

**A aplicação de um modelo estocástico para o acompanhamento da evolução da Covid-19 no município de Macaé-RJ.**

**RICARDO FRANCA SANTOS**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ)

A aplicação de um modelo estocástico para o acompanhamento da evolução da Covid-19 no município de Macaé-RJ.

## 1.0 INTRODUÇÃO

Existem diversos tipos de modelagem para estudar o comportamento da Covid-19. 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.

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. Este artigo apresenta um modelo estocástico para acompanhamento da evolução da Covid-19 em Macaé, RJ.

## 2.0 PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVO

Poucos são os modelos estocásticos disponíveis na literatura para utilização com a Covid-19, portanto este trabalho torna-se relevante por apresentar uma modelagem estocástica para acompanhamento da evolução da pandemia em um município da região norte fluminense. O problema da pesquisa é como obter uma ferramenta de apoio à decisão para predição e monitoramento da taxa de incidência da Covid-19, da capacidade hospitalar e da evolução de casos confirmados?

Desta forma, este trabalho tem como objetivo apresentar por meio de uma modelagem estocástica uma ferramenta para monitoramento para o auxílio na tomada de decisão por parte dos gestores da saúde pública no município de Macaé, RJ.

## 2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Evolução da Pandemia no Brasil

Os registros do acompanhamento da Covid-19 no Brasil apontam que o marco inicial ocorreu em 09 de fevereiro de 2020 por ocasião do repatriamento de brasileiros que habitavam a cidade chinesa de Wuhan e em 26 de fevereiro há o primeiro caso confirmado da Covid-19 no Brasil. Ao final do dia 27 de março as secretarias de saúde dos estados confirmam 3.417 pessoas contaminadas e 92 óbitos.

Em 08 de abril o Ministério da Saúde reforça a necessidade de distanciamento social para os estados de São Paulo, Ceará, Rio de Janeiro, Amapá e Distrito Federal por terem alcançado taxas de casos confirmados 50% acima da média nacional. Em 16 de abril o Brasil completa um mês do primeiro óbito e registra 30.891 casos confirmados e 1952 óbitos. O ministro da saúde é exonerado. Em 02 de maio o país registra 97.100 casos confirmados e 6.761 óbitos. O estado do Rio de Janeiro conta com 10.546 casos confirmados e 971 óbitos.

## 2.2 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. 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 foi proposto por W. O. Kermack e A. G. McKendrick em 1927 e 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 figura 1 apresenta o diagrama do modelo SIR.



Figura 1 – Diagrama Esquemático do Modelo SIR

Fonte: Autor com base em Shil (2016)

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

Considerando que há uma tendência de crescimento exponencial tanto de casos confirmados acumulados (CC) como de 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 modo fidedigno e constante visando à atualização nas projeções realizadas.

A figura 2 apresenta a evolução de uma pandemia considerando as variáveis Casos Confirmados (CC), Suscetíveis (S), Infectados (I) e Recuperados (R).

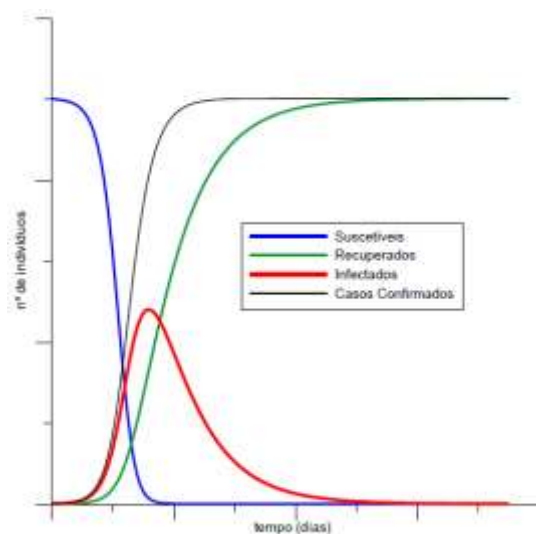


Figura 2 – Evolução de uma pandemia

Fonte: Autor com base em kirkeby *et al.* (2017)

Observa-se que a evolução de casos confirmados acumulados (CC), após o pico de infectados (I), deixa de apresentar um crescimento exponencial e tende a se manter constante. Cabe ressaltar que a curva de infectados (I) terá um crescimento mais rápido quanto maior for a taxa de infecção  $\beta$ . 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  $\beta$ . 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).

### 2.3 Trabalhos elaborados com modelos e estimativas para a Covid-19 fora do Brasil

Li *et al.* (2020) estudaram a propagação e previsão da Covid-19 e utilizaram a teoria de distribuição gaussiana no modelo proposto com dados baseados em casos da China, Coreia, Itália e Irã. O estudo revelou que os fatores chave que explicam a evolução 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, Li *et al.* (2020) constataram 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. Baseado em valores de simulação com distribuição Gaussiana, o modelo teve um melhor ajuste quando o tempo médio para contágio foi de 8 dias. 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 informados oficialmente, o que sinalizou que pode ter havido uma subavaliação dos dados oficiais.

Roda *et al.* (2020) avaliaram a dificuldade 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. Um aumento no número de parâmetros desconhecidos e que precisam ser estimados em um modelo pode aumentar a incerteza na predição.

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 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 realizadas com dados da província de Wuhan na China sustentados pelo modelo SIR 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 e nas diversas modelagens realizadas esses autores trabalharam com número básico de reprodução variando de 2 a 6.

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 (RODA *et al.*, 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.

As medidas de distanciamento social tomadas pelo Reino Unido foram efetivas para as reduções no número de contatos entre as pessoas o que foi estimado em 73%, o que se refletirá para manter o número de reprodução da covid-19 abaixo de 1, levando a diminuição dos casos da Covid-19. Contudo este declínio não se reflete imediatamente, pois há 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 *et al.*, 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 ( $R_t$ ) da Covid-19 alcançou valores próximos de 11. As evidências sugerem que o coronavírus se

dissemina muito rápido em ambientes confinados como hospitais, navios, prisões e igrejas.

Dos casos reportados da Covid-19, 9% requisitaram hospitalizações e destes 3% foram críticos para tratamento em UTI. Ressalta-se que 80% das mortes refere-se a pessoas com mais de 65 anos. Verificou-se 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. (SCARABEL *et al.*, 2020).

## 2.4 Trabalhos elaborados com modelos e estimativas para a Covid-19 no Brasil

Nos estudos realizados por Almeida (2020) observou-se que há uma correlação linear entre o tempo para atingir o pico da pandemia e a população afetada, ou seja, a relação direta entre esse tempo e o tamanho da população é estatisticamente relevante. Baseado nessa correlação positiva esse autor estimou inicialmente o tempo para a pandemia atingir o pico no Brasil. Ele também mostrou que 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. 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. Os resultados apresentados 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.

## 2.5 Estimativa da Evolução da Covid-19 em Macaé – RJ

### 2.5.1 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 km<sup>2</sup>, que faz divisa com Carapepus 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. 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, disponível em DataSus (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. Destes 91 leitos estão disponíveis para o Sistema Único de Saúde (SUS).

### 3.0 DISCUSSÃO

#### 3.1 Metodologia

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

Os passos para execução da metodologia foram os seguintes:

- 1) Pesquisa bibliométrica de modelos epidemiológicos
- 2) Coleta e tratamento dos dados
- 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.

No passo 1 - Foi realizada a pesquisa bibliométrica por meio do Portal de Periódicos Capes para buscar conceitos de modelos epidemiológicos para aplicação no estudo de caso. Devido ao fato de a pandemia ser recente foi encontrado à época pouco material disponível na internet.

No passo 2 - Foi conduzida a coleta de dados por meio de contatos com o Grupo de Trabalho Multidisciplinar para Enfrentamento da Covid-19, doravante denominado GT Covid-19, criado na Universidade Federal do Rio de Janeiro, no campus Macaé. Foram utilizados dados oficiais disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Macaé. Os dados informados foram tabulados, ordenados e plotados em uma planilha Excel® como forma de preparação para a etapa posterior.

Passo 3 – Os dados foram plotados em uma planilha Excel® para geração dos gráficos dos casos da Covid-19 com frequência absoluta e com frequência absoluta acumulada. A partir deste último foi possível descrever a equação matemática de ajuste para os casos da Covid-19 acumulados.

Passo 4 – A partir dos dados e da equação matemática gerada foram calculados os seguintes parâmetros: taxa de recuperação ( $\alpha$ ), taxa de exposição ou incubação ( $k$ ), taxa de letalidade ( $\mu$ ) e taxa de transmissão ( $\beta$ ). Esses parâmetros foram confrontados com os dados do referencial teórico para obtenção das faixas para simulação de Monte Carlo.

Passo 5 – A partir dos parâmetros e dados obtidos na literatura foi realizada uma simulação de Monte Carlo para evidenciar o total de infectados, o número de hospitalizados e os casos de internação na UTI. O objetivo seria verificar como está se comportando o município de Macaé em relação ao aumento dos casos da Covid-19 e verificar quando haverá o estrangulamento dos leitos nos hospitais da cidade. Para isso

foi levantado no Cadastro Nacional dos Estabelecimentos de Saúde, o número de leitos do SUS e do sistema particular de saúde no município.

### 3.2 Resultados

#### Bibliometria

Nesta etapa recorreu-se ao portal Periódicos Capes e colocou-se as seguintes palavras-chave para busca: modeling AND Covid-19. Inicialmente obteve-se 223 resultados, porém em um refino realizado por “periódicos revisados por pares” e por tópicos específicos da Covid-19 e pandemia retornaram 103 e destes buscou-se os que tratavam especificamente de modelagem e obteve-se 9 ocorrências. Depois de verificar a pertinência e tratar a duplicidade nestes registros obteve-se 5 ocorrências como resultado. Com outros arquivos encontrados na Internet realizados por pesquisadores que trabalham com modelagem epidemiológica com estimativas da evolução da Covid-19 chegou-se a um total de 10 registros.

#### Coleta e tratamento dos dados

Na tabela1 encontram-se os dados já tabulados e ordenados. Visando evitar distorções na estimativa conforme já comentado por Almeida (2020), serão utilizadas para o ajuste da equação matemática as ocorrências com frequência acumulada de no mínimo 50 até totalizar 20 registros, ou seja, do dia 19 de abril de 2020 até o dia 08 de maio de 2020.

Tabela 1 – Casos confirmados da Covid-19 (continua)

<b>DATA</b>	<b>Ocorrência</b>	<b>Casos Confirmados</b>	<b>Casos Acumulados</b>	<b>Óbitos</b>	<b>Casos Estimados</b>	<b>% de Erro</b>	<b>Índice de Isolamento Social</b>
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



Tabela 1 – Casos confirmados da Covid-19 (conclusão)

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

Plotagem dos gráficos representativos dos ajustes da modelagem

O primeiro ajuste foi realizado mediante um gráfico de linhas. A figura 3 apresenta esse gráfico com a plotagem dos pontos representativos de casos da Covid-19 diários em Macaé no período de 19 de abril de 2020 a 08 de maio de 2020.

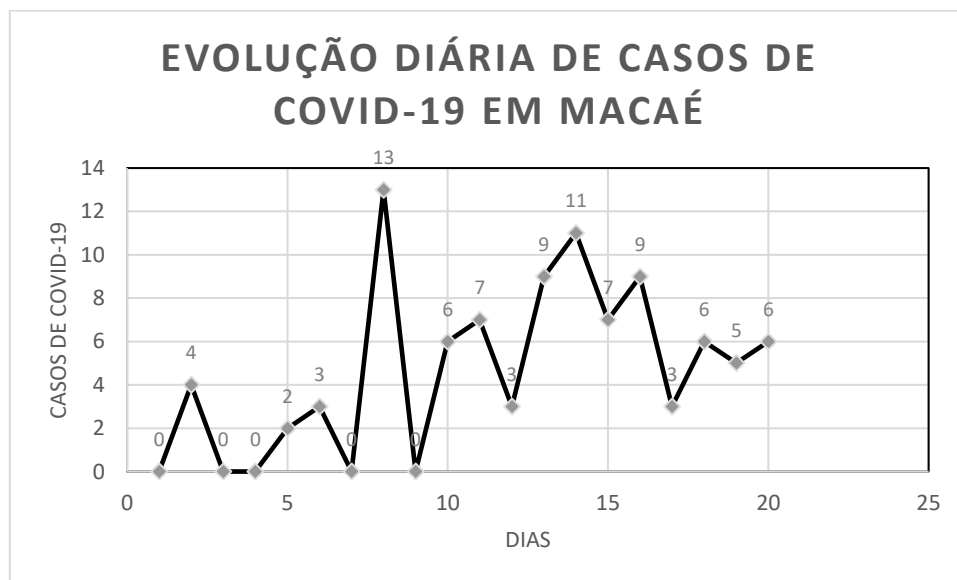


Figura 3 – Representação dos casos da Covid-19 em Macaé

Fonte: Autor

A figura 4 apresenta os casos acumulados da Covid-19 e a função de ajuste. Buscou-se avaliar qual a função matemática que seria mais representativa para o ajuste dos dados dos casos acumulados e obteve-se como representação a distribuição exponencial  $y =$

$50,846e^{0,08x}$ , 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  $x$  e  $y$ . Foram testados outros ajustes com a distribuição logarítmica e com a distribuição polinomial de 2ª ordem, porém estes apresentaram um pior ajuste.

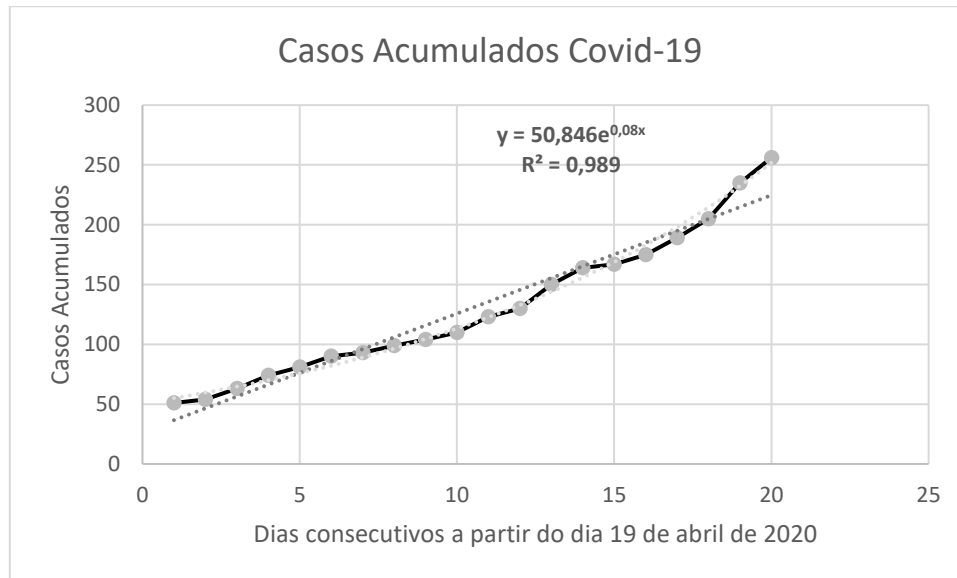


Figura 4 – Casos Acumulados da Covid-19 em Macaé

Fonte: Autor

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 visualização do comportamento do modelo. Os seguintes resultados foram encontrados:

Parâmetro  $\alpha$  – A taxa de recuperação foi obtida pelo inverso do tempo de recuperação. Foi informado pelos membros do GT Covid que o tempo de recuperação do infectado com a Covid-19 varia entre 14 e 21 dias. Li et al. (2020) reportaram 21 dias como o tempo de recuperação verificado em sua pesquisa. Neste trabalho serão previstas variantes para dois cenários considerando 14 e 21 dias, e com isso, a taxa de recuperação  $\alpha$  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. Este trabalho irá utilizar para período de incubação o valor de 5,2 dias, o que está compatível com o valor utilizado por Kusharski *et al.* (2020) na cidade de Wuhan. Desta forma, o valor do parâmetro  $k$  será equivalente a 0,192, independente do tempo de recuperação do indivíduo contaminado.

Parâmetro  $\mu$  (taxa de letalidade) - A taxa de letalidade varia de acordo com a faixa etária e existência de comorbidades pelos infectados, o distanciamento social praticado no local, entre os outros fatores impactantes. Segundo informação disponibilizada pelos membros

do GT Covid, até 27 de abril de 2020 foram registrados 10 óbitos. 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  $\beta$  (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):

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

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

Com estes parâmetros calculados, estima-se o número básico de reprodução ( $R_0$ ), considerando os dois cenários para tempo de recuperação de 14 dias e 21 dias, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Consolidação dos parâmetros considerando os dois cenários

Parâmetro	Tr = 14 dias		Tr = 21 dias	
	Sem incubação	Com incubação	Sem incubação	Com incubação
$\alpha$	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
$\beta$	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. 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 um aumento de 1 caso confirmado da Covid-19 em Macaé. Esses dados serão considerados na etapa da simulação.

Simulação e validação para estimativa dos resultados

A partir de uma modelagem em uma planilha Excel® foi obtido o seguinte cenário estático conforme apresentado na tabela 3. Neste trabalho optou-se por não estimar os óbitos.

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 <sub>0</sub>	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

Nesta tabela os campos com a coloração azul são campos de entrada de dados e os campos com coloração vermelha são campos de saída de dados. O campo relacionado ao isolamento social na modelagem estática foi considerado constante em 48,65 para toda a previsão. Na estimativa dos resultados considerou-se a função matemática ajustada para a curva de casos acumulados apresentada na figura 5 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.

Os valores da taxa de hospitalização e da taxa de internação para UTI encontram-se respaldados pela pesquisa de Scarabel *et al.* (2020). O resultado 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.

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.

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.

Por exemplo, 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.

A partir dessas distribuições para as 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%. Na figura 5

apresenta a previsão do número de casos confirmados em Macaé no dia 18/06/2020. A partir da simulação de Monte Carlo no *software* @Risk versão 7.5.2 pode-se inferir que existirão 8.038 casos acumulados da Covid-19, na data considerada, com intervalo de confiança de 5%.

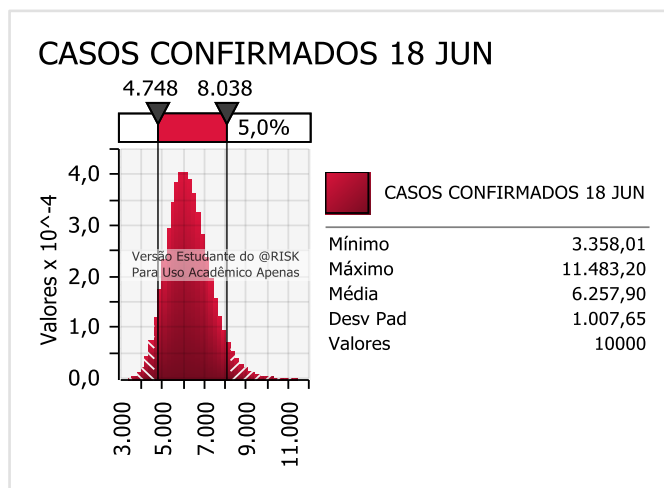


Figura 5 – Casos Confirmados no dia 18/06/2020

Fonte: Autor com base no @Risk v.7.5.2

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

Repetindo-se o mesmo procedimento de simulação para os hospitalizados e para os internados na UTI nos demais dias, ou seja, 28/06/2020, 08/07/2020 e 18/07/2020, encontramos os seguintes resultados sumarizados na tabela 4.

Tabela 4 – Simulação de Monte Carlo com Isolamento Social de 48,65%

<b>Simulação com Índice de Isolamento Social de 48,65%</b>	<b>18/06/2020</b>	<b>28/06/2020</b>	<b>08/07/2020</b>	<b>18/07/2020</b>
<b>Internados na UTI</b>	28	70	155	345
<b>Hospitalizados</b>	563	1871	4167	9265
<b>Casos Confirmados</b>	6258	17889	39808	88595

Fonte: Autor

Analisando os resultados da simulação e considerando que a cidade 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, teríamos 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 na cidade 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 5. 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.

Tabela 5 – Simulação de Monte Carlo com 58,65 de Isolamento Social

<b>Simulação com Índice de Isolamento Social de 58,65%</b>	<b>08/07/2020</b>	<b>18/07/2020</b>
<b>Internados na UTI</b>	69	257
<b>Hospitalizados</b>	1915	6917
<b>Casos Confirmados</b>	19569	68366

Fonte: Autor

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 6 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.

Tabela 6 – Simulação de Monte Carlo com 63,65% de Isolamento Social

<b>Simulação com Índice de Isolamento Social de 63,65%</b>	<b>08/07/2020</b>	<b>18/07/2020</b>
<b>Internados na UTI</b>	31	215
<b>Hospitalizados</b>	874	5822
<b>Casos Confirmados</b>	9453	58238

Fonte: Autor

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 no município de Macaé. Os resultados encontram-se na tabela 7.

Tabela 7 – Simulação de Monte Carlo com 70% de Isolamento Social

<b>Simulação com Índice de Isolamento Social de 75,00%</b>	<b>18/07/2020</b>
<b>Internados na UTI</b>	120
<b>Hospitalizados</b>	3360
<b>Casos Confirmados</b>	35276

Fonte: Autor

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%. 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.

## 5.0 CONCLUSÃO/CONTRIBUIÇÃO

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 de setores da saúde pública municipal. 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.

A pesquisa bibliográfica 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 para verificar se os cenários prospectados estão sendo concretizados.

Este trabalho evidenciou que há uma grande diferença na estimativa baseada em modelos determinísticos e nas estimativas baseadas em modelos estocásticos.

Os resultados mostram que apesar das medidas de rigidez tomadas pela Prefeitura Municipal de Macaé em relação ao isolamento social, estas poderão não ser 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%, caso outras medidas que atuem no comportamento da população não sejam tomadas.

As contribuições deste estudo podem ser das mais variadas desde o fomento para novas investigações no assunto como também para prover uma ferramenta para monitoramento da evolução da Covid-19 nos municípios da região Norte Fluminense. Esta última poderia estar sendo realizada para evitar que haja um gargalo no atendimento público e, ao mesmo tempo, servir como subsídio para investimentos em infraestrutura como por exemplo hospitais de campanha.

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.

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 a modelagem estocástica proposta em uma janela temporal curta de 7 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 isto poderá ser indício da efetividade das medidas tomadas pela Prefeitura Municipal por meio de seus decretos municipais e testagem da população em massa.

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

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R.C. Nota Técnica - Estudo preliminar sobre a evolução de casos da Covid-19 no Brasil: análises e projeções. Universidade Federal do Paraná, 2020. Disponível em [sites.google.com/view/rcalmeida-ufpr/](https://sites.google.com/view/rcalmeida-ufpr/)

JARVIS *et al.*, 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., *et al.* Methods for Estimating Disease Transmission Rates: Evaluating the Precision of Poisson Regression and Two Novel Methods, 2017. *Scientific Reports*, 7:9496.

LI *et al.* Propagation analysis and prediction of the COVID-19, 2020. *Infectious Disease Modelling* v.5, pp. 282-292.

MELLAN, T. A. *et al.* (2020) Estimating COVID-19 cases and reproduction number in Brazil. Imperial College. Report number: 19.



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

RODA *et al.*. Why is it difficult to accurately predict the COVID-19 epidemic?, 2020. *Infectious Disease Modelling*, v.5, pp.271-281

ROOSA K. *et al.* Real-time forecasts of the COVID-19 epidemic in China from February 5th to February 24th, 2020. 2020. *Infectious Disease Modelling* , v.5, pp. 256-263.

SCARABEL, F. *et al.* Canada needs to rapidly escalate public health interventions for its COVID-19 mitigation strategies. *Infectious Disease Modelling*. In Press.

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