Relatório Técnico

Grupo de Trabalho COVID-19
da Universidade Federal de Minas Gerais

Avalição de Cenários de Isolamento Social para a Pandemia COVID-19 no Município de Belo Horizonte

Dr. Luiz Henrique Duczmal [a]
Dr. Alexandre Celestino Leite Almeida [b]
Dra. Denise Bulgarelli Duczmal [c]

[a] Departamento de Estatística, UFMG. duczmal@ufmg.br
[b] Departamento de Estatística, Física e Matemática, UFSJ. celestino@ufsj.edu.br
[c] Departamento de Matemática, UFMG. bulgarelli@ufmg.br

31 de março de 2020

Abstract

Apresentamos o modelo de simulação de evolução de epidemias SEIRis (Suscetível-Exposto-Infectado-Recuperado com isolamento social) para calcular a efetividade de medidas de isolamento social durante a pandemia do coronavirus (COVID-19) em Belo Horizonte, MG. Vários cenários são analisados, e mostramos que uma estratégia de isolamento social pode reduzir drasticamente o valor máximo da curva de crescimento do número de infectados correntes, diminuindo a saturação dos hospitais e centros de tratamento de casos mais graves do COVID-19.

1 Introdução

Como calcular a efetividade de medidas de isolamento social para a pandemia do coronavirus (COVID-19)? Qual seria a diminuição no número de casos, se 50% das pessoas de Belo Horizonte ficassem em casa? E se 90% das pessoas ficassem em casa?

Neste trabalho estamos especialmente interessados em saber se o isolamento social favorece a redução da quantidade de pessoas infectadas. Porquê isso é importante? Principalmente porquê queremos que o pico máximo da epidemia seja minimizado, isto é, que os hospitais não sejam inundados com um grande número de vítimas simultâneas do COVID-19 que necessitem de tratamento intensivo. Se não houverem leitos suficientes para atender a todos, muitas pessoas podem morrer simplesmente por falta de capacidade de atendimento. Assim, se o isolamento social puder reduzir o pico de casos de pessoas infectadas, muitas vidas poderão ser salvas. Medidas de isolamento social na pandemia COVID-19 já estão provando sua efetividade, veja por exemplo [Bakker et al., 2020].

Vamos analisar estes problemas com uma técnica matemática de simulação de evolução de epidemias, o modelo SEIRis (Suscetível-Exposto-Infectado-Recuperado com isolamento social), obtido por nós a partir de uma modificação do modelo tradicional SEIR.

No modelo SEIR, pessoas Suscetíveis à infecção entram em contato aleatoriamente com o virus COVID-19 se tornando Expostas, e após um período de incubação ficam Infectadas, e se tornam capazes de passar esse virus aleatoriamente a outras pessoas Suscetíveis. Os Infectados podem ser assintomáticos (terem poucos ou nenhum sintoma) ou sintomáticos (desenvolverem sintomas típicos da infecção por COVID-19). Os Infectados se tornam com o passar do tempo Recuperados (um termo técnico para dizer que não podem infectar outras pessoas, podendo sobreviver ou morrer).

Alguns parâmetros são de interesse nessa simulação, como o tempo médio de incubação Z, o período médio infeccioso D (durante quantos dias o indivíduo infectado é capaz de infectar outros), e a fração dos indivíduos infectados que não apresentam sintomas (mas continuam capazes de contagiar outros, embora com menor intensidade). Um parâmetro extremamente importante, e que não depende só do virus, é a taxa de transmissão B; ele depende do sistema de saúde do país e do ambiente em que as pessoas vivem. Se o valor de B é alto, isso significa que o virus tende a se espalhar mais rapidamente na população.

Na próxima seção vamos construir nosso novo modelo Modelo SEIR com isolamento social (SEIRis). Na seção seguinte vamos apresentar vários cenários simulando condições diferentes de isolamento social em Belo Horizonte e estudar o seu impacto na redução do número de infectados simultâneos. Um programa em linguagem R é apresentado.

2 O Modelo SEIR com isolamento social (SEIRis)

Vamos construir nosso modelo SEIRis com uma simplificação que nos será util. Considere que numa cidade como Belo Horizonte tenhamos dois compartimentos de pessoas: um grupo em isolamento social, e outro grupo fora de isolamento social. Em nosso modelo, os indivíduos em isolamento social não ficam necessariamente em isolamento total - apesar de estarem em isolamento social, acabam por ter contato ocasional reduzido com outras pessoas. Por exemplo, vamos supor que em Belo Horizonte, com 2.500.000 habitantes, 90% das pessoas fiquem em isolamento social, reduzindo 40 vezes seu contato com outras pessoas (que estejam ou não em isolamento social). Enquanto isso, o grupo restante, com 10% da população, se comporta normalmente, mantendo contatos usuais com outras pessoas (inclusive com eventuais pessoas em isolamento social).

Como a epidemia de COVID-19 vai evoluir nesse caso? Na próxima seção faremos uma análise deste e de outros cenários com graus variados de isolamento social.

3 Cenários Estudados

A seguir apresentamos alguns cenários variando tanto a porcentagem da população que adere ao isolamento social, quanto o fator de redução da taxa de contato do isolado.

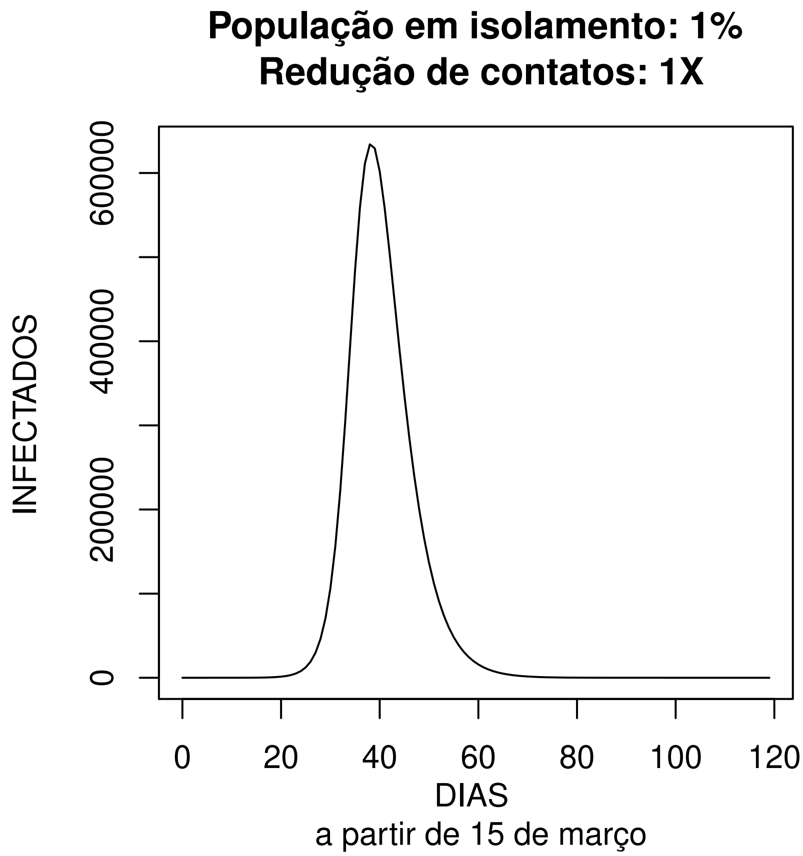

Figure 1: Cenário onde nenhum isolamento é realizado.

Neste cenário, praticamente ninguém adere ao isolamento social, ocasionando um grande número de infectados no dia de pico de casos.

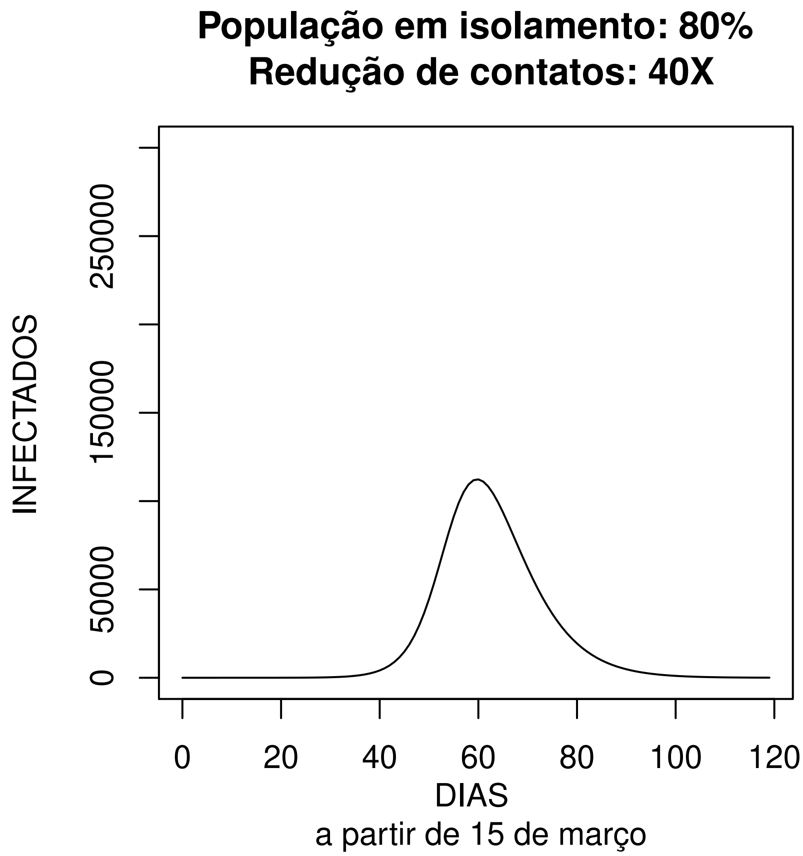

Figure 2: Neste cenário, 80% da população adere de forma mais rigorosa ao isolamento, reduzindo significativamente o pico de casos.

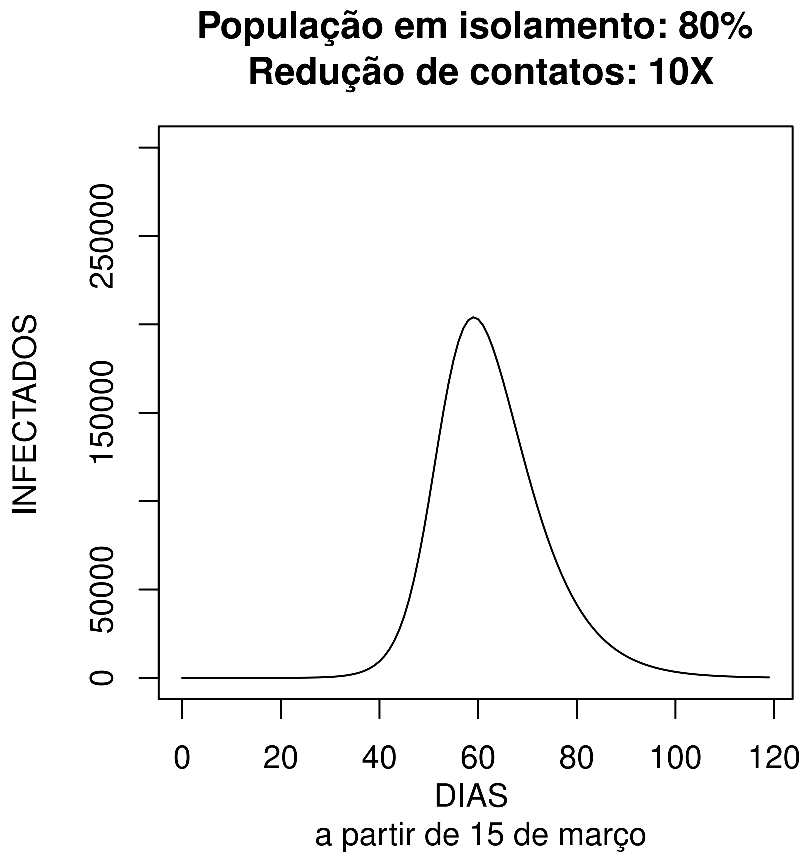

Figure 3: Se 80% da população adere de forma menos rigorosa ao isolamento, a redução do pico de casos é bem menos efetiva que no cenário anterior.

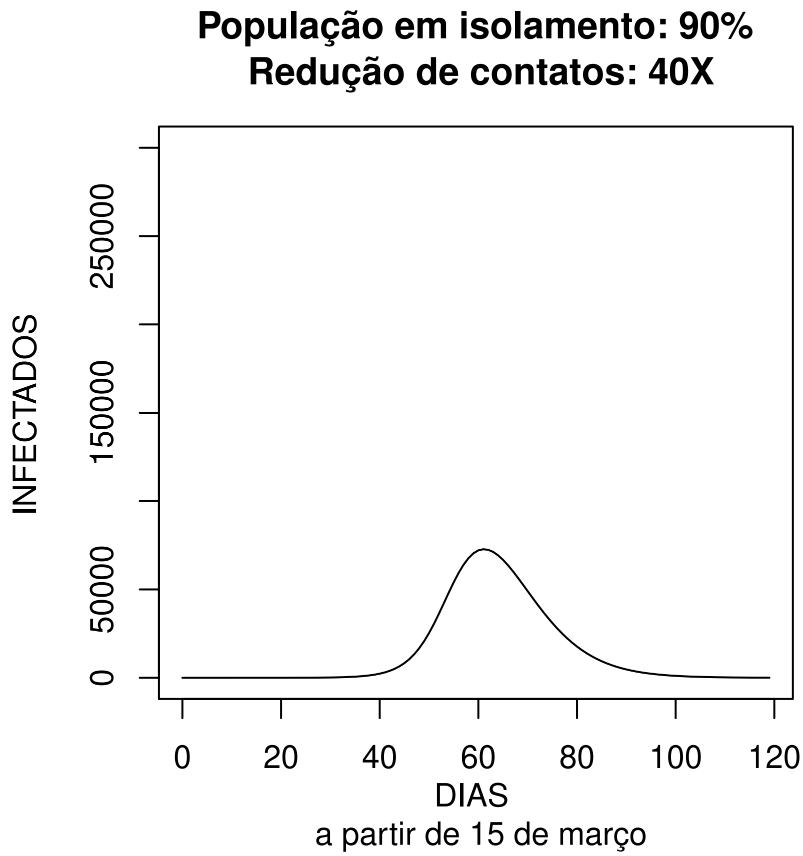

Figure 4: Neste cenário, 90% da população adere de forma mais rigorosa ao isolamento, reduzindo muito o pico de casos.

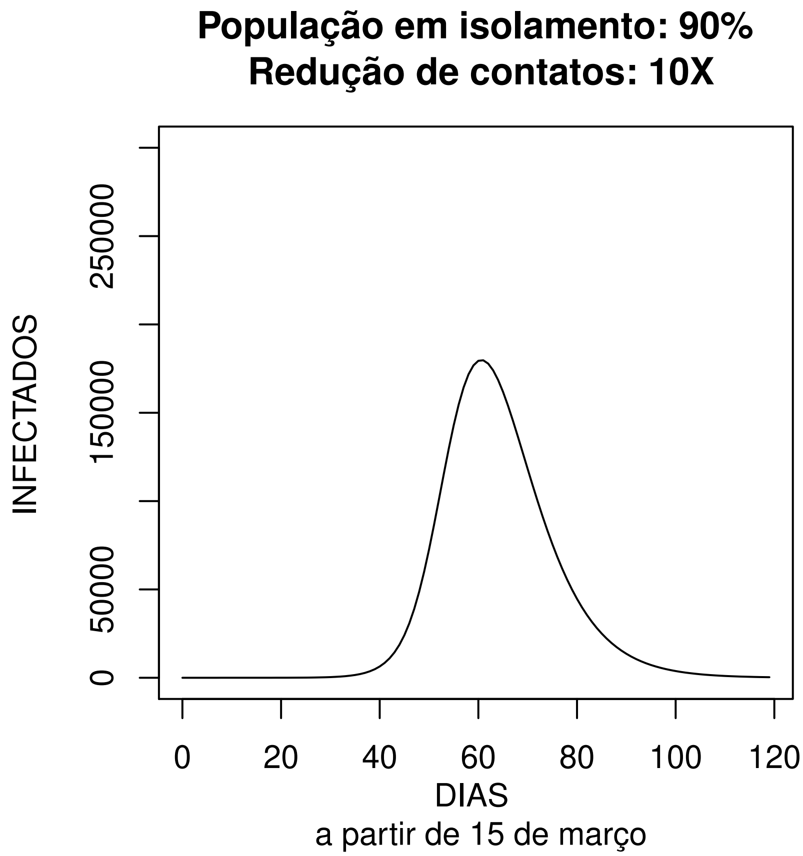

Figure 5: Se 90% da população adere de forma menos rigorosa ao isolamento, a redução do pico de casos é menos efetiva que no cenário anterior.

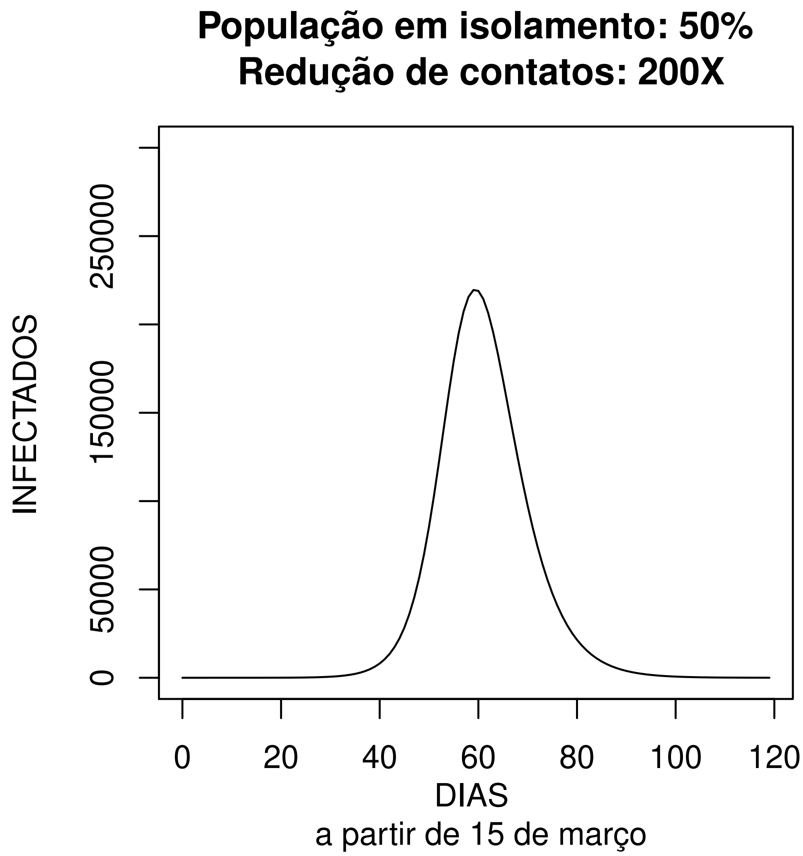

Figure 6: Este ultimo cenário foi incluído na análise para mostrar que se apenas metade da população se isolar socialmente, mesmo que o fator de isolamento seja muito alto, a redução do número de casos será menos efetiva, comparada com os cenários anteriores de 80% ou de 90% de isolamento

4 Conclusões

O isolamento social pode contribuir para reduzir significativamente o número de casos de COVID-19. É importante que a maior porcentagem possível da população possa ter recursos para aderir ao isolamento social por por pelo menos três meses, mas não apenas isso: O fator de redução da taxa de contato do isolado deve ser elevado, minimizando o contato com outras pessoas durante o período. Um isolamento social da ordem de 90% de aderência, com diminuição de 40 vezes da taxa de contato pode reduzir drasticamente o pico do número de casos simultâneos, e evitar a saturação do sistema de saúde, diminuindo a quantidade que pessoas que necessitem de internação hospitalar durante a pandemia do COVID-19.

5 Referências

1. Li, R. et al. Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV2). Science 10.1126/science.abb3221 (2020). https://science.sciencemag.org/content/early/2020/03/24/science.abb3221
2. Bakker et al., 2020. Effect of social distancing measures in the New York City metropolitan area. MIT Media Lab, March 26, 2020. http://curveflattening.media.mit.edu/Social_Distancing_New_York_City.pdf

6 Apêndice: Descrição do Modelo SEIRis

O Modelo SEIRis é uma extensão do modelo epidemiológico SEIR, e consiste de um sistema 8 equações diferenciais ordinárias e um conjunto de condições iniciais. A solução do sistema SEIRis é formada por 8 funções do tempo em dias, que mostram a evolução das variáveis da epidemia (número de suscetíveis, expostos, infectados e recuperados para os ambientes de isolamento social e fora de isolamento social) ao longo do tempo.

6.1 Parâmetros do Modelo SEIRis

As seguintes variáveis e parâmetros são usados no Modelo SEIRis:

N = número total de indivíduos (em isolamento e fora de isolamento) (N=2500000)
S = número total de suscetíveis
E = número total de expostos
I = número total de infectados
R = número total de recuperados
(Ainda que S, E, I e R variem, vale o tempo todo a relação N=S+E+I+R.)
fracq = fração da população em isolamento
Nq = número total de indivíduos em isolamento (Nq=N*fracq)
Nc = número total de indivíduos fora de isolamento (Nq=N*(1-fracq))
Sq = número de suscetíveis em isolamento
Sc = número de suscetíveis fora de isolamento
Eq = número de expostoss em isolamento
Ec = número de expostoss fora de isolamento
Iqr = número de infectados em isolamento reportados
Iqr = número de infectados em isolamento não-reportados
Icr = número de infectados fora de isolamento reportados
Icn = número de infectados fora de isolamento não-reportados
mu = Fator redutor para a taxa de transmissão dos infectados não-reportados.
(Aqui foi usado mu=1)
Iq = número efetivo total de infectados em isolamento (Iq = Irq + mu*Inq)
Ic = número efetivo total de infectados fora de isolamento (Ic = Irc + mu*Inc)
Fq = fator redutor de taxa de contato do isolado (ex. Fc=1/15)
Fc = fator redutor de taxa de contato do não-isolado (Usualmente Fq=1)

Bq = parâmetro de transmissão do virus para indivíduos em isolamento
(Bq=1.226, obtido por ajuste de mínimos quadrados para dados de Belo Horizonte)
Bc = parâmetro de transmissão do virus para indivíduos fora de isolamento
(Bc=1.226, idêntico à Bq)
alpha = Proporção de infectados que serão registrados como casos reportados
(alpha = 0.05: existem 20 vezes mais casos correntes do que casos reportados)
Z = Período médio de incubação (Z = 3.69 dias, conforme [Li, 2020])
Drq = Duração média do período infeccioso em casos reportados em isolamento
Dnq = Duração média do período infeccioso em casos não-reportados em isolamento
Drc = Duração média do período infeccioso em casos reportados fora de isolamento
Dnc = Duração média do período infeccioso em casos não-reportados fora de isolamento. (Drq = Dnq = Drc = Dnc = 3.48 dias, conforme [Li, 2020])

6.2 Sistema de Equações Diferenciais SEIRis

O modelo SEIRis é governado pelo sistema de oito equações diferenciais a seguir:

(Sq)' = -Bq*[Iq/Nq]*[(Nq-Iq)/Nq]*Sq*Fq -Bc*[Ic/Nc]*[(Nq-Iq)/Nq]*Sq*Fq
(Sc)' = -Bq*[Iq/Nq]*[(Nc-Ic)/Nc]*Sc*Fc -Bc*[Ic/Nc]*[(Nc-Ic)/Nc]*Sc*Fc
(Eq)' = Bq*[Iq/Nq]*[(Nq-Iq)/Nq]*Sq*Fq +Bc*[Ic/Nc]*[(Nq-Iq)/Nq]*Sq*Fq - Eq/Z
(Ec)' = Bq*[Iq/Nq]*[(Nc-Ic)/Nc]*Sc*Fc +Bc*[Ic/Nc]*[(Nc-Ic)/Nc]*Sc*Fc - Ec/Z
(Irq)'= alpha*Eq/Z - Irq/Drq
(Irc)'= alpha*Ec/Z - Irc/Drc
(Inq)'= (1-alpha)*Eq/Z - Inq/Dnq
(Inc)'= (1-alpha)*Ec/Z - Inc/Dnc

O símbolo ()' indica derivada em relação ao tempo. As duas equações auxiliares seguintes são usadas para simplificar a notação:
Iq = Irq + mu*Inq
Ic = Irc + mu*Inc

6.3 Condições iniciais

O sistema de 8 equações descrito acima é inicializado com 1 indivíduo exposto, dividido proporcionalmente entre os dois compartimentos (de isolamento e de não-isolamento):

Sq=Nq-1*fracq
Sc=Nc-1*(1-fracq)
Eq=1*fracq
Ec=1*(1-fracq)
Irq=0
Irc=0
Inq=0
Inc=0

h=1.0 (passo de um dia)
nmax=120 dias

6.4 Resolução Numérica

O Sistema SEIRis é resolvido numericamente com o método de Runge-Kutta de quarta ordem.

6.5 Programa em Linguagem R

O método SEIRis foi implementado em linguagem R, e pode ser acessado no link a seguir.

https://drive.google.com/open?id=1Jd_Ng8-fd7KedhMYKfGqufzJEcoFN3Lu