

Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica
Departamento de Estatística

Aplicação do modelo SIR para previsão da tendência da COVID-19 na Itália

Integrantes:

Jadson Rodigo Silva de Oliveira - 218405

João Pedro Shimizu Rodrigues - 218793

Guilherme Martins de Castro Gurgel - 217249

Rodrigo Forti - 224191

Campinas
2021

Introdução

No final de 2019, um novo tipo de vírus da família do Coronavírus começou a circular entre humanos na cidade de Wuhan, na China [1]. Ele foi disseminado rapidamente para todo mundo por causa de uma característica: um indivíduo infectado por esse novo coronavírus pode transmiti-lo para outras pessoas até 48 horas antes de apresentar os sintomas da COVID-19 (Coronavírus Disease - 2019) [2]. De fato, pessoas sem sintomas podem ter uma probabilidade maior de transmitir o vírus, pois elas têm chances menores de estarem isoladas e podem não ter adotado os procedimentos recomendados para a prevenção da infecção.

A Itália foi um dos principais países que sofreram por esse vírus no início de 2020 devido à grande circulação de pessoas para turismo. A primeira detecção de um italiano com o coronavírus ocorreu em 21 de fevereiro em uma cidade pequena perto de Milão, na região da Lombardia, no Norte do país [3]. E no mês de março o vírus já tinha se espalhado para todas as regiões do país [4].

Em 8 de março de 2020, o Primeiro Ministro Italiano Giuseppe Conte implementou estado de quarentena em toda Lombardia e em outras 14 províncias nortenhas, que colocou 60 milhões de pessoas em lockdown [5].

Em 11 de março, devido ao grande número de casos e da rápida propagação do vírus em todos os continentes, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou pandemia do Coronavírus [6].

Em 21 de março na Itália, todos os serviços não essenciais, indústrias e escolas foram fechados e a movimentação de pessoas foi restringida [7]. Apenas serviços essenciais puderam permanecer abertos, como farmácias, supermercados e áreas relacionadas à saúde (hospitais e indústrias produtoras de oxigênio e respiradores). O que restringiu a movimentação dos 60 milhões de habitantes do país.

Durante esse período atípico de propagação do Coronavírus, o governo italiano implementou medidas individuais de proteção, como obrigatoriedade do uso de máscara em transportes e lugares públicos e quarentena de 14 dias para quem testou positivo para a doença [8].

Devido ao número limitado de testes feitos e disponíveis, pois a demanda estava alta no começo de 2020, o número real de infectados na Itália, assim como em outros países, é estimado como muito maior que a contagem oficial [9].

Há diversos fatores de risco que ajudam a explicar como será a gravidade da doença em indivíduos. Esses fatores podem ser: histórico de doenças cardíacas, respiratórias e autoimunes; tipo sanguíneo; sexo; idade; diabetes; gravidez; entre outros [10]. Como as populações possuem diferentes porcentagens desses fatores, é impossível definir uma medida exata para a mortalidade. Porém, em média, é estimado que a letalidade da COVID-19 esteja entre 1% a 2% [11].

Objetivo

O objetivo deste trabalho foi prever como seria a pandemia da COVID-19 na Itália se não fossem tomadas as medidas de contenção de propagação e, após isso, foi feita uma previsão de como será após a tomada das medidas como lockdown e uso de máscara. A predição foi realizada com o modelo epidemiológico SIR.

Foi analisado apenas o período inicial da pandemia, pois há diversos fatores que o modelo SIR, pelo menos em sua versão mais simplista, não consegue captar, por exemplo, o desenvolvimento e aplicação de vacinas, migração de pessoas e reinfecção.

Metodologia

A pandemia de COVID-19 fez com que centros de pesquisa e organizações voltassem a atenção para modelos epidemiológicos, entre eles o SIR. A capacidade dos modelos em fazer previsões sobre o futuro da disseminação de vírus permite aos cientistas avaliar planos de vacinação e de isolamento que no futuro podem ser implementados através de políticas governamentais.

Modelo SIR

Neste trabalho, foi aplicado o modelo SIR para fazer a previsão da progressão da COVID-19 na Itália. Esse modelo é dado por 3 componentes/estados: Suscetível, Infeccioso e Removido (SIR), e pode ser visto na Figura 1 junto com as taxas de transição entre os estados. Para mais informações sobre o modelo SIR utilizado nesse trabalho, veja [13].

Esse projeto se baseou no trabalho do artigo das pesquisadoras Aidalina Mahmud e Poh Ying Lim: *Applying the SEIR Model in Forecasting The COVID-19 Trend in Malaysia: A Preliminary Study* [14]. A análise seguiu os mesmos passos do artigo, a diferença está nos dados e modelo utilizados. As pesquisadoras usaram os dados da Malásia e o modelo SEIR e esse projeto, os dados da Itália e o modelo SIR.



Figura 1: Estados do modelo SIR: Suscetível (S), Infeccioso (I) e Removido (R).

Suscetível, Infeccioso e Removido são estados pelos quais um indivíduo progride na sequência. A taxa de infecção, β , controla a taxa de disseminação que representa a probabilidade de transmitir a doença entre suscetível e um indivíduo infectado. A taxa de remoção, $\gamma = 1/D$, é determinada pelo tempo de duração médio, D , da infecção.

A quantidade S denota o número de indivíduos que estão suscetíveis à doença, mas não infectados. Ou seja, todas as pessoas da população que estão em risco. A quantidade I denota o número de indivíduos que podem transmitir a doença através do contato com indivíduos suscetíveis. E a quantidade R denota o número de indivíduos que conseguiram sobreviver e adquiriram imunidade para a doença ou morreram. As equações que governam a evolução e a dinâmica do modelo SIR podem ser descritas pelas seguintes equações diferenciais ordinárias (1).

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= \frac{-\beta SI}{N} \\ \frac{dI}{dt} &= \frac{\beta SI}{N} - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I\end{aligned}\tag{1}$$

Foi utilizado como estimativa para o parâmetro γ o valor $1/20$, pois estudos já mostraram que o tempo médio que o paciente fica infectado está entre 14 a 25 dias [2]. O parâmetro β foi estimado através de uma regressão linear do tipo:

$$\log(Casos_{dia_i}) = \alpha_0 + \alpha_1 * tempo_i + e_i,\tag{2}$$

onde $e_i \sim N(0, \sigma^2)$ e $tempo_i = i, i = 1, 2, 3, \dots, 7$.

Para prever como seria a pandemia se não fossem adotadas medidas anti-contágio, o parâmetro β do modelo SIR foi dado pelo coeficiente angular α_1 do modelo (2) entre os dias 8 a 15 de março de 2020 (uma semana após medidas anti-contágio). E para prever como seria a pandemia após as medidas anti-contágio, o parâmetro β foi dado pelo coeficiente angular α_1 do modelo (2) entre os dias 16 a 25 (duas semanas após a implementação das medidas anti-contágio).

Foi escolhido esses períodos para o cálculo dos dois β , pois não ocorreria uma alteração no registro de casos em uma semana após a implementação das medidas restritivas devido ao fato de que demora cerca de 5 a 7 dias para uma pessoa infectada demonstrar sintomas [2]. Com isso a tendência de crescimento do número de casos ainda segue os padrões do período sem medidas restritivas. Após uma semana de medidas restritivas, as pessoas que demonstrassem sintomas da COVID-19 se infectaram depois da implementação das medidas anti-contágio. Dessa forma, ao usar esses dois períodos para o cálculo dos parâmetros, obtemos a tendência de crescimentos antes e depois das ações públicas para conter a disseminação.

Os parâmetros utilizados nos modelos podem ser encontrados na Tabela 1.

Tabela 1: Tabela com os parâmetros dos modelos utilizados.

Periodo	Beta	Gamma
Antes_das_medidas_restritivas	0,141	0,05
Depois_das_medidas_restritivas	0,106	0,05

Dados

O conjunto de dados utilizado é proveniente de um repositório na plataforma Github e é mantido e atualizado pelo time de Ciência e Engenharia da Universidade John Hopkins, EUA [15].

O banco de dados inclui séries temporais de rastreo do número de pessoas afetadas pela COVID-19 no mundo, incluindo:

- Casos confirmados de pelo Coronavírus;
- O número de pessoas que morreram enquanto estavam doentes com Coronavírus;
- O número de pessoas recuperadas da doença.

Como trabalhamos apenas com os dados da Itália, ocorreu uma filtragem para que só esse país permanecesse no banco.

Aplicação

A Figura 2 mostra os casos e mortes diários pela COVID-19 entre os dias 21 de fevereiro (primeiro caso registrado na Itália) e 27 de março de 2020 (uma semana após os 14 dias de medidas restritivas).

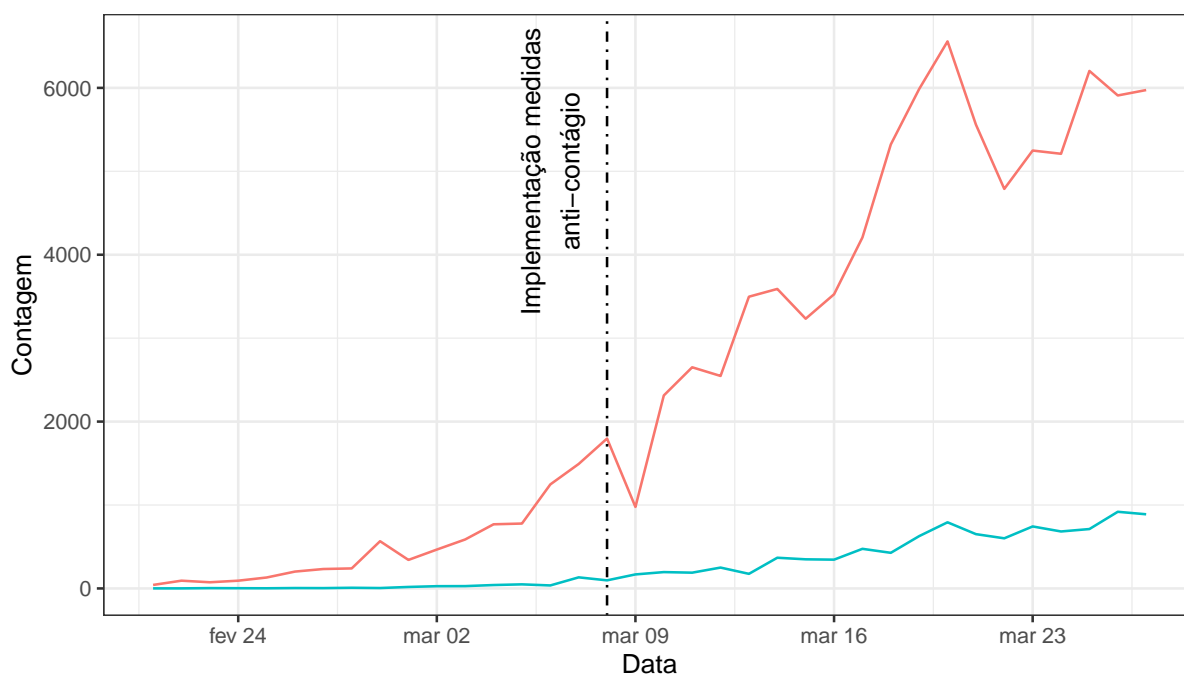


Figura 2: Casos e mortes diários pela COVID-19 na Itália entre fevereiro e março de 2020. A cor azul representa os mortes e a vermelha, os casos.

Podemos ver na Figura 3 os cenários previstos para a Itália caso a pandemia fosse controlada ou não. Se medidas anti-contágio não fossem adotadas, haveria um pico no número de infecciosos dentro de 120

dias depois de primeiro de abril de 2020. E 200 dias depois de abril, a maioria da população já teria se infectado.

Ainda na Figura 3, podemos ver o cenário previsto depois das medidas anti-contágio. O pico do número infecciosos será atingido entre 140 dias depois de primeiro de abril e será menor comparado com o pico do cenário sem medidas restritivas. Dessa forma, haverá uma diminuição na exigência de leitos do sistema de saúde.

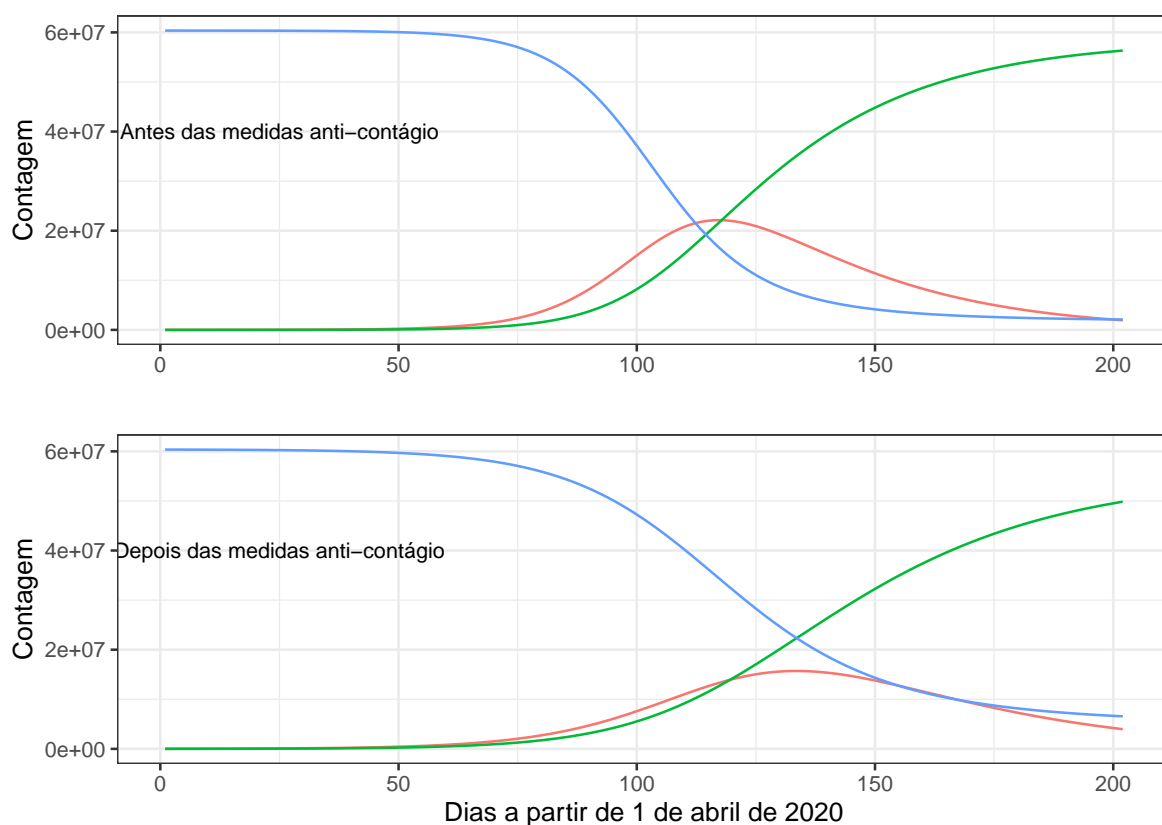


Figura 3: Previsão do número de suscetíveis (azul), de infecciosos (vermelha) e de recuperados (verde) antes e depois das medidas anti-contágio pelo modelo SIR na Itália.

Conclusão

O Corona vírus se espalhou rapidamente pelo planeta e surpreendeu todos os países. Como a produção de testes no começo da pandemia era bem limitada, o número de infecções na Itália pode ser bem maior que o registrado, como já dito em [9]. Se os números reais forem muito discrepantes aos valores registrados, a previsão feita nesse trabalho pode estar subestimando o tempo para que o pico de infecciosos ocorra.

Além disso, o modelo SIR não leva em conta acontecimentos e políticas públicas que podem vir a ser tomadas no futuro. Com isso, se ações forem tomadas para flexibilizar a circulação de pessoas ou para desacelerar ainda mais a transmissão, elas podem alterar o futuro e com isso os modelos utilizados nesse trabalho ficarão obsoletos.

Caso os números reais não sejam muito discrepantes com os números registrados, após a implementação das medidas restritivas de 8 de março de 2020, é previsto que a epidemia na Itália atingirá seu pico aproximadamente 4 meses depois de primeiro de abril e terá uma queda no número de infecções logo após esse período. Restringir o movimento da população irá reduzir o contato entre indivíduos e, por esse motivo, diminuirá o número de transmissões e taxas de infecção. Isso achatará a curva epidemiológica, mas também irá prolongar a duração da pandemia. A decisão de estender as medidas anti-contágio deve considerar fatores socioeconômicos também.

Bibliografia

- [1] Coronaviruses. European Centre for Disease Prevention and Control, 16 de março de 2021. Disponível em: <https://www.ecdc.europa.eu/en/covid-19/latest-evidence/coronaviruses>. Acesso em: 4 de junho de 2021.
- [2] If you've been exposed to the coronavirus. Harvard Medical School, 2 de junho de 2021.
- [3] Coronavírus chegou à Itália mais cedo do que se pensava. AgênciaBrasil, 16 de novembro de 2020. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2020-11/coronavirus-chegou-italia-mais-cedo-do-que-se-pensava>. Acesso em: 4 de junho de 2021.
- [4] Coronavirus. Colpite tutte le regioni. La Protezione civile: ecco i numeri aggiornati. Avvenire, 5 de março de 2020. Disponível em: <https://www.avvenire.it/attualita/pagine/coronavirus-aggiornamento-5-marzo-2020>. Acesso em: 4 de junho de 2021.
- [5] Coronavirus: Italy extends emergency measures nationwide. BBC, 10 de março de 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/world-europe-51810673>. Acesso em: 4 de junho de 2021.
- [6] OMS declara pandemia de coronavírus. G1, 11 de março de 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/bemestar/coronavirus/noticia/2020/03/11/oms-declara-pandemia-de-coronavirus.ghtml>. Acesso em: 4 de junho de 2021.
- [7] Coronavirus: Italy bans any movement inside country as toll nears 5,500. The Guardian, 22 de março de 2020. Disponível em: <https://www.theguardian.com/world/2020/mar/22/italian-pm-warns-of-worst-crisis-since-ww2-as-coronavirus-deaths-leap-by-almost-800>. Acesso em: 4 de junho de 2021.
- [8] Italy: Government and institution measures in response to COVID-19. KPMG, 28 de outubro de 2020. Disponível em: <https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2020/04/italy-government-and-institution-measures-in-response-to-covid.html>. Acesso em: 4 de junho de 2021.
- [9] The total number of Italian coronavirus cases could be '10 times higher' than known tally, according to one official. CNBC, 24 de março de 2020. Disponível em: <https://www.cnbc.com/2020/03/24/italian-coronavirus-cases-seen-10-times-higher-than-official-tally.html>. Acesso em: 4 de junho de 2021.
- [10] Risk factors and risk groups. European Centre for Disease Prevention and Control, 26 de abril de 2021.
- [11] How deadly is the coronavirus? Scientists are close to an answer. Nature, 16 de junho de 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-020-01738-2>. Acesso em: 4 de junho de 2021.
- [12] How deadly is the coronavirus? Scientists are close to an answer. Nature, 16 de junho de 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-020-01738-2>. Acesso em: 4 de junho de 2021.
- [13] Ian Cooper, Argha Mondal e Chris G. Antonopoulosb. A SIR model assumption for the spread of COVID-19 in different communities. NCBI, 28 de junho de 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7321055/>.
- [14] Aidalina Mahmud e Poh Ying Lim. Applying the SEIR Model in Forecasting The COVID-19 Trend in Malaysia: A Preliminary Study. MedRxiv, 17 de abril de 2020. Disponível em: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.14.20065607v1.article-info>.
- [15] COVID-19 dataset. Johns Hopkins University Center for Systems Science and Engineering (CSSE), 4 de junho de 2021. Disponível em: <https://github.com/datasets/covid-19>. Acesso em: 4 de junho de 2021.