CURVA DO COVID-19: CONTRIBUIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO SIR COMO LINGUAGEM DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

Covid-19 curve: contribution of the mathematical models as scientific divulgation language

SANTOS, Leonardo Sioufi Fagundes dos
Universidade Federal de São Paulo, campus de Diadema

NETO, Maria de Fatima Ferreira
Apoio Acústico Ltda.

Resumo

Neste trabalho, a curva do COVID-19 divulgada pela mídia é explorada através das ferramentas da divulgação científica. A motivação para esta exploração é o reconhecimento da dificuldade do público na interpretação do gráfico da pandemia do novo coronavírus. O público-alvo da apresentação da curva é formado por aqueles que conhecem apenas a operação da potenciação, a progressão geométrica e a função exponencial, mas não possuem noções de equações diferenciais. Antes da exploração da curva do COVID-19, o texto começa com a apresentação do conceito de modelo matemático. As equações diferenciais envolvidas nos modelos matemáticos não ficarão explícitas, mas serão escritas em termos de hipóteses. O cálculo das soluções das equações não aparecerá, mas as consequências das hipóteses serão expostas através de argumentações. Então, o artigo exibe um modelo matemático para descrever o desenvolvimento do COVID-19, o SIR, sigla para *susceptible-infected-recovered*, que em inglês significa suscetível-infectado-recuperado. O modelo SIR descreve uma dinâmica onde o suscetível (S) pode virar infectado (I) e este, recuperado (R). O trabalho mostra como o modelo SIR é a base da curva do COVID-19, onde o número de infectados cresce e diminui. Embora o modelo SIR não preveja diretamente os óbitos, a estimativa desta última quantidade é feita a partir do número de infectados por dia. O artigo discute como o modelo SIR mostra-se próximo aos dados observados, apesar de todas as suas limitações. A conclusão do artigo é que as premissas e as previsões gerais do modelo SIR podem ser explicadas para um público que não domina matemática avançada, mas os valores estimados de mortos e o tempo de duração da pandemia necessários para o planejamento de medidas contra a pandemia não podem ser encontrados nestas explicações qualitativas.

Palavras-Chave: COVID-19, Modelo SIR, Curva de avaliação do coronavírus.

Abstract

In this work, the COVID-19 curve disclosed by the media is explored through the tools of scientific dissemination. The motivation for this exploration is the recognition of the public's difficulty in interpreting the graph of the new coronavirus pandemic. The target audience for the presentation of the curve is made up of those who know only one potentiation operation, a geometric progression and an exponential function, but who have no notions of differential equations. Before exploring the COVID-19 curve, the text begins by introducing the concept of a mathematical model. The differential equations involved in

mathematical models will not be made explicit, but will be written in terms of hypotheses. The calculation of the solutions of non-comprehensive equations, but as consequences of the hypotheses, will be exposed through arguments. Then, the article shows a mathematical model to describe the development of COVID-19, the SIR, acronym for susceptible-infected-recovered. The SIR model requires a dynamic where the susceptible (S) can become infected (I) and the latter, recovered (R). The work shows how the SIR model is a base of the COVID-19 curve, where the number of infected people grow and develop. Although the SIR model does not directly predict deaths, the estimate of the latter amount is made based on the number of infected people per day. The article discusses how the SIR model is close to the observed data, despite all its limitations. The conclusion of the article is that the assumptions and general changes of the SIR model can be explained to an audience that does not master advanced mathematics, but the estimated death values and the duration of the pandemic scheduled for planning measures against the pandemic no qualitative explanations can be found.

Keywords: COVID-19, Flatten the curve, scientific divulgation.

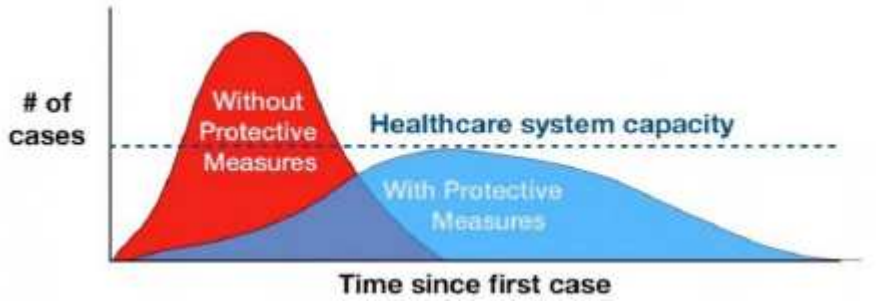
INTRODUÇÃO

A pandemia do COVID-19 do ano de 2020 abalou a humanidade em seus aspectos físico, psicológico, econômico, social e político. Até o dia 03/03/2021, o número de mortos no mundo chegou à 2.543.755 em um total de 114.428.211 de infectados (WHO, 2021a). Muitas ainda morrerão devido à pandemia do COVID-19, seja por ação direta do vírus, seja por não terem leitos de UTI disponíveis (NASCIMENTO, PACHECO, 2020). Para conter a lotação das UTI's, a *World Health Organization* (traduzida para o português como Organização Mundial de Saúde) recomendou o isolamento social total, um confinamento dentro da própria residência (WHO, 2020). Esse isolamento separou as pessoas, provocando danos psicológicos imensos (LOURENÇO, 2020). Quando as pessoas podem sair de casa elas devem usar máscaras e não podem tocar nos outros (AGÊNCIA BRASIL, 2020). O retorno a suas casas deve ser seguido de separação das roupas usadas e um banho imediato, ainda que o corpo esteja aparentemente limpo (AGÊNCIA BRASIL, 2020). As relações sociais passaram a ser mediadas por aparelhos com acesso à internet. Em muitos lugares do mundo, os únicos estabelecimentos comerciais que ficaram abertos são aqueles ligados à alimentação, aos produtos farmacêuticos e aos combustíveis (ISTOE, 2020; RNZ, 2020; BBC NEWS, 2020). No Brasil, restaurantes limitaram a venda de alimento por entrega em domicílio (PEREIRA, 2020). A queda no consumo e o fechamento de estabelecimentos provocou uma recessão econômica mundial com a falência de estabelecimentos comerciais, de indústrias e até de setores primários da economia (WELTMAN, 2020; MUTIKANI, 2020; AKHTARUZZAMAN

e*t al.*, 2021). Diferentes líderes políticos entraram em conflito pela implementação ou não do isolamento social total (BRASIL247; AMORIM, 2020; FINANCIAL TIMES, 2020; KATES et al., 2020).

Internacionalmente, a necessidade do isolamento social motivou a comunicação entre médicos e a população. A mídia foi obrigada a cumprir seu papel de mediação, apresentando reportagens sobre medicina e dinâmica de pandemias. Médicos, matemáticos e jornalistas apresentaram ao público os conceitos de vírus, coronavírus, pandemia e um gráfico com a “curva do COVID-19”. Eles pediram à população que ficasse em casa para inibir a expansão da pandemia, produzir o “achatamento da curva” e evitar o “colapso do sistema de saúde”, evitando milhões de mortes (WHO, 2021b; OSMOSE 2020; PBS 2020; BBC Brasil 2020). A figura que inundou o imaginário popular do mundo foi um gráfico contendo duas curvas (Figura 1), uma mais alta e cortada pela linha horizontal pontilhada e outra achatada (WHO, 2020).

Figura 1 - curva do número de infectados pela COVID-19 em função do tempo desde o primeiro caso com e sem as medidas protetivas à difusão do coronavírus, respectivamente em azul e vermelho. A linha pontilhada representa a capacidade do sistema de saúde.



Fonte: https://www.who.int/docs/default-source/searo/thailand/2020-03-19-tha-sitrep-26-covid19.pdf?sfvrsn=6f433d5e_2. Acesso em 08 mar 2021.

No Brasil, apesar de todo o esforço comunicacional, grande parte da população parece não entender o gráfico com essas curvas do COVID-19 e sua relação com a necessidade de isolamento. Protestos contra o isolamento social (MARRA, 2020) ou

simplesmente o desprezo ao apelo das autoridades (DURAN, 2020) contrastam com as mensagens midiáticas enfáticas pela quarentena.

As razões para a falta de entendimento sobre a curva do COVID-19 podem ter ligações com o baixo número de pessoas com ensino superior no Brasil e com a precariedade da aprendizagem de matemática no ensino médio no Brasil (NITAHARA, 2019). Por outro lado, mesmo com a interpretação gráfica correta, os modelos matemáticos usados na descrição da expansão e do declínio das pandemias em geral são ensinados somente para estudantes de Matemática e ciências afins. Fora do âmbito do ensino superior, testes internacionais revelam um baixo desempenho da maioria dos estudantes do ensino fundamental e médio em Matemática (MORENO; OLIVEIRA, 2019). O endividamento de grande parte da população brasileira também revela dificuldade com noções básicas de cálculo de porcentagens e juros compostos (ESTADÃO, 2020).

Além dos problemas de aprendizagem em matemática, há um desafio mundial na formação acadêmica atual. Os cursos universitários ainda são muito especializados, enquanto os problemas de pesquisa são multidisciplinares (BARBOSA, 2020; BERTAZONE, 2016; CORAZZA, 2013; ROQUETE, 2012). A compreensão da curva do COVID-19 exige conhecimentos matemáticos e médicos.

Paralelamente à educação escolar formal, existe a divulgação científica. O termo *divulgação científica* abrange todo o ensino de ciências que não esteja associado à necessidade de formação escolar ou universitária (SANTOS et al., 2018). Alguns exemplos de atividades de divulgação científica são os livros e artigos científicos para públicos não especializados, acervos em museus de ciência e reportagens, podcasts, documentários e exposições científicas. Há uma grande discussão entre os pesquisadores da divulgação científica na sua classificação como educação não formal ou informal (CASCAIS; TERÁN, 2014) e as relações desta forma de ensino científico com a museologia (SOUZA, 2009), o jornalismo científico (TORRESI et al., 2012) e a educomunicação (MIRANDA, 2007). Estas discussões são fundamentais, mas fogem dos objetivos deste trabalho.

Toda divulgação científica pressupõem um público específico. Por exemplo, uma reportagem sobre os perigos de incêndios em cozinhas caseiras é um assunto de interesse geral. Portanto, uma reportagem com este conteúdo não deve apresentar linguagem técnica não dominada pela maior da população. Em uma situação oposta, um texto com dicas de proteção radiológica voltado para enfermeiros e técnicos de enfermagem pode conter uma linguagem mais elaborada e direta porque o público já teve uma base de estudos suficiente para a interpretação de textos mais complexos.

O objetivo principal deste artigo é a apresentação da curva do COVID-19 para um público-alvo que não tenha domínio das operações matemáticas mais avançadas, mas entenda pelo menos a progressão geométrica, e operação da potenciação e a função exponencial. Tal público-alvo não é o mais geral possível, principalmente pelas dificuldades mencionadas de formação dos estudantes do ensino básico, mas este pequeno grupo de pessoas pode influenciar positivamente suas respectivas comunidades.

A justificativa do trabalho é a necessidade da mobilização da população para manter o isolamento social em meio a pandemia de COVID-19.

As seções deste artigo seguem os seguintes passos: começa-se com o desenvolvimento; apresenta-se o conceito de modelo matemático sucintamente; em seguida, o modelo SIR é explicado em linhas gerais, exibindo uma descrição mais realista, prevendo a própria curva do COVID-19 e o achatamento desta através do isolamento social; na antepenúltima seção, descreve-se o conceito de colapso do sistema de saúde com sua representação gráfica como uma linha horizontal pontilhada, ficando clara a relação entre o achatamento da curva e o salvamento de milhões de vidas.

DESENVOLVIMENTO

A curva do COVID-19 é o resultado de cálculos computacionais de um sistema de expressões matemáticas denominadas *equações diferenciais*. Estas equações diferenciais são a formalização matemática de algumas hipóteses na evolução da pandemia. Neste trabalho, as consequências destas hipóteses serão exploradas sem a solução formal e nem a exibição das equações diferenciais correspondentes. Na tradução da linguagem matemática para a popular, perde-se a precisão das respostas das equações diferenciais, mas o público-alvo pode compreender melhor a evolução da pandemia do COVID-19. Como material científico voltado para não especialistas, o presente trabalho pode ser classificado como divulgação científica.

Há um objetivo secundário neste trabalho. A divulgação científica não pode limitar-se ao conhecimento científico, mas também deve abranger a metodologia científica por trás do gráfico do COVID-19. Mais especificamente, este trabalho exibe como os modelos matemáticos são tentativas de descrever a realidade. O conhecimento científico visto como verdade é uma contradição. A ciência é a busca de uma descrição de dados observados através do teste de hipóteses. Os modelos matemáticos são hipóteses, podendo ser negados ou confirmados.

Apesar do reconhecimento da necessidade da interdisciplinaridade, multidisciplinaridade e transdisciplinaridade, este artigo não abrange os aspectos médicos

envolvidos na curva do COVID-19. Por exemplo, o trabalho não explora a natureza dos vírus, a classificação de um grupo destes em coronavírus, as formas de contágio, as definições de epidemia, pandemia e endemia etc. A análise da curva se restringirá a explicação de como algumas hipóteses implicam em consequências na evolução da pandemia descritas na curva do COVID-19. A ênfase do artigo está mais na aplicação da Matemática do que na Medicina propriamente dita.

MODELOS MATEMÁTICOS

Modelo matemático é um conjunto de hipóteses formuladas matematicamente sobre um determinado fenômeno e a avaliação de suas consequências. As hipóteses e suas consequências são comparadas com medidas e dados observacionais sobre o fenômeno. Caso essas hipóteses e suas consequências coincidam aproximadamente com os dados e medidas de fenômeno, o modelo ganha o status de teoria científica. Caso o modelo matemático seja totalmente diferente dos dados observados, então ele deve ser rejeitado. Há ainda uma terceira possibilidade, o modelo é aproximadamente igual aos dados sob certas condições. Neste último caso, o modelo deve ser aceito apenas nestas condições.

É importante enfatizar que o modelo matemático não é exatamente igual ao objeto de pesquisa ou aos fenômenos estudados. Por exemplo, quando se usam números reais para descrever populações humanas, despreza-se o fato da natureza única de cada indivíduo. Não existem meios indivíduos, não há 2,5 pessoas em uma sala, 3,6 funcionários de uma empresa não podem ser promovidos etc. No entanto, para populações grandes, uma estimativa com números reais é excelente. Como ilustração, se o modelo matemático prevê um número de infectados de 50.307,4561, os responsáveis pela saúde e a própria população uma ideia de um número de infectados estará em torno de 50.307 e 50.308.

Outro exemplo de diferença aceitável entre modelo matemático e dados observados é a flutuação em torno dos resultados previstos. Por exemplo, um modelo matemático pode prever que os números de infectados ao longo de 6 dias sejam de 50 mil, 51 mil, 52 mil, 53 mil, 54 mil e 55 mil, ou seja, mil infectados a mais por dia. A previsão é de um crescimento contínuo. Os dados observados sobre o número de infectados ficaram 50,5 mil, 51,4 mil, 52,1 mil, 51,5 mil, 54,2 mil e 55,3 mil. Uma pessoa que visse apenas os 4 primeiros dados pensaria que o modelo é péssimo e que a partir do terceiro dia começou uma queda no número de infectados. Aqueles que olhassem somente os 3 últimos dias concluiriam que o aumento a cada 2 dias é de 3,8 mil enquanto

o modelo prevê 2 mil no mesmo período. Olhando os dados de forma global, fica claro que o modelo é bastante próximo dos dados reais, com oscilações para baixo e para cima e com apenas o quarto dia de discrepância mais acentuada.

Além disso, a previsão do todo não implica naquela das partes. Por exemplo, um modelo matemático pode prever que 10% da população está infectada. Isso não significa que cada grupo aleatório de 10 pessoas tem 1 infectado. Um grupo de 100 pessoas moradoras da zona rural com casas isoladas entre si pode ter 5 infectados. Enquanto isso, outro grupo de 100 pessoas residentes em um bairro da periferia de uma metrópole com alta densidade populacional pode conter 15 infectados. Os grupos isolados têm respectivamente 5% e 15% de infectados, o que destoa da fração geral de 10%.

Segue-se o modelo matemático para descrever a pandemia do COVID-19 vista nos gráficos, o SIR.

MODELO SIR

O termo SIR é a sigla para *susceptible-infected-recovered*, que em inglês significa suscetível-infectado-recuperado (ADAMU et al., 2019). Restringindo o modelo matemático SIR para a pandemia do COVID-19, a população pode ser classificada em uma das 3 categorias abaixo:

* Infectados estão com o COVID-19 e podem transmiti-lo.

* Suscetíveis ainda não adquiriam o COVID-19 e podem adquiri-lo.

* Recuperados já adquiriram o COVID-19, curaram-se e estão imunes.

As hipóteses para o comportamento dos 3 grupos são as seguintes:

(a) Cada infectado transmite o COVID-19 para um determinado número de pessoas em um determinado período de tempo.

(b) Quando um infectado transmite o COVID-19 para um suscetível, este último torna-se um infectado (ver Figura 2).

(c) Quando um infectado transmite o COVID-19 para um outro infectado ou para um recuperado, nada acontece (ver Figura 2).

(d) Um infectado fica neste estado por 14 dias (OPAS, 2020). Após esse período, o infectado se torna um recuperado (ver Figura 2).

(e) As mortes não são contabilizadas neste modelo.

Figura 2 - Representação de possibilidades: um suscetível pode se tornar infectado e este, um recuperado.



Fonte: Autoria própria.

As hipóteses do modelo SIR podem ser escritas matematicamente como um sistema de 3 equações diferenciais (BECKLEY *et al.*, 2013):

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta IS}{N} \quad (1)$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta IS}{N} - \gamma I \quad (2)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I \quad (3)$$

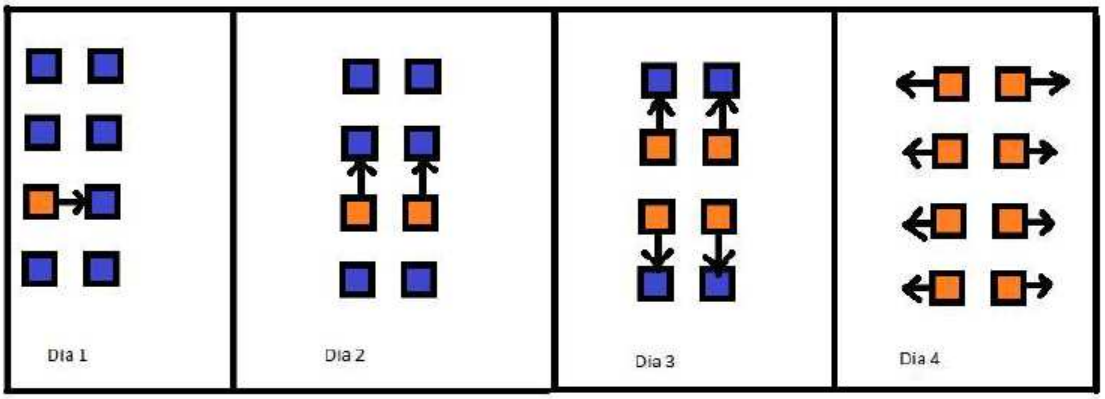
As letras S, I e R representam respectivamente o número de suscetíveis, infectados e recuperados. A população total corresponde a um número fixo N=S+I+R. As taxas de variação de cada grupo por tempo são apresentadas como dS/dt, dI/dt e dR/dt. As constantes β e γ estão relacionadas às taxas de infecção e recuperação respectivamente. Não existe uma fórmula geral para o sistema das três equações diferenciais para o modelo SIR. A curva do COVID-19 é calculada através de computadores.

As hipóteses (b), (c) e (d) podem ser representadas pelo fluxograma da Figura 2 e as (d) e (e) não coincidem exatamente com os dados observados, mas isso será discutido na seção de discussão.

As consequências das hipóteses podem ser deduzidas a partir de um cenário inicial onde há um único infectado na população e nenhum recuperado. As demais pessoas são suscetíveis. Partindo da hipótese (a), o primeiro infectado entrará em contado com um certo número de pessoas. Como hipótese adicional, o infectado consegue transmitir o COVID-19 para uma pessoa a cada dia. Pela hipótese (b), o suscetível que teve contato com o infectado passará a integrar esse grupo. Assim, inicialmente, havia um único infectado, e posteriormente, mais um outro, resultando em 2 infectados no final de um dia (ver Figura 3). No segundo dia, a maioria da população permanece suscetível com apenas 2 infectados (ver Figura 3). Assim, a maioria das pessoas com quem os infectados terão contato continuam sendo suscetíveis. Então, cada um dos 2 infectados infectará outros 2, resultando em 4 infectados no terceiro dia (ver Figura 3). No quarto dia, haverá 8 infectados que contaminarão outros 8 e assim sucessivamente. O número de infectados dobra a cada dia porque a maioria da

população é de suscetíveis. Se **n** é o número de dias após a primeira infecção, após **n** dias, haverá $\mathbf{2^n}$ infectados. O crescimento do número de infectados é exponencial.

Figura 3 - Representação da propagação do coronavírus. Os quadrados laranjas e azuis representam respectivamente os infectados e suscetíveis. A seta liga a pessoa já infectada com o futuro impactado. No quarto dia, os infectados propagarão o coronavírus para pessoas não representadas na figura.



Fonte: Autoria própria.

Pela hipótese (d), após 14 dias, no décimo quinto dia, o primeiro infectado se recuperará (ver Figura 4). O infectado do segundo dia se recuperará no décimo sexto dia (ver Figura 4). Os 2 infectados do terceiro dia se recuperarão no décimo sétimo dia (ver Figura 4). Generalizando o raciocínio, o número de recuperados dobrará a cada dia (ver Figura 4). No entanto, no dia em que o primeiro infectado se recupera, o décimo quinto, o número de infectados já está em 2^{15}=32.768. Então, o número de infectados continua superior ao de recuperados durante um longo tempo. Além disso, a maioria da população ainda é formada por suscetíveis.

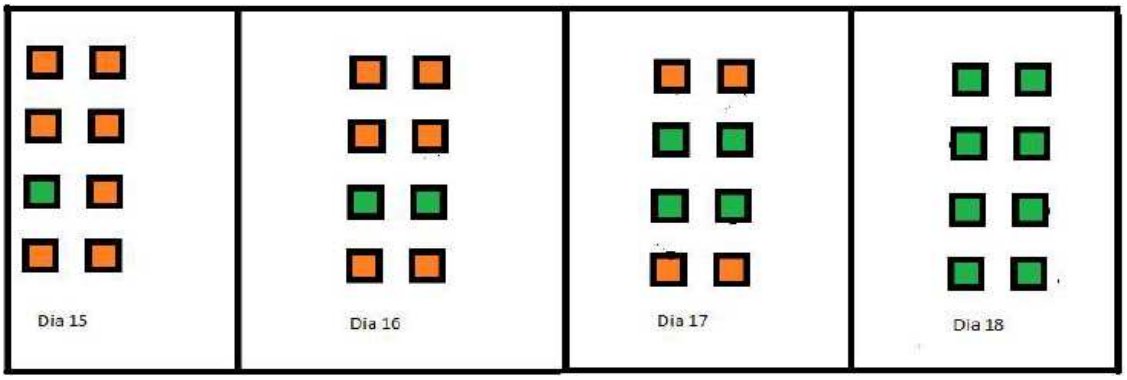


Figura 4 - Representação da recuperação de pessoas atingidas pelo coronavírus. Os quadrados laranjas e verdes representam respectivamente os infectados e os recuperados da Figura 3 a partir do décimo quinto dia.

Fonte: Autoria própria.

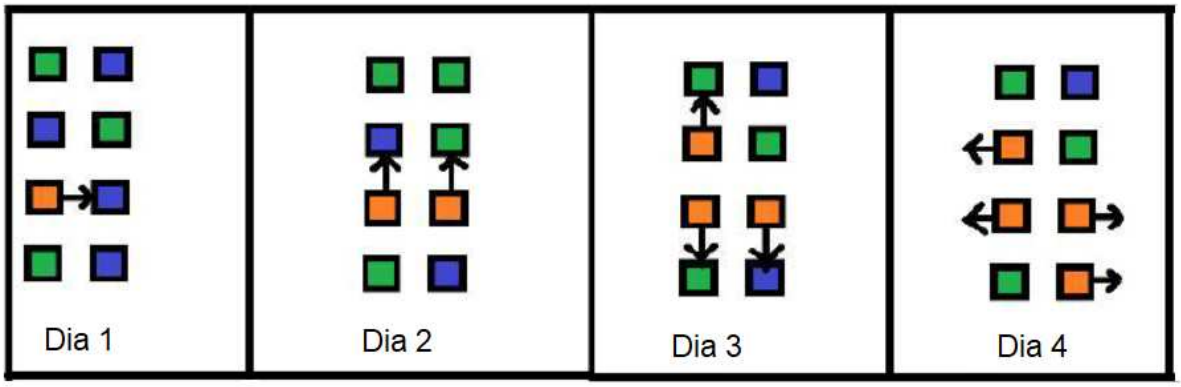
Enquanto a maioria da população é de suscetíveis, é pouco provável que os infectados e recuperados sejam atingidos pelo COVID-19. Para ilustrar essa situação, a população brasileira é de aproximadamente 210 milhões de pessoas. Se houver 2 milhões de infectados e 1 milhão de recuperados, o total de pessoas que não sofrerão efeito algum ao pegarem o COVID-19 será de 3 milhões. No Brasil, neste contexto, a probabilidade de um infectado transmitir o COVID-19 para outro infectado ou um recuperado será de 3/210=1,43%. Então, o crescimento da pandemia do COVID-19 poderia ser descrito como “dobrando a cada dia” enquanto o número de infectados for inferior a 2 milhões.

Com o passar do tempo, o número de infectados, suscetíveis e recuperados ficam próximos. Neste caso, a probabilidade de um infectado transmitir o COVID-19 para um suscetível diminui bastante. Por exemplo, no futuro, o cenário poderia ser 105 milhões de suscetíveis, 70 milhões de infectados e 35 milhões de recuperados. Neste caso, a probabilidade de um infectado transmitir o COVID-19 a um suscetível é de 105/210=50%. Nesta nova situação, apenas a metade das pessoas que receberem o COVID-19 serão suscetíveis. Portanto, a transmissão cai pela metade. Se cada infectado transmitia o COVID-19 para um suscetível por dia, agora uma pessoa do primeiro grupo infecta uma do segundo a cada 2 dias. Como o número de recuperados aumenta exponencialmente e o grupo dos suscetíveis diminui, há uma quantidade cada vez menor de infectados.

Para ilustrar a diferença no comportamento da propagação do coronavírus na presença de infectados e recuperados, a Figura 5 representa 1 infectado em meio a 4 suscetíveis e 3 recuperados. Os infectados não alteram a situação dos recuperados e nem estes transmitem o coronavírus (ver Figura 5). Diferentemente da Figura 1, no quarto

dia, há apenas 4 infectados transmitindo o coronavírus para pessoas fora do grupo (ver Figura 5).

Figura 5 - Representação da propagação do coronavírus em um grupo com infectados e recuperados. Os quadrados azuis, laranjas e verdes representam respectivamente os suscetíveis, os infectados e os recuperados.



Fonte: Autoria própria.

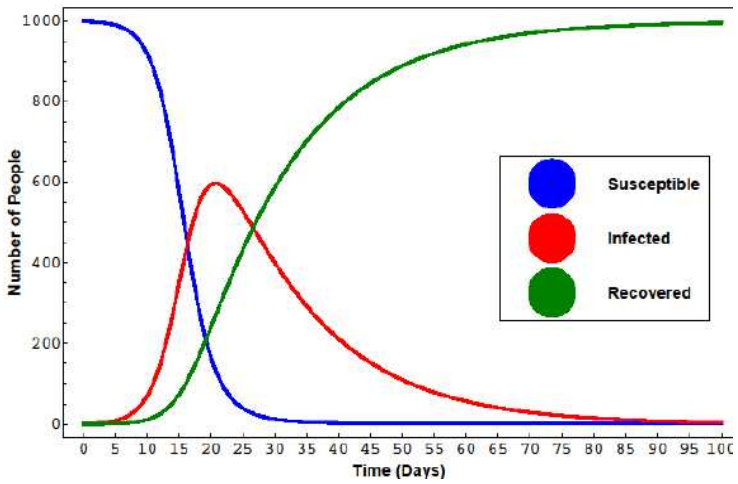
Em algum momento, o número de infectados será apenas uma pequena parcela da população. A probabilidade de contato entre o infectado e o suscetível será muito pequena. O crescimento do número de recuperados deixará de ser exponencial porque há poucos infectados para serem recuperados. O tempo médio necessário para um encontro entre um infectado e um suscetível fica tão longo que muitos infectados se tornarão recuperados sem ter infectado ninguém. Uma situação destas é ilustrada pela distribuição: 21 milhões de suscetíveis, 30 milhões de infectados e 159 milhões de recuperados. Neste caso, a probabilidade de um infectado transmitir do COVID-19 para uma pessoa suscetível caiu para 21/210=10%. Quando o número de infectados cai a zero, a pandemia acaba.

Há duas possibilidades para o fim da pandemia no modelo SIR. Em primeiro lugar, há o cenário onde o número de suscetíveis chega a zero. Neste caso, só sobrarão infectados e recuperados. Após algum tempo, estes infectados ficarão recuperados. O fim deste cenário é uma população final constituída apenas de recuperados. Outro cenário é de um número de infectados chegando a zero antes de todos os suscetíveis sejam infectados. Neste segundo panorama, a população final é constituída de suscetíveis e recuperados. Após 14 dias deste cenário, só haverá suscetíveis e recuperados. A Figura 5 ilustra uma situação em que um suscetível não entra em contato com os infectados. A mera argumentação não prevê qual o cenário final, apenas os cálculos computacionais.

A Figura 6 exibe um exemplo de gráfico com o número de suscetíveis, infectados

e recuperados ao longo do tempo. A curva mais exibida pela mídia é aquela dos infectados, omitindo o número de suscetíveis e recuperados.

Figura 6 - Gráfico com exemplo de aplicação do modelo SIR do número de suscetíveis (linha azul), infectados (linha vermelha) e recuperados (linha verde) em função do tempo.



Fonte: MACAL, Charles M.. To agent-based simulation from System Dynamics. **Proceedings Of The 2010 Winter Simulation Conference**, [s.l.], p. 1-10, dez. 2010. IEEE. http://dx.doi.org/10.1109/wsc.2010.5679148. Acesso em 08 mar 2021.

A hipótese (a) não determina quantas pessoas receberão o COVID-19 de cada infectado. A transmissão de um infectado para uma pessoa a cada dia foi apenas uma possibilidade. O que acontece se cada infectado transmite o COVID-19 para um número menor de pessoas ou levando mais tempo?

O padrão das curvas não muda para um número diferente de pessoas atingidas pelo COVID-19 por infectado. O número de infectados cresce e decresce, o de suscetíveis só decresce e o de recuperados, apenas cresce. No entanto, o número de infectados, suscetíveis e recuperados por dia ao longo do tempo será alterado. Por exemplo, um novo conjunto de condições iniciais é que cada infectado pode transmitir o COVID-19 para uma pessoa a cada 2 dias, há apenas um único infectado e nenhum recuperado. Analogamente ao caso anterior, inicialmente o infectado só terá contato com pessoas suscetíveis, o que resulta em mais 2 infectados após 2 dias. Em 4 dias, serão 4 infectados, considerando a baixa probabilidade de encontro com um outro infectado. Se a população dobra a cada **m** par de dias, após **n=m/2** dias, ela será de $\mathbf{2^m=2^{n/2}}$. Após 15 dias, o número de infectados chega à $2^{7,5}$=181,02. O primeiro recuperado surge após 14 dias com um número de apenas 181 infectados. O aumento do número de recuperados cresce exponencialmente após o décimo quinto dia e supera rapidamente a quantidade de infectados. Assim, o número de infectados aumenta mais lentamente e o aparecimento

de recuperados começa com uma proporção bem maior, 1/181 contra 1/32.768 do caso anterior. Assim, o número de infectados a cada dia não subirá tanto devido ao menor número de infectados por tempo e pela maior proporção inicial de recuperados. Então, a situação em que metade da população ficou de suscetíveis acontecerá mais tarde do que na situação anterior e a proporção de recuperados é maior. Voltando ao exemplo do Brasil, o cenário poderia ser de 105 milhões de suscetíveis, 35 milhões de infectados e 70 milhões de recuperados. A probabilidade de que um infectado transmita o COVID-19 para um suscetível é de 50%, mas neste caso, o número de infectados que poderão repassar o COVID-19 é a metade do caso anterior. O número de infectados começará a cair, mas a queda não será intensa porque a diminuição na quantidade de suscetíveis será mais lenta.

Os gráficos previstos para o modelo SIR para situações com muitas e poucas pessoas atingidas pelo COVID-19 apresentam respectivamente curvas mais concentradas e achatadas. A Figura 6 representa duas curvas para o COVID-19. O isolamento social corresponde a uma diminuição do número de pessoas em contato com o infectado. Assim, o número de pessoas atingidas pelo COVID-19 por tempo diminui. Consequentemente, a curva do COVID-19 fica achatada. O chamado “achatamento da curva” corresponde a esta última situação (ver Figura 7).

Figura 7 - Gráfico com exemplo de aplicação do modelo SIR do número de infectados com muita (curva magenta) e pouca (curva verde) transmissão de COVID-19 por dia e pouca em função do tempo.



Fonte: LIMA, Ricardo Cunha. Infographics **That Can Help To “Flatten The Curve” of COVID-19. Nightingale**. 2020.

https://medium.com/nightingale/infographics-that-can-help-to-flatten-the-curve-of-the-spread-of-coronavirus-39a7ce723ca6. Acesso em: 08 mar 2021.

COLAPSO DO SISTEMA DE SAÚDE

De acordo com a Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS), uma fração de cerca de 14% dos infectados com COVID-19 desenvolve sintomas e 5% chega ao estado grave, necessitando de internação em leitos de unidade de terapia intensiva, mais conhecidas como UTI's (OPAS, 2020). Os pacientes mais graves com COVID-19 não podem sobreviver sem o uso de respiradores nas UTI's. No Brasil, o número de óbitos é de 6,8% dos infectados, porcentagem acima dos 5% dos dados da OPAS (BRASIL, 2020).

Quando o número de infectados em estado grave cresce a ponto de lotarem todas as UTI's, não há mais vagas para novos pacientes em condições graves. Se todas as UTI's estão lotadas, os novos pacientes com crise asmática, acidente vascular cerebral, infarto no miocárdio, os próprios debilitados pelo COVID-19 ou os portadores de quaisquer outros problemas de saúde que precisem de cuidados intensivos ficam sem atendimento adequado, tendo como destino uma morte quase certa. Essa lotação das vagas das UTI's é denominada "colapso do sistema de saúde".

Nos gráficos do COVID-19, o número de infectados acima do qual começa o colapso do sistema de saúde é representado por uma linha horizontal pontilhada (ver Figura 1). Quando cada infectado transmite o COVID-19 para um número muito grande de pessoas, a curva cruza a linha do colapso do sistema de saúde. A parte do gráfico acima da linha é associada ao número de pessoas que precisarão de uma UTI (ver Figura 1), mas não a terão.

Como foi dito na seção anterior, diminuindo o contato entre as pessoas, a curva do COVID-19 fica achatada. Esse achatamento da curva deixa-a abaixo da linha pontilhada (ver Figura 1). Isso significa que o número de infectados a cada dia é menor do que a quantidade de leitos de UTI. Então, haverá UTI para todos. A UTI pode não garantir a sobrevivência, mas a ausência do cuidado intensivo para o paciente grave, quase sempre significa a morte. Em suma, o isolamento gera o achatamento da curva e impede o colapso do sistema de saúde, poupando vidas.

DISCUSSÃO

A discussão será orientada na comparação do modelo matemático SIR com os dados observados.

Em primeiro lugar, a hipótese (d) do modelo SIR é falsa. Há mutações do

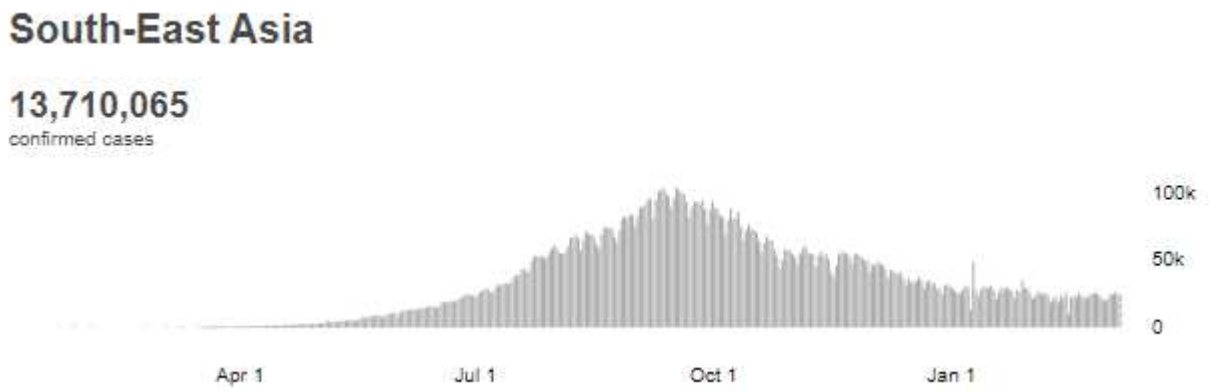
COVID-19, fazendo com que recuperados voltem a ser infectados (OTA, 2020). Talvez, no futuro, o modelo SIR deixe de ser adequado. Além disso, a hipótese (e) não é realista na descrição da atual pandemia porque a COVID-19 mata.

A vacinação não altera o modelo SIR, o número de suscetíveis poderia ser alterado. No entanto, não há como distinguir efetivamente os vacinados que contrairão ou não o COVID-19. A atitude mais prudente é considerar que todos os não infectados e não recuperados são suscetíveis.

Apesar das limitações, o modelo SIR é muito útil. A quantidade de mortos é estimada a partir do número de infectados por dia previsto pelo modelo SIR e do número de leitos de UTI da região, conforme foi explicado na seção anterior.

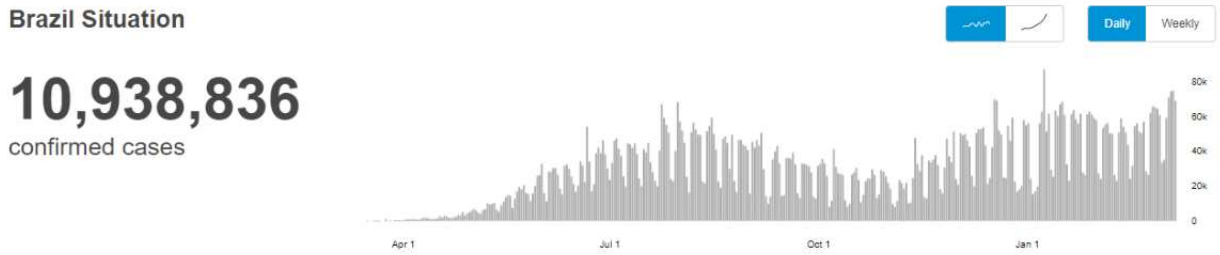
As Figuras 8 e 9 mostram o número de infectados respectivamente no Sudeste da Ásia e no Brasil. Os dados do Sudeste asiático (ver Figura 8) tem formato bem próximo da curva teórica de infectados previsto pelo modelo SIR (ver Figura 7). Ao contrário da curva asiática, os dados do Brasil (ver Figura 9) mostram dois períodos de crescimento seguidos de decrescimento, o que é diferente do modelo SIR. Uma forma de descrever a pandemia no Brasil à luz do modelo SIR é através de uma mudança na taxa de transmissão do coronavírus. Entre março e outubro, a curva de infectados no Brasil comportou-se como previsto pelo modelo SIR (ver Figura 9 e comparar com a 7). Com um relaxamento nas medidas de isolamento, a taxa de transmissão teria aumentado em outubro de 2020 e a pandemia teria se reiniciado, gerando um segundo crescimento seguido de queda entre outubro de 2020 e janeiro de 2021, representado por uma curva parecida com a Figura 7 neste período. A partir de janeiro de 2021, uma terceira onda de crescimento surgiu e permanece até hoje (08/03/2021).

Figura 8 - Gráfico com o número de infectados no Sudeste da Ásia entre 01/03/2020 e 07/03/2021.



Fonte: https://covid19.who.int/. Acesso em: 08 mar 2021.

Figura 9 - Gráfico com o número de infectados por COVID-19 no Brasil entre 01/03/2020 e 07/03/2021.



Fonte: https://covid19.who.int/. Acesso em: 08 mar 2021.

Há outros modelos além do SIR. Por exemplo, o modelo SIRD, sigla para *susceptible-infected-recovered-dead*, acrescenta o grupo dos mortos (*dead* em inglês) juntamente com os suscetíveis, infectados e recuperados (MATADI, 2014). Embora o modelo SIRD seja mais realista do que o SIR, os cálculos computacionais se tornam bem mais trabalhosos. O fato de grandes pesquisadores usarem o SIR com a estimativa de óbitos posterior indica que os resultados são muito próximos ao SIRD. O modelo SIS, sigla de *susceptible-infected- susceptible* considera que os recuperados podem readquirir a doença, ficando assim indistinguíveis dos suscetíveis (BICHARA, 2015). O SIS é um modelo que não contabiliza o número de mortos, apresentando um problema similar ao SIR. O SIS não era adequado para descrever a evolução da pandemia do COVID-19 porque a fração de recuperados que readquiriram a doença era pequeno, mas talvez essa situação se altere devido às novas mutações do vírus (WHO, 2021c). O SIR pode ser aperfeiçoado distinguindo os infectados assintomáticos como um quarto grupo, originando o modelo SCIR, onde o C indica o termo *carrier*, literalmente um transportador, uma referência a alguém que transporta a infecção sem sofrer com a mesma (LAI et al., 2020). O modelo SCIR é muito usado para descrever a pandemia da AIDS, onde o paciente pode ficar assintomático por anos (LAI et al., 2020). Enfim, cada modelo tem suas vantagens e desvantagens, sendo adequados na descrição de algumas pandemias, mas não de outras.

Alguns modelos computacionais preveem que 70% da população mundial será infectada ao fim da pandemia, independentemente do isolamento (AXELROD, 2020). Na linguagem do modelo SIR, no final da pandemia, 30% da população mundial ficará suscetível e 70%, recuperada. Esta estimativa não deve induzir ao erro da inevitabilidade das mortes por COVID-19 devido à fração total de infectados. O número de infectados ao longo da pandemia não determina a quantidade de mortes. O colapso do sistema de saúde advém de um excesso de infectados por dia.

CONCLUSÃO

As explicações das premissas do modelo SIR e a argumentação correspondente foram dadas apenas através uma linguagem compatível com quem só compreende os conteúdos matemáticos do ensino médio, cumprindo o objetivo do artigo descrito na introdução. Isso indica que uma descrição qualitativa é suficiente para a compreensão da curva do COVID-19 que deve ser achatada. Ao mesmo tempo, o trabalho argumenta, sem equações ou expressões matemáticas, a necessidade do isolamento social para impedir o colapso do sistema de saúde.

Além da explicação qualitativa da curva do COVID-19 em particular, o trabalho deixa claro um aspecto da ciência em geral. Modelos matemáticos não correspondem a descrições e previsões perfeitas da realidade. Ainda assim, uma descrição próxima à realidade e uma previsão imperfeita são bem melhores do que a ignorância completa a respeito de um sistema.

Ao mesmo tempo que o objetivo do artigo foi atingido, é necessário reconhecer as limitações das explicações qualitativas em relação aos modelos matemáticos escritos com todo o formalismo das equações diferenciais com as soluções calculadas através de computadores. Por exemplo, somente as soluções das equações diferenciais dos modelos matemáticos podem estimar a duração da pandemia, o número de infectados por dia, os leitos de UTI necessários, etc. Essas respostas são fundamentais no planejamento do Estado e da sociedade em relação ao isolamento social, a contratação e deslocamento de recursos médicos, a tomada de medidas socioeconômicas etc. Em suma, as explicações qualitativas são necessárias na mobilização da população, mas insuficientes no combate à COVID-19.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMU, Hamid A.; MUHAMMAD, Murtala; M.JINGI, Abdullahi M.; USMAN, Mahmud A.. Mathematical modelling using improved SIR model with more realistic assumptions. **International Journal Of Engineering And Applied Sciences (ijeas)**, [s.l.], v. 6, n. 1, 31 jan. 2019. Engineering Research Publication ERP. Disponível em: http://dx.doi.org/10.31873/ijeas.6.1.22. Acesso em 08 mar 2021.

AGÊNCIA BRASIL. **Covid-19**: Brasil adota uso de máscaras como política de saúde pública. 27 abr 2020. Disponível em: https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-brasil/2020/04/27/covid-19-brasil-adota-uso-de-mascaras-como-politica-de-saude-publica.htm. Acesso em 08 mar 2021.

AKHTARUZZAMAN, Md, BOUBAKER, Sabri, SENSOY, Ahmed. **Financial contagion during COVID–19 crisis.** Finance Research Letters, Volume 38, January 2021,101604. Acesso em 04

mar 2021.

AMORIM, Silvia. **Doria sugere a Bolsonaro que deixe 'bolha' e visite hospitais**. 29 abr 2020. Disponível em: https://oglobo.globo.com/brasil/doria-sugere-bolsonaro-que-deixe-bolha-visite-hospitais-24400657. Acesso em: 08 mar 2021.

AXELROD, Jim. **Coronavirus may infect up to 70% of world's population, expert warns**. CBS News. Disponível em: https://www.cbsnews.com/news/coronavirus-infection-outbreak-worldwide-virus-expert-warning-today-2020-03-02/. Acesso em: 08 mar 2021.

BARBOSA, Marilene Vieira; PIMENTEL, Rejane Magalhães de Mendonça; BILAR, Alexsandro Bezerra Correia. Multidisciplinaridade da percepção ambiental aplicada às relações homem-natureza: revisão sistemática. : Revisão sistemática. **Journal Of Environmental Analysis And Progress**, [s.l.], v. 5, n. 2, p. 156-168, 13 abr. 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.24221/jeap.5.2.2020.3124.156-168. Acesso em 08 mar 2021.

BBC BRASIL. Achatar a curva. 18 mar 2020. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=B5Lq8SiT_ZI. Acesso em 08 mar 2021.
BBC NEWS**. Coronavirus:** Italy shuts nearly all shops as WHO declares pandemic. 12 mar 2020. Disponível em: https://www.bbc.com/news/world-europe-51845817**.** Acesso em 08 mar 2021.

BECKLEY, Ross; WEATHERSPOON, Cametria; ALEXANDER, Michael; CHANDLER, Marissa; JOHNSON, Anthony; BATT, Ghan S. Modeling epidemics with differential equations. **Tennessee State University Internal Report**. 2013. Disponível em: https://www.tnstate.edu/mathematics/mathreu/filesreu/GroupProjectSIR.pdf. Acesso em 08 mar 2021.

BERTAZONE, Thaís Mara Alexandre et al. Ações multidisciplinares/interdisciplinares no cuidado ao idoso com Doença de Alzheimer. **Rev Rene**. v. 17, n.1, p.144-53, jan-fev 2016. Fortaleza – CE.2016. Disponível em: http://www.periodicos.ufc.br/rene/article/view/2633. Acesso em 08 mar 2021.

BICHARA, Derdei; KANG, Yun; CASTILLO-CHAVEZ, Carlos; HORAN, Richard; PERRINGS, Charles. SIS and SIR Epidemic Models Under Virtual Dispersal. **Bulletin Of Mathematical Biology**, [s.l.], v. 77, n. 11, p. 2004-2034, 21 out. 2015. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s11538-015-0113-5. Acesso em: 08 mar 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Painel Coronavírus Brasil**. 04 mai 2020. Disponível em: https://covid.saude.gov.br/. Acesso em: 08 mar 2021.

BRASIL247. **Bolsonaro diz que Doria é "governador gravatinha" e aprofunda confronto com São Paulo.** 30 abr 2020. Disponível em: https://www.brasil247.com/brasil/bolsonaro-diz-que-doria-e-governador-gravatinha-e-aprofunda-confronto-com-sao-paulo. Acesso em: 08 mar 2021.

CASCAIS, Maria da Graça; TERÁN, Augusto Fachín. Educação formal, informal e não formal na educação em ciências. **Ciência em Tela**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, pp. 1-10, dez. 2014. Semestral. Disponível em: http://www.cienciaemtela.nutes.ufrj.br/artigos/0702enf.pdf. Acesso em: 08 mar 2021.

CORAZZA, Rosana Icassatti. Criatividade, Inovação e Economia da Cultura: abordagens multidisciplinares e ferramentas analíticas. **Revista Brasileira de Inovação**, [s.l.], v. 12, n. 1, p. 207-232, 6 fev. 2013. Universidade Estadual de Campinas. http://dx.doi.org/10.20396/rbi.v12i1.8649059. Disponível em:

https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8649059/15608. Acesso em: 08 mar 2021.

DURAN, Pedro. **Para expulsar banhistas, cidades de SP usam grades, carro de som e até trator**. 09 abr 2020. CNN Brasil. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/2020/04/09/para-expulsar-banhistas-cidades-de-sp-usam-grades-carro-de-som-e-ate-trator. Acesso em: 08 mar 2021.

ESTADÃO. Com covid-19, porcentual de famílias com dívidas sobe em abril a 66,6%, diz CNC. 14 abr 2020. **Revista ISTO É *on line***. Disponível em: https://istoe.com.br/com-covid-19-porcentual-de-familias-com-dividas-sobe-em-abril-a-666-diz-cnc/ . Acesso em: 08 mar 2021.

FINANCIAL TIMES. **Trump cheers as anti-lockdown protests spread**. 2020. Disponível em: https://www.ft.com/content/c8f6f413-39c4-47ce-b1ff-0e02969cb612. Acesso em: 08 mar 2021.

ISTOE**.** Prefeitura de SP proíbe o funcionamento do comércio; apenas farmácias e supermercados ficarão abertos. 18 mar 2020. **Revista ISTO É *on line*.** Disponível em: https://istoe.com.br/prefeitura-de-sp-proibe-o-funcionamento-do-comercio-apenas-farmacias-e-supermercados-ficarao-abertos/**.** Acesso em: 08 mar 2021.

KATES, Jennifer, MICHAUD, Josh, LEVITT, Lerry, POLLITZ, Karen, NEUMAN, Tricia, LONG, Michelle, RUDOWITZ, Robin, MUSUMESSI, Mary Beth, FREED, Meredith and CUBANSKI, Juliette. Comparing Trump and Biden on COVID-19. **KFF**. Disponível em: https://www.kff.org/coronavirus-covid-19/issue-brief/comparing-trump-and-biden-on-covid-19/. Acesso em: 08 mar 2021.

LAI, Chih-cheng; LIU, Yen Hung; WANG, Cheng-yi; WANG, Ya-hui; HSUEH, Shun-chung; YEN, Muh-yen; KO, Wen-chien; HSUEH, Po-ren. Asymptomatic carrier state, acute respiratory disease, and pneumonia due to severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2): facts and myths.: Facts and myths. **Journal of Microbiology, Immunology And Infection**, [s.l.], mar. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jmii.2020.02.012. Acesso em: 08 mar 2021.

MARRA, Renan. Brasil não é o único país a registrar protestos contra o isolamento social. 15 abr 2020. **Jornal Folha de São Paulo**. Disponível em: https://www1.folha.uol.com.br/equilibrioesaude/2020/04/brasil-nao-e-o-unico-pais-a-registrar-protestos-contra-isolamento-social.shtml. Acesso em 08 mar 2021.

LOURENÇO, Beatriz. Como o isolamento social impacta quem sofre com ansiedade ou depressão. **Revista Digital Galileu**. 05 jun 2020. Disponível em: https://revistagalileu.globo.com/Sociedade/Comportamento/noticia/2020/06/como-o-isolamento-social-impacta-quem-sofre-com-ansiedade-ou-depressao.html. Acesso em: 23 jul 2021.

MATADI, Maba Bonifaci. The SIRD epidemical model. Far East **Journal of Applied Mathematics** V. 89, N 1, pp. 1-14, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277287108_THE_SIRD_EPIDEMIAL_MODEL. Acesso em: 08 mar 2021.

MIRANDA, Amanda Souza de. **Divulgação da ciência e educomunicação**: contribuições do jornal escolar para a alfabetização científica. 2007. 108f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina. 2007. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/89902/246849.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 08 mar 2021.

MORENO, Ana Carolina, OLIVEIRA, Elida. **Brasil cai em ranking mundial de educação em matemática e ciências; e fica estagnado em leitura**. 03 dez 2019. G1 Notícias. Disponível em: https://g1.globo.com/educacao/noticia/2019/12/03/brasil-cai-em-ranking-mundial-de-educacao-em-

matematica-e-ciencias-e-fica-estagnado-em-leitura.ghtml. Acesso em: 08 mar 2021.

MUTIKANI, Lucia. **U.S. retail sales, factory output sink as coronavirus batters economy**. 15 abr 2020. Disponível em: https://www.reuters.com/article/us-usa-economy/us-retail-sales-factory-output-sink-as-coronavirus-batters-economy-idUSKCN21X0EL. Acesso em: 08 mar 2021.

NASCIMENTO, Francisleile Lima; PACHECO, Alberto do Espírito Santos Dantas. Sistema de saúde público no brasil e a pandemia do novo coronavírus**. Boletim de Conjuntura**. Ano II, v.2, n.5. 2020. Disponível em: https://revista.ufrr.br/boca/article/viewFile/NascimentoPacheco/2893. Acesso em: 08 mar 2021.

NITAHARA, Akemi. **Acesso a nível superior no Brasil está abaixo dos padrões internacionais**. 06 nov /2019. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-11/acesso-nivel-superior-no-brasil-e-muito-abaixo-dos-padroes-internacionais. Acesso em: 01 mai 2020.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE - OPAS. **Folha informativa – COVID-19 (doença causada pelo novo coronavírus).** OPAS BRASIL *on line*. 04 mai 2020. Disponível em: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=6101:covid19&Itemid=875. Acesso em: 08 mar 2021.

OSMOSE**. Beating Coronavirus:** Flattening the Curve, Raising the Line. 20 mar 2020. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=D7uQwQTRDew. Acesso em 08 mar 2021.

OTA, Miyo. Will we see protection or reinfection in COVID-19? **Nature Reviews Immunology**, [s.l.], abr. 2020. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1038/s41577-020-0316-3. Acesso em: 08 mar 2021.

PBS. **O Que Este Gráfico Realmente Significa Sobre o COVID-19.** 17 mar 2020**.** Disponível em**:** https://www.youtube.com/watch?v=fgBla7RepXU. Acesso em: 08 mar 2021.

PEREIRA, Pablo. C**ontra crise do covid-19 restaurantes se preparam para entrega em domicílio**. Blog da Garoa: Histórias de São Paulo. 20 mar 2020. Disponível em: https://sao-paulo.estadao.com.br/blogs/blog-da-garoa/contra-crise-do-covid-19-restaurantes-se-preparam-para-entrega-em-domicilio/. Acesso em: 08 mar 2021.

RNZ. **Covid-19 essential services**: What remains open during a lockdown. 24 mar 2020. Disponível em: https://www.rnz.co.nz/news/covid-19/412477/covid-19-essential-services-what-remains-open-during-a-lockdown. Acesso em: 08 mar 2021.

ROQUETE, Fátima Ferreira et al. Multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade: em busca de diálogo entre saberes no campo da saúde pública. **Revista de Enfermagem do Centro-Oeste Mineiro**. v. 2, n. 3, p.463-474, set/dez 2012. Juiz de Fora – MG. Disponível em: http://www.seer.ufsj.edu.br/index.php/recom/article/view/245. Acesso em: 08 mar 2021. https://doi.org/10.19175/recom.v0i0.245

SANTOS, Leonardo Sioufi Fagundes dos; RANGEL, Flamínio de Oliveira; MENDES, Marcio de Araújo. Perfil dos usuários do Portal Píon de divulgação científica em Física a partir de dados do Google Analytics sobre tempo, espaço e conteúdo. **Comunicação & Educação**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 49-63, 31 dez. 2018. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9125.v23i2p49-63. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/comueduc/article/view/146468. Acesso em: 08 mar 2021.

SOUZA, Daniel Maurício Viana. Museus de Ciência, Divulgação Científica e Informação: reflexões acerca da ideologia e memória. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 14, n. 2, p. 115-168,

maio-ago. 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/pci/v14n2/v14n2a11.pdf. Acesso em 08 mar 2021.

TORRESI, Susana I. Córdoba; PARDINI, Vera Lúcia; FERREIRA, Vitor F. Editorial: Sociedade, divulgação científica e jornalismo científico. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 3, p.447-447, jan-mar. 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000300001&lng=pt&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 08 mar 2021.

WELTMAN, Jeremy. **ECR risk experts contemplate another financial crisis**. 20 mar 2020. Disponível em: https://www.euromoney.com/article/b1ktp0wqc12jyb/ecr-risk-experts-contemplate-another-financial-crisis. Acesso em: 20 mar 2020.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard.** Disponível em: https://covid19.who.int/. Acesso em 03 mar 2021a.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO Strategy and planning.** Disponível em: https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/strategies-and-plans. Acesso em 04 mar 2021b.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 - 16 March 2020**. Disponível em: https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---16-march-2020. Acesso em 25 abr 2020.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO An update on SARS-CoV-2 virus mutations & variants**. Disponível em: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/risk-comms-updates/update47-sars-cov-2-variants.pdf?sfvrsn=f2180835_4. Acesso em 08 mar 2021c.