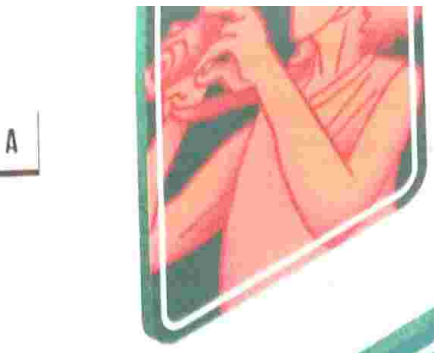
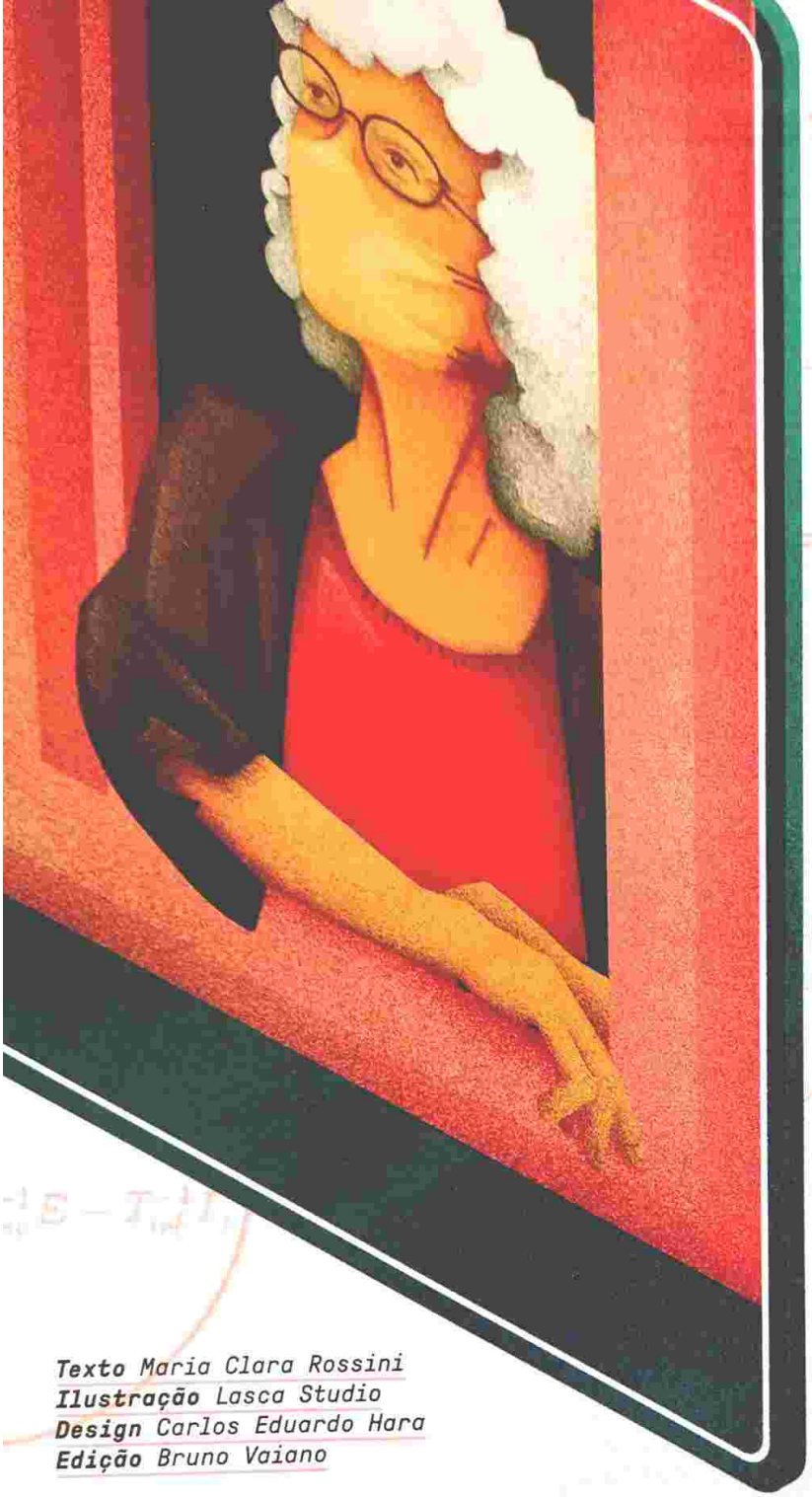
A MATEMÁTICA DA PANDEMIA





Texto Maria Clara Rossini
Ilustração Lasca Studio
Design Carlos Eduardo Hara
Edição Bruno Vaiano

Faz 150 anos que os epidemiologistas calculam desfechos – às vezes sombrios – para o espalhamento de doenças. O objetivo não é espalhar terror: é evitar que as previsões se concretizem. Entenda de uma vez por todas por que os negacionistas do isolamento estão falando besteira.

NO VERÃO DE 1854, ao longo de três dias, 127 pessoas morreram de cólera em uma única rua do bairro do Soho, no centro de Londres. A doença causa diarreia, desidratação e hemorragia. Sem tratamento, até metade dos infectados sucumbe em algumas horas. As autoridades da época tinham certeza absoluta de que a cólera era transmitida pelo ar. Mas o médico John Snow (não, não é o herói de *Game of Thrones*) achou estranho. Com o passar dos dias, Snow notou que um único distrito concentrava mais da metade das mortes. Era de se esperar uma distribuição mais homogênea pela cidade, caso a transmissão ocorresse por via aérea. E havia outro mistério: nenhum dos 80 funcionários de uma fábrica de cerveja localizada no epicentro da epidemia adoeceu.

Intrigado, Snow marcou pontinhos em um mapa, um para cada vítima, e notou que todas moravam em torno de uma única bomba de água (na época, não havia uma torneira em cada casa; as pessoas compartilhavam uma espécie de torneira coletiva). Ele descobriu também que o cano que levava até aquela bomba →

passava perto de uma fossa. Bingo: a fralda de um bebê com cólera foi descartada na fossa, e uma rachadura no cano permitiu que o cocô contaminasse a água. Por fim, a sacada de Sherlock Holmes: os empregados da cervejaria bebiam tanta cerveja que nem consumiam água. Por isso, ficaram bem.

Foi a primeira vez que alguém deduziu como uma doença é transmitida usando raciocínio lógico, sem conhecer o micróbio responsável. A bactéria causadora da cólera, curiosamente, foi descoberta no mesmo ano, a muitos quilômetros de distância, pelo anatomista italiano Filippo Pacini. Ninguém deu bola para ele. Hoje, John Snow é considerado o pai da epidemiologia – de quebra, ganhou um bar em sua homenagem em Londres. Qualquer pessoa chamada John Snow bebe de graça por lá; basta mostrar um documento. Afinal, em caso de cólera, cerveja é a aposta mais segura (rs).

Desde então, a matemática prestou serviços cada vez mais valiosos à saúde pública. No início do século 20, o médico Ronald Ross descobriu que a malária era transmitida por um vetor, os mosquitos do gênero *Anopheles*. Em 1910, ele propôs a seguinte reflexão: se colocarmos um único indivíduo com malária e um único mosquito *Anopheles* em uma população livre da doença, quais são as chances do mosquito picar o doente e então transmitir a doença, por meio de outra picada, para alguém saudável?

Esse experimento mental deu origem ao parâmetro R0 ("erre-zero"): quanta gente uma única pessoa contaminada é capaz de infectar, em média. O R0 do sarampo, por exemplo, é altíssimo: um único infectado pode deixar de 12 a 18 pessoas doentes. Com base em parâmetros como o R0, é possível construir equações que descrevem como uma epidemia se espalha (ou seja: automatizar o trabalho que John Snow realizou com um lápis e um mapa).

Hoje, existem modelos epidemiológicos para tudo que você imaginar. Há alguns que preveem as mutações e a sazonalidade do vírus da dengue. Outros são específicos para vírus que infectam as pessoas para o resto da vida, como o HIV. Há ainda aqueles para bactérias recorrentes, causadoras de infecção alimentar. E agora há modelos específicos para a Covid-19, que geram os gráficos exibidos nos jornais todos os dias. Isso levanta muitas questões: como esses gráficos são gerados? Por que as previsões dão errado com tanta frequência? Por que cada previsão dá um resultado diferente? Vamos respondê-las.

Por trás da curva

Pense num vilarejo de cem habitantes. Um deles acaba de descer de um ônibus na rodoviária e está com um vírus. Agora, imagine que um matemático recebeu a missão de calcular como a doença vai se espalhar pela cidade a partir desse paciente zero. A primeira providência dele é dividir a população em três categorias: S, de "suscetível", I, de "infectado", e R, de "removido".

No momento, 99 habitantes estão na categoria dos suscetíveis. Só um, o recém-chegado, está na categoria dos infectados, pois já tem o vírus. Por fim, não há nenhum na categoria dos removidos (trata-se de um eufemismo, já que o paciente pode ser removido por dois motivos: porque se curou ou porque morreu. Em qualquer caso, ele é incapaz de passar a doença para frente).

Esse modelo, o mais simples usado pelos epidemiologistas, se chama SIR – sigla de "suscetíveis, infectados e removidos".

SE O NÚMERO "R" FICA MENOR QUE 1, O VÍRUS DESAPARECE DA POPULAÇÃO SEM QUE TODOS TENHAM SIDO INFECTADOS.

Cada uma dessas letras equivale a uma equação. E essa equação usa os dados disponíveis no presente para gerar um gráfico que prevê um cenário futuro. No gráfico, a curva dos suscetíveis vai caindo, pois eles vão se tornando infectados. Depois, a curva dos infectados vai caindo, porque eles vão se tornando removidos.

O ritmo em que isso acontece – e o pico que a curva dos infectados alcança – depende, em parte, do comportamento das próprias pessoas. Os números inseridos nas equações são tirados do mundo real. Por exemplo: se todo mundo pratica o isolamento social, usa máscaras e lava as mãos com frequência, o número R0 diminui, pois os infectados não conseguem passar o vírus para a frente (nessa hora, o número deixa de chamar R0, pois esse "zero" se refere ao momento inicial. Passa a se chamar *R efetivo*). O resultado de um R efetivo menor são menos infectados.

O SIR foi criado em 1927 e é bem simples. Por isso, raramente se aplica na prática. Hoje, ele serve de chassis para criar modelos mais complicados. Eles funcionam do mesmo jeito, mas com mais letras e curvas no gráfico. Por exemplo: e quando a pessoa está infectada, mas não transmite o vírus? Aparece o período de latência, representado pela letra L. Quanto mais dependemos de leitos de UTI e tempo de internação, mais letras entram em jogo. Existe até um modelo de seis letras, o SEIHUR (o E é de "exposição" ao vírus, H é de "hospitalização", e o U, de "UTI").

É fácil usar o gráfico para controlar o avanço da Covid-19. Enquanto o R efetivo for maior que 1, a curva segue subindo, já que cada infectado transmite o vírus para mais de uma pessoa. Se o R efetivo for igual a 1, a curva de novos infectados estabiliza. Fica horizontal. Mas caso o R efetivo seja menor que 1, a curva cai. Se o R for de 0,5, por exemplo, um grupo de 100 pacientes vai infectar 50. Esses 50 →

UM PRESENTE, TRÊS FUTUROS

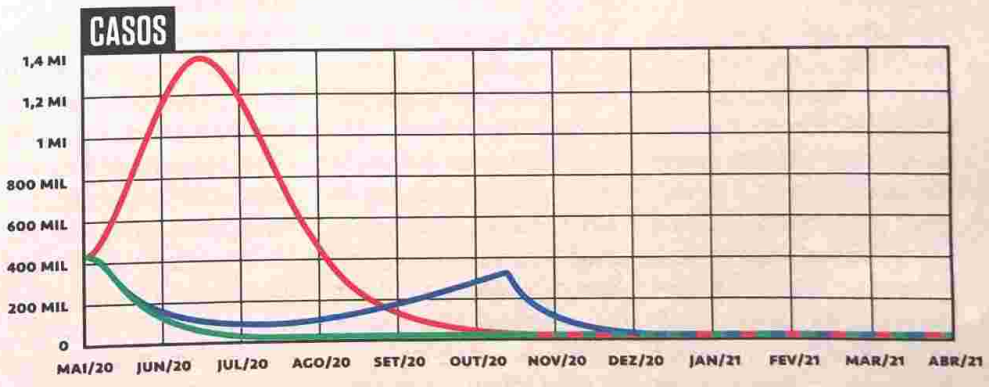
O gráfico abaixo foi feito pelo matemático Osmar Neto para a SUPER. Ele usou o modelo SEIHUR ① para prever quantos casos de Covid-19 (e mortes) haverá no Estado de São Paulo* em três situações. O gráfico vai até abril de 2021.

Um dos parâmetros é o "nível de preocupação da população" – ou seja: se as pessoas estão usando máscaras, lavando as mãos etc. As três situações consideram que 70% da população siga essas medidas rigorosamente.

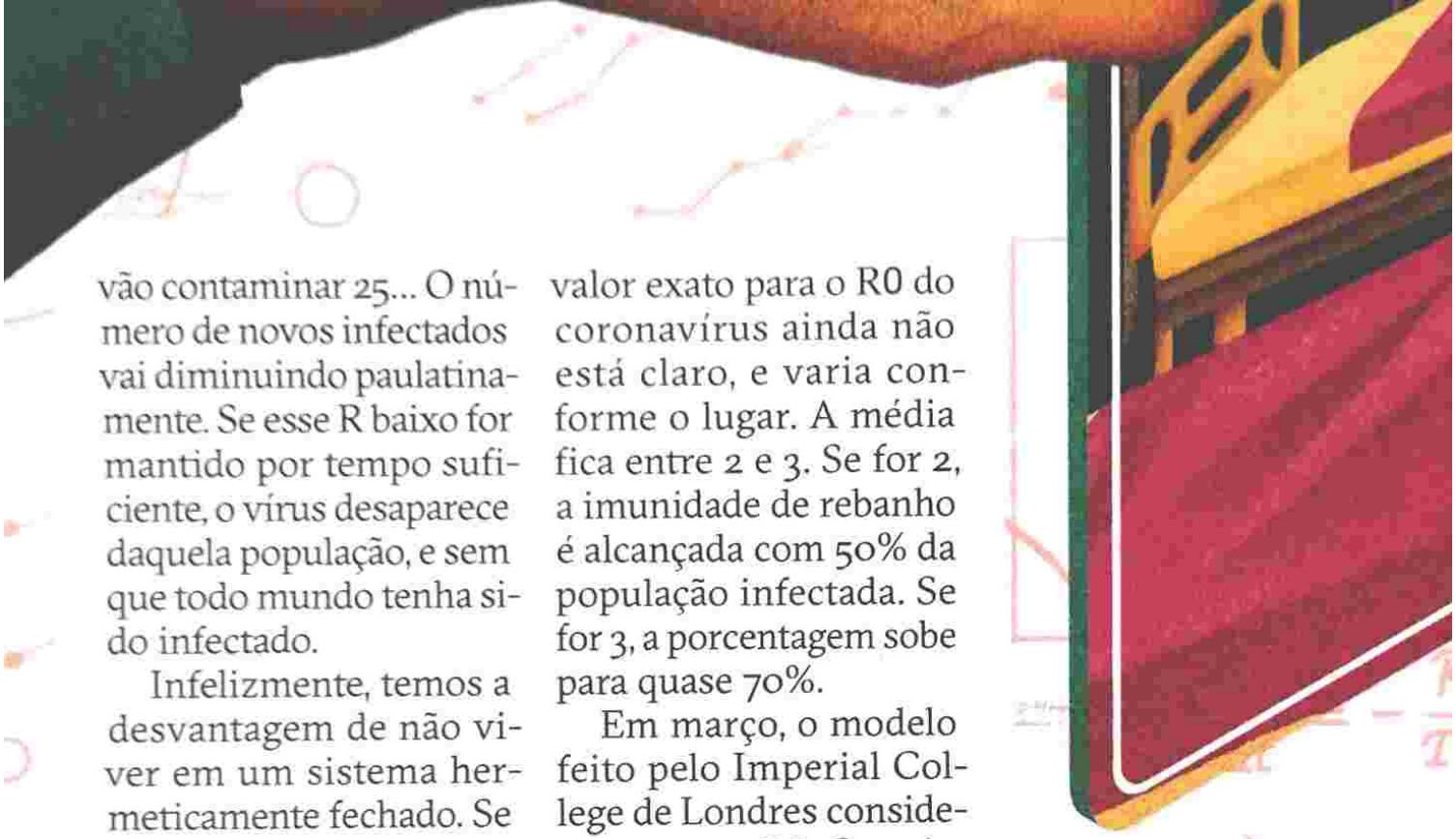
CURVA 1 Mostra o que acontece se alternarmos períodos com e sem *lockdown* até dezembro de 2021. A cada 80 dias, a porcentagem da população que obedece ao distanciamento cai para quase zero e aí volta para 70% – o nível ideal para suprimir o vírus.

CURVA 2 O desfecho mais grave: se a porcentagem da população de quarentena (que no fechamento desta edição estava em 52%) cair pela metade e ficar em 26% até o fim da pandemia. É quase uma volta à vida normal, com pessoas saindo para trabalhar e estudar.

CURVA 3 Esta curva mostra como seriam os casos e mortes se as pessoas saíssem aos poucos de um *lockdown*, ao longo de 240 dias (seis meses) – mas depois precisassem voltar para 70% para encarar uma segunda onda de vírus.



*Como modelos que abrangem o País inteiro são muito imprecisos – cada Estado tem suas particularidades –, optamos pelo Estado mais populoso. São Paulo tinha 63 mil casos notificados oficialmente na data do fechamento desta edição, em maio. Por causa da subnotificação, porém, o mais provável é que tenhamos mais de 400 mil casos – e foi esse o número considerado no gráfico.



vão contaminar 25... O número de novos infectados vai diminuindo paulatinamente. Se esse R baixo for mantido por tempo suficiente, o vírus desaparece daquela população, e sem que todo mundo tenha sido infectado.

Infelizmente, temos a desvantagem de não viver em um sistema hermeticamente fechado. Se chegar outra pessoa na rodoviária, o vírus é reintroduzido na população do vilarejo, o R efetivo volta a ser maior que 1. E começa tudo de novo.

À medida que o número de suscetíveis vai se esgotando, porém, fica mais difícil causar novas infecções – já que quem pegou a doença, a princípio, está imunizado. Aí o R efetivo diminui naturalmente. Você já deve ter ouvido falar que 60% da população precisa pegar o coronavírus para gerar "imunidade de rebanho" – o momento em que há tanta gente imune que o vírus fica sem ter onde morar. Essa porcentagem é calculada com base no Teorema do Limiar, que também depende do R. A estimativa de 60%, por exemplo, se baseia na suposição de que o R do coronavírus é 2,5. O valor exato para o R0 do coronavírus ainda não está claro, e varia conforme o lugar. A média fica entre 2 e 3. Se for 2, a imunidade de rebanho é alcançada com 50% da população infectada. Se for 3, a porcentagem sobe para quase 70%.

Em março, o modelo feito pelo Imperial College de Londres considerou 2 para o R0. Ou seja: enquanto a projeção era criticada por parte da população por mostrar um cenário catastrófico, com milhões de mortos, entre os epidemiologistas dizia-se que ela era otimista demais, pois com R0 igual a 3, a situação seria ainda pior. Sabemos, porém, que o número de mortos não alcançou a casa dos milhões. Será que os epidemiologistas é que estavam excessivamente pessimistas?

Não. Há dois problemas aí: o primeiro é que a Covid-19 é uma doença nova, cujos parâmetros (como o número R0) não foram determinados com precisão ainda. O segundo é que o comportamento da população muda. Se o modelo aponta um número elevado de mortes e esse número é divulgado no *Jornal Nacional*, há uma tendência a que as pessoas respeitem mais o isolamento. Isso faz cair o R efetivo, e junto com ele cai o número de mortes previstas. Percebe? Uma das funções do modelo é justamente conscientizar as pessoas. Se a previsão não se concretiza, é sinal de que a população fez algo certo, não de que os matemáticos erraram.

O R efetivo de São Paulo, de acordo com o dado mais recente disponível até o fechamento desta edição, está em 1,47. Do Ceará, 1,61. Do Pará, 1,9. Os dados são do dia 8 de maio ②. Já quando o

SE A PREVISÃO NÃO SE CONCRETIZA, É SINAL DE QUE A POPULAÇÃO FEZ ALGO CERTO, E NÃO DE QUE OS MATEMÁTICOS ERRARAM.

isolamento social estava no auge, em abril, o R efetivo médio do Brasil era 1,4. Ou seja: passamos perto do número ideal para estabilizar a curva – e agora, com o afrouxamento, estamos deixando ela crescer de novo.

O futuro

O deputado Osmar Terra, aliado de Bolsonaro, é comprovadamente o maior disseminador de *fake news* do Congresso: postou 38 notícias falsas sobre a pandemia no Twitter entre fevereiro e abril. Ele usa gráficos para defender que a quarentena aumenta a disseminação da Covid-19, e que outros países só viram o número de casos cair porque já atingiram a imunidade de rebanho. "É tão bizarro que eu nem sei como escrever isso de forma elegante. Não tem fundamento nenhum", diz outro Osmar, o Osmar Neto, matemático que trabalha com modelagem da Covid-19 no Brasil.

Vamos avaliar essa hipótese esdrúxula. Se você chegou até aqui no texto, sabe que existem duas opções: ou boa parte dos países já ultrapassou a temida curva e conseguiu atingir a imunidade de rebanho – com 60% da população infectada –, ou o vírus está apenas suprimido, e pode ser reintroduzido se a quarentena afrouxar. Acontece que a hipótese da imunização de rebanho só poderia estar certa se o número de mortes estivesse muito mais alto.

Mesmo que um país tivesse um sistema de saúde impecável, médicos à vontade e leitos infinitos, a letalidade da Covid-19 ainda ficaria entre 1% e 0,5%. Ou seja: no Brasil, se 60% da população fosse infectada, teríamos pela frente no mínimo 600 mil mortes. Os EUA, 900 mil mortes. A Itália, 180 mil. Como a curva na Itália já está caindo, e eles têm 30 mil mortos, é evidente que a queda não pode ser atribuída à imunidade de rebanho. O que salvou o dia foi mesmo a quarentena. E o único jeito de sair da quarentena em segurança é testar boa parte da população, para isolar todo mundo que está com o vírus – mesmo os assintomáticos.

Com um detalhe: no caso do coronavírus, ninguém sabe se o sobrevivente fica imunizado de vez ou pode contrair a doença de novo. Se esse for o caso, todas as curvas mudariam, e o cenário para o futuro ficaria ainda mais incerto do que já é.

Assustador? Os gráficos sempre serão mais catastróficos que a realidade. Epidemiologistas como Roberto Kraenkel, da Unesp, estão acostumados: "A gente chama isso de *paradoxo do sucesso*. Os epidemiologistas mostram o caos caso não sejam tomadas medidas de prevenção, mas aí elas são tomadas, e o resultado não parece tão ruim. Mas ele só aconteceu porque o modelo mostrou os cenários". Para uma previsão cumprir seu papel, o ideal é que ela não se concretize. Os matemáticos são videntes que torcem para errar.

Agradecimentos: Marcos Amaku, USP.