



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - UFMA
CCCO – CODÓ
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS - BIOLOGIA

ANTONIA LISBOA DOS SANTOS

**UM MODELO EPIDEMIOLÓGICO SIQR COMO FERRAMENTA PARA
CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS DA DISTRIBUIÇÃO DA COVID-19 EM CODÓ-MA.**

Codó – MA

2022

ANTONIA LISBOA DOS SANTOS

**UM MODELO EPIDEMIOLÓGICO SIQR COMO FERRAMENTA PARA
CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS DA DISTRIBUIÇÃO DA COVID-19 EM CODÓ-MA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a banca examinadora da Universidade Federal do Maranhão-Campus Codó para obtenção do diploma de graduada em Ciências Naturais – Biologia, sob a orientação do Prof. Dr. Leonardo Rogerio da Silva Rodrigues.

Codó – MA

2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Lisboa dos Santos, Antonia.

UM MODELO EPIDEMIOLÓGICO SIQR COMO FERRAMENTA PARA
CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS DA DISTRIBUIÇÃO DA COVID-19 EM
CODÓ-MA / Antonia Lisboa dos Santos. - 2022.

37 p.

Orientador(a): Leonardo Rogério da Silva Rodrigues.
Curso de Ciências Naturais - Biologia, Universidade
Federal do Maranhão, Codó - Ma, 2022.

1. Pandemia. 2. Propagação. 3. SARS-CoV-2. 4.
Simulações. I. da Silva Rodrigues, Leonardo Rogério. II.
Título.

ANTONIA LISBOA DOS SANTOS

**UM MODELO EPIDEMIOLÓGICO SIQR COMO FERRAMENTA PARA
CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS DA DISTRIBUIÇÃO DA COVID-19 EM CODÓ-
MA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a banca examinadora da Universidade Federal do Maranhão - Campus Codó para obtenção do diploma de graduada em Ciências Naturais – Biologia.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo Rogério da Silva Rodrigues – UFMA – CCCO
Orientador

Prof. Dr. Arlane Manoel da Silva Vieira – UFMA – CCCO

Profa. Dra. Joelma Soares da Silva – UFMA – CCCO

APROVADA EM ____ / ____ / ____

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força para seguir em frente e por ter me guiado na construção deste trabalho.

Agradeço a minha família especialmente minha mãe por ter me apoiado em todos os momentos. Ao meu pai que infelizmente não está mais conosco, mas que sempre me apoiou e onde quer que ele esteja agora está muito feliz por mim.

Aos meus professores por todo o conhecimento adquirido durante toda essa jornada

Ao meu orientador o Prof. Leonardo Rodrigues por ter tido paciência com seus ensinamentos e ter me ajudado em todos os momentos que precisei.

À secretaria municipal de saúde de Codó por ter disponibilizado todos os dados.

À todos os meus colegas de turma pelos bons momentos que vivenciamos juntos.

À minha cunhada, Sheila, por contribuído na pesquisa deste trabalho.

E à toda comunidade acadêmica do Centro de Ciências de Codó, da Universidade Federal de Maranhão por sempre contribuir para o bom funcionamento da casa.

RESUMO

No Final de 2019 o mundo todo ficou em alerta por causa de uma nova doença infecciosa que se espalhou por todo o planeta, COVID-19. Neste trabalho faremos um estudo da disseminação dessa doença na cidade de Codó estado do maranhão, iremos analisar e comparar o número de casos do coronavírus entre os anos de 2020 e 2021. Utilizamos um modelo compartimental SIQR (Suscetíveis- Infecciosos - Isolados - Recuperados) para estimar os parâmetros e projetar os cenários baseado nos dados coletados. Simulamos cenários, tais como: O distanciamento social dos indivíduos sadios e isolamento social dos indivíduos infectados. Observamos um crescimento linear no início da pandemia, os casos aumentaram de forma constante e que o isolamento era de aproximadamente 20%, valor considerado muito baixo. Concluimos que o quanto mais rápido o vírus se propaga, mais rápido atingirá seu pico e o melhor método para evitá-lo é o distanciamento social.

Palavras-Chaves: SARS-CoV-2, simulações, propagação, pandemia.

SUMMARY

At the end of 2019, the whole world was on alert because of a new infectious disease that has spread across the entire planet, COVID-19. In this work we will study the spread of this disease in the city of Codó, the state of maranhão, we will analyze and compare the number of cases of the coronavirus between the years 2020 and 2021. estimating parameters and designing scenarios based on the data collected. We simulated scenarios, such as: Social distancing of healthy individuals and social isolation of infected individuals. We observed a linear growth at the beginning of the pandemic, cases increased steadily and that isolation was approximately 20%, a value considered very low. We concluded that the faster the virus spreads, the faster it will reach its peak, and the best method to avoid it is social distancing.

Keywords: SARS-CoV-2, simulations, propagation, pandemic.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3. HIPÓTESES SOBRE O MODELO	15
4. MÉTODOS	15
6.1 Coleta de dados	15
6.2 Modelo SIQR	16
6.3 Estimativas de parâmetros	18
5. RESULTADOS.....	20
6. CONCLUSÃO	34
7. REFERENCIAS	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Número de casos confirmados de COVID-19 em Codó, Ma no período de 01 de maio a 30 de julho de 2020.....	23
Figura 2. Número de casos confirmados de COVID-19 em Codó, Ma no período de 04 de maio a 30 de julho de 2021.....	24
Figura 3. Taxa de distanciamento da população saudável vs número de infectados no início de maio 2020 em um período de 150 dias.....	26
Figura 4. Taxa de distanciamento da população saudável vs número de infectados no início de maio 2021 em um período de 150 dias.....	27
Figura 5. Taxa de isolamento de indivíduos infectados vs população saudável no início de maio 2020 em um período de 150 dias.....	28
Figura 6. Taxa de isolamento de indivíduos infectados vs população saudável no início de maio 2021 em um período de 150 dias.....	29
Figura 7. Cenário envolvendo todos os compartimentos do modelo SIQR no início de maio em 2020 no período de 150 dias.....	30
Figura 8. Cenário envolvendo todos os compartimentos do modelo SIQR no início de maio em 2021 no período de 150 dias.....	31
Figura 9. Número de óbitos por coronavírus na cidade de Codó, Ma no período 01 de maio a 30 de julho de 2020.	32
Figura 10. Número de óbitos por coronavírus na cidade de Codó, Ma no período 01 de maio a 30 de julho de 2021.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores estimados para os parâmetros.....	20
Tabela 2. Número de casos de COVID-19 acumulativos semanalmente nos meses de maio a julho no ano de 2020.	21
Tabela 3. Número de casos de COVID-19 acumulativos semanalmente nos meses de maio a julho no ano de 2021.	22
Tabela 4. Morte por COVID-19 por faixa etária e gênero referente registradas no período a maio a julho de 2020, na cidade de Codó, Ma.	33
Tabela 5. Morte por COVID-19 por faixa etária e gênero referente registradas no período a maio a julho de 2020, na cidade de Codó, Ma.	34

1. INTRODUÇÃO

A humanidade passou por várias epidemias ao longo dos anos, no final de 2019, na cidade de Wuhan, capital da província de Hubei na China, surgiu uma nova doença infecciosa viral que foi designada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como COVID-19 (Coronavirus Disease 2019) causada por um vírus chamado coronavírus SARS-CoV-2 (*Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 of the Genus Betacoronavirus*). A transmissão ocorre de forma muito rápida, geralmente pelo ar quando há o contato com excreções contaminadas como saliva, espirro, tosse ou contato físico, como aperto de mão ou toque com algum objeto contaminado seguindo de contato com a boca, olhos e nariz (MIRANDA et al., 2020). Seus sintomas podem variar dependendo do organismo de cada indivíduo, de casos assintomáticos, sintomas leves até muito críticos, sendo os mais comuns a tosse, febre, coriza, dor de garganta, dificuldade para respirar, perda de olfato, alteração do paladar, distúrbios gastrintestinais, cansaço e diminuição do apetite (Brasil/MS, 2021).

E devido sua rápida transmissão logo a doença se espalhou pelo mundo e no início de março de 2020 já era considerada uma pandemia, no Brasil, o primeiro caso confirmado ocorreu em São Paulo no dia 26 de fevereiro com um homem de 61 anos que tinha um histórico de viagens para a Itália (BRASIL/MS, 2021). Após a confirmação do primeiro caso novos casos foram aparecendo por todos os estados do país. O ministério da saúde recomendou medidas básicas de higiene como lavar as mãos com água e sabão e cobrir a boca e o nariz ao tossir ou espirrar para evitar a contaminação. No Maranhão o primeiro caso foi confirmado no dia 23 de março pela Secretaria Estadual de Saúde. Segundo a SES o paciente é um idoso que não apresentava sintomas graves. Com a doença se espalhando por todo o território logo Codó teve seu primeiro caso confirmado em 21 de abril de 2020, um homem de 50 anos que já estava recebendo tratamento domiciliar, desde então os números só aumentaram na cidade e em todo o país.

Codó é um município brasileiro do interior do estado do Maranhão, com área territorial de 4.361,606 km², com uma população estimada de 123.368 habitantes e com densidade demográfica de 27,06 hab./ km² (IBGE, 2020), localizado a cerca de 310,5 km de distância da capital São Luís. A cidade não possui muitos pontos turísticos, sendo assim não recebem muitos visitantes de fora, porém há uma rota de transporte que sempre leva e traz pessoas para outras cidades e estados como Minas Gerais, Bahia e São Paulo, dessa forma há uma maior probabilidade para propagação do vírus vindo de pessoas de outros estados.

Devido ao rápido alastramento do vírus vários estudos foram realizados para entender como ocorre a disseminação da doença e conseqüentemente encontrar medidas que ajudam a

controlar e conter sua transmissão, dentre eles: o trabalho de Crokidakis, 2020; Dias, 2020 e Gomes, 2020. Uma das ferramentas mais utilizadas para esse tipo de trabalho são os modelos matemáticos, que se tornaram instrumentos importantes na análise da propagação e controle de doenças infecciosas, esses modelos são estratégias utilizadas para obtermos algumas explicações e entendimento de situações reais, eles prever questões importantes, como mudanças causadas por intervenções na disseminação de doenças. Entendendo as características de transmissões dessas doenças infecciosas pode-se levar a melhores métodos para diminuir a alta taxa de transmissão das mesmas (BERTONE, 2014; ROCHA, 2012).

O objetivo deste estudo é realizar uma análise e comparativo sobre a disseminação do novo coronavírus na cidade de Codó nos meses de maio, junho e julho de 2020 e 2021 utilizando o modelo epidemiológico SIQR (suscetíveis – infecciosos – quarentena – recuperados). Segundo (BARROS; LEHFELD, 2000) a escolha ou argumento de uma questão de pesquisa nunca é aleatória, é sempre influenciada por fatores internos (curiosidade, imaginação, experiência, filosofia) e por fatores externos, a realidade circundante ou a instituição a que o pesquisador se filia. Seguindo essa linha de raciocínio, devido a atual situação que vivenciamos de aumento contínuo de casos de COVID – 19 que se espalhou por tudo mundo, e com o crescente número de casos na cidade de Codó Estado do Maranhão, viu - se necessidade para fazer um estudo sobre a propagação da doença no município para ter melhor entendimento do problema. Através desta pesquisa podemos prever o futuro do novo coronavírus no município de Codó e deseja-se com esta pesquisa contribuir para que a população envolvida compreenda os problemas e os impactos que estão sendo causados pela doença e auxiliar no controle e erradicação do vírus.

Utilizamos o modelo matemático SIQR para projetar cenários em relação a pandemia na cidade de Codó – MA para compreender o processo de transmissão e propagação vírus SARS CoV2 e quais métodos seriam necessários para evitar sua disseminação. O modelo SIQR é uma extensão do modelo SIR (*Susceptible - Infected - Recovered*) que foi proposto por Kermack e McKendrick em 1927, eles estudaram um modelo epidêmico determinístico e obtiveram uma equação para o tamanho final da epidemia, que enfatiza um certo limite para a densidade populacional. Grandes epidemias podem ocorrer acima, mas não abaixo desse limite (BACAER, 2011). Testamos hipóteses levando em consideração valores percentuais para comparar com os valores reais e depois de criar os cenários analisamos os dados simulados. O motivo para a escolha do modelo foi sua eficiência e baixa complexidade, segundo Gomes et al. (2020) modelos mais complexos tem muitos parâmetros para serem estimados e isso aumenta a probabilidade de erros paramétricos, sendo que os parâmetros são os elementos

essências para modelagem epidemiológica. Foram utilizados os dados oficiais da Secretaria Municipal de Saúde de Codó (SEMUS - Codó)

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Durante anos a humanidade passou por várias epidemias como a Peste Negra, a Gripe Espanhola em 1917 e a Gripe Honk Kong (H3N2) de 1968. A COVID-19 surgiu na China no final de 2019 e apresenta um extenso espectro clínico variando entre infecções assintomáticas a quadros muito graves que podem levar a morte em algumas semanas ou dias. Segundo o Ministério da Saúde brasileiro, sua transmissão ocorre através de uma pessoa doente para outra ou por contato próximo através de: espirros, tosse, gotículas de saliva e objetos ou superfícies contaminadas, e seu período de incubação é em média de 14 dias (COSTA et al. 2021). Desde então vários estudos foram realizados para compreender a evolução das epidemias, sua propagação e formas de controle. Uma das ferramentas mais utilizadas para análise de propagação de doenças infecciosas são modelos epidemiológicos, que vem sendo utilizados para a análise de doenças infecciosas há muitos anos, em 1790, com o trabalho de Daniel Bernoulli sobre a varíola, e apresentam grande importância para a área epidemiológica. Mais tarde, em 1927 Kermack e McKendrick aprofundou os conceitos de Bernoulli e desenvolveram o modelo compartimental SIR (*Susceptible - Infected - Recovered*). Posteriormente vários outros modelos matemáticos foram propostos para a dinâmica de transmissão de doenças contagiosas (DIAS, 2020).

Como mencionado anteriormente, vários modelos foram surgindo a partir do modelo SIR, como SI (Suscetíveis - Infetados), SIS (Suscetíveis - Infetados - Suscetíveis), SEIR (Suscetíveis - Expostos - Infetados - Recuperados), SIQR (Suscetíveis - Infetados - Quarentena - Recuperados), SIQS (Suscetíveis - Infetados - Quarentena - Suscetíveis) e etc. Esses modelos são chamados de modelos compartimentais, eles dividem a população em classes, na qual indica o estado em que o indivíduo se encontra, por exemplo, suscetíveis (S), infetados(I) e recuperados (R). O modelo é escolhido de acordo com as características da doença, existem algumas doenças que após o indivíduo ser contaminado e recuperado, ele adquire imunidade, nesse caso o modelo ideal seriam SIR, SEIR e SIQR. Porém existem outras em que o infectado não adquire imunidade e pode contrair o vírus novamente, sendo assim os modelos adequados são o SI e SIS, SIRS, SIQS (ROCHA, 2012).

Em epidemiologia o uso de modelos matemáticos é realizado através de estudos de equações diferenciais descrevendo interações entre populações e o ambiente, esses modelos são usados para analisar o comportamento de sistemas complexos, difíceis de serem observados em

situações da vida real, dessa forma irá ocorrer uma análise mais detalhada sobre a doença, quanto mais você souber a respeito da doença e como ela se espalha, mais eficazes serão os métodos para evitar sua propagação e até mesmo ajudar no estudo de medidas preventivas, como campanhas de vacinação (LUIS, 2012).

No trabalho de (ODAGAKI, 2020) o modelo SIQR foi reformulado onde os compartimentos são redefinidos para se adequarem para o COVID-19. Ele classificou os pacientes em dois grupos, os pacientes infectados em geral, sejam eles sintomáticos ou assintomáticos e os pacientes em quarentena, independentemente do local de isolamento. (ODAGAKI, 2020) tratou explicitamente o número de novos casos confirmados diariamente e considerou que o alto número de pessoas infectadas geralmente depende em grande parte da taxa de quarentena e que a medida de quarentena é mais eficaz do que o método de bloqueio total no controle da epidemia.

No estudo de (DIAS et al., 2020) utiliza-se três abordagens para análise do vírus SARS-Cov-2 no estado do Amapá. O primeiro utilizou o modelo ICL para implementação de uma projeção comparada linear para a população amapaense. O segundo método foi desenvolvido com uma solução de curto prazo do modelo SIR padrão onde foi demonstrado que o típico comportamento exponencial descreve dados satisfatórios para as primeiras semanas da epidemia, mas logo depois ocorrem desigualdades inicial devido a um declínio repentino na evolução temporária do número de casos devido a medidas de isolamento. a terceira abordagem é baseada no modelo vSIR que é em uma variante do modelo SIR, indicando que a epidemia neste estado se encontra em plena expansão, este fato se agrava ainda mais com as informações de isolamento social que mostra que o Estado.

(KHAN; ATANGANA, 2020), descrevem a modelagem matemática e a dinâmica de um novo coronavírus por meio de breves detalhes da interação entre os morcegos e hospedeiros desconhecidos, depois entre os povos e o reservatório de infecções (mercado de frutos do mar). Neste trabalho eles consideraram a formulação do modelo inicialmente em derivada de ordem inteira e depois aplicaram a derivada de Atangana-Baleanu, neste modelo foi assumido que ocorra a transmissão do vírus dentro da população de morcego e após ocorra a transmissão para os hospedeiros, ambas populações foram divididas em compartimentos. Os resultados matemáticos para o modelo foram obtidos, descobriram que o modelo do novo coronavírus é localmente Assintoticamente estável quando $R_0 < 1$ para a solução do modelo de epidemia fracionada, apresentaram um esquema numérico e obtiveram vários resultados gráficos, a diminuição dos parâmetros de ordem fracionária leva à diminuição da infecção nos compartimentos infectados.

(LIU et al., 2020) desenvolveram um modelo matemático para fornecer previsões epidêmicas para a epidemia de COVID-19 em Wuhan, China. Foi utilizado os dados da Comissão Municipal de Saúde de Wuhan para parametrizar o modelo. A partir do modelo parametrizado, foi identificado o número de casos não notificados. Em seguida, utilizaram o modelo para prever epidemias com vários graus de intervenção em saúde pública. As previsões do modelo ressaltam a importância das principais intervenções de saúde pública no controle da epidemia de COVID-19.

(RODRIGUES; BITTAR, 2020) realizaram um trabalho parecido sobre a propagação do COVID-19 utilizando o modelo compartimental SIQR para projetar os possíveis cenários de disseminação, levando em consideração o distanciamento social da população em geral e no isolamento de indivíduos infecciosos. Trabalharam com estimativas de parâmetros de acordo com dados globais sobre a doença e com os dados disponibilizados pela Secretaria Municipal de Saúde. Foi analisado diferentes cenários de transmissão da doença com graus variados de medidas de distanciamento social e isolamento parcial da população. Foi observado que medidas de Saúde Pública, como isolamento, quarentena e fechamentos públicos, reduzem bastante o tamanho final da epidemia.

Em seu artigo (LI et al., 2021), propôs um novo modelo epidêmico de dois estágios com uma estratégia de controle dinâmico para descrever a disseminação do COVID-19 na China. Aliado às políticas locais de prevenção e controle de epidemias, estabeleceram-se um modelo epidêmico com um processo de rastreabilidade. Este trabalho incluiu principalmente propor o conceito da primeira e segunda ondas da COVID-19, e estudar os dados de caso e a regularidade das quatro cidades (Pequim, Liaoning, Urumqi e Kashgar) e derivar a existência e estabilidade do equilíbrio. Foram realizadas simulações numéricas relacionadas a resultados teóricos para estabelecer estratégias de controle dinâmicas e verificar sua viabilidade, e a simulação numérica verificou e alargou os resultados teóricos.

Como podemos perceber, de acordo com os trabalhos realizados, os modelos matemáticos se tornaram indispensáveis na área de epidemiologia, segundo (BERTONE, 2014; ROCHA, 2012), se entendermos as características de transmissão das doenças infecciosas, podemos tomar medidas para controlar a alta taxa de transmissão e consequentemente erradicá-la antes do aumento progressivo da morbidade na população. Como ferramentas de análise, disseminação e prevenção, os modelos epidemiológicos exercem uma influência diretamente na comunidade durante a propagação de um vírus através de medidas públicas de prevenção. Por meio desses modelos podemos fazer suposições e estabelecer parâmetros para ter um

melhor entendimento do desenvolvimento da doença na população e analisar o impacto para poder tomar medidas de controle (ODAGAKI, 2020).

3. HIPÓTESES SOBRE O MODELO

- Consideramos que a população será calculada de forma proporcional a quantidade da população real, ou seja, nem todas as pessoas têm a mesma probabilidade de serem contaminadas, levando em consideração indivíduos que estão geograficamente e socialmente mais próximos;
- A suscetibilidade é igual para todos, mas para efeitos práticos da simulação das projeções de propagação, vamos considerar apenas uma porcentagem da população de suscetíveis;
- Para simular curvas de mortalidade, assumiremos que uma taxa dos indivíduos infectados eventualmente morrerá da doença;
- O período de incubação é em média de 2 a 14 dias, com mediana de 5 a 6 dias e em média de 14 dias de internação até óbito (KHAN; ATANGANA, 2020);
- Consideramos que pessoas que testaram positivo rapidamente foram isoladas e não tem probabilidade de contaminarem outros indivíduos;
- Consideramos que após a recuperação o indivíduo fica imune à doença, embora existam casos de reinfeção;
- A taxa de mortalidade será de acordo com os dados globais, sendo que não ocorre muita variação por região;
- Será levado em consideração a morte natural nos compartimentos;
- Como os sintomas da covid-19 varia entre as pessoas de casos assintomáticos, sintomas leves até muito graves, e apenas 20% dos casos são considerados graves chegando até a morte, assumiremos que o número de infectados é bem maior do que os números registrados pela SEMUS-Codó, pois evidentemente os casos assintomáticos não são contabilizados. Trabalharemos com a hipótese de que apenas 20% dos casos são registrados com veracidade.

4. MÉTODOS

6.1 Coleta de dados

O presente trabalho possui aspectos com base nas normas de pesquisas qualitativa e quantitativa, para a realização desta pesquisa foi utilizado os dados dos boletins

epidemiológicos diários encontrados em sites (blogs) e redes sociais (Instagram e Facebook) disponibilizados pela Secretaria Municipal de Saúde de Codó (SEMUS - Codó), estes contêm as informações dos casos acumulados confirmados, suspeitos, recuperados e mortos desde o início da pandemia. A segunda parte dos dados foram coletados na Secretaria Municipal de Saúde de Codó (SEMUS-Codó), pois estes não são encontrados nos boletins diários expostos nas redes sociais citadas logo acima, no entanto, são considerados dados importantes para esta pesquisa, sendo eles, morte por faixa etária e gênero. Neste trabalho será estudado especificamente os meses, maio, junho e julho de 2020 e 2021. Com esses dados aplicaremos no modelo epidemiológico (SIQR) para destacarmos as principais mudanças que ocorreram em um período de um ano.

Para melhor embasamento desta pesquisa foram realizadas buscas bibliográficas nas bases de dados SCIELO, PUBMED, Mathematical Biosciences - Journal - Elsevier International Journal of Environmental Research and Public Health journal, biology e sciencedirect. As palavras chaves utilizadas para as buscas foram: COVID – 19, modelos epidemiológicos, modelo SIQR. A busca ocorreu entre novembro de 2021 a janeiro de 2022, para ter um conhecimento mais amplo sobre modelos epidemiológicos foram incluídos neste estudo apenas artigos e dissertações dos últimos 20 anos nos idiomas inglês e português, e para estudos que avaliaram o surto da COVID – 19 utilizando modelos matemáticos, utilizamos apenas artigos e dissertações do ano 2020 e 2021.

6.2 Modelo SIQR

Aqui será apresentado o modelo SIQR utilizado nesta pesquisa, o motivo para a escolha foi sua baixa complexidade comparado a outros modelos e sua eficiência.

O modelo epidemiológico SIQR é uma extensão do modelo SIR e divide a população em quatro compartimentos que indica a situação de cada indivíduo em relação ao desenvolvimento da doença em cada unidade de tempo (t), sendo eles, indivíduos que estão suscetíveis a serem contaminados (S), indivíduos infectados que podem transmitir a doença aos suscetíveis (I), indivíduos em quarentena que adquiriram a doença e estão isolados (Q) e indivíduos recuperados que receberam tratamento e adquiriram imunidade(R). Sendo assim pode-se escrever a população total da região em estudo, na qual é representada pela constante N como a soma de todos os compartimentos citados acima, sendo:

$$N(t) = S(t) + I(t) + Q(t) + R(t) \quad (1)$$

O modelo SIQR é representado por um conjunto de sistemas de equações diferenciais ordinárias:

$$\frac{dS}{dt} = -\alpha SI - \mu S \quad (2)$$

$$\frac{dI}{dt} = (1 - \phi_1)(1 - \eta)\alpha SI - (\gamma + \mu)I \quad (3)$$

$$\frac{dQ}{dt} = (1 - \phi_1)\eta\alpha SI - (\rho + \mu)Q \quad (4)$$

$$\frac{dR}{dt} = \phi_1(1 - \eta) + \phi_2\eta\alpha SI + \rho Q + \gamma I - \mu R \quad (5)$$

Sendo, α é a taxa de transmissão, γ é a taxa de recuperação não - hospitalar, μ taxa de mortalidade natural, η é a taxa de isolamento de indivíduos infecciosos, ρ taxa de recuperação de indivíduos em quarentena, ϕ_1 é a taxa de mortalidade de indivíduos não isolados, ϕ_2 taxa de mortalidade de indivíduos isolados. Denotamos que, cada equação representa a entrada e saída de indivíduos de um compartimento para o outro, à medida que entra indivíduos em determinado compartimento o número aumenta, quando sai, o número diminui. Os indivíduos suscetíveis ao entrarem em contato com os infecciosos podem serem contaminados e passam para o compartimento de infecciosos ($S \rightarrow I$). Os indivíduos testados positivos são forçados a ficarem em quarentena e passam para a classe dos quarentenados ($I \rightarrow Q$). Porém, os indivíduos que não apresentam, ou possuem leves sintomas e que não estão em quarentena podem se recuperar e passam para classe dos recuperados ($I \rightarrow R$). Os indivíduos em quarentena, após serem isolados, têm duas opções, ir para a classe de recuperados ou deletados, neste modelo não trabalhamos com o compartimento de morte, sendo assim, estes são contabilizados no compartimento (R) recuperados/removidos ($Q \rightarrow R$).

A razão entre os parâmetros ρ e γ forma o número básico de reprodução da epidemia (R_0), o R_0 é a quantidade média de pessoas que um indivíduo infeccioso pode infectar durante o período de infectividade da doença, em uma população totalmente suscetível, e é representado por um conjunto de equações diferenciais ordinárias. Se $R_0 < 1$, o equilíbrio livre de doença é localmente assintoticamente estável, ou seja, a doença não vai conseguir se disseminar em alta escala e não vai atingir a população, em média um indivíduo infectado pode contaminar menos de uma pessoa, porém se $R_0 > 1$, o equilíbrio livre de doença é instável e o indivíduo infectado contamina em média mais de uma pessoa, e pode ocorrer um alto contágio entre a população (VAN DEN DRIESSCHE, P.; WATMOUGH, J., 2002).

6.3 Estimativas de parâmetros

Com base nos dados coletados e nas hipóteses que supomos logo acima, podemos estimar os valores dos parâmetros para fazermos as projeções. Levando em consideração em que o município de Codó não seja muito populoso, com cerca 123.368 habitantes e com densidade demográfica de 27,06 hab./ km², segundo a estimativa do (IBGE, 2020), podemos considerar que quando o vírus atingir seu pico de contaminação não terá atingido toda população devida sua baixa densidade demográfica, sendo assim vamos supor que nem toda população estará suscetível, consideraremos que apenas 90% da população estará suscetível a ser contaminado pela COVID-19, ou seja, 111.031 habitantes.

Consideramos que após um indivíduo ser testado positivo, rapidamente ele é isolado e não tem chances de contaminar outras pessoas, entretanto, segundo (BITAR, 2020) há indícios que possa infectar outros indivíduos durante esse período. Presumimos que o número de casos de COVID-19 é bem maior do que os números confirmados e que apenas 20% dos casos são registrados com legitimidade, logo, estimaremos que a taxa de isolamento de indivíduos infecciosos $\eta = 0,20$.

Através da taxa de letalidade encontraremos a gravidade da COVID-19, dividindo o número de óbitos pelo número de casos do novo coronavírus, neste trabalho consideramos a taxa de letalidade fornecida pela Secretaria Municipal de Saúde Codó nos meses indicados para o estudo, que tem uma média de 3,94%. A taxa de mortalidade é dada por número de óbito pelo número de indivíduos suscetíveis, segundo (RODRIGUES, 2020) a taxa de mortalidade ϕ_1 é de 3,4%. Logo, para calcular a taxa de mortalidade de uma fração de indivíduos infectados isolados utilizaremos a seguinte fórmula de acordo com os dados já estimados sobre a taxa de isolamento de infectados η e taxa de mortalidade ϕ_1 do COVID-19.

$$\phi_2 = \frac{(0,0394 \cdot 0,20 + \phi_1 \cdot (\eta - 0,20))}{\eta} \quad (6)$$

Como a taxa de infecção de pessoas isoladas sobre tratamento hospitalar já está estimada, falta estimar a taxa de recuperação de indivíduos em isolamento hospitalar ou em casa, para isso, iremos utilizar a taxa de recuperação não hospitalar γ , que se refere a uma parcela da população que não está em quarentena e que se recuperam por conta própria sem tratamentos médicos, segundo a literatura o tempo médio de recuperação é de 14 dias. Utilizaremos a seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{1}{(1 - \eta) \cdot (3,5/0,20) + \frac{1}{\gamma}} \quad (7)$$

Em relação a taxa de mortalidade natural μ , como não temos dados precisos para a cidade de Codó, utilizarei a taxa de mortalidade do estado do Maranhão, de acordo com os dados do IBGE (2010) equivale a 0,00563%.

Um dos parâmetros mais importantes em uma epidemia é o R_0 , pois através dele saberemos se haverá, ou não, uma epidemia. Segundo van den Driessche e Watmough (2021) é um parâmetro limiar para a estabilidade local do equilíbrio endêmico, e seu valor de acordo com outras pesquisas está estimado entre 1,4 e 4,2. Neste trabalho utilizamos um valor baseado nos dados disponibilizados pela SEMUS – Codó, ou seja, $R_0 = 3,1$. O valor está dentro do intervalo de estimativas encontrados na literatura.

Agora, vamos estimar a taxa de infecção dos indivíduos suscetíveis α , através dessa taxa saberemos a quantidade de pessoas saudáveis que são contaminadas em um intervalo de tempo e a velocidade que os mesmos passam do compartimento (S) para a classe (I). sendo assim, será utilizada a seguinte formula:

$$\alpha = \frac{\zeta R_0 \gamma}{N} \quad (8)$$

Já estimamos percentual de indivíduos infectados em isolamento, mas é muito importante também sabermos a quantidade de pessoas saudáveis que se retiraram da interação com a sociedade, ou seja, ficaram isoladas. Para isso, iremos projetar diferentes cenários de distanciamento social onde assumiremos que um percentual da população q aderiram estritamente a recomendação de ficarem em casa e o restante seguiram suas vidas normalmente. Neste cenário, observamos que membros da mesma família continuarão em contatos, porém haverá uma grande diminuição ao contato com pessoas fora do domicílio, dessa forma assumimos que o distanciamento social não depende por pessoa individualmente, e sim por família (BITAR e STEINMETZ, 2020).

Por falta de elementos para o município de Codó, utilizaremos os dados do estado do Maranhão, segundo IBGE (2010) possui em média 3,5 pessoas por família. Consideramos que em cada família todos os membros aderiram a recomendação do isolamento social, exceto um, que continua de qualquer forma tendo interação com pessoas longe de casa. Para a parte da população que adota o isolamento estrito, supomos um número básico de reprodução de 0,99 e para os membros que continuam em contato com a sociedade, reputamos um número básico de reprodução $(0,99 + R_0)/2$. Vimos que α está sensibilizado por ζ , dessa forma o parâmetro ζ está definido como:

$$\zeta = \frac{\left(\frac{2,5q}{3,5} \cdot 0,99 + \frac{q}{7} \cdot (0,99 + R_0) + (1 - q) \cdot R_0 \right)}{R_0} \quad (9)$$

A análise dos parâmetros é a peça chave para modelagem epidemiológica, através deles descobrimos os erros e incertezas dos dados coletados. A tabela abaixo está o resumo de todos os parâmetros estimados do modelo (SIQR).

Tabela 1. Valores estimados para os parâmetros

Parâmetros	Valores	significados
N	111.031	População suscetível ao contágio
η	0,20	taxa de isolamento de indivíduos infecciosos
γ	1/14	taxa de recuperação não hospitalar
μ	0,00563%.	Taxa de mortalidade natural
ϕ_1	3,4%	Taxa de mortalidade de indivíduos não isolados
ϕ_2	Equação (6)	Taxa de mortalidade de indivíduos isolados
R_0	3,1	Quantidade que um infeccioso pode infectar outras pessoas
q	$0,1 < 0,8$	Percentual de isolamento da população saudável
ρ	Equação (7)	Taxa de recuperação de indivíduos em isolamento
α	Equação (8)	Taxa de infecção dos indivíduos suscetíveis
ζ	Equação (9)	Parâmetro sensibilizado por q

Fonte: próprio autor

Depois de supormos as hipóteses e as estimativas, utilizamos dois softwares computacionais para poder fazermos as simulações numéricas e as projeções, esses aplicativos se chamam Python e PyCharm, todos são gratuitos e estão disponíveis para todos os tipos de computadores. Ambos aplicativos devem ser configurados, o PyCharm é um leitor de Python, esses softwares são ferramentas de linguagem de códigos que transforma códigos em informações úteis, escrevemos um documento que chamamos códigos em Python para o computador ler e realizar tarefas, através dessa linguagem o código fornece gráficos e outras informações.

5. RESULTADOS

Para estudarmos com precisão a ocorrência e disseminação da epidemia, primeiro obtivemos os dados epidemiológicos dos meses de maio a julho de 2020 e 2021 disponibilizados pela Secretaria municipal de saúde de Codó – SEMUS, conforme podem ser observados nas tabelas 2 e 3. Foram construídos cenários de transmissão da COVID-19 para analisar e observar as mudanças que ocorreram em um período de 1 ano, tempo considerado o suficiente para cobrir uma onda inteira infecções.

Fizemos a implementação computacional do modelo utilizando as equações (2) – (5), os valores dos parâmetros estimados, localizados na tabela 1 e os dados epidemiológicos disponibilizados pela SEMUS – Codó, representados na tabela 2. Desse modo, para o dia inicial da pesquisa, isto é, no dia 01 de maio de 2020, supomos que haviam 95 casos do novo coronavírus em Codó. Estes 95 casos representa os 19 casos confirmados inicialmente pela SEMUS – Codó somado com os 80% dos casos que supostamente não foram contabilizados. Sendo assim, suponhamos que os 19 casos confirmados estão localizados no compartimento Q (0) e os outros 76 não confirmados estão situados no compartimento I (0). O número de pessoas recuperadas inicialmente é de $R(0) = 0$ e o número de mortos é $M(0) = 0$ e toda a população restante da cidade é saudável e suscetível a doença, isso é, $S(0) = 110.936,2$. Utilizando esse valor na primeira formula, temos:

$$N(0) = 111.031,2 \quad (10)$$

Tabela 2. Número de casos de COVID-19 acumulativos semanalmente nos meses de maio a julho no ano de 2020.

Notificados	Suspeitos	Descartados	Confirmados	Recuperados	Óbitos	Mês/ano
187	93	75	19	0	0	01/05/2020
477	174	193	110	3	3	08/05/2020
881	271	337	273	17	10	15/05/2020
1662	473	575	614	83	16	22/05/2020
2288	316	1084	888	168	26	28/05/2020
3322	438	1497	1387	352	41	05/06/2020
4044	446	1889	1710	554	49	12/06/2020
5041	632	2353	2056	787	52	19/06/2020
5078	517	497	2117	799	52	20/06/2020
5629	553	2737	2336	932	55	24/06/2020
6336	270	3456	2610	1169	60	30/06/2020
7190	309	3916	2965	1478	63	07/07/2020
7764	249	4391	3124	1683	68	13/07/2020
			3277	1875	68	20/07/2020
			3481	2068	72	27/07/2020
			3589	2138	74	30/07/2020

Fonte: SEMUS – Codó.

Fizemos novamente a mesma implementação computacional utilizando os dados da tabela 3. Sendo assim, para o ano de 2021 o dia inicial foi 04 de maio, neste dia supomos que haviam 26.750 casos de COVID-19, sendo, 5.350 casos inicialmente confirmados pela SEMUS – Codó somados com os supostos 21.400 subnotificados. Mais uma vez supomos que os 5.350

casos confirmados estão localizados no compartimento Q (0) e os outros 21.400 casos não contabilizados estão situados no compartimento I (0). O número inicial de recuperações é R (0) = 4.246, o número de óbitos é M (0) = 157, e o restante da população da cidade é saudável e suscetível à doença, isto é, S (0) = 79.878,2. Utilizando este valor na equação 1, temos:

$$N(0) = 111.031,2 \quad (10)$$

Tabela 3. Número de casos de COVID-19 acumulativos semanalmente nos meses de maio a julho no ano de 2021.

Notificados	Suspeitos	Descartados	Confirmados	Recuperados	Óbitos	Mês/ano
15965	11	10604	5350	4246	157	04/05/2021
16474	11	10997	5466	4248	159	11/05/2021
16967	8	11343	5616	4248	161	18/05/2021
17176	0	11502	5674	4248	162	20/05/2021
17435	0	11644	5745	4248	165	25/05/2021
18010	94	11895	6021	4308	167	31/05/2021
18311	139	12050	6122	4308	168	02/06/2021
18848	120	12400	6328	4309	175	09/06/2021
19598	106	12861	6631	4411	180	16/06/2021
20327	162	13178	6987	4616	185	23/06/2021
20855	100	13527	7228	4803	186	30/06/2021
21160	61	13791	7308	4901	188	05/07/2021
21422	51	13940	7431	5018	192	12/07/2021
21635	70	14085	7480	5023	195	16/07/2021
21765	58	14192	7515	5231	197	22/07/2021
21827	63	14235	7529	5327	198	26/07/2021
21913	44	14316	7553	5454	198	30/07/2021

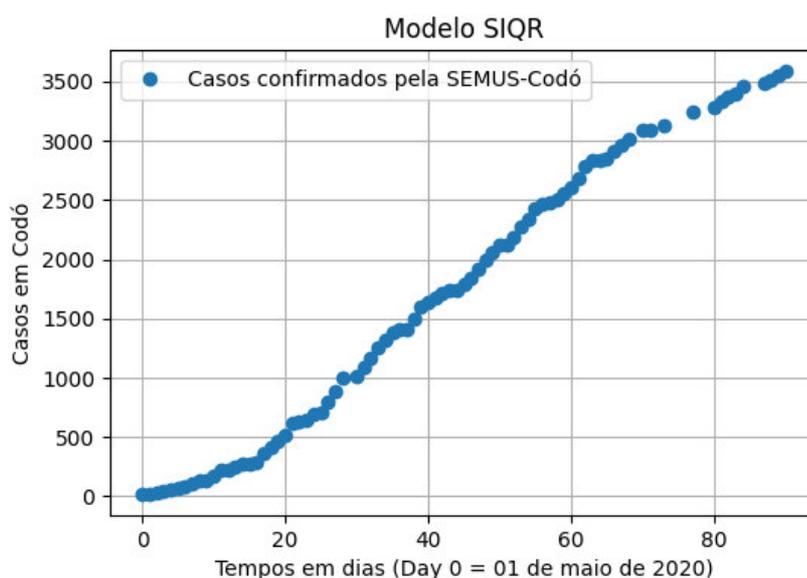
Fonte: SEMUS – Codó

Na Figura 1 e 2 traçamos os dados da fase inicial de epidemia (maio de 2020) e após um ano, utilizamos apenas os casos confirmados de COVID-19 para a cidade de Codó-MA, considerando toda a evolução dos casos no início de maio a 30 de julho de 2020 (figura 1) e 2021 (figura 2).

Levamos em consideração apenas os casos confirmados de COVID-19 pela SEMUS-Codó, no primeiro gráfico podemos perceber que ocorreu um alto índice de crescimento linear em um curto período de tempo, os números de casos aumentaram de 19 para 3589 em um período de 90 dias e sua tendência é aumentar esse número até atingir seu pico. O rápido crescimento inicial pode ter tido influência de diversos fatores ordem biológica e patológica, como comorbidades e doenças de base, outros fatores como aspectos sócio-econômico-

demográficos, temperatura baixa e, conseqüentemente, população menos exposta aos raios ultravioleta do sol e com menor nível de vitamina D no sangue, e no início da pandemia os países onde a doença chegou primeiro demoraram para tomar medidas de prevenção e hábitos de saudação que envolvem contato físico, como beijo, abraço ou aperto de mão continuaram normalmente na rotina da população (FAPESP, 2020)

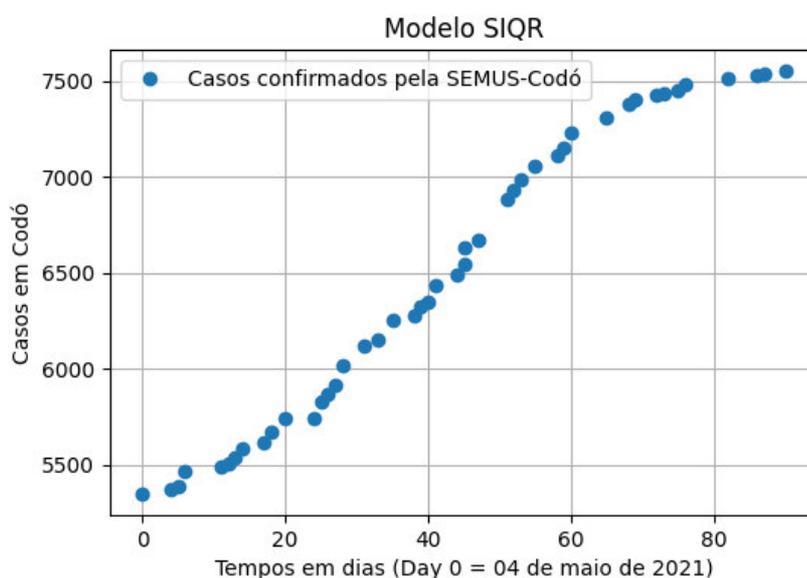
Figura 1. Número de casos confirmados de COVID-19 em Codó, Ma no período de 01 de maio a 30 de julho de 2020.



Fonte: SEMUS – Codó.

No gráfico 2, após um ano, podemos ver que não houve um crescimento tão vertical como no ano anterior, observa-se que a curva já está se estabilizando para o mesmo intervalo de tempo. A diminuição na transmissão de casos, se deve as políticas de isolamento social imposta pelo governo no início da pandemia, essas restrições forçam apenas uma parte da população a circular livremente (DIAS; ARAÚJO, 2020). Como o tamanho da área permanece a mesma, na prática, o que ocorre é uma diminuição da densidade populacional, a diminuição da densidade também leva a diminuição da taxa de crescimento. Porém o número de casos ainda está crescendo em uma taxa menor, isso porque com um tempo as pessoas vão perdendo o medo da doença e não tomam mais as devidas precauções, parte da população começam a sair do isolamento, participando de atividades coletivas como festas, bares, jogos de futebol e etc. e novamente o vírus começa a se espalhar.

Figura 2. Número de casos confirmados de COVID-19 em Codó, Ma no período de 04 de maio a 30 de julho de 2021.



Fonte: SEMUS – Codó.

Para a próxima projeção consideramos diferentes cenários para a população saudável em distanciamento social, em um tempo de 150 dias, estimamos o número básico de reprodução $R_0 = 3,1$ e o tempo médio do período infeccioso em 14 dias. Nesta simulação não iremos mudar o valor de η , apenas o valor de q irá sofrer alteração.

- Na primeira situação consideramos η igual a 0,20, ou seja, 20% da população infectada estava em isolamento social e q igual a 0,20, isto é, 20% da população saudável estava em distanciamento social;
- Na segunda situação não alteramos o valor de η , mantivemos em 0,20 como mencionado anteriormente e consideramos q igual a 0,40, melhor dizendo, 40% da população saudável estava em distanciamento;
- Na terceira situação mantivemos o mesmo valor de η igual a 0,20, 20% e assumimos que q é 0,80, em outras palavras, supomos que 80% da população saudável estava em distanciamento;

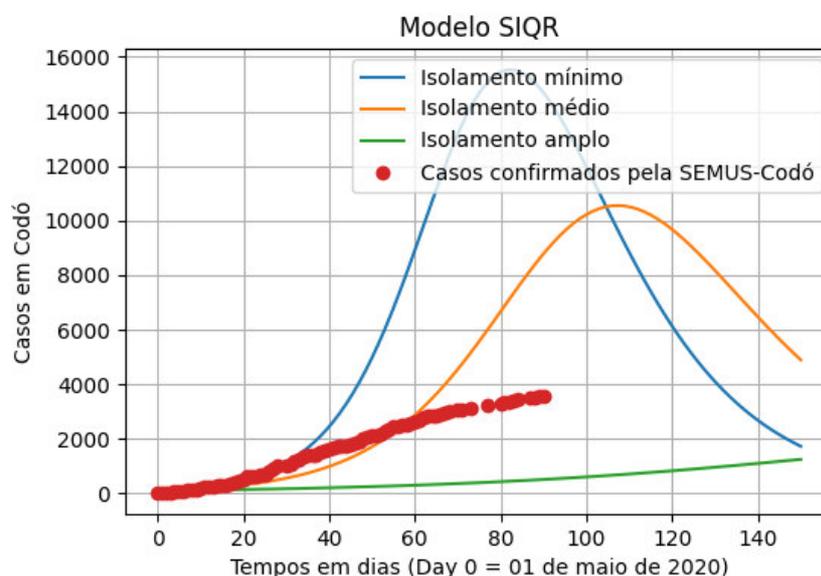
Na figura abaixo podemos perceber uma grande variação nos números de casos quando uma certa quantidade da população fica em confinamento, a linha azul representa a quantidade de casos de COVID-19 não confirmados quando a porcentagem da população isolada é igual a 20%. Como no início da pandemia as pessoas não tinham muito conhecimento sobre a doença e não estavam dando muita importância, sendo assim, podemos imaginar que a taxa de isolamento era a mínima possível não havendo isolamento médio e nem amplo, segundo as

projeções quando a taxa de isolamento é 20% o vírus atingiu seu pico de contaminação próximo ao dia 80^a com aproximadamente 15.400 casos. Nessa mesma data o número de casos confirmados pela SEMUS-Codó era de 3.277, sendo assim podemos dizer que haviam mais ou menos 18.677 casos de COVID-19, os números confirmados pela secretaria representam 18% do valor total, ou seja, 82% dos casos do novo coronavírus não foram contabilizados nessa data.

A linha laranja mostra a quantidade de casos do novo coronavírus quando a porcentagem da população em distanciamento é 40%, podemos observar que houve uma diminuição razoável nos números de casos. Com aproximadamente 110 dias, quando atingir seu pico o número de casos chega a pouco mais que 10.000, depois de atingir seu número máximo de contaminações os casos irão diminuir rapidamente. Em relação ao isolamento anterior houve uma grande diferença, apesar de não ser a quantidade adequada de confinamento social, esse resultado diminui bastante a quantidade de casos do novo coronavírus.

A linha verde representa o número de casos do COVID-19 quando a porcentagem da população em afastamento é 80%, como podemos perceber, a quantidade de casos não cresce muito, permanecem constante durante um pequeno período e vai crescendo de uma forma muito lenta, nesse cenário com quatro meses de pandemia tinha chegado a pouco mais que 1.500 casos, seguindo essa projeção o vírus não iria se espalhar pelos indivíduos e seria contido sem causar muito dano à população. Esse cenário seria o ideal para a taxa de isolamento social para população, porém, é importante ressaltarmos que no início da pandemia as pessoas não estavam aderindo ao isolamento social, então o isolamento era o mínimo possível, o valor considerado adequado segundo (BITAR.; STEINMETZ, 2020) seria 80%, entretanto essa porcentagem é impossível, porque as pessoas precisam sair de casa para trabalharem para poder sobreviverem, principalmente na cidade de Codó que há um alto índice de pobreza, uma vez que as medidas de isolamentos sociais afetam mais as classes menos favorecidas socialmente.

Figura 3. Taxa de distanciamento da população saudável vs número de infectados no início de maio 2020 em um período de 150 dias.



Fonte: próprio autor baseados nos dados coletados

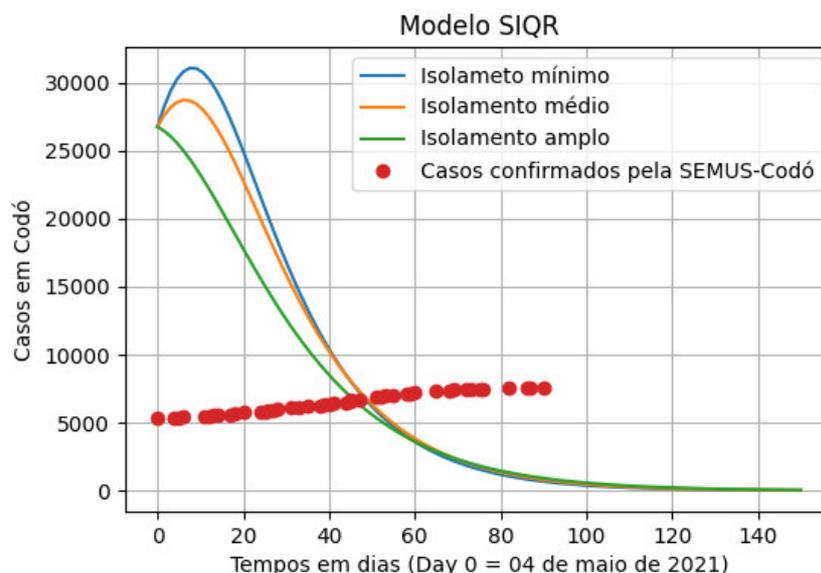
Percebemos que houve uma grande diferença em relação aos casos dados como reais e a simulação, os dados confirmados praticamente permaneceram constante e há uma grande diferença inicial pelo fato de ter muitos casos subnotificados na qual utilizamos na simulação, por isso os dados confirmados pela SEMUS-Codó se inicia com pouco mais de 5.000 casos e a projeção começa com mais de 25.000 casos. Como mencionado anteriormente, no início pandemia o alto número de casos não notificados está relacionado a falta de testes rápidos e porque a maioria dos casos são assintomáticos, depois de um ano percebemos que a situação ainda continua a mesma, pois as subnotificações permaneceram.

De acordo com a simulação, o distanciamento mínimo de 20% de pessoas suscetíveis, o número de casos atingiu seu pico com mais de 30.000 infectados e rapidamente diminuirá, chegará a zero antes mesmo de chegar a 120 dias. O isolamento médio, ou seja 40%, atingirá seu pico na mesma data que o isolamento mínimo, porém há uma diminuição no número de infectados com mais ou menos 28.000 casos. No cenário de isolamento amplo com 80%, os casos não aumentaram, permaneceram o mesmo valor com um pouco mais de 27.000 e logo sofreram uma queda imensa.

Na imagem acima temos uma grande diferença em relação ao ano anterior, a quantidade de pessoas isoladas nas projeções são as mesmas, entretanto os resultados são distintos, apesar dos números de casos confirmados ter aumentado, podemos perceber que não houve grandes alterações nas simulações quando utilizamos diferentes porcentagens como ocorreu

anteriormente nas simulações de 2020, os números cresceram poucos, se estabilizaram e depois decaíram para zero. Isso se deve ao fato de que a quantidade de pessoas suscetíveis diminuiu, à medida que o número de infectados aumenta, o número de indivíduos suscetíveis vai diminuindo e conseqüentemente a reprodução básica também diminui.

Figura 4. Taxa de distanciamento da população saudável vs número de infectados no início de maio 2021 em um período de 150 dias.



Fonte: próprio autor baseados nos dados coletados.

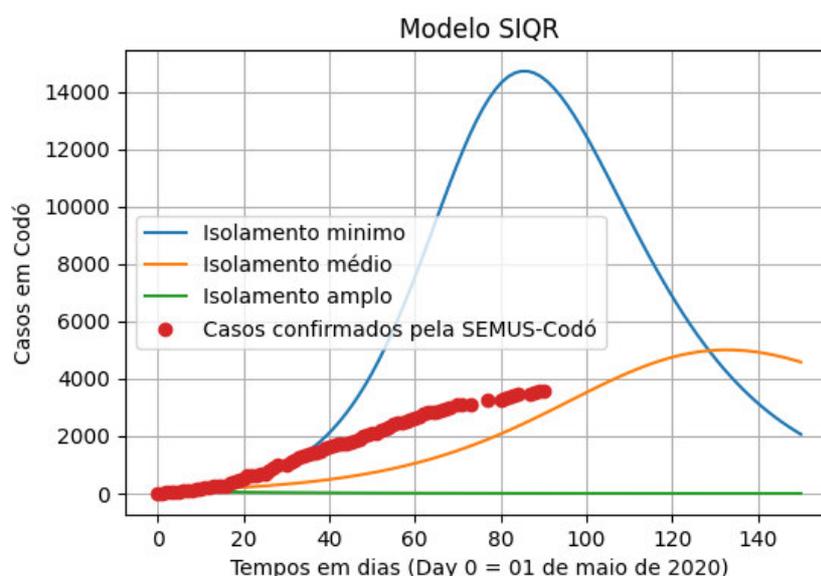
Na seguinte simulação invertemos os papéis, mantivemos a taxa da população saudável em isolamento social q em 0,20 e utilizamos outros valores para os infecciosos em isolamento η . Mantivemos o número básico de reprodução $R_0 = 3,1$ e o tempo médio do período infeccioso em 14 dias

- $q = 0,20$, isto é, com esse valor consideramos que 20% da população saudável está isolada e η igual a 0,20, ou seja, 20% da população infectada estava em isolamento social;
- $q = 0,20$, novamente 20% da população saudável está isolada e η igual a 0,40, sendo assim, 40% da população infectada estava em isolamento;
- $q = 0,20$, mantivemos o mesmo valor de par população saudável e η igual 0,80, em outras palavras, supnhamos que 80% da população infectada estava isolada.

Em relação as imagens anteriores notamos uma grande diferença nos números de casos quando mudamos a taxa de isolamento de pessoas saudáveis e infecciosas, o isolamento mínimo 20% não alterou absolutamente nada, pois os valores eram os mesmos tanto da população isolada saudável quanto a população infecciosa em todas as simulações, no entanto, quando

utilizamos 40% para população saudável em distanciamento social, os casos de COVID-19 atingiu seu pico com mais de 10.000 casos e quando colocamos 40% para população infecciosa em isolamento, os números de casos atingiram seu pico com aproximadamente 5.000 casos, como podemos ver na imagem acima ocorreu uma grande diminuição nos casos. Já no caso de isolamento amplo, quando 80% da população infecciosa fica isolada os números não saem do zero, na simulação anterior vimos que quando a população saudável isolada é 80% os casos chegam a pouco mais que 1500. Observamos que, com um aumento da população infecciosa em isolamento η leva diretamente a um menor crescimento do compartimento de indivíduos infecciosos (I) capazes de disseminar a doença e que a medida de quarentena é mais eficaz do que o bloqueio total da população.

Figura 5. Taxa de isolamento de indivíduos infectados vs população saudável no início de maio 2020 em um período de 150 dias.



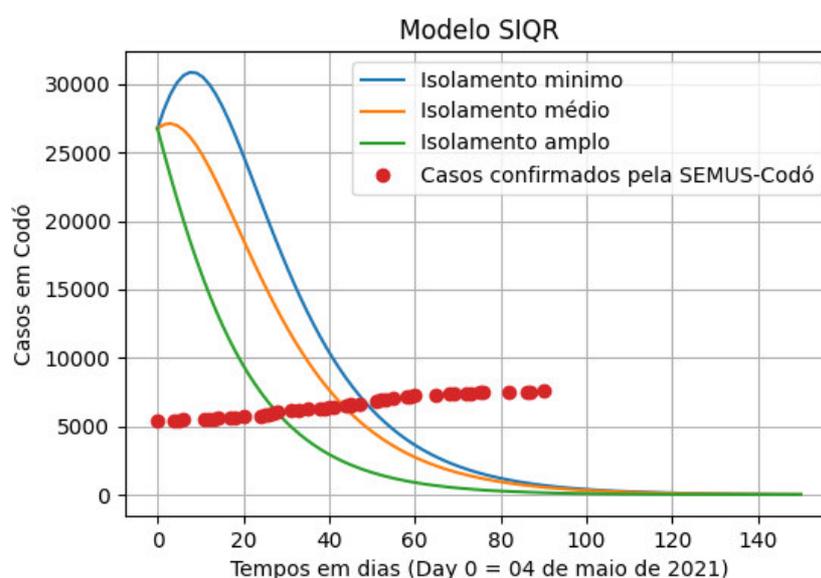
Fonte: próprio autor baseados nos dados coletados

Na figura 6, podemos ver que os casos praticamente caíram. No isolamento mínimo os casos ainda aumentam atingindo seu pico com pouca mais que 30.000 casos, no isolamento médio os números permaneceram constantes por alguns dias e logo diminuíram, em isolamento amplo simplesmente diminuíram, não havendo nenhuma contaminação. Vale ressaltar que este cenário é considerado irreal, sendo que 80% dos casos são assintomáticos, dessa forma a maioria das pessoas nem sabem que contraíram o vírus e não entram para o compartimento de quarentena.

Depois de um ano denotamos que os números de casos de COVID-19 ainda são bem maiores do que os confirmados pela SEMUS-Codó, até o dia 11 de maio de 2021 o número de

casos confirmados era de 5.466, segundo as simulações nesta mesma data os casos subnotificados era aproximadamente 32.000, somando esse valor temos aproximadamente 37.466, ou seja, os casos são quase 7 vezes maiores do que os registrados pela SEMUS-Codó. Os 5466 representam aproximadamente 15% e os 32.000 subnotificados representam 85% dos casos. A forma para reduzir esses números de infecciosos seria o aumento de testes rápidos não só em indivíduos sintomáticos mais também em pessoas próximas geograficamente que não apresentam sintomas, mas que de alguma forma possa ter entrado em contato com um infeccioso, no entanto, isso depende não só dos órgãos públicos mais também da conscientização da população.

Figura 6. Taxa de isolamento de indivíduos infectados vs população saudável no início de maio 2021 em um período de 150 dias.



Fonte: próprio autor baseados nos dados coletados.

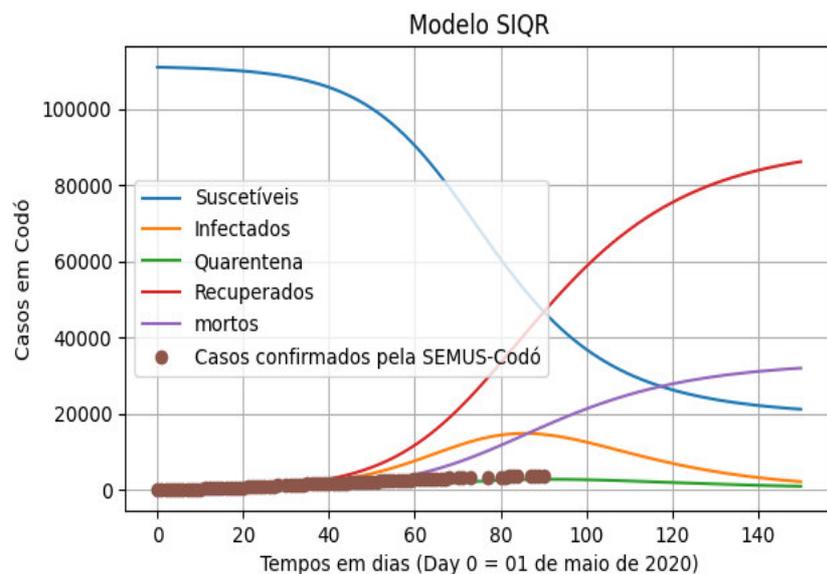
Nestas projeções utilizamos todos os compartimentos em um cenário de 150 dias em que 20% da população saudável q estava em distanciamento social e 20% dos infecciosos estavam isolados e a reprodução básica $R_0 = 3,1$.

Inicialmente há um grande número de pessoas suscetíveis, como podemos ver na imagem 7, à medida que vai aumentando o número de infectados, irá diminuindo o número de suscetíveis e conseqüentemente aumentará o número de recuperados. Pode-se ver que o número de casos subnotificados cresce mais rápido que o número de indivíduos confirmados e isolados Q , esse desequilíbrio foi observado em todo o mundo, uma vez que há um grande número de casos de infecção não documentados pelo COVID-19, conforme discutido no trabalho de Li et.

al (2020). Observamos que o número de indivíduos em quarentena cresce rápido, estabiliza e depois decai para zero, como é padrão em modelos compartimentais.

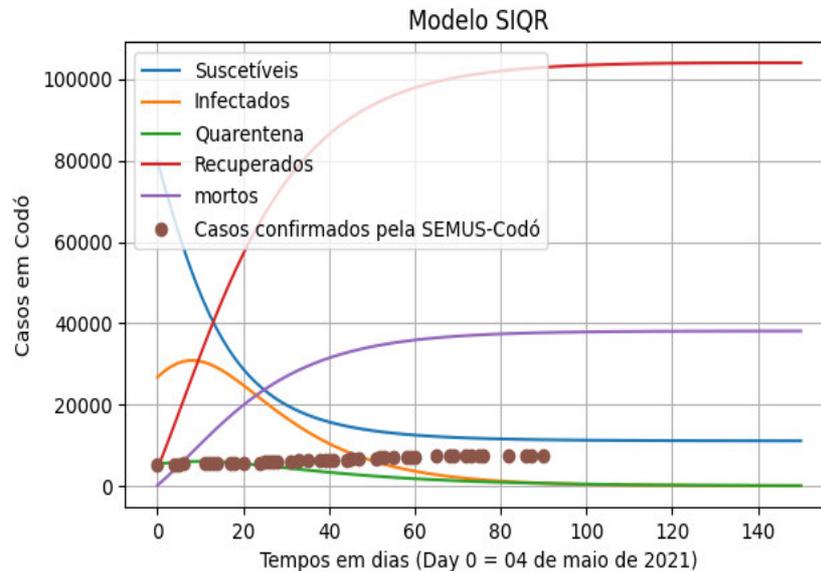
Na figura 8, a partir do dia 80 toda população já está recuperada e não há mais infecciosos para contaminar os suscetíveis, que também diminuíram bastante. À medida que a porcentagem de circulação se aproxima de zero, representando bloqueio quase completo, o número de casos tende a zero se estabiliza em um valor final constante. Em relação ao número de óbitos, a curva está muito acima do esperado, o número de mortos está crescendo mais rápido do que os infectados e isso parece ser uma grande discrepância, entretanto, lembrando que estamos levando em consideração a taxa de morte natural e enquanto houver pessoas haverá mortes.

Figura 7. Cenário envolvendo todos os compartimentos do modelo SIQR no início de maio em 2020 no período de 150 dias.



Fonte: próprio autor baseados nos dados coletados.

Figura 8. Cenário envolvendo todos os compartimentos do modelo SIQR no início de maio em 2021 no período de 150 dias.



Fonte: próprio autor baseados nos dados coletados.

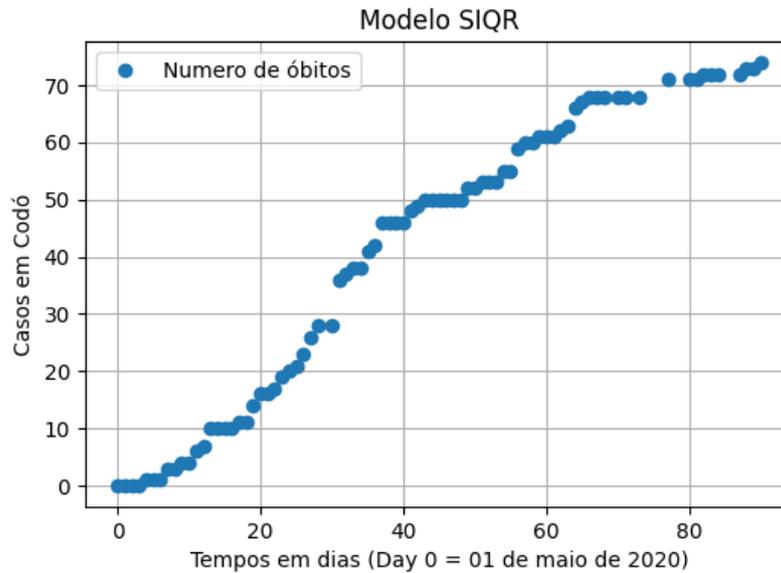
A seguir, utilizamos apenas os números de óbitos por COVID-19 confirmados pela SEMUS-Codó, de 01 de maio a 30 de julho de 2020 e 04 de maio a 30 de julho 2021.

Como mencionado acima, as figuras (9) e (10) representam os números de mortes por COVID-19, em maio a julho de 2020 o número de mortes foi de zero a 74 e como podemos observar no gráfico, há uma linha que cresce quase constantemente e logo esse número irá se expandir ainda mais, sendo que nesse período estava ocorrendo aumento nos números de casos confirmados e quanto maior for o número de infecção, maior será o número de óbitos. Entretanto, esse cenário pode mudar devido as medidas de proteção como uso de máscaras e álcool em gel ao saírem de casa, distanciamento de no mínimo de 2 metros de distância em público e confinamento social. Dessa forma, se a população acatasse as medidas de proteção não haveria mais grandes números de contaminações e se não tivesse contaminação, não haveria mortes causadas pelo vírus.

Apesar de dados gerais em todo o Brasil mostrarem que no primeiro semestre de 2021 ocorreu maior números de óbitos por COVID-19, com um aumento de cerca de 17,7% comparado ao ano anterior, em Codó o número de mortes em 2021 foi inferior a 2020, com 74 mortes em 2020 e 41 em 2021 nos meses de estudo. Mesmo tendo uma redução os números de óbitos ainda estão crescendo em uma taxa menor comparada ao ano anterior, apesar disso, podemos ver na imagem que o número de óbitos se estabilizou depois do dia 80, diferente do

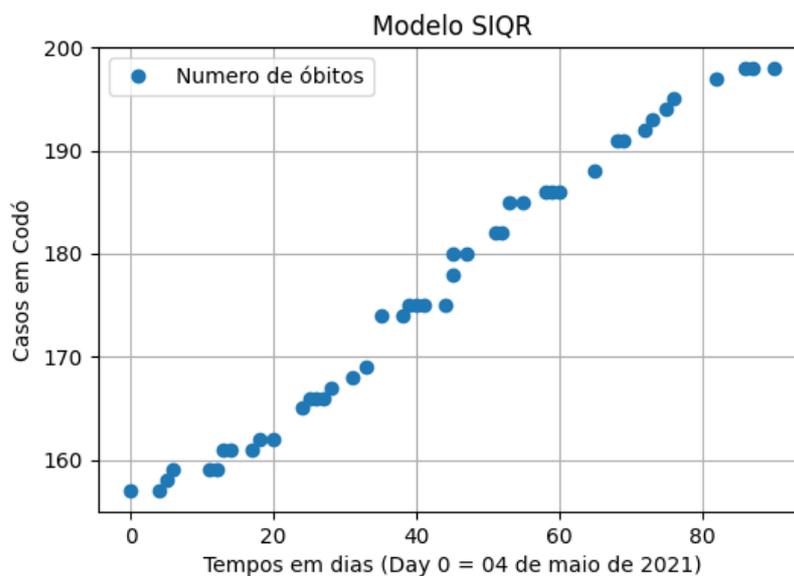
que ocorreu em 2020 que até o dia 90 não tinha se estabilizado e a tendencia era de crescer os números de óbitos ainda mais.

Figura 9. Número de óbitos por coronavírus na cidade de Codó, Ma no período 01 de maio a 30 de julho de 2020.



Fonte: SEMUS – Codó.

Figura 10. Número de óbitos por coronavírus na cidade de Codó, Ma no período 01 de maio a 30 de julho de 2021.



Fonte: SEMUS – Codó.

As tabelas (4) e (5) mostram as quantidades de mortes por gênero e faixa etária no período de estudo, como podemos observar em 2020 houve muito mais mortes do gênero masculino com 20 mortes a mais do que o feminino. No início da pandemia acreditava-se que

o dobro de homens estavam morrendo de COVID-19, então pesquisadores começaram associar essas taxas mais altas ao sistema imunológico, sendo que o feminino é mais resistente que o masculino, porém um estudo mais recente da Universidade de Harvard (DANIELSEN et al., 2022) sugere que essas altas taxas de mortes está relacionado mais a fatores sociais e comportamentais do que diferenças biológicas entre os sexos, tais como: diferenças de idades, desigualdades sociais em diferentes grupos socioeconômicos e doenças cardíacas. A ligação entre esses fatores biossociais e os resultados do COVID-19 é particularmente evidente na distribuição desigual de condições de saúde pré-existentes entre e homens e mulheres em diferentes grupos sociais. Por exemplo, doenças cardíacas e doenças cardiovasculares são comorbidades associadas a piores resultados e mortalidade por COVID-19 (DANIELSEN et al., 2022). Isso explica o fato de que em 2021 o número de mortes do gênero feminino tenha ultrapassado o masculino, como representado na tabela acima.

No entanto, quando olhamos para o cenário de faixa etária, vemos que o número de mortes aumenta muito mais entre pessoas acima de 69 anos, desde o início da pandemia a terceira idade se mostrou mais vulnerável a doença, segundo a matéria do jornal DCI afirma que o vírus pode ser sete vezes mais letal em pessoas acima de 80 anos. Pessoas com mais de 60 anos são mais vulneráveis a todas as doenças infecciosas. Em geral, os adultos mais velhos têm sistemas imunológicos mais comprometidos do que os adultos mais jovens, essa fragilidade é consequência da queda na produção de proteínas que estimulam as células de defesa. Além disso, os idosos tendem a ter mais doenças crônicas, como diabetes e pressão alta que são comorbidades relacionadas ao maior número de mortes do novo coronavírus (JORNAL DCI, 2022).

Tabela 4. Morte por COVID-19 por faixa etária e gênero referente registradas no período a maio a julho de 2020, na cidade de Codó, Ma.

FAIXA ETÁRIA	FEMININO	MASCULINO	QUANTIDADE
MENOR DE 20 ANOS	0	0	0
20 A 29	0	0	0
30 A 39	0	3	3
40 A 49	3	1	4
50 A 59	3	2	5
60 A 69	6	7	13
MAIOR DE 69	18	37	55
TOTAL	30	50	80

Fonte: SEMUS – Codó.

Tabela 5. Morte por COVID-19 por faixa etária e gênero referente registradas no período a maio a julho de 2020, na cidade de Codó, Ma.

FAIXA ETÁRIA	FEMININO	MASCULINO	QUANTIDADE
MENOR DE 20 ANOS	0	0	0
20 A 29	0	0	0
30 A 39	3	1	4
40 A 49	2	3	5
50 A 59	2	6	8
60 A 69	3	2	5
MAIOR DE 69	14	9	23
TOTAL	24	21	45

Fonte: SEMUS – Codó.

6. CONCLUSÃO

Segundo as projeções, aproximadamente 20% da população saudável no período de maio a julho de 2020 e 2021 estavam em distanciamento social e menos de 20% da população infectada estava em isolamento social, ambos valores são considerados muito baixo. Os casos subnotificados foram maiores do que os registrados na literatura de 80%, em 2020 e 2021. Os fatores que contribuíram para as altas subnotificações foram a falta de testes rápidos inicialmente e porque a maioria desses casos são assintomáticos, geralmente, os testes rápidos são aplicados em sua maioria em indivíduos sintomáticos, desconsiderando o enorme potencial de contaminados assintomáticos. O grande perigo está em pessoas assintomáticas, sendo que elas nem sabem que contraíram o vírus e muitas não se preocuparam em fazer o teste rápido e não entraram para o compartimento de quarentena e continuam trafegando normalmente, aumentando a transmissão do vírus.

Alegamos que o meio mais eficaz para evitar a propagação de uma epidemia além da vacina é o isolamento social, como observamos nas projeções, quando ocorre o isolamento mínimo há um grande aumento nos números de casos e quando ocorrem uma maior porcentagem da população isolada os casos logo diminuem, acabando com as chances de se espalharem e evitando um maior número de mortes, sendo que, quanto mais casos da doença mais óbitos irá ocorrer. Como vimos nas projeções, o isolamento de infectados é mais adequado do que o distanciamento da população saudável, quanto maior o número de pessoas infectadas em quarentena, menor será o número de transmissão, pois, vai se espalhar de forma mais lenta e gradual.

No ano de 2021 os casos se espalham com menor frequência, isso se deve ao fato de que no início o vírus se espalhou muito rápido e diminuiu a quantidade de pessoas suscetíveis, isto é, à medida que cresce o número de pessoas infectadas o número de indivíduos suscetíveis diminui, pois não há mais pessoas para contaminar, e devido ao aumento de casos ocorreram medidas de proteção impostas pelo governo, como distanciamento social, uso de máscaras e higienização das mãos. Depois de um ano tivemos o uso da vacina, nos meses utilizados para esta pesquisa apenas 14% da população tinha tomado a segunda dose da vacina e isso não interferiu nos valores das simulações, sendo que já havia ocorrido o pico de contaminação e a tendência era diminuir as contaminações e aumentar o número de recuperados.

7. REFERENCIAS

ACHA QUE ESTÁ COM SINTOMAS DA COVID-19?. **Ministério da Saúde**, 2021. Disponível em: <https://www.coronavirus.ms.gov.br/?page_id=29>. Acesso em 18/11/2021.

BITAR, S.; STEINMETZ, W. A. **Cenário de propagação da Covid-19 em Manaus**, 15. Universidade Federal do Amazonas, 2020.

Bacaer, N. **A Short History of Mathematical Population Dynamics: A Short History of Mathematical Population Dynamics**. London, p. 89-96, 2011. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-85729-115-8_16.

CIDADES E ESTADOS. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/codo.html>>. Acesso em 03/12/2021.

CORONAVÍRUS: BRASIL CONFIRMA PRIMEIRO CASO DA DOENÇA. **Ministério da Saúde**, 2020. Disponível em: <<https://www.unasus.gov.br/noticia/coronavirus-brasil-confirma-primeiro-caso-da-doenca>>. Acesso em 29/11/2021.

COSTA, F. S. et al. Modelo SIR aplicado na dinâmica da COVID-19 no Estado do Maranhão, Brasil. **Revista de Matemática de Ouro Preto**. v.1, 2021. pp:18-34 2021: 2237-8103.

COVID EM IDOSOS: POR QUE ELES SÃO MAIS VULNERÁVEIS AO VÍRUS?. **Jornal DCI**, 2022. Disponível em: <[Covid em idosos: por que eles são mais vulneráveis ao vírus? \(dci.com.br\)](https://www.dci.com.br)>. Acesso em 24/03/2022.

CROKIDAKIS, N. Divulgação do COVID-19 no Rio de Janeiro, Brasil: as políticas de isolamento social realmente funcionam?. **Chaos, Solitons & Fractals**, v. 136, jul. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109930>.

CROKIDAKIS, N. **Modeling the early evolution of the COVID-19 in Brazil: results from a Susceptible-Infectious-Quarantined-Recovered (SIQR) model**. Niterói/RJ, Brazil, v. 2, may. 2020. <https://doi.org/10.1142/S0129183120501351>.

DANIELSEN, A. C. et al., **Disparidades sexuais nos resultados do COVID-19 nos Estados Unidos: quantificando e contextualizando a variação**. Boylston Hall, USA., v. 294, feb. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2022.114716>.

DIAS, N. L. et al. Predição da propagação do SARS-CoV-2 no Estado do Amapá, Amazônia, Brasil, por modelagem matemática. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Vol. 06, maio de 2020.

DIAS, GABRIELA. M. S.; ARAÚJO, L. H. C. **Modelagem Matemática para Epidemia de COVID-19 e Estimativa de Casos no Brasil no Curto Prazo**. Rio de Janeiro, Brasil, 2020.

DRIESSCHE, P. van den; WATMOUGH, James. **Reproduction numbers and sub-threshold endemic equilibria for compartmental models of disease transmission**. Fredericton, Canada, jun. 2021. [https://doi.org/10.1016/S0025-5564\(02\)00108-6](https://doi.org/10.1016/S0025-5564(02)00108-6).

TOLEDO K. Estudo identifica fatores que contribuíram para disseminação inicial da Covid-19. **Agência FAPESP**, 2020. Disponível em: < <https://agencia.fapesp.br/estudo-identifica-fatores-que-contribuiram-para-disseminacao-inicial-da-covid-19/33453/>>. Acesso em 30/05/2022.

FLOQUET, S. A matemática no combate a epidemia: estudo sobre a COVID-19 na região do vale do São Francisco. **REVASF**, Petrolina- Pernambuco - Brasil, vol. 11, n.24, p. 100-146, janeiro, 2021. ISSN: 2177-8183.

GOMES, Sebastião. C. P. et al. **Modelagem Dinâmica da Covid-19 com Aplicação a Algumas Cidades Brasileiras**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, 2020.

GOVERNO CONFIRMA O PRIMEIRO CASO DO NOVO CORONAVÍRUS NO MARANHÃO. G1 Maranhão, 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2020/03/20/governo-confirma-o-primeiro-caso-do-novo-coronavirus-no-maranhao.ghtml>>. Acesso em 29/11/2021.

HETHCOTE, H. et al. Effects of quarantine in six endemic models for infectious diseases. **Mathematical Biosciences**, Xi'an, Shaan'xi, China, v. 180, p. 141-160, dec. 2002. [https://doi.org/10.1016/S0025-5564\(02\)00111-6](https://doi.org/10.1016/S0025-5564(02)00111-6).

HUPPERT, A.; KATRIEL, G. **Mathematical modeling, and prediction in infectious disease epidemiology**. Vol. 19, p. 999-1005, nov. 2013. <https://doi.org/10.1111/1469-0691.12308>.

KHAN, M. A.; ATANGANA, A. Modeling the dynamics of novel coronavirus (2019 nCov) with fractional derivative. **Alexandria Engineering Journal**. Vol. 59, pag. 2379-2389, Aug. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.02.033>.

LIMA, A. Subsecretaria de Saúde Núcleo de Evidências. **Tempo entre o Início dos Sintomas e a Hospitalização**, Goiás, ago. 2020.

LIU, Zhihua. et al. **Understanding Unreported Cases in the COVID-19 Epidemic Outbreak in Wuhan, China, and the Importance of Major Public Health Interventions.** *Biology*, Beijing, China, v. 9, mar. 2020. <https://doi.org/10.3390/biology9030050>.

LUIZ, Monica. H. R. **Modelos Matemáticos em Epidemiologia.** Universidade Estadual Paulista. Campus de Rio Claro, 2012.

LU, Xing. et al. **Estabilidade e estratégias de controlo óptimas para um novo modelo epidémico da COVID-19.** *Pequim, China*, maio, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11071-021-06524-x>.

MA, Junling. et al. Estimating Initial Epidemic Growth Rates. **Bull Math Biol**, vol. 76, p. 245-260, Nov. 2013. <https://doi.org/10.1007/s11538-013-9918-2>.

MALIK, A. et al. **Estimation of parameter of fractional order COVID-19 SIQR epidemic model.** *Greater Noida, India*, vol. 49, n.8, p. 3265-3269, dec. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.918>.

MIRANDA, G. A. D. et al. **Análise de Modelos Epidemiológicos para a COVID-19: Um Estudo de Casos de Belo Horizonte - MG durante a Pandemia de 2020.** Instituto Federal de Minas Gerais campus Sabará, 2020.

ODAGAKI, T. **Exact properties of SIQR model for COVID-19.** *Kyoto, Japan*, vol. 564, nov. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125564>.

PAUL, M. **Foreseeing the future in infectious diseases: can we?.** *Haifa, Israel*, vol. 19, n. 11, p. 991-992, nov.. 2013. <https://doi.org/10.1111/1469-0691.12300>.

POR QUE A COVID-19 MATA MAIS HOMENS QUE MULHERES?. MSN notícias, 2022. Disponível em: <[Por que a Covid-19 mata mais homens que mulheres? \(msn.com\)](https://www.msn.com/pt-br/pt-br/por-que-a-covid-19-mata-mais-homens-que-mulheres?ocid=hp_hp-top-table-main-covid-19-mata-mais-homens-que-mulheres_gh)>. Acesso em 24/03/2022.

ROCHA, D. I. C. **Modelos matemáticos aplicados à epidemiologia.** Faculdade de Economia da Universidade do Porto. Junho, 2012.

RODRIGUES, L. **COVID-19: Cenários de propagação no município de Codó-MA.** Universidade Federal do Maranhão, 2021.

SOARES, E. F. **Aplicação da modelagem matemática epidemiológica modelo SUEIHCDR para a doença covid-19 na cidade de são José dos Campos, SP, brasil.** São Paulo: EdUAM, 2020.

ZIMMERMANN, I. **Projeção de internações em terapia intensiva pela COVID-19 no Distrito Federal, Brasil: uma análise do impacto das medidas de distanciamento social.** Brasília, 2020. doi: 10.1590/S1679-49742020000500022.