

Caros alunos da disciplina MAP-2212,
Laboratório de Computação e Simulação:

Estamos em tempo de crise, convivendo com o Covid-19 e uma pandemia que assola o mundo inteiro. Creio que todos os alunos da USP já estão devidamente conscientizados da necessidade de tomar medidas apropriadas para mitigar a disseminação deste vírus, mas tomo a liberdade de dar minha visão pessoal sobre o tema:

Um dos mais simples e mais úteis modelos de propagação de doenças contagiosas é o modelo SIR, de Kermack e McKendrick (1927). Este modelo divide uma população finita de N indivíduos em três grupos mutuamente exclusivos,

S - os indivíduos Suscetíveis (ainda não infectados)

I – os indivíduos Infectados e transmissores da doença;

R – os indivíduos já Removidos do processo, ou por óbito, ou por isolamento, ou por cura; em qualquer dos casos, os indivíduos removidos não são mais transmissores da doença.

O modelo SIR estuda a evolução dos três grupos ao longo do tempo, $S(t)$, $I(t)$, $R(t)$, a partir das seguintes hipóteses:

Os Indivíduos transitam sucessivamente do grupo S para o grupo I, e do grupo I para o grupo R.

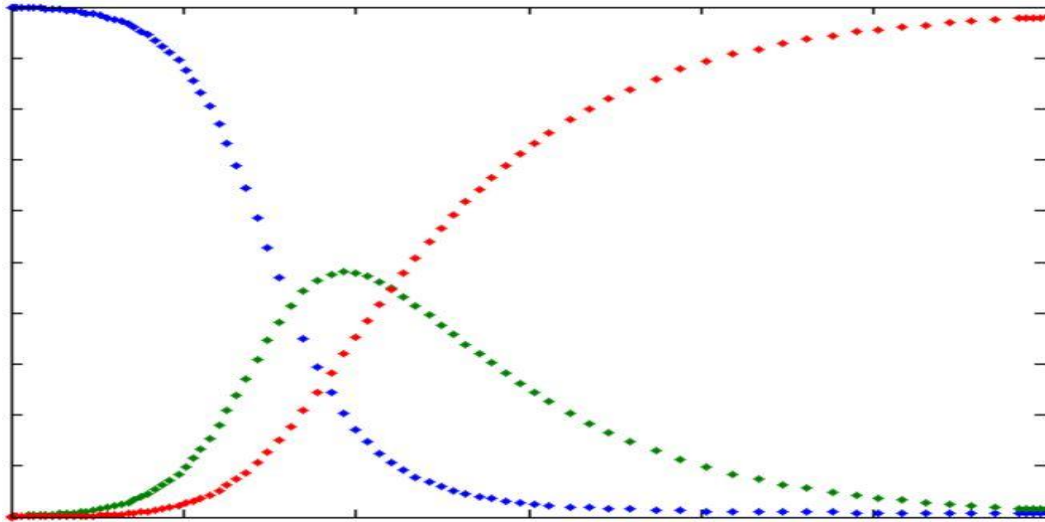
O sistema de equações diferenciais ordinárias que governam o processo são:

$$(i) \quad dS(t)/dt = -bS(t)I(t)/N ;$$

$$(ii) \quad dI(t)/dt = bS(t)I(t)/N - gI(t) ;$$

$$(iii) \quad dR(t)/dt = gI(t) .$$

Os parâmetros b e g (ou beta e gamma) são a taxa de transmissão e a taxa de remoção da doença nesta população. O modelo assume que, em cada unidade de tempo $[t, t+dt]$, cada indivíduo Infectado pode transmitir a doença a cada um dos indivíduos Suscetíveis da população, sendo b a taxa de transmissão. Da mesma forma, o parâmetro g descreve a velocidade com que indivíduos passam do estado de Infectado a Removido. Estas equações podem ser integradas numericamente, vide Stern (1985, cap.18).



A Figura 1 mostra a evolução típica destas curvas: Assumimos que, no início, há apenas um (1) indivíduo infectado, este é o “paciente zero”. No estágio inicial da epidemia, o crescimento de $R(t)$ é exponencial, no estágio final da epidemia, $R(t)$ se aproxima assintoticamente do total da população, N . O comportamento do número de indivíduos suscetíveis, $S(t)$, é, qualitativamente, complementar a $R(t)$. Finalmente, o número de indivíduos infectados, $I(t)$, começa e termina perto de zero, mas tem um pico no meio da epidemia. A altura do pico é controlada pela constante (b/g) , denominada “taxa básica de reprodução”. Quanto maior (b/g) , mais alto o pico de $I(t)$; quanto menor for (b/g) , “achatada” a curva e menor o pico de $I(t)$.

Para efeito de saúde pública, a variável crítica é o número de Infectados. Se tivermos uma curva $I(t)$ com um pico muito alto, teremos que tratar, simultaneamente, no meio da epidemia, um número muito grande de pacientes. Como uma curva achatada, “espalhamos” os pacientes que necessita de tratamento ao longo do tempo. Como os recursos (como leitos disponíveis, equipamentos hospitalares, e também médicos e enfermeiros) do sistema de saúde são limitados (por mais bem financiado que o sistema seja, seus recursos serão sempre finitos), fica clara a necessidade de “achatar a curva”, isto é, a necessidade de diminuir a taxa básica de reprodução, (b/g) . Muito bem então, como diminuir (b/g) ?

> A primeira possibilidade para diminuir (b/g) é aumentar g , a taxa de remoção. A forma ideal de fazê-lo é desenvolvendo uma vacina. Um indivíduo vacinado já está preparado para combater a infecção, curando-se de forma muito rápida. Infelizmente, desenvolver uma vacina demora tempo, e testá-la para uso em seres humanos demora ainda mais. Outra forma de aumentar g , a taxa de remoção, é testar compulsoriamente todos os indivíduos da população

e, também compulsoriamente, isolar os infectados. A china deu ao mundo um exemplo de como é possível fazer isto de forma muito eficiente. Todavia, tenho serias duvidas se é possível, ético, e/ou desejável proceder desta forma em uma sociedade democrática. O que vocês acham?

> A segunda possibilidade para diminuir (b/g) é diminuir b , a taxa de transmissão. Esta taxa depende de dois fatores: (b1) numero médio de contatos que cada indivíduo infectado faz com outros indivíduos da população (por unidade de tempo), e (b2) a taxa de contágio em cada contato. Higiene (individual e social) é a resposta para controlar o fator (b2): lavar as mãos e o rosto frequentemente, utilizar uma mascara com filtro, manter distancia de outras pessoas, etc. Para controlar (b1) temos que diminuir (ou proibir) grandes aglomerações, reuniões com vários indivíduos em um ambiente fechado e, idealmente, toda forma de contato pessoal desnecessário. É importante ressaltar que, para que estas medidas sejam efetivas, todos tem que fazer sua parte. Todavia, como fazer para induzir com eficiência e eficácia estes comportamentos em uma sociedade democrática? Quais os limites e responsabilidades do Estado a este respeito em uma situação de epidemia ou pandemia?

Finalmente, gostaria de lembrar uma frase de Nelson Rodrigues: “Nada é só bom!” No contexto de nossa discussão, refiro-me aos efeitos de controlar (b1) diminuindo fortemente a interação pessoal. A atividade econômica depende de interação social. As medidas de controle acima mencionadas implicam em cancelar teatros e cinemas, restaurantes e aulas presenciais, restringir o acesso a feiras, mercados e ao comercio em geral, etc., etc. Um efeito inevitável destas medidas são perdas econômicas gigantescas para todos os empresários e trabalhadores destes setores, perdas estas que inevitavelmente se propagam ao longo de todas as respectivas cadeias de produção. Ademais, os efeitos recessivos desta diminuição de atividade econômica se propagam a todo o sistema econômico, nacional e internacional. Ativos financeiros de desvalorizam, restringindo credito e diminuindo liquidez, retro-alimentando desta forma o ciclo recessivo. Creio que modelar os aspectos epidemiológicos desta crise é relativamente fácil; muito mais difícil é modelar os aspectos econômicos desta crise. Vocês concordam?

Mesmo que tivéssemos bons modelos matemáticos para os aspectos epidemiológicos e econômicos desta crise, as decisões a serem tomadas dependem fortemente de critérios éticos e políticos. Note, por exemplo, que esta situação tenciona fortemente premissas sobre a “independência” dos diversos sub-sistemas que caracterizam uma sociedade moderna, vide Luhmann (1986). Como vocês balanceariam as consequências epidemiológicas e econômicas desta crise? Que critérios deveríamos utilizar? (assumindo termos dados e modelos de boa qualidade à disposição)

Caros alunos: Eu não tenho respostas para estas perguntas (pelo menos para as mais importantes). Vamos tentar aprender juntos? Proponho como segundo EP (EP2, trabalhem aos pares) que vocês me preparem um texto discutindo as questões acima colocadas. O texto deve ser feito em LaTeX (óbvio, estamos no IME). Vocês devem desenvolver seus argumentos de forma lógica e racional. Importante: a argumentação deve, **necessariamente, de alguma forma (preferencialmente modelagem ou simulação) fazer uso do modelo SIR e/ou outros modelos semelhantes**. Não interessado em críticas qualitativas aos governantes de plantão (isto é bater em gato morto). Estou interessado em discutir formas, métodos e critérios para pensar e agir diante desta crise. Para tanto, peço vossa ajuda. Confio na capacidade crítica e de inovação de cada um de vocês; todavia, não creio que possamos avançar muito reinventando a roda a cada passo. Assim, tratem de trazer boas referências bibliográficas para enriquecer a discussão.

Finalmente, tenho que pedir vossa paciência e compreensão para com a evolução de nossa disciplina ao longo do semestre. Por motivos de saúde, estou quase que confinado em minha casa, com recursos limitados à minha disposição. Ademais, nunca dei aula nestas circunstâncias (acho que não estou sozinho a este respeito). Todavia, não quero que vocês percam o semestre. Vamos tentar minimizar os aspectos econômicos e sociais das medidas que a epidemia nos exige. Se alguém entre vocês não quiser prosseguir com esta disciplina virtual (improvisada, confesso de pronto) eu entendo perfeitamente. Todavia, creio que a maioria dos alunos do IME está interessada e tem condições (entendo perfeitamente que há uma diferença entre estas duas condições) em ir adiante desta forma.

Tudo de bom, e cuidem bem de vocês mesmos e de todos que lhes são (ou estão) próximos,

---Julio Stern
18/03/2020.

Referencias:

W.O. Kermack, A.G. McKendrick (1927). A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics. *Proceedings of the Royal Society A*; 115, 700-721. doi:10.1098/rspa.1927.0118

N. Luhmann (1986). *Ecological Communication*. The University of Chicago Press.

J.M. Stern (1985). *Métodos Computacionais e Aplicações*. Texto preparado para o XIII e XIV Programa de Verão do IME-USP. PDF disponível no link:

<https://www.ime.usp.br/~jstern/miscellanea/MaterialDidatico/MetCompAplic.PDF>