

EXPLICAÇÃO DO MODELO GEOESPACIAL

As informações referentes à dinâmica de contágio entre municípios apresentadas do Portal GEOCOVID-19 são frutos de um modelo matemático epidemiológico que estima, para cada município, a dinâmica populacional na propagação do contágio. Para cada dia de previsão do modelo, utilizamos a rede de fluxo entre municípios para estimar a propagação dos casos entre os municípios. Os dados utilizados como condições iniciais do modelo (número de casos em cada município) são atuais e divulgados pelas secretarias de saúde (<https://covid19br.wcota.me/>). Os dados de fluxo entre municípios foram extraídos do censo Redes e Fluxos do Território publicado pelo IBGE* e referem-se a dados coletados em 2016. Os dados de fluxo do IBGE não apresentam fluxo para 148 das 5.565 cidades. Nestes casos incluímos uma aresta para a cidade mais próxima com fluxo proporcional ao máximo fluxo do seu vizinho.

É importante enfatizar que os resultados do modelo representam apenas uma simplificação das características gerais do fenômeno, não apresentando um caráter preditivo absoluto.

Os parâmetros do modelo foram obtidos a partir de ajustes das curvas de casos acumulados e total de óbitos fornecidos pelas secretarias de saúde e resumidas no site (<https://covid19br.wcota.me/>). As técnicas e critérios de ajustes foram obtidos em colaboração com a rede COVIDA (<http://covid19br.org/>)

OBJETIVO DO MODELO

O objetivo do modelo é demonstrar os efeitos do isolamento social na disseminação da Covid-19 no Brasil. Para tal, utilizaremos dois cenários: que representem a propagação da doença com e sem supressão de fluxo de pessoas.

DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS

Desenvolvemos dois cenários para o presente modelo:

- **CENÁRIO 1 - SEM SUPRESSÃO DE FLUXO**

Neste cenário, a população mantém a circulação normal dentro das cidades e entre as cidades. Espera-se que vários municípios simultaneamente apresentem um aumento acelerado do número de pessoas infectadas. Além disso, o elevado número de pessoas infectadas pode provocar um colapso no sistema público de saúde e consequentemente uma alta taxa de mortalidade.

- **CENÁRIO 2 - COM SUPRESSÃO DE FLUXO**

Neste segundo cenário, a população entra em isolamento social e há uma redução na circulação intermunicipal decorrentes das ações dos governos municipais e estaduais.

Espera-se haja uma redução no número de infectados e redução da quantidade de municípios afetados pela pandemia. Há uma grande redução no pico de casos, de forma que menos pessoas ficarão sem o atendimento médico em casos de necessidade. Desta forma podemos perceber que o isolamento social é de vital importância para mitigar o efeito do coronavírus sobre a população.

EXPLICAÇÃO DETALHADA DO MODELO

Trata-se de um modelo híbrido envolvendo a combinação das técnicas de equações diferenciais ordinárias (EDO) e de difusão em rede. Para cada passo de tempo o modelo resolve múltiplas EDOs para cada município, sendo que as condições iniciais e os parâmetros consistem dos resultados dos ajustes por mínimos quadrados das séries históricas de casos acumulados e óbitos fornecidas pelas secretarias de saúde dos estados. Em seguida a rede de fluxo é utilizada para distribuir as populações de suscetíveis, expostos, infectados e recuperados entre os pares de municípios e uma nova população é estimada para o próximo passo.

O modelo de EDO possui oito compartimentos: S=Suscetíveis, E=expostos, Ia=Infectados assintomáticos, Is=infectados sintomáticos, H=hospitalizados em leitos ambulatoriais, U=hospitalizados em leitos de UTI, R=recuperados e D=óbitos .

As equações que descrevem a dinâmica dos compartimento é:

$$\begin{aligned}
 \frac{dS}{dt} &= \frac{-\beta(t)S(I_{sym} + \delta I_{asym})}{N} \\
 \frac{dE}{dt} &= \frac{\beta(t)S(I_{sym} + \delta I_{asym})}{N} - \kappa E \\
 \frac{dI_{asym}}{dt} &= (1-p)\kappa E - \gamma_a I_{asym} \\
 \frac{dI_{sym}}{dt} &= p\kappa E - \gamma_s I_{sym} \\
 \frac{dH}{dt} &= h\xi \gamma_s I_{sym} + (1 - \mu_U + \omega_U \mu_U) \gamma_U U - \gamma_H H \\
 \frac{dU}{dt} &= h(1 - \xi) \gamma_s I_{sym} + \omega_H \gamma_H H - \gamma_U U \\
 \frac{dR}{dt} &= \gamma_a I_{asym} + (1-h) \gamma_s I_{sym} + (1 - \mu_H)(1 - \omega_H) \gamma_H H \\
 \frac{dD}{dt} &= (1 - \omega_H) \mu_H \gamma_H H + (1 - \omega_U) \mu_U \gamma_U U
 \end{aligned}$$

Onde:

β Taxa de transmissão dependente do tempo (utilizamos duas regiões de ajuste)

δ Fator de redução a infectividade dos assintomáticos.

$1/k$ Período médio de exposição

p Proporção de latentes (E) que prosseguem para infecção sintomática

$1/\gamma_a$ Período médio assintomático

$1/\gamma_s$ Período médio sintomático

h Proporção sintomática de necessidade de hospitalização ou UTI

ξ Proporção de sintomáticos que prosseguem para hospitalização

$(1-\xi)$ Proporção sintomática que procede à UTI

$1/\gamma_H$ Período médio hospitalar

$1/\gamma_U$ Período médio de UTI

μ_H Taxa de mortalidade de indivíduos hospitalizados

μ_U Taxa de mortalidade de indivíduos em UTI

ω Proporção de hospitalizados que vão para UTI

Os parâmetros são obtidos diariamente a partir dos ajustes com as curvas de casos acumulados e óbitos. Tanto o modelo quanto às técnicas de obtenção dos parâmetros foram obtidos em colaboração com pesquisadores da rede COVIDA (<http://covid19br.org/>) e estão sujeitos a mudanças devido às recentes alterações no fluxo intermunicipal e no índice de isolamento social nas cidades.

Os cenários são obtidos alterando os valores das taxas de contaminação β e do fluxo intermunicipal: Cenário I \rightarrow a taxa de contaminação é aumentada em 50% das atualmente ajustadas (condições similares às encontradas no início da pandemia, antes das medidas de mitigação) e o fluxo é mantido igual ao fluxo observado no censo de 2016; Cenário II \rightarrow a taxa é mantida igual a atualmente ajustada e o fluxo é reduzido em 50% do fluxo observado no censo de 2016, além disso acrescentamos uma redução de 90% do fluxo em cidades que foram decretadas em Lockdown (exemplo

decreto nº 19.652 do estado da Bahia). A redução de 50% do fluxo e o aumento de 50% na taxa foram estimados a partir dos resultados obtidos pelo índice de isolamento social fornecido pela InLoco (<https://www.inloco.com.br/pt/>). Podendo ser alterado em futuras simulações.

É muito importante salientarmos que os resultados apresentados são aproximações e os seguintes limites devem ser considerados:

- 1) Estamos utilizando os valores das taxas dinâmicas individuais apenas para os municípios com mais de 100 casos notificados e com mais de dez dias do início do primeiro caso notificado. Para os demais municípios utilizamos os valores ajustados dos estados em que eles pertencem. Esperamos a evolução da coleta de dados para que possamos estimar as taxas de cada município e assim aprimorar o modelo.
- 2) Os dados de fluxo são referentes ao censo de transporte urbanos do IBGE de 2016 em condições normais de fluxo. Devido a restrições impostas pela epidemia pode ter havido alterações nas condições de fluxo, contudo acreditamos que o mecanismo geral de atraso entre a capital e o interior se mantenha.

*INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Redes e fluxos do território: ligações rodoviárias e hidroviárias, 2016. Rio de Janeiro: 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/ligacoes_rodoviaras/ Acesso em: 27 out. 2017.

**Todos as taxas e valores utilizados nas projeções do modelo podem ser encontradas nos boletins diários no link a seguir: <https://sites.google.com/view/informe-geocovid-19/>