor e o maior valor obtido foram de 0,4309 e 0,5806, respectivamente aos dias 30 e 12 de abril de 2020. Conforme já reportado pelo relatório 21 do *Imperial College*, existe uma correlação direta com causalidade entre o aumento do índice de isolamento social e o aumento de casos da covid-19. Com os dados obtidos verificou-se que para um aumento de 0,049 pontos percentuais poderá haver a existência de um caso adicional confirmado da covid-19 em Macaé. Esta informação será considerada na etapa da simulação.

5.5 Simulação e validação para estimativa dos resultados

Na calibração do modelo os resultados estimados encontram-se dentro do intervalo de confiança de 95% e apresentam um erro médio intrínseco de 2,48%. Estes valores foram calculados a



partir da média aritmética dos erros apresentados na tabela 1. O ponto referente ao erro estimado equivalente a 6,08%, dia 10 de maio, domingo, provavelmente pode ter sido atribuído a uma subnotificação de casos confirmados da covid-19, fato já reportado na literatura.

A tabela 3 apresenta a modelagem com Cenário Estático para os dias 18/06, 28/06, 08/07 e 18/07 correspondendo a 60, 70, 80 e 90 dias, contados a partir de 19 de abril de 2020. Estimou-se por meio da função matemática de ajuste do Excel® o número de casos acumulados considerando o R_0 de 2,4966 que é a média dos valores apresentados na tabela 1 para o tempo de recuperação de 21 dias, ou seja, pior cenário. No cálculo do número de pessoas hospitalizadas utilizou-se a taxa de hospitalização de 9% que correspondia a taxa de hospitalização média no estado do Rio de Janeiro. A taxa de internação para UTI de 3% foi informada pelo pessoal de saúde do Município de Macaé. Os valores da taxa de hospitalização e da taxa de internação para UTI encontram-se respaldados pela pesquisa de Scarabel *et al.* (2020).

Utilizando valores determinísticos para a estimativa da ocupação de leitos de UTI verifica-se que em 08/07 e 18/07 haveria uma sobrecarga com a ocupação de 87 e 184 leitos, respectivamente. Considerando que na rede pública do município existem 75 leitos de UTI disponíveis para o Sistema Único de Saúde (SUS), haveria um colapso do sistema hospitalar a partir do dia 08/07. Cabe ressaltar que o campo “isolamento social” na modelagem estática foi considerado constante em 48,65% para toda a previsão neste primeiro cenário. Este valor do isolamento social foi calculado pela média estimada dos valores fornecidos pela empresa InLoco no período considerado.

De forma análoga foi realizada uma simulação dinâmica com a técnica Monte Carlo utilizando o software @Risk® versão 7.5.2. Os resultados da tabela 2 foram projetados com simulações de Monte Carlo em amostragens de 10.000 ocorrências e nível de confiança de 95%. Para um índice de isolamento de 48,65% e um nível de confiança de 5%, em média, haverá uma probabilidade de se ter 8038 casos confirmados da covid-19, 735 pessoas estarem ocupando leitos de hospitais em Macaé, e destes, 37 leitos de UTI estariam ocupados no dia 18/06/2020. Considerando que o município de Macaé possui 75 leitos de UTI na rede pública de saúde, a taxa de ocupação seria de 49,33%. Esse mesmo procedimento de simulação foi realizado com a taxa de isolamento variando em 48,65%, 58,65%, de 63,65% e 75%.

Ao se analisar os resultados da simulação apresentados na tabela 4 e considerando que o município de Macaé possui 75 leitos de UTI na rede pública de saúde e 16 leitos de UTI na rede particular de saúde designados para receber pacientes da covid-19, obtém-se uma taxa de ocupação de 41,33% e 93,33% dos leitos públicos nos dias 18 e 28 de junho, respectivamente. Entretanto, considerando que um paciente permaneça em média 7,5 dias na UTI há uma rotatividade mensal nos leitos de UTI que pode ser estimada com um fator 4, ou seja, em um mês cada um dos leitos comporta 4 pacientes. Como o intervalo entre as datas é de 10 dias estima-se que nesse período há uma taxa de rotatividade do CTI de 1,33. Portanto, na data de 08 de julho de 2020 haverá na verdade uma ocupação de 117 leitos e na

data de 18 de julho uma ocupação de 259 leitos, o que significa que em ambas as datas mesmo somando os leitos da rede pública e privada poderá haver um estrangulamento do sistema de saúde.

Esta situação mostra que a não adoção de medidas de isolamento social mais rígidas podem comprometer o atendimento de pacientes graves no município.

Considerando o índice atual de isolamento medido e informado no município de Macaé pela empresa InLoco, percebe-se que a cada ponto percentual de redução no índice de isolamento social, os casos confirmados da covid-19 são incrementados diariamente em 2024 casos. Baseado nesta premissa realizou-se novas simulações com os resultados apresentados na tabela 4. Realizando o mesmo raciocínio com a taxa de rotatividade para estimativas no dia 08 de julho e no dia 18 de julho, teremos 69 e 257 leitos ocupados, respectivamente.

Supondo um aumento na rigidez do isolamento social em mais 15 pontos percentuais esse índice passaria para 63,65%, isso equivaleria a ter uma redução de 30.360 casos confirmados. A tabela 4 mostra os resultados de uma nova simulação com esse índice de isolamento social para os dias 08/07/2020 e 18/07/2020. Percebe-se que mesmo corrigindo para o fator de rotatividade da UTI, os 215 leitos ocupados estariam acima da capacidade máxima de acomodação do município que é de 91 leitos.

Haja vista que somente um aumento na rigidez do isolamento social poderia atender a demanda por leitos na UTI, foi elaborada outra simulação para um índice de isolamento social de 70%, ou seja, com um incremento de 21,35% da taxa atual de isolamento social praticado atualmente em Macaé.

O resultado da simulação em 18 de julho considerando um índice de isolamento social no município de 75% mostra que existirá 120 leitos ocupados na UTI, contudo se aplicarmos a taxa de rotatividade de 1,33, observa-se que a taxa de ocupação real da UTI será de 99%, correspondendo a 90 leitos ocupados. Com a aplicação de 75% de isolamento social no município de Macaé a partir de 08/07/2020 há uma probabilidade de 95% de ser evitado o estrangulamento do sistema de saúde do município.

Os resultados das simulações consideraram como condicionante a medição da taxa de isolamento social pela empresa InLoco no município de Macaé. No período entre 09 de abril de 2020 e 11 de maio de 2020, essa taxa apresentou um valor médio de 48,65%. Entende-se que para atingir este índice foram contempladas as seguintes medidas tomadas por meio de decretos municipais pela Prefeitura Municipal de Macaé até a data de 11 de maio de 2020, última medição registrada neste trabalho:

- Proibição da entrada e ônibus de excursão e turismo;
- Proibição do desembarque de passageiros no aeroporto ou rodoviária que estejam em quarentena ou apresentem sintomas de presença do coronavírus;



- Fomento do trabalho remoto pelos órgãos municipais e redução da jornada de trabalho para meio expediente e escala de serviço;
- Suspensão do funcionamento de shoppings centers, centros comerciais e estabelecimentos congêneres, excetuando os estabelecimentos de serviço básico,
- Veto da entrada de turistas no distrito de Sana;
- Suspensão de todas as atividades laborais no município no âmbito público e privado;
- Suspensão das aulas da rede municipal, pública e privada, incluindo as instituições de ensino superior;
- Suspensão das atividades religiosas com a presença de público;
- Criação de barreiras sanitárias em 5 pontos de acesso ao município de Macaé;
- Uso obrigatório da máscara de proteção individual como EPI por todos os que estejam exercendo atividades laborais no município,
- Proibição do estacionamento em ambos os lados em toda a extensão de orla na praia por veículo automotor,
- Criação do Centro Municipal de Quarentena para acolher pessoas que tenham sido testadas positivamente que por motivos socioeconômicos não possuam condições de realizar a quarentena e o devido isolamento em suas residências durante o período de 14 dias.

5.0 Conclusões

Este trabalho atendeu ao seu objetivo principal de apresentar por meio de uma modelagem estocástica quatro cenários que podem contribuir para o auxílio na tomada de decisão por parte dos administradores municipais da saúde pública. Verificou-se que a evolução da covid-19 no município de Macaé encontra-se em crescimento exponencial e devido ao fato de o município se caracterizar como um centro de exploração de petróleo e gás com um movimento representativo no PIB do estado do Rio de Janeiro e por fazer fronteiras com 6 outros municípios, é extremamente preocupante a situação da pandemia no município.

O levantamento na literatura mostrou que não há um único modelo epidemiológico a ser seguido e que quanto mais complexo for o modelo, maiores serão os erros intrínsecos relacionados às estimativas.

A modelagem elaborada mostrou que a curva do ajuste matemático exponencial para os casos acumulados da covid-19 em Macaé encontra-se adequada com um erro médio de 1,93%. Em virtude deste trabalho focar em uma modelagem estocástica, sugere-se que o acompanhamento seja efetivo e baseado em dados reais de 3 semanas anteriores e com estimativas para os próximos 15 dias visando evitar distorções e melhorar o ajuste nos respectivos cenários.

Este trabalho evidenciou que há uma grande diferença na estimativa baseada com modelos determinísticos em relação às estimativas baseadas com modelos estocásticos. Para os cenários propostos correspondentes aos dias 18/06, 28/06, 08/07 e 18/07, em relação a ocupação dos leitos de UTI, o modelo determinístico apresentou 35% da probabilidade de ocorrência dos mesmos cenários em relação a uma estimativa estocástica, este último considerando a aplicação da técnica de Monte Carlo com 10.000 iterações e ajuste de 95% de confiança.

Os resultados mostram que apesar das medidas de rigidez tomadas pela Prefeitura Municipal de Macaé em relação ao isolamento social, estas não são suficientes para garantir que a população possa ter um atendimento satisfatório em relação à utilização das UTI. Os resultados sugerem que medidas mais rígidas de isolamento social sejam tomadas a partir do dia 08 de julho levando esse índice a um patamar de 75%.

Os resultados encontrados não podem ser encarados como uma verdade absoluta, haja vista que os modelos são abstrações da realidade e possuem erros intrínsecos relacionados a sua complexidade. Ressalta-se como limitações desta pesquisa a possibilidade de subnotificações de dados registrados, da utilização de uma modelagem mais robusta para garantir que os pacientes já infectados e recuperados possam transmitir a covid-19 e a ausência de histórico de dados para fortalecer as faixas de estimativas utilizadas, além da impossibilidade de generalização dos dados por se tratar de um estudo de caso específico do município de Macaé.

Como contribuição para a teoria ressalta-se a diferença significativa entre a estimativa determinística e a estimativa estocástica. A contribuição prática desta pesquisa evidencia o emprego da modelagem estocástica para a tomada de decisão pelo gestor municipal considerando as medidas de isolamento social. Como contribuição para a sociedade ressalta-se a importância do distanciamento social no combate a covid-19 bem como a necessidade do cumprimento dos decretos municipais expedidos pela Prefeitura Municipal de Macaé.


Em conformidade com a literatura, sugere-se que seja feito um acompanhamento dos casos confirmados, hospitalizados e internações na UTI com base nas últimas 20 ocorrências registradas na base de dados e prospectadas com modelagem estocástica proposta em uma janela temporal curta de 5 dias. Concomitantemente, como medida de monitoramento, seria avaliada a combinação da redução de 10% na taxa de transmissão e um aumento de 90% na taxa de diagnose, haja vista que estes fatos, conforme reportado na literatura, poderiam ser indícios da efetividade das medidas tomadas pela Prefeitura Municipal por meio de seus decretos municipais.

Como trabalhos futuros sugere-se testar os cenários com outra metodologia para verificar a conformidade dos resultados encontrados. Outros trabalhos poderiam também envolver outros municípios para verificar a compatibilidade dos resultados e metodologias aplicadas.



Referências

- ALMEIDA, R.C. (2020) *Nota Técnica - Estudo preliminar sobre a evolução de casos da covid-19 no Brasil: análises e projeções*. Universidade Federal do Paraná. Recuperado em 20 agosto, 2020, de google.com/view/rcalmeida-ufpr/
- FRASER, C., DONNELLY, C. A., CAUCHEMEZ, S., HANAGE, W. P., VAN KERKHOVE, M. D., HOLLINGSWORTH, T. D., GRIFFIN, J., BAGGALEY, R. F., JENKINS, H. E., LYONS, E. J., JOMBART, T., HINSLEY, W. R., GRASSLY, N. C., BALLOUX, F., GHANI, A. C., FERGUSON, N. M., RAMBAUT, A., PYBUS, O. G., LOPEZ-GATELL, H., ALPUCHE-ARANDA, C. M. WHO Rapid Pandemic Assessment Collaboration (2009). Pandemic potential of a strain of influenza A (H1N1): early findings. *Science (New York, N.Y.)*, 324 (5934), 1557–1561.
<https://doi.org/10.1126/science.1176062>
- JARVIS, C.I., VAN ZANDVOORT, K., GIMMA, A., PREM, K. (2020). Quantifying the impact of physical distance measures on the transmission of COVID-19 in the UK. *BMC Med* 18, 124.
<https://doi.org/10.1186/s12916-020-01597-8>
- KIRKEBY, C., HALASA, T., GUSSMANN, M., TOFT, N. & GRÆSBØLLPR., K. (2017). Methods for Estimating Disease Transmission Rates: Evaluating the Precision of Poisson Regression and Two Novel Methods, *Scientific Reports*, 7:9496. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41598-017-09209-x>
- MELLAN, T.A., HOELTGEBAUM, H.H., MISHRA, S. et al. (2020) Estimating COVID-19 cases and reproduction number in Brazil. *Imperial College*. Report number: 19.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. (n.d.). Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde – CNES/DATASUS. 2020. Recuperado em 10 julho, 2020, de <http://cnes2.datasus.gov.br/>



MIZUMOTO, K., & CHOWELL, G.. (2020). Transmission potential of the novel coronavirus (COVID-19) onboard the diamond Princess Cruises Ship, 2020. *Infectious Disease Modelling*, 5, pp. 264-270.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MACAÉ. (n.d.). Site Oficial. Recuperado em 11 julho, 2020, de <http://www.macaee.rj.gov.br/>

RODA, W.C.; VARUGHESE, M.B.; HAN, D.; LI, M.Y.. (2020). Why is it difficult to accurately predict the COVID-19 epidemic ?. *Infectious Disease Modelling*, 5, pp. 271-281.

ROOSA K., VARUGUESE M. B., HAN, D., LI M.Y. (2020). Real-time forecasts of the COVID-19 epidemic in China from February 5th to February 24th, 2020. *Infectious Disease Modelling* , 5, pp. 256-263.

SCARABEL, F., PELLIS, L. BRAGAZZI, N. L., WU, J. (2020). Canada needs to rapidly escalate public health interventions for its COVID-19 mitigation strategies. *Infectious Disease Modelling*, 5, pp. 316-322.

SHIL, P.. (2016). Mathematical Modeling of Viral Epidemics: A Review. *Biomedical Research Journal* , 3(2), pp. 195-215. DOI: <http://doi.org/10.4103/2349-3666.240612>

YANG, ZIHANG, DANG, ZHONGKAI, MENG, CUI, HUANG, JINGZE, MENG, HAOTIAN, WANG, DEYU, CHEN, GUANHUA, ZHANG, JIAXUAN, PENG, HAIPENG, SHAO, YIMING. (2020). Propagation analysis and prediction of the COVID-19. *Infectious Disease Modelling*. 5, 282-292. <http://doi.org/10.1016/j.idm.2020.03.002>