

INSTITUTO FEDERAL

Rio Grande do Norte

Campus Macau

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE
DIRETORIA ACADÊMICA DE CIÊNCIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM BIOLOGIA**

MARIA HELENA MACIEL BEZERRA

**Análise da incidência de casos de COVID-19 no estado do Rio
Grande do Norte utilizando o Modelo matemático SIR**

**Macau-RN
2023**

Análise da incidência de casos de COVID-19 no estado do Rio Grande do Norte utilizando o Modelo matemático SIR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura em Biologia do, do Instituto Federal do Rio Grande do Norte – Campus Macau, como requisito para a obtenção do grau de Licenciado em Biologia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Marques dos Santos

**Macau-RN
2023**

B574a Bezerra, Maria Helena Maciel.

Análise de incidência de casos de COVID-19 no estado do Rio Grande do Norte utilizando o modelo matemático SIR [manuscrito] / Maria Helena Maciel Bezerra. – Macau, 2023.

28 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Biologia) -
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do
Norte, 2023.

Análise da incidência de casos de COVID-19 no estado do Rio Grande do Norte utilizando o Modelo matemático SIR

A banca examinadora, abaixo listada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “MODELO SIR E O COVID - 19 NO RIO GRANDE DO NORTE” elaborado por “MARIA HELENA MACIEL BEZERRA” como requisito parcial para obtenção do grau de como requisito para a obtenção do grau de Licenciado em Biologia, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

Macau-RN, 03/05/2023

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Antonio Marques dos Santos
IFRN
(Orientador)

**Prof. Me. Pablo Augusto
Gurgel de Sousa**
IFRN

**Prof. Me. Carlos Allan de
Souza Oliveira**
IFRN

Este trabalho é dedicado a todos os que foram afetados direta ou indiretamente pela pandemia do COVID – 19, aos que resistiram e seguem sobrevivendo e aos que nos deixaram, os números não são capazes de mensurar o vazio de se instalou.

Agradecimentos

Gostaria de iniciar agradecendo a Deus, por ter me sustentado em todos os instantes me capacitado para chegar até aqui, por todos os momentos em que se mostrou sempre presente em minha vida. Aos meus pais, Marcio e Luciana, que sempre foram os meus maiores incentivadores tanto na vida pessoal como profissional e acadêmica. Ao meu namorado Leonardo, que esteve ao meu lado durante toda essa jornada e que todas as vezes em que pensei em desistir, me ajudou a me manter firme. Aos meus amigos e colegas de curso, que sempre nos apoiamos uns nos outros, especialmente a minha “panelinha”, vocês tornaram meus dias mais leves. A todos os meus professores, sem exceções, que são os responsáveis por me trazerem até aqui e por todos os ensinamentos passados. Ao meu orientador Prof. Dr. Antônio Marques, que me acolheu e embarcou comigo nessa jornada, foram longos quase três anos de altos e baixos, mas conseguimos chegar até aqui, obrigada por tudo. Por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer a Helena, essa mesmo que vos escreve, por nunca ter desistido, por ter se mantido forte até mesmo quando estava difícil de respirar, por ter errado, por ter aprendido com esses erros e pelo amadurecimento, por ser resiliente e por ter alcançado mais essa conquista, este não é o início, nem tampouco o fim.

“Não te mandei eu? Sê forte e corajoso; não temas, nem te espantes; porque o Senhor teu Deus é contigo, por onde quer que andares.” (Josué 1:9).

“Mas como sabem pode-se encontrar a felicidade mesmo nas horas mais sombrias, se a pessoa se lembrar de acender a luz.” (Albus Dumbledore).

Resumo

A pandemia do Covid-19 pegou o mundo de forma desprevenida, a mesma tem se mostrado como um dos maiores desafios sanitários de escala global deste século e desafiado os pesquisadores e gestores a encontrarem medidas eficazes para contornar a situação e evitar o colapso nos sistemas de saúde. Este trabalho tem como objetivo principal aplicar um modelo matemático denominado SIR, como medida de controle e levantamento de dados no Estado do Rio Grande do Norte a partir dos boletins epidemiológicos, para o monitoramento do avanço da pandemia a nível estadual, visando a obtenção de dados acerca dos primeiros meses pandêmicos para um melhor estudo do comportamento viral do SAR-Cov-2 e assim adotar a aplicação eficaz de medidas de controles perante o enfrentamento da Covid-19. Trata-se de uma pesquisa quantitativa, dividida em três etapas, sendo a primeira a extração de dados, a segunda o processamento de dados e por fim a construção de um relatório de pesquisa e escrita deste presente trabalho. Os dados alcançados se mostraram eficazes e dentro do esperado, provando que o Modelo matemático SIR, é eficiente como estratégia de monitoramento de eventos epidemiológicos.

Palavras-chave: Pandemia; Modelo SIR; Covid-19.

Abstract

The Covid-19 pandemic took the world by surprise, it has been shown to be one of the greatest global health challenges of this century and challenged researchers and managers to find effective measures to circumvent the situation and avoid the collapse of health system. The main objective of this work is to apply a mathematical model called SIR, as a measure of control and data collection in the State of Rio Grande do Norte based on epidemiological bulletins, to monitor the progress of the pandemic at the state level, in order to obtain data about the first pandemic months for a better study of the viral behavior of SAR-Cov-2 and thus adopt the effective application of control measures when facing Covid-19. This is a quantitative research, divided into three stages, the first being data extraction, the second data processing and finally the construction of a research report and writing of this present work. The data obtained proved to be effective and within expectations, proving that the SIR mathematical model is efficient as a strategy for monitoring epidemiological events.

Keywords: Pandemic. SIR model. Covid-19.

Sumário

1 –Introdução	10
2 –Desenvolvimento	11
2.1 Epidemiologia	11
2.2 Covid - 19, o que é?	12
2.3 Modelo Matemático: SIR	14
3 – Metodologia da Pesquisa	15
4 –Apresentação e Análise dos Resultados	18
5 – Considerações Finais	24
6 – Referencias Bibliográficas	25

1. Introdução

Não é de hoje que a proliferação de doenças infecciosas vem assolando a condição humana. Apesar da medicina moderna, as mazelas causadas pelas infecções virais são um agravo à saúde pública. De tempos em tempos, microrganismos específicos são responsáveis pelo surgimento de epidemias e pandemias capazes de influenciarem o tamanho das populações atingidas e suas organizações sociais (SOARES, 2011), a exemplo do bacilo *Yersinia pestis*, causador da Peste Negra/Bubônica em 1348, sendo considerado um dos piores desastres epidemiológicos já registrados pelo homem (QUÍRICO, 2012). Não obstante os acontecimentos recentes da humanidade, podem ser citadas as recentes pandemias causadas por agentes virais como *Influenza A*, responsável pela gripe H1N1 de 2009 e o SARS-CoV-2, causador da COVID-19.

Perante estas condições, segundo Yang (2001) surge a necessidade de estudar e compreender como ocorre a proliferação de doenças na perspectiva de sua dinâmica, criando assim uma nova área da ciência que ficou conhecida como Epidemiologia Matemática. A incorporação da matemática no estudo da epidemiologia garantiu avanços na compreensão das interações que se dão nos sistemas epidemiológicos e na elaboração de estratégias de saúde capazes de conter e prevenir a proliferação de doenças infectocontagiosas. (CRISTOVÃO, 2015).

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a incidência de casos confirmados de COVID-19 no estado do Rio Grande do Norte região Nordeste do Brasil, utilizando o Modelo matemático SIR com a finalidade de entender a dinâmica de contágio do vírus. O mesmo se justifica ao usar o estudo da propagação de doenças por meio de modelagem matemática para entender como ocorre a evolução da curva de infectados e diante disso adotar medidas de controle, como por exemplo a quarentena, além de conter um levantamento de dados relacionados ao avanço da doença nos primeiros meses de pandemia no estado do Rio Grande do Norte.

2. Desenvolvimento

2.1 Epidemiologia

A epidemiologia é um ramo da ciência médica em que se estuda os fatores que podem levar às doenças a desencadear uma epidemia, ou em casos mais extremos, uma pandemia, como exemplo atual, a Covid-19.

Na Epidemiologia, se estuda o processo saúde-doença nas populações humanas. Para Rouquayrol e Goldbaum (2003), esse estudo acontece de forma analítica com a distribuição e os fatores determinantes das patologias, em detrimento à saúde e eventos associados à saúde coletiva, sugerindo medidas específicas de prevenção, tais medidas propostas, agem através do controle ou erradicação das doenças epidêmicas, como também o fornecimento de indicadores que auxiliam o suporte ao planejamento, a fim de administrar e avaliar as ações de saúde.

Em meados do século XIX, por ocasião de uma epidemia de cólera em Londres (1848-1854), John Snow (1813-1858), considerado o pai da epidemiologia moderna, evidenciou a hipótese causal entre a doença e o consumo de água contaminada por fezes de doentes, rejeitando o modelo causal da teoria dos miasmas, então em voga (ROUQUAY-ROL & GURGEL. 2021. p, 19).

Snow então reinventou a forma de utilizar o método científico com uma inovadora e criteriosa pesquisa científica que derrubou a teoria do miasma de uma vez por todas. Os resultados da pesquisa consistiam que, o estágio clínico da doença mostrava que “o veneno da cólera entra no canal alimentar pela boca, e esse veneno seria um ser vivo, específico, oriundo de um paciente com cólera.” (ROSEN, 1995). E ao final, acabou concluindo que “o esgotamento insuficiente permitia que os perigosos refugos dos pacientes com cólera se infiltrassem no solo e poluíssem poços”. (ROSEN, 1995).

Outros nomes também importantes na história da epidemiologia são: John Graunt (1620-1674), pioneiro em quantificar os padrões de natalidade e mortalidade; Pierre Louis (1787-1872), utilizou o método epidemiológico em investigações clínicas de doenças; Louis Villermé (1782-1863), que pesquisou o

impacto da pobreza e das condições de trabalho na saúde da população; e William Farr (1807-1883), na produção de informações epidemiológicas sistemáticas para o planejamento de ações de saúde (ROSEN, 1994; PEREIRA, 1995).

Segundo Rouquayrol e Gurgel (2021) atualmente a epidemiologia, além de possuir uma metodologia específica para investigação do processo saúde-doença de uma população, conta também com a possibilidade de esclarecer questões levantadas pela praxe das ações de saúde. “Sua finalidade última é contribuir para a melhoria da vida e o soerguimento do nível de saúde das coletividades humanas”. (ROUQUAYROL, GURGEL. 2021. p, 19)

2.2 Covid – 19, o que é?

Covid-19 é o nome da doença causada pelo vírus SARS-CoV-2, popularmente conhecido por Coronavírus, como explica Dominguez (2020). Trata-se de uma doença que atualmente vem afetando toda a população mundial criticamente, ocasionando uma epidemia que mais tarde se alastrou para um estado de pandemia global, como foi confirmado pela Organização Mundial de Saúde (OMS). A doença em si é altamente contagiosa, causando problemas respiratórios o indivíduo infectado. No organismo de pessoas que apresentam doenças crônicas, tais como: diabetes, pressão alta, problemas cardíacos, dentre outras, o quadro infeccioso pode ser mais agressivo, fazendo com que a infecção se torne uma síndrome respiratória aguda grave.

Uma vez que existem quatro tipos diferentes de vírus, pertencentes ao grupo do coronavírus circulando globalmente em humanos, eles devem ter surgido e se espalhado na era anterior ao reconhecimento dos vírus como patógenos humanos. O coronavírus, causador da síndrome respiratória aguda grave (SARS-CoV), surgiu de um animal hospedeiro, provavelmente um gato civet, entre os anos de 2002-2003, onde quase causou uma pandemia, antes de desaparecer em resposta às medidas de controle de saúde pública. O coronavírus relacionado à síndrome respiratória do Oriente Médio (MERS-CoV) surgiu em humanos a partir de camelos dromedários em 2012, mas desde então foi transmitido de forma ineficiente entre humanos (Cui et al., 2019).

O COVID-19, reconhecido no final de 2019, é apenas o exemplo mais recente de uma doença pandêmica inesperada, nova e devastadora. Pode-se concluir dessa experiência recente, que entramos em uma era pandêmica (Morens et al., 2020a; Morens et al., 2020b). Cujas causas dessa nova e perigosa situação são multifacetadas, complexas e merecem um exame sério.

Estevão (2020) relata que os primeiros casos da nova infecção por coronavírus, diagnosticado como pneumonia grave de etiologia desconhecida, surgiram em dezembro de 2019 na cidade de Wuhan, na China. Posteriormente, as amostras dos pacientes indicaram a presença do coronavírus (SARS-CoV-2), identificado como o agente causador da COVID-19. Sua rápida disseminação por todo o mundo levou a OMS, a declarar em 11 de março de 2020, a infecção de COVID-19, a nível mundial. (BECHING, al et. 2020).

Segundo Croda (2020), pela extensa magnitude e pelos diversos insumos necessários ao seu controle, como a disponibilidade de testes diagnósticos para as populações afetadas, o enfrentamento à COVID-19 se tornou um desafio, especialmente para países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, como o Brasil, que dependem de tecnologias produzidas em outros países. (MOEHLECKE, al et. 2020).

Segundo Morens (2020), as doenças infecciosas endêmicas e emergentes são transmitidas aos humanos por meio de diversos fatores, sendo muitas dessas doenças transmitidas por mais de um mecanismo. Por exemplo, a maioria das doenças respiratórias causadas por um agente transmissor também são transmitidas através das mãos e por fômites, tratando do coronavírus não seria diferente, onde seus meios de disseminação consiste na propagação de partículas infectadas pelo SARS-CoV-2, através da saliva ou secreções de uma pessoa infectada a outra não infectada.

Neste cenário, enquanto medidas farmacológicas de combate ao patógeno causador da doença não foram desenvolvidas, testadas e comprovadas sua eficácia cientificamente, ações de controle da transmissibilidade foram adotadas por todo o mundo, dentre elas estão a adoção de medidas de isolamento social, estratégias de lockdown, barreiras físicas para evitar a disseminação das gotículas salivares com o uso de máscaras de proteção e medidas de higiene

passaram a ser enfatizadas com demasia pelos órgãos de saúde. (SOUZA, al et. 2021). Além das medidas de controle adotadas por todo o mundo, mostra-se de extrema importância o monitoramento do avanço da doença, o número de casos assim como óbitos. A fim de suprir essa demanda, foram adotados os boletins epidemiológicos para manter tanto os profissionais da saúde, pesquisadores, cientistas e também a população a par da situação. Além disso, surge o modelo SIR como um importante meio de monitoramento que é capaz de prever os picos de infecção do COVID-19.

2.3 Modelo Matemático: SIR

Os modelos matemáticos nada mais são do que a aplicação de forma simplificada e didática dos mecanismos e processos que ocorrem de forma real intrínseca à existência humana. Um modelo epidemiológico precisa ser representativo, ou seja, precisa conter variáveis e interações que explicam a dinâmica do sistema e, além disso, é necessário que seja fácil a estimação dos seus parâmetros. (CRISTÓVÃO 2015. p, 3)

O modelo SIR é considerado simples, pois além de demonstrar uma representação simplificada ao qual tenta explicar o funcionamento de um determinado sistema, consegue representar de forma clara os mecanismos de transmissão da doença, em sua composição apresenta suas previsões, equações matemáticas e premissas. De acordo com Santos e Souza (2012) “Este modelo consiste de um sistema de equações diferenciais ordinárias não lineares, que leva em consideração três subgrupos da população analisada”.

Desenvolvido por Kermack e McKendrick consiste em um modelo de compartimento onde a população estudada é dividida em grupos de classes epidemiológicas ao qual aponta um fluxo entre elas. (UGALDE, al et, 2020). Conforme escrito por Troyo (2013) O modelo SIR é utilizado para a modelagem de dinâmicas de transmissão de doenças infecciosas. O modelo tem como finalidade ajudar no estudo da dispersão de uma determinada doença.

Segundo Visbal e Pedraza (2020), O modelo SIR, aplicado em vários tipos de pandemias, visa estimar o número de indivíduos susceptíveis de se infectarem (S), o número de indivíduos infectados capazes de infectar (I) e o número de recuperados (R).

3. Metodologia da Pesquisa

Esta monografia consiste em uma pesquisa quantitativa resultante de um projeto de pesquisa iniciado em agosto de 2020, ao qual teve a duração total de seis meses para coleta de dados.

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi dividida em três etapas, iniciando-se pela extração dos dados, onde foram selecionados dados de bases disponibilizadas por entes públicos nacionais. Em seguida, foi realizado o processamento dos dados para obter informações que foram posteriormente avaliadas e analisadas.

Os materiais utilizados para a obtenção dos dados foram, os boletins epidemiológicos emitidos e disponibilizados no site oficial da Secretaria de Saúde do Estado do Rio Grande do Norte. A aplicação do modelo SIR foi feita através de uma tabela no programa Excel, onde permitiu a atualização diária dos dados, assim como, a realização das equações necessárias para a implementação do modelo, ao qual leva em consideração três grupos de uma população analisada, sendo dividido em:

- Susceptíveis (S): Grupo de pessoas vulneráveis a doença e que apresentam a capacidade de contrair a mesma;
- Infectados (I) Camada da população que foi exposta ao vírus e contraiu a doença, que desta forma adquirem a capacidade de proliferação e consequentemente podem infectar outras pessoas;
- Recuperados (R) Grupo de pessoas que conseguiram se recuperar da doença.

Para este trabalho, a variável R foi atribuída apenas aos recuperados, sendo modificada a forma original ao qual considera como Removidos do sistema, seja por adquirir imunidade ou por morte. Antes de partir para a aplicação do modelo se faz necessária a estipulação de algumas hipóteses, para que assim consiga modelar as interações dos compartimentos e variáveis, desta forma assumimos os seguintes pressupostos:

- Todos os indivíduos da população são sucessíveis a contrair a doença, sendo essa população referente ao Estado do Rio Grande do

Norte de tamanho por volta de 3.560.000, tendo em mente que a população é dinâmica;

- A população está em constante interação entre si;
- Essas interações provocam a proliferação de partículas contagiosas, aumentando assim a taxa de infecção;
- À medida que o número de recuperados aumentam o número de sucessíveis diminui, tornando assim uma constante inversamente proporcional.

Partindo destes pressupostos é estabelecido que a derivada de suscetíveis $d(S)$ com relação ao tempo $d(t)$ está relacionado a taxa de variação da população do Estado do Rio Grande do Norte, ocorrendo de forma decrescente, pois a medida que o número de infectados vai aumentando o número de pessoas saudáveis diminui, conforme o tempo passa é constatado uma velocidade de mudança da população analisada.

$$\frac{d(S)}{d(t)}$$

Para estabelecer o processo epidemiológico de transmissão da doença é preciso determinar a equação de suscetíveis, onde a taxa de variação de suscetíveis ao longo do tempo vai depender do número de suscetíveis vezes o número de infectados (I) total da população N .

$$\frac{d(S)}{d(t)} = -\beta S \frac{I}{N}$$

A medida em que os suscetíveis (S) entram em contato com os infectados (I), o número da população (N) de suscetíveis (S) tende a cair e o número da população (N) de infectados (I) tende a aumentar, tornando assim β uma constante positiva, desta forma, observa uma grandeza inversamente proporcional. A partir do crescimento da população de infectados (I) se obtém a seguinte equação:

$$\frac{d(I)}{d(t)} = \beta S \frac{I}{N}$$

Para escrever o termo referente à mudança de estado de indivíduos infectados (I) para indivíduos recuperados (R) é preciso levar em consideração o pressuposto de que se tal pessoa foi infectada em algum momento ela vai se recuperar, surge então uma nova variante denominada de taxa de recuperação, onde é representada pela constante gama γ menos o número de infectados, obtendo então a equação:

$$\frac{d(I)}{d(t)} = \beta S \frac{I}{N} - \gamma I$$

Para determinar a população de recuperados se faz necessário entender que esta constante é equivalente ao número de infectados (I), visto que eliminada da variável R o número de mortes resta o pressuposto de que a população de indivíduos infectados (I) irá se recuperar em algum momento. Desta forma, obtém-se a taxa de aumento de recuperados representados pela equação:

$$\frac{d(R)}{d(t)} = \gamma I$$

As constantes β e γ são parâmetros do modelo usados para indicar respectivamente a taxa de transmissibilidade, onde quanto maior o β maior será o impacto no termo menos β suscetíveis (S) vezes infectados (I) dividido pelo número da população (N), tornando assim a derivada cada vez menor, ou seja, cada vez mais negativa, o que significa um crescimento mais acentuado. Já o parâmetro γ indica a taxa de recuperação da população, em que a derivada em questão se torna positiva. Desta forma, pode-se entender que:

$$\beta > 0$$

$$\gamma > 0$$

Onde a dimensão desses dois parâmetros é igual, com as seguintes características:

$$[\beta] \cdot [\lambda] = \frac{1}{T}$$

4. Apresentação e Análise dos Resultados

A coleta de dados começou a partir do primeiro caso confirmado pela SESAP (Secretaria de Saúde Pública) no estado do Rio Grande do Norte, no dia 12 de março de 2020 e se deu até meados de novembro do mesmo ano.

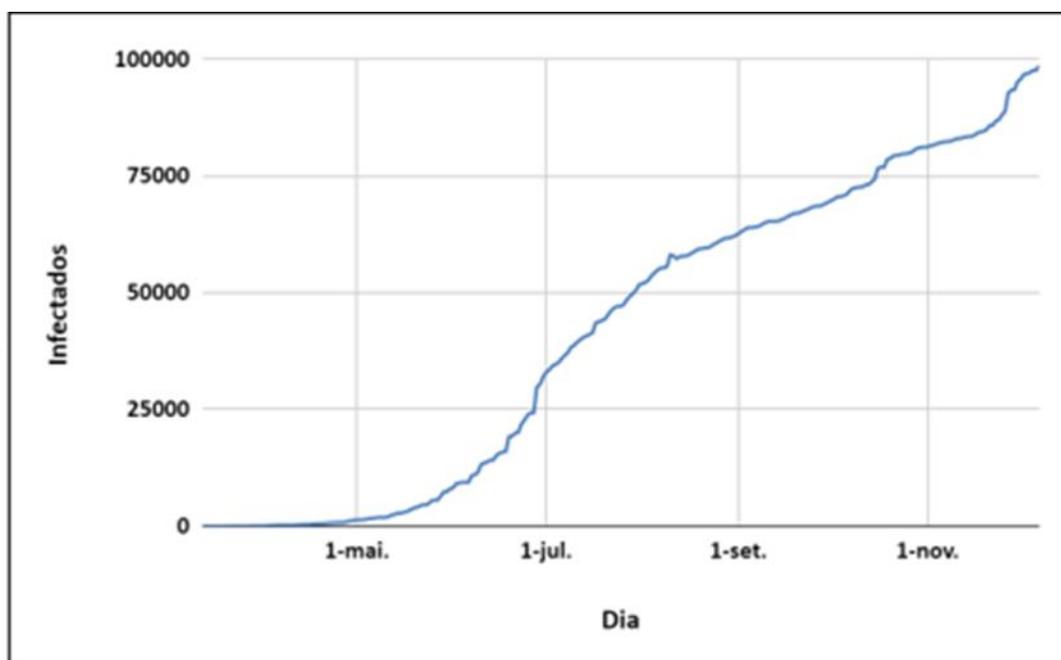


Figura 1 – Evolução dos casos confirmados de COVID-19 no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil durante o período de março a novembro de 2020.

Como pode-se observar na figura 1, houve uma crescente nos casos confirmados de COVID-19 desde a sua confirmação no Estado, fato ao qual pode ser observado em todos os Estados brasileiros, conforme relata Aquino e colaboradores (2020). Tal crescente pode ser atribuída à conjuntura de que sua taxa de transmissibilidade de COVID-19 é considerada alta.

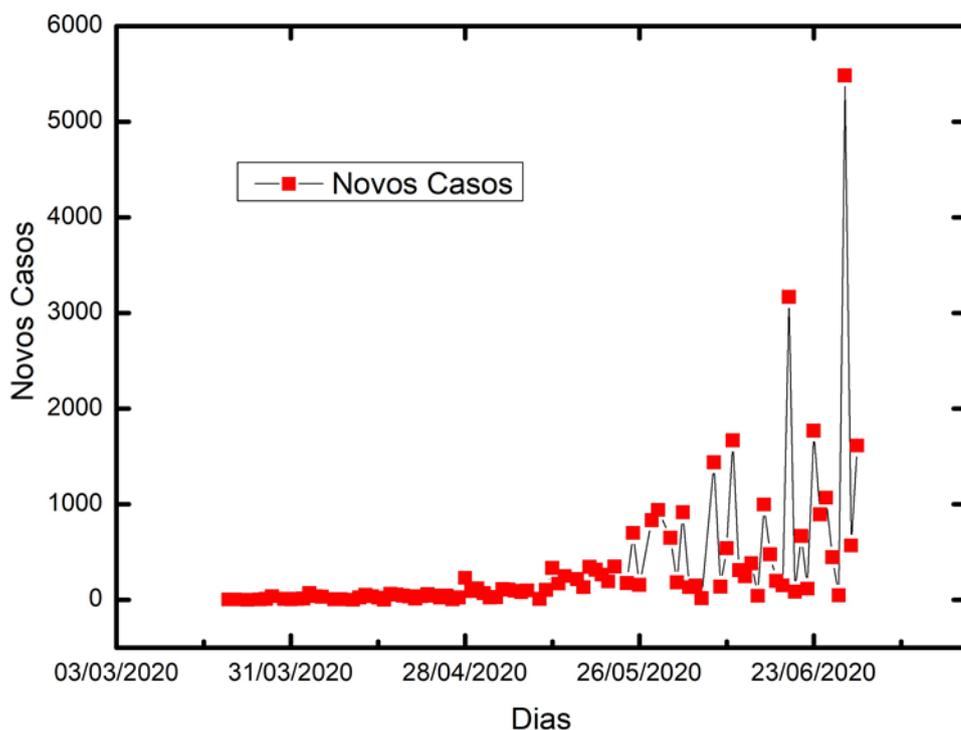


Figura 2 – Evolução dos casos confirmados por dia de COVID-19 (dados não cumulativos) nos Estado do Rio Grande do Norte, Brasil durante o período de março a novembro de 2020.

Conforme a figura 2, o crescimento na taxa de infectados por dia a princípio foi estável, em compensação às medidas preventivas de quarentena adotadas pelo governo estadual, tentando assim conter o avanço do vírus, sendo destacadas o isolamento, a quarentena, o distanciamento social e as medidas de contenção comunitárias apontadas por Wilder (2020). A taxa no número de infectados começa a crescer a partir do mês de maio, sendo considerado, portanto, um crescimento considerável, mas é após a metade de junho que se pode observar o grande aumento no número de infectados, onde chegou a alcançar a marca de 5 mil novos casos, atingindo então o que se chamou de pico da pandemia, podendo ser observado em toda a América Latina, de acordo com Malamud e Núñez (2020), destacado em um crescimento exponencial.

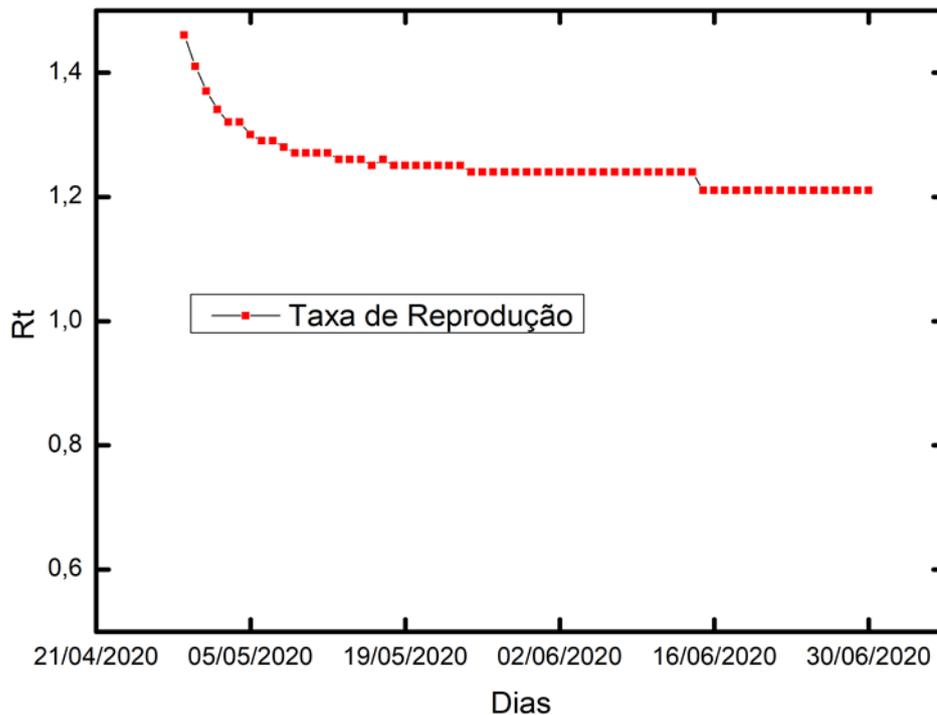


Figura 3 – Taxa de Reprodução do vírus SARS-CoV-2 no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil durante o período de março a novembro de 2020.

No gráfico da figura 3 destaca-se a evolução e comportamento da taxa de reprodução, apontada pela linha vertical, que consiste no número de indivíduos que estão suscetíveis a infecção do patógeno a qualquer momento (ARONSON al et, 2020), desta forma, como inicialmente todos os indivíduos saudáveis estão sujeitos a contraírem o vírus, a R_t inicia com o número de reprodução efetivo acima de 1,4, visto que toda a população está susceptível a contrair o patógeno já que ninguém teria sido exposto anteriormente, desta forma, a taxa de reprodução começa elevada e vai diminuindo conforme o número de infectados vai se recuperando, podendo decair à medida que o número de susceptíveis vai baixando e se mantendo estável em determinados momentos em que a taxa de transmissibilidade alcança níveis diários estáveis. “Se a média do R_t na população for maior que 1, a infecção se espalhará exponencialmente. Se o R_t for menor que 1, a infecção se espalhará apenas lentamente, e eventualmente desaparecerá. Quanto maior o valor de R_t , mais rapidamente uma epidemia progredirá.” (ARONSON al et, 2020). Observa-se que á medida em que os meses vão avançando, a taxa de reprodução tende a reduzir para abaixo de 1.0, ao qual entra em acordo com o levantamento apresentado pela Fiocruz e EMap/FGV (2020), o que apontou a R_t se mantendo na média de 0.2 a 1.0 para

o Estado do Rio Grande do Norte em comparação aos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro para o segundo semestre do ano de 2020.

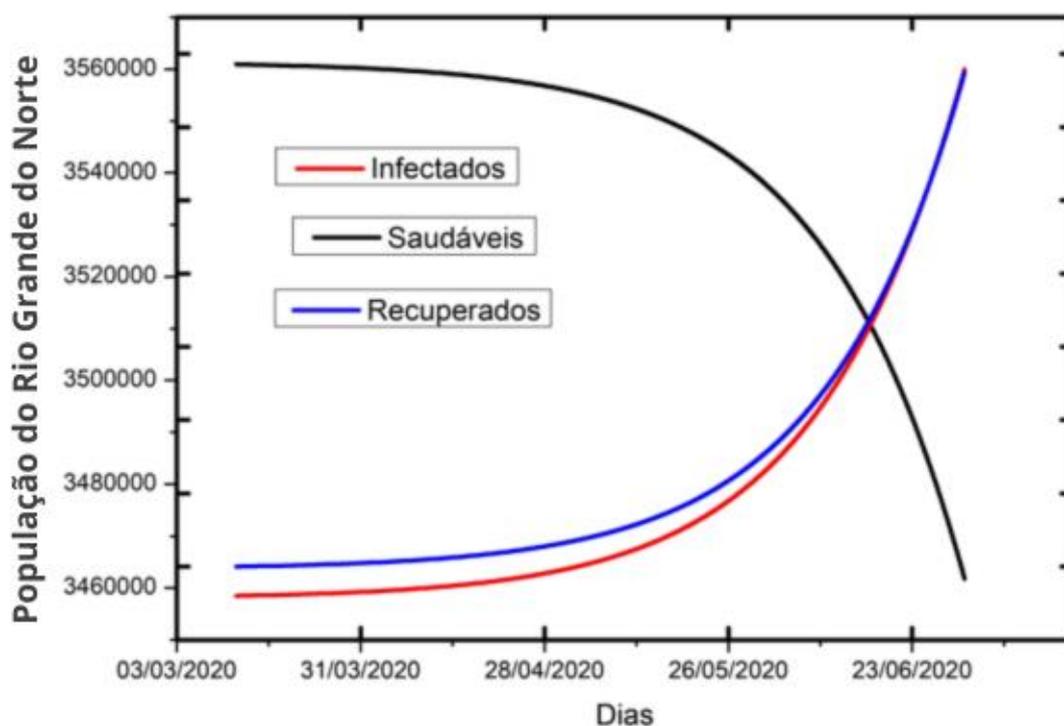


Figura 4 – Dinâmica das variáveis populacionais do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil durante o período de março a novembro de 2020.

A figura 4 aponta a evolução das variáveis adotadas no presente trabalho para a aplicação do Modelo SIR no Estado do Rio Grande do Norte, inicialmente evidencia a variável dos indivíduos saudáveis, como destacado no ponto anterior, todos os indivíduos de uma população x estão saudáveis em comparação a doença específica, portanto, todas as pessoas estão suscetíveis a contrair o vírus, desta forma, como indicado no gráfico, a taxa de indivíduos saudáveis inicia alta e tende a cair à medida que as pessoas vão contraindo o vírus, mediante a baixa nos níveis de indivíduos suscetíveis, a variável de infectados tende a obter uma crescente, levando em consideração que a pandemia está em evolução e alcançando o seu pico de infecção.

Não obstante, a variável de recuperados apontados no gráfico 4 tende a aumentar juntamente aos infectados, visto que a hipótese adotada é que todos os indivíduos infectados irão se recuperar em um determinado tempo, sendo excluída a hipótese de morte. Desta forma, vai chegar o momento em que o número de recuperados será maior que os de suscetíveis e infectados, vale

lembrar que até a finalização deste projeto ainda não se tinha conhecimento de casos confirmados de reinfeção por covid-19 e a vacinação ainda era considerada uma realidade distante.

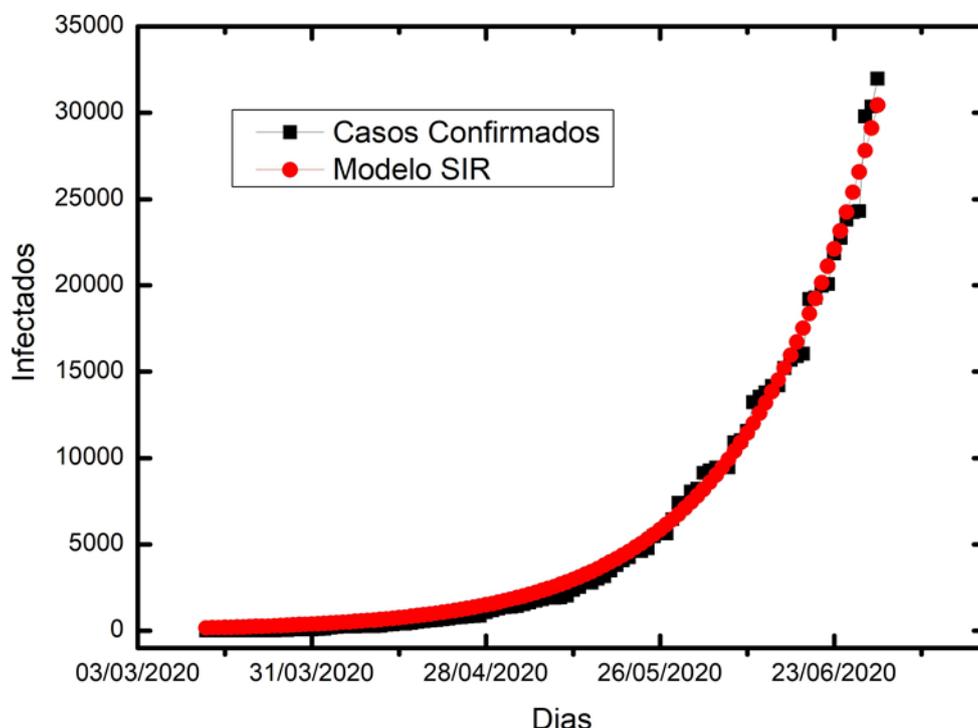


Figura 5 – Variáveis do Modelo SIR do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil durante o período de março a novembro de 2020.

A figura 5 apresenta os resultados da aplicação prática do Modelo SIR em comparação aos casos confirmados, nota-se que o modelo cumpre o seu papel ao assemelhar-se quase que totalmente com os casos confirmados apresentados na figura 1, apresentando sua projeção para os primeiros meses pandêmicos e alcançando a curva de infecção, também conhecida como pico pandêmico. O mesmo pode ser observado nos resultados obtidos na cidade de Santa Marta na Colômbia, apresentados por Visbal e Pedraza (2020), onde apesar da taxa de reprodução está acima do Rio Grande do Norte, mais especificamente $R_t = 1,9$ entre março e janeiro de 2020, o modelo se mostrou eficaz para a elaboração de projeções acerca da situação pandêmica. Desta forma, durante o período analisado, a pandemia de COVID-19 estava longe de atingir uma constância de casos, em que pode ser observado nas projeções do modelo ao qual consta de forma completamente exponencial e assintótica, de

forma prática indica que os números de casos estavam distantes de se estabilizarem e longe de atingirem a curva das projeções para então iniciar o processo de decréscimo e queda de casos. Isso indica que as estratégias de contenção ao avanço da contaminação não estavam sendo efetivas ou mesmo obedecidas, levando assim um atraso no processo de controle e posteriormente erradicação da COVID-19.

5. Considerações Finais

Apesar de se tratar de um modelo matemático epidemiológico mais simples, o Modelo SIR é usado como base norteadora para a implementação dos demais modelos, seus pressupostos serão responsáveis por dinamizar como seguirá o processo de aplicação das equações em dependência de suas variáveis.

Desta forma, mediante os argumentos supracitados, concluo este trabalho afirmando que o Modelo SIR é uma ferramenta fundamental para o acompanhamento da evolução de doenças epidemiológicas, onde de forma prática e eficaz garante a obtenção de dados para contribuir na aplicação de medidas de controle e contenção das doenças, assim como testar sua eficácia em um nível mais abrangente. Vale destacar que o modelo por si só não garante o controle total de suas variáveis, desta forma devem ser adotadas outras medidas de monitoramento mais específicas para garantir um acompanhamento e levantamento de dados epidemiológicos mais completos.

Apesar das limitações encontradas para a realização deste trabalho, visto que pouco se tinha conhecimento sobre o assunto e conseqüentemente poucas literaturas a seu respeito os resultados deste estudo são relevantes e de interesse, uma vez que os modelos matemáticos SIR realizados à medida que a pandemia avança são essenciais para avaliar a eficácia das políticas e medidas adotadas para conter a propagação da doença (FRED al et, 2020). Desta forma, o objetivo principal foi alcançado, porém não isenta a importância de mais estudos acerca da temática.

6. Referencias Bibliográficas

ALMEIDA, Ana Cecília Conrado. **Rotina dos residentes de Clínica Médica em hospital particular de Anápolis –GO durante a pandemia do COVID-19: Relato de experiência.** Goias, 2021.

ARGOTE, Karell R. Vázquez. PÉREZ, Maicel E. Monzón. CÁCERES, José L. Hernández. **Modelo “SIR” para epidemias: Persistencia en el tiempo y nuevos retos en la era de la Informática y las pandemias.** Cuba, 2020.

ARONSON, Jeffrey K. MAHTANI, Kamal R. **“Quando isso acabará?”: uma introdução aos números de reprodução viral, R0 e RE.** Universidade de Oxford, 2020.

BECHING N, FLETCHER T, Robert F. **COVID-19. BMJ Best Pract.** 2020.

BIZET, Nana Cabo. OCA, Alejandro Cabo Montes. **Modelos SIR modificados para la evolucion del COVID19.** Cuba, 2020.

CARVALHO, Marília Sá, LIMA, Luciana Dias, COELI, Cláudia Medina. **Ciência em tempos de pandemia.** Cad. Saúde Pública 2020.

CRISTOVÃO. Rafael Belmiro. **Modelo SIR: Uma Aplicação à Hepatite A.** São Paulo, 2015.

CRODA, Julio Henrique Rosa; GARCIA, Leila Posenato. **Resposta imediata da Vigilância em Saúde à epidemia da COVID-19.** 2020.

CUI Xiaojian, ZHIHU Zhao, TONGQIANG Zhang, WEI Guo, WENWEI GUO, JIAFENG Zheng, JIAYI Zhang, CUICUI Dong, REN Na, LISHENG Zheng, WENLIANG Li, ZIHUI Liu, JIA MA, JINHU Wang, SIJIA He, YONGSHENG Xu. **A systematic review and meta-analysis of children with coronavirus disease 2019 (COVID-19).** Medical Virology, 2020.

DOMÍNGUEZ-Gil, Beatriz, FERNÁNDEZ-Ruiz, Mario, HERNÁNDEZ, DOMINGO, CRESPO, MARTA, COLMENERO, JORDI, COLL, ELISABETH, JUAN José. **Organ Donation and Transplantation During the COVID-19 Pandemic: A Summary of the Spanish Experience.** Transplantation Reviews, 2020.

ESTEVIÃO, Amelia. **COVID – 19**. Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2020.

FIOCRUZ. EMAP. FGV. **Estimativa de risco de espalhamento da COVID-19 no Brasil e avaliação da vulnerabilidade socioeconômica nas microrregiões brasileiras**. Rio de Janeiro, 2020.

FRED, G. MANRIQUE-Abril, Carlos A. AGUDELO-Calderon, VÍCTOR M. GONZÁLEZ-Chordá, OSCAR Gutiérrez-Lesmes, Cristian F. TÉLLEZ-Piñerez, GIOMAR Herrera-Amaya. **Modelo SIR de la pandemia de Covid-19 en Colombia**. Colombia, 2020.

FREITAS, Augusto S. SILVO S. Lacrose Sandes. **Modelo SIR com taxa de exposição para estudo da projeção de casos de COVID-19 no estado de Sergipe**. Sergipe, 2020.

LEAL, Simone Delphim, DIAS, Neylan Leal, SILVA, Edcarlos Vasconcelos da. **Nota técnica para propagação do SARS-Cov-2 no amapá por modelagem matemática – SIR**. Amapá, 2020.

MALAMUD, Carlos. NÚÑEZ, Rogelio. **América Latina: del “exitismo” al pico de la pandemia**. Real instituto Elcano, 2020.

MOEHLECKE ISER, Betine Pinto et al. **Definição de caso suspeito da COVID-19: uma revisão narrativa dos sinais e sintomas mais frequentes entre os casos confirmados**. Epidemiologia e Serviços de Saúde, v. 29, 2020.

MONTEIRO, Noemi Zeraick. MAZORCHE, Sandro Rodrigues. **Estudo de um modelo SIR fracionário construído com distribuição de Mittag-Leffler**. Mato Grosso do Sul, 2021.

MORENS, David M, DASZAK Peter, MARKEL Howard , TAUBENBERGER Jeffery K. **Pandemic COVID-19 Joins History’s Pandemic Legion**. Perspective, 2020.

OLIVEIRA, Milena Heidecher. **Análise do modelo SIR: Comportamento da curva de infectados em relação à inclusão de novas semanas epidemiológicas**. São Paulo, 2018.

OLIVEIRA, Wanderlei Abadio. OLIVEIRA-CARDOSO, Érika Arantes. SILVA, Jorge Luiz. SANTOS, Manoel Antônio. **Impactos psicológicos e ocupacionais das sucessivas ondas recentes de pandemias em profissionais da saúde: revisão integrativa e lições aprendidas.** Campinas, 2020.

PATRÃO, Mauro, REIS, Manoel. **Analisando a pandemia de COVID-19 através dos modelos SIR e SECIAR.** UNICAMP, 2020.

QUINTAS, Thiago Bonfim. **Métodos para estimação de parâmetros em um modelo SIR.** São Paulo, 2019.

QUÍRICO, Tamara. **Peste Negra e escatologia: os efeitos da expectativa da morte sobre a religiosidade do século XIV.** Rio de Janeiro, 2012.

RIBEIRO, Rafael S, M. **Previsões a partir do modelo epidemiológico sir para os casos de infecção pelo covid-19 uma aplicação para os estados de SP, MG, RJ, DF E CE.** Minas Gerais, 2020.

ROSEN, G. **Uma história da saúde pública.** São Paulo, 2012.

ROUQUAYROL, Maria Zélia. GOLDBAUM, Moisés. **Epidemiologia e Saúde 6° edição.** Rio de Janeiro, 2003.

ROUQUAYROL, Maria Zélia. GURGEL, Marcelo. **Epidemiologia e Saúde 8° edição.** Rio de Janeiro, 2021.

SANTOS, Larisse Mendes. SOUZA, Fabio Silva. **Uma Análise do Modelo SIR Aplicado ao Estudo da Influenza A (H1N1).** Minas Gerais, 2012.

SANTOS, J. P. C. dos, MONTEIRO, E. e VIEIRA, G. B. **Global stability of fractional SIR epidemic model, Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics,** 2017.

SILVA, Nicolly Ramalho. **Modelos Epidemiológicos SIR, contínuo com estratégias de vacinação como método de controle epidêmico.** Minas Gerais, 2018.

SOARES, Cíntia Dalila. **Modelagem Matemática de Doenças Infecciosas Considerando Heterogeneidade Etária: Estudo de Caso de Rubéola no México. Tese (Mestrado em Matemática Aplicada).** Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, São Paulo, 2011.

SOUZA, Moutinho Dias, ARAUJO, Luiz Henrique da Costa. **Modelagem Matemática para Epidemia de COVID-19 e estimativa de Casos no Brasil no Curto Prazo**. Rio de Janeiro, 2020.

SOUZA, Mariluce Karla Bomfim. **Medidas de distanciamento social e demandas para reorganização dos serviços hemoterápicos no contexto da Covid-19**. Bahia, 2020.

TROYO, Alejandra Guerrero. **Modelo sir em rede e com parâmetro de infecção que depende periodicamente do tempo**. Rio de Janeiro, UFRJ, 2013.

UGALDE, Isidro Alfredo Abelló. DÍAZ, Raúl Guinovart. LEZCA, Wilfredo Morales. **El modelo SIR básico y políticas antiepidémicas de salud pública para la COVID-19 en Cuba**. Revista Cubana de Salud Pública. 2020.

UNESP, 1995. ROSEN, G. **Da polícia medica a medicina social**. Rio de Janeiro, 1994.

VIEIRA, Aline de Oliveira. **Estudo sobre Modelos Matemáticos Aplicados à Epidemiologia: Modelo SIR, SIR com vacinação e SIRS**. São Paulo, 2016.

VISBAL, Jeorge Homero Wilches. PEDRAZA, Midian Clara Castillo. **Aproximación matemática del modelo epidemiológico sir para la comprensión de las medidas de contención contra la covid-19**. Santa Marta. Colombia, 2020.

WEILDER, Kleber Fernandes Santana, al et. **Distanciamento Social e à Docência Universitária em meio à Pandemia de Covid-19: Implicações e benefícios**. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, 2021.

YANG, H.M.; **Epidemiologia Matemática – Estudos dos Efeitos da Vacinação em Doenças de Transmissão Direta**. EDUNICAMP & FAPESP, 2001.