

A) COVID-19: proposta de um modelo epidemiológico que incorpora estruturas sociais de contágio

B) Linha 1.2.7 Prevenção e controle

C) Instituições participantes e membros da equipe

Silvio Salej Higgins (Departamento de Sociologia – UFMG); Adrian Hinojosa Luna (Departamento de Estatística – UFMG); Sonia Elizabeth Regalado Bolaños (*Facultad de Ingenieria, Ciencias Físicas y Matemáticas – Universidad Central del Ecuador*); Pedro Almagro Blanco (*Facultad de Ingenieria, Ciencias Físicas y Matemáticas – Universidad Central del Ecuador*); Antonella Faustillos Gallardo (*Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Central del Ecuador*).

D) Perspectivas concretas de colaborações ou parcerias nacionais e internacionais para a execução do projeto

A presente proposta conta com a participação e colaboração ativa do *Grupo de Modelado de Sistemas Complexos Universidade Central del Ecuador- UCE*. Esta parceria é estratégica dado que o Equador tem sido um dos países mais golpeados na região pelo Covid-19. Concretamente, a cidade de Guayaquil onde contam-se por milhares os mortos segundo seus habitantes e autoridades locais. Acreditamos que é muito importante poder realizar um modelo epidemiológico que dê conta do comportamento de seus cidadãos, as relações entre os cidadãos são idiossincráticas e diferem incluso pela região dentro do Equador, por estrato, por sexo, etc.

E) Colaborações ou parcerias já estabelecidas para execução de atividades em rede

Está em andamento o trabalho colaborativo entre pesquisadores dos departamentos de Estatística e Sociologia da UFMG atuantes no campo da modelagem e tratamento de dados sociométricos ou de redes. Ao mesmo tempo, está em andamento uma parceria na modelagem de Redes com o Grupo de Modelagem Complexa da Faculdade Engenharia Ciências Físicas e Matemática da Universidade Central do Equador.

F) Justificativa da importância da proposta/Qualificação do problema/Relevância do projeto para o desenvolvimento científico, tecnológico ou de inovação

A pandemia desatada pelo SARS-Cov-2 tornou os modelos matemáticos, com os quais trabalha a epidemiologia, em tema de opinião pública e de senso comum. De por si, este é um caso de popularização científica que traz à tona os conflitos de crenças, ciência versus negacionismo, tão caros à sociologia do conhecimento. Porém, para além dos efeitos da popularização da disciplina epidemiológica, é imperioso entrar no debate sobre os pressupostos sob os quais são construídas as modelizações formais que servem de insumos para a tomada de decisões dos agentes de governo. Dito em forma simples: modelos matemáticos não são ferramentas neutras do ponto de vista teórico e político (Breilh, 2015; 2006).

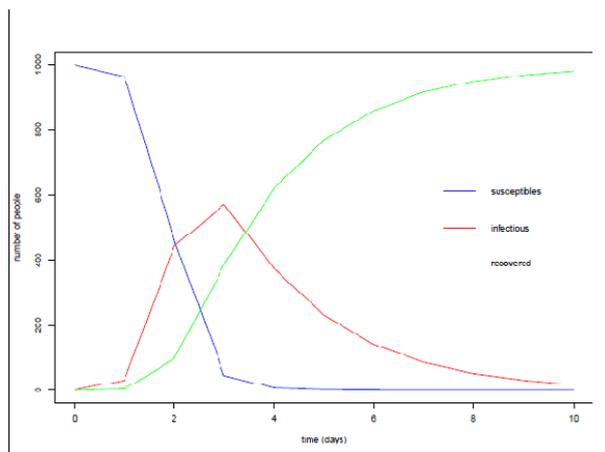
Insuficiência da epidemiologia *mainstream*

Modelos científicos são maquetas, representações em escala variável, de um certo fenômeno. Por citarmos um exemplo, podemos partir de um protótipo de avião, logo explicitar os desenhos de cálculo formal no qual está sustentado e finalmente podemos expor a teoria física que permite conjecturar seu voo (Black, 1962). A matematização é só a expressão formal de um modelo teórico que por sua vez é uma representação abstrata de como opera o mundo.

Os modelos matemáticos usados para a modelagem das epidemias são muito antigos, praticamente são contemporâneos dos primeiros modelos demográficos, no final do século XVII (Bacaër, 2011). Basicamente correspondem à evolução quantitativa da população submetida a infecção, classificando os indivíduos desta população, de acordo aos possíveis “estados”, em susceptíveis, infectados e recuperados (SIR). Quando na mídia aparecem modelos SIR incluindo uma curva de contágios que deve ser aplanada, só estamos falando da representação visual de um sistema de equações diferenciais que expressam uma teoria sobre o curso de um processo epidemiológico. O gráfico não explicita todo o modelo teórico para o qual é proposta a solução de cálculo diferencial.

Nesse modelo não existe a morte, simplesmente a mudança de condição dos indivíduos vivos, ao longo do tempo. Conforme o Gráfico 1, até o terceiro dia a taxa de câmbio ou velocidade de câmbio entre susceptíveis e infectados é conjuntamente proporcional.

Gráfico 1 - Modelo SIR – Representação gráfica das soluções compartimentais



Porém, as equações que subjazem às curvas são uma simplificação ou representação de uma população humana. Um epidemiologista não pode trasladar sem mais um fenômeno que observa numa população não humana para uma população humana. As dinâmicas de contágio, no caso de sistemas sociais, dependem da especificidade de fatores estruturais que organizam as interações. Não se pode obviar o fato de que as probabilidades de morrer ou sobreviver, numa pandemia entre humanos, não estão igualmente distribuídas. A estratificação social, as relações de poder, ancoradas em sistemas axiológicos, alocam de forma diferenciada ou desigual a vulnerabilidade biológica frente a um agente infeccioso.

Para além dos implícitos no nível da ontologia social, a modelização matemático formal, em epidemiologia, coloca outros problemas de ordem metodológico. A base informacional não é teoricamente neutra. A sociologia de redes chama a atenção para diferenças intrínsecas nos dados do mundo social. Não é igual trabalhar com atributos dos indivíduos, seja raça, renda, idade, sexo, morbidade, do que trabalhar com dados sobre interações sociais (Granovetter, 1973, 1983). Os primeiros podemos chamá-los de monádicos e os segundos de diádicos. Somente no nível da díade se registra uma relação social.

Inovação proposta: construir um modelo epidemiológico condicionado às estruturas sociais de contágio

O modelo epidemiológico mais simples, o SIR, é determinístico e pode ser caracterizado por um sistema de equações diferenciais que governa a evolução destas quantias, assim, no instante $t > 0$ o número de suscetíveis ($NS(t)$), Infectados ($NI(t)$) e Recuperados, ($NR(t)$) na população, estão governados por um sistema de equações diferenciais que tem entre outros parâmetros o β que é a taxa de contatos entre um suscetível e os infectados, a probabilidade de ser infectado é $NI(t)/N$, e a taxa de recuperação que é γ . Se N é o tamanho constante da população, então $NS(t) + NI(t) + NR(t) = N$. O número básico de reprodução R_0 , indica que tão contagiosa é a infecção. O valor indica o número de outras pessoas que uma pessoa infetada contagiará, no SIR este valor é $R_0 = \beta/\gamma$.

Já o modelo estatístico mais usado na prática, modelo estocástico SIR via microsimulações, corresponde a considerar uma dinâmica aleatória, fazendo que em cada instante tenhamos uma interação entre cada agente racional, que pode estar num dos estados, suscetível, infectado ou recuperado, estas interações entre os agentes define um processo estocástico. No instante inicial $NI(0) = 1$ e $NS(0) = N$, a evolução subsequente é governada por uma cadeia de Markov a tempo contínuo, isto é, por um processo estocástico que tem mudanças somente em certos tempos aleatórios, as mudanças estão governadas por um sistema de probabilidades de transição.

O problema do modelo assim descrito é que as interações sociais entre os agentes não existem, o que significa que um infectado pode contagiar a qualquer suscetível, o que não é realista. Uma maneira de melhorar o modelo é introduzir os efeitos das interações sociais por meio de um grafo G que descreva as relações entre os indivíduos, que seriam os vértices dos grafo. Para isso, considere o processo $X_i(t) = 0, 1, 2$, com i no conjunto de vértices do grafo, onde 0 (resp. 1,2) se o vértice i está suscetível (resp. infectado, recuperado). O processo $X_i(t)$ obedece a um sistema de transições que é uma modificação do sistema usado na microsimulação. O Modelo Exponencial Aleatório para Grafos (ERGM) é o modelo paramétrico mais usado nos estudos de redes sociais, sua importância radica em que permite introduzir observações das características estruturais dos grafos na distribuição de

probabilidade, isto é, a probabilidade de um grafo depende de características tais como o número de arestas, triângulos, estrelas, etc. que estão presentes no grafo.

Os modelos do tipo ERGM são modelos paramétricos, extremamente flexíveis para a modelagem de características diversas presentes nos relacionamentos e na formação das redes. Para descrever este modelo, considere um conjunto de características: η_1, \dots, η_k de um grafo, estas podem ser o número de arestas, triângulos, estrelas, etc. e suponha que associamos parâmetros: $\theta_1, \dots, \theta_k$ a cada uma delas. Então definimos a distribuição de probabilidades deste modelo como:

$P_{\Theta}(G) = \exp(\sum \theta_i \eta_i(G)) / Z(\Theta)$, $G \in \mathcal{G}_n$, onde $\Theta = (\theta_1, \dots, \theta_k)$ são os parâmetros e $Z(\Theta)$ é uma constante normalizadora.

Neste projeto, o modelo matemático da distribuição dos grafos que pretendemos usar para simular as redes sociais de contatos é um modelo paramétrico conhecido como grafo aleatório exponencial temporal e separável (no inglês STERGM). Este modelo é um modelo temporal dos modelos ERGM para uma dinâmica de grafos, ver Krivitsky(2014). Para o modelo de epidemia SIR o uso estatístico deste tipo de modelo de grafos está implementado no pacote Epimodel do R.

Uma implementação para a epidemia SARS-Cov-2, usando microsimulações e as bibliotecas do Epimodel, foi desenvolvida pelo Churches (2020), nela são adicionados os estados E (exposto), H (hospitalizado), Q (quarentena) e F (fatalidade). Outra opção que será explorada é o uso do pacote Netlogo para fazer as microsimulações da epidemia, esta implementação das microsimulações da epidemia que usaremos, pela sua eficiência e para comparações.

G) Objetivos (geral e específicos)

O objetivo geral consiste em produzir indicadores epidemiológicos que permitam associar características epidemiológicas a diversos fatores sociométricos, estando estes vinculados às interações sociais em diversos contextos de socialização.

Os objetivos específicos

- 1) Estruturar e propor modelos de distribuições paramétricas para grafos que sejam compatíveis com formas de interação em círculos sociais-chave para prever o curso da pandemia e assim escolher as melhores estratégias de desconfiamento. Quatro são os círculos sociais considerados relevantes: vizinhanças em favelas, centros comerciais e supermercados, instituições de ensino e equipamentos de transporte público.
- 2) Fazer análise estatística dos modelos propostos para círculos sociais-chave, nas estratégias graduais de desconfiamento, assim como especificar ou estimar os parâmetros epidemiológicos destes contextos de interação.
- 3) Realizar as simulações tanto para os círculos de interação como para a propagação da epidemia e representar graficamente de maneira apropriada os resultados, por exemplo curvas do número de infectados ao longo do tempo nestes contextos. Isto permitirá também assinalar os efeitos de diversos regimens de distanciamento social.
- 4) Construir indicadores apropriados, por exemplo o número básico de reprodução R_0 , para a indicação dos efeitos dos diversos cenários de distanciamento sobre os efeitos estimados em cada um dos círculos sociais considerados.
- 5) Montar interfaces simples e em linguagem aberta para os usuários destes modelos, assim como manuais explicativos.
- 7) Promover a interação de grupos de pesquisa epidemiológica no Equador e Brasil.

H) Metas e indicadores da proposta

- 1) Construir modelos de grafos apropriados para modelar os contatos em círculos sociais-chave para o progressivo desconfiamento: vizinhanças em favelas, espaços de comércio como supermercados e centros comerciais, instituições de ensino e pontos de aglomeração no transporte público, que queremos considerar em Brasil e em Equador. Os indicadores nesta etapa consistem em, pelo menos, três modelos epidemiológicos de microsimação

tipo SIER com diversos graus de confinamento e para quatro círculos sociais: vizinhanças em setores populares (favelas), pontos de comércio (supermercados, centros comerciais), instituições de ensino e equipamentos públicos para transporte massivo.

2) Desenhar o plano de amostragem das estatísticas sumárias a serem usadas e fazer o levantamento empírico delas. Realizar o ajuste dos modelos de grafos para os círculos sociais. Os indicadores aqui correspondem às etapas no levantamento empírico

3) Simular os modelos de grafos e epidemias. Os indicadores são o número de simulações (pelo menos 100 simulações em cada cenário)

4) Construir e medir os indicadores epidemiológicos: taxa de reprodução e tempo de duplicação

5) Construir uma interface amigável para o usuário em linguagem aberta.

6) Submeter para revistas indexadas ao menos dois (2) os artigos contendo a metodologia e os resultados observados.

I) Metodologia a ser empregada

Há vários âmbitos metodológicos:

1) Modelagem de redes sociais e de epidemias, no primeiro caso usaremos o modelo STERGM e no segundo uma extensão do SIR com comportamentos adicionais (E, Q, H, F) e a modelagem proposta no trabalho do Churches (2020) para o SARS-Cov-2.

2) Construção e levantamento de dados de contatos nos grupos específicos considerados. Estimação estatística paramétrica ou Bayesiana deste Modelos de redes e epidemias.

3) Microsimulação dos modelos epidemiológicos considerados, usaremos as bibliotecas de simulação do Netlogo e do conjunto de pacotes Epimodel em linguagem R.

4) Construção dos indicadores epidemiológicos nas simulações, para isso vamos a fazer uma revisão na literatura epidemiológica e societal do SARS-Cov-2 e propor os índices mais adequados para as simulações.

J) Etapas de execução da proposta com respectivo cronograma de atividades

	Avanço por semestres			
Fase I – Construção dos modelos epidemiológicos e dos modelos de grafos para círculos sociais				
Fase II - Construção do plano de amostragem e levantamento de dados sociométricos				
Fase III – Rodagem dos modelos, análise dos dados e construção de interfaces				
Fase IV – Socialização dos resultados e submissão de trabalhos científicos				

K) Resultados, contribuições científicas e/ou tecnológicas, produtos (métodos, técnicas, tecnologias, medicamentos) e soluções esperados do projeto de pesquisa, com previsão de cronograma de entrega anual, bem como possibilidade de aplicabilidade para o SUS e potencial impacto e relevância do projeto para o enfrentamento da COVID-19 e aprimoramento da atenção à saúde.

1) Modelos de redes sociais adaptados aos modelos epidemiológicos do SARS-Cov-2 (Produto do primeiro semestre)

2) Levantamento empírico de estatísticas de relacionamento para certos grupos sociais que são relevantes no concernente as medidas de distanciamento sociais dentro de cada círculo social considerado (Entrega do plano de amostragem e protocolo de coleta de dados, produto do segundo semestre).

3) Simulações de diversos cenários de interação social e de propagação da epidemia por microsimulação. Construção de índices epidemiológicos respetivos. (Entrega dos primeiros resultados de simulação e dos índices epidemiológicos, produto do terceiro semestre)

4) Programa de simulação e interface simples para peritos de vigilância sanitária, junto com manuais de uso (produto do terceiro semestre).

5) Artigos contendo os resultados (produto do quarto semestre).

L) Orçamento detalhado, incluindo previsão de recursos conforme estabelecido nos itens 5.2.1 e 5.2.2 da Chamada.

Custeio				
Itens de Despesa	Valor Total Estimado	Detalhamento		Justificativa
Diárias Internacionais	R\$17.280	Diárias em Equador (16)		Estão previstas duas missões de trabalho, uma por ano, de uma semana cada, com a equipe de parceiros da UCE de Quito, para acompanhar a coleta de dados.
Diárias Nacionais	R\$5.120	Diárias nacionais para participar dos quatro seminários de avaliação x 4 diárias		Esta despesa atende à exigência do edital de incluir quatro seminários de acompanhamento em Brasília.
Passagens internacionais	R\$ 7.200	Belo Horizonte – Quito Quito – Belo Horizonte (2)		Subsídio para as duas missões internacionais.
Passagens nacionais	R\$ 4.000	Belo Horizonte – Brasília Brasília – Belo Horizonte		Subsídio para participar dos seminários de monitoração em Brasília
Terceiros (Pessoa jurídica)	R\$ 80.000	Coleta de dados em duas capitais brasileiras e duas capitais do Equador		Serviço de empresa especializada em coleta de dados primários (<i>snow-ball e survey</i>)
Material de consumo: Máscaras de proteção buco-nasal N95	R\$9.000	200 máscaras descartáveis N95 marca 3M		Este é um material de segurança básica para poder acompanhar o levantamento de dados em espaços públicos previstos. O material é imperioso, ao menos, durante o primeiro ano e distribuído para os quatro membros permanentes da equipe no Brasil.
Total Custeio	R\$ 103.600			
Capital				
Equipamentos e Material permanente	R\$ 15.000	Notebooks com processadores de última geração (3)		Os notebooks servirão de ferramenta de trabalho para a equipe e os apoios técnicos.
Total Capital	R\$ 15.000			
Total - Custeio e Capital	R\$118.000			
Recursos Solicitados - Bolsa				
Bolsas				
Modalidade Desenvolvimento Tecnológico e Industrial	Duração 24	Quantidade de bolsas 2	Valor Unitário \$4.000	Serão vinculados dois apoios técnicos de tempo completo com os seguintes perfis: um na área da simulação estatística com expertise complementar em programação computacional e outro em sociologia de redes com expertise complementar em coleta de dados primários.
Total - Bolsa	\$96.000			
Total Projeto	R\$233.000			

M) Disponibilidade efetiva de infraestrutura e apoio técnico para o desenvolvimento do projeto

Tanto a UFMG como a UCE (Equador) dispõem da infraestrutura (laboratórios de informática, salas de seminários e recursos de teletrabalho) assim como do financiamento salarial básico da equipe de professores e pesquisadores vinculados (5 em total), o que pode ser contabilizado como contrapartida institucional.

Bibliografia

Bacaër, Nicolas (2011). *A Short History of Mathematical Population Dynamics*. Londres: Springer-Verlag.

Black, Max (1962). *Models and Metaphors*. Cornell University Press.

Breilh, Jaime (2015). Entrevista. *Revista Trabalho, Educação e Saúde*. Vol 13, N°2, p.533-540.

_____ (2006). *Epidemiologia crítica: ciência emancipadora e interculturalidade*. Rio de Janeiro: Fiocruz:2006.

Churches, Tim (2020). Tim churches health data science blog: Modeling the effects of public health interventions on covid-19 transmission using r - part 1, 2020. URL <https://timchurches.github.io/blog/posts/2020-03-10-modelling-the-effects-of-public-health-interventions-on-covid-19-transmission-part-1/>.

Granovetter, Mark (1973). "The Strength of Weak Ties". *American Journal of Sociology*, 78:1360-1380.

_____ (1983). The strength of weak ties: A network theory revisited. *Sociological Theory*, 1:201–233.

Kolaczyk, Eric (2009). *Statistical Analysis of Network Data: Methods and Models*. Springer Series in Statistics. Londres: Springer-Verlag.

Krivitsky, Mark Pavel N.; Handcock (2014). A separable model for dynamic networks. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 76:29–46.

Lusher, Dean; Koskinen, Johan; Robbins, Garry (Eds.), (2013). *Exponential Random Graphs Models: Theory, Methods and Applications*. Cambridge University Press.