

FORÇA-TAREFA DE MODELAGEM DA COVID-19

Relatório

Monitoramento da Covid-19 e geração de alertas de aumento da taxa de transmissão.

25 de Abril de 2020

Integrantes da Força-Tarefa:

Alexandre Celestino Leite Almeida	DEFIM - CAP UFSJ
Armando Gil Magalhães Neves	Dep. de Matemática - UFMG
Claudia Regina Lindgren Alves	Dep. de Pediatria - UFMG
Denise Bulgarelli Duczmal	Dep. de Matemática - UFMG
Eduardo Luiz Gonçalves Rios-Neto	Dep. de Demografia - UFMG e IBGE
Felipe Carvalho Álvares da Silva	Doutor em Estatística - UFMG
Flávia Magalhães	Médica
Flávio Vinícius Diniz de Figueiredo	Dep. de Ciência da Computação - UFMG
Gustavo Andres Guerrero Eraso	Dep. de Física - UFMG
Iury Valente de Bessa	Doutorando em Eng. Elétrica - UFMG
Ivair Ramos Silva	Dep. de Estatística - UFOP
José Irineu Rangel Rigotti	Dep. de Demografia - UFMG
Luiz Alberto Queiroz Cordovil Júnior	Doutorando em Eng. Elétrica - UFMG
Luiz Henrique Duczmal	Dep. de Estatística - UFMG
Marcelo Martins de Oliveira	DEFIM - CAP UFSJ
Márcia Luciana da Costa Peixoto	Doutoranda em Eng. Elétrica - UFMG
Márcio Feliciano Braga	Dep. de Eng. Elétrica - UFOP
Marcos Flavio Silveira Vasconcelos D'Angelo	UNIMONTES
Martin Gomez Ravetti	Dep. de Ciência da Computação - UFMG
Max Souza de Lima	Dep. de Estatística - UFAM
Murilo Cesar Osorio Camargos Filho	Doutorando em Eng. Elétrica - UFMG
Pedro Callado Versiani de Souza Ferreira	Matemático Computacional - UFMG
Pedro Henrique Silva Coutinho	Doutorando em Eng. Elétrica - UFMG
Reinaldo Martinez Palhares	Dep. de Eng. Eletrônica - UFMG
Renato Moreira Hadad	Dep. de Geografia - PUC-MG
Ricardo Hiroshi Caldeira Takahashi	Dep. de Matemática - UFMG
Roberto Colombari	Engenheiro
Ronald Dickman	Dep. de Física - UFMG
Silvio Costa Ferreira	Dep. de Física - UFV
Tiago Alves Schieber de Jesus	Dep. de Ciências Administrativas - UFMG
Wagner Meira Jr.	Dep. de Ciência da Computação - UFMG

Resumo

Este relatório discute os seguintes pontos:

- A informação divulgada diariamente sobre o número de novos casos confirmados da Covid-19 em Belo Horizonte e em Minas Gerais não é adequada para permitir a avaliação do número de pessoas infectadas pela doença. O problema é apenas em parte devido à pequena quantidade de testes realizados, pois a ausência de informação sobre o número de testes realizados impossibilita a realização de uma estimativa confiável do número de infectados. Além disso, mesmo que houvesse essa informação, seria também importante minimamente organizar um planejamento da amostragem a ser realizada nos testes. Somente assim seria possível acompanhar a evolução da epidemia.
- Para que fosse possível inferir, com margens de erro aceitáveis, o número de novas infecções a cada dia, não seria necessária a realização de um grande número de testes. Uma amostragem organizada de forma a aleatorizar os indivíduos a serem testados, procurando garantir a representatividade da amostra, poderia ser feita com a testagem de menos de 20% do total de indivíduos que procurarem o sistema de saúde apresentando sintomas compatíveis com a Covid-19. Devido à estatística do processo de amostragem, o percentual de indivíduos a serem testados periodicamente poderia ser ainda menor, num cenário em que o número de casos suspeitos venha a crescer substancialmente. Informações obtidas dessa maneira seriam suficientes para alimentar modelos capazes de gerar projeções da evolução da doença para o curto e médio prazos, assim permitindo a avaliação de cenários e a formulação de estratégias para a gestão da crise.
- A execução de medidas de flexibilização do isolamento social deveria ser acompanhada de um rigoroso monitoramento da evolução do número de casos da doença. Este relatório mostra que: (i) O acompanhamento baseado apenas na contagem do número de leitos ocupados em hospitais não é estatisticamente robusto, uma vez que haverá um atraso de vários dias entre o crescimento do número de casos e o consequente crescimento da demanda por leitos hospitalares. Dependendo da mudança que ocorrer na taxa de transmissão da doença em decorrência de tal flexibilização, o número de pessoas infectadas poderá aumentar uma ordem de grandeza (ou seja, ser multiplicado por 10 ou mais) antes que se note o aumento da demanda por leitos. (ii) O acompanhamento do número de casos utilizando o esquema de amostragem

sugerido pode produzir a informação sobre a aceleração do aumento do número de casos de maneira mais precoce, evitando tal piora no panorama da saturação do sistema de saúde. Mesmo assim, um aumento expressivo do número de casos e subsequentes internações ainda pode ocorrer, de forma a pressionar o sistema de saúde.

1 Finalidades da testagem

Tem havido, na cena pública, um debate intenso a respeito da questão da aplicação de *testes* para detecção da presença do vírus na população, como parte das medidas necessárias para o combate à epidemia da Covid-19. A testagem pode certamente exercer papel relevante no combate à epidemia, desde que devidamente articulada a ações que façam uso da informação adquirida dessa forma. Assim, é preciso adequar os procedimentos de testagem a serem adotados a cada possível finalidade.

Em princípio, a aplicação de testes pode ser realizada de acordo com metodologias diferentes, visando atender diferentes finalidades:

1. *Tratamento de pacientes internados*: A testagem de pacientes internados com sintomas compatíveis com a Covid-19 permite modular o tratamento, com a adoção de condutas específicas para o tratamento dessa doença em caso de resultado positivo no teste.
2. *Monitoramento de profissionais da saúde*: A testagem de profissionais da saúde, quer apresentem sintomas compatíveis com a Covid-19 ou não, é um procedimento que faz sentido em decorrência da elevada exposição desse grupo à contaminação. Essa testagem permite a realização do afastamento temporário de suas atividades do profissional cujo teste indicar contaminação, assim evitando a contaminação seja de pacientes não-contaminados, seja de colegas de trabalho, seja de familiares.
3. *Monitoramento de profissionais de atividades essenciais*: Profissionais que trabalham em atividades essenciais que exigem contato com o público, tais como caixas de supermercados ou motoristas de ônibus, ficam mais expostos à contaminação que as pessoas que podem ficar em quarentena. Além disso, caso venham a contrair a infecção, também têm maior potencial para propagar a epidemia para um grande número de outras pessoas. A testagem direcionada a esses profissionais pode exercer um importante papel no combate à epidemia, permitindo o afastamento temporário do trabalho e isolamento dessas pessoas, até sua recuperação.
4. *Rastreamento de casos*: A estratégia de identificação de casos na população através da busca ativa dos indivíduos que tiveram contato com os novos casos confirmados vem sendo relatada por alguns países que têm alcançado relativo sucesso no combate à epidemia. Tal estratégia requer, além da disponibilidade de um número expressivo de testes para serem aplicados, também um sistema eficaz de rastreamento dos contatos dos indivíduos. Essa estratégia pode certamente ser aplicada em menor escala, com a testagem apenas dos contatos mais óbvios dos

casos confirmados, tais como as pessoas com que estes compartilham residência ou espaços no local de trabalho.

5. *Monitoramento da epidemia na população*: É possível, com o adequado planejamento da amostragem, utilizar o resultado de testes para acompanhar a evolução da epidemia na população. Tal monitoramento pode ter importância central para permitir a geração, com pequeno atraso de tempo, de estimativas do número de pessoas infectadas circulando na população, bem como para possibilitar a interpretação do significado de eventuais alterações que ocorrerem no padrão de evolução da série de número de casos. **Este relatório aborda, em especial, a necessidade da testagem para esta finalidade.**

Deve ficar claro que não só o processo de coleta de exames é completamente diferente nos cinco esquemas acima como, mais importante, a informação gerada é também completamente diferente.

No caso dos dois primeiros esquemas, o benefício advindo da testagem é imediatamente evidente e o número de testes que devem ser aplicados é relativamente moderado, no sentido de que espera-se um número relativamente elevado de resultados positivos em relação aos testes aplicados.

No terceiro esquema, é esperado que o processo de testagem produza um efeito importante na redução da taxa média de propagação da epidemia na população, desde que seja implementado um procedimento adequado de isolamento dos casos positivos até que ocorra a cura.

O quarto esquema poderia, em princípio permitir a rápida identificação de novos casos da Covid-19, permitindo seu rápido isolamento, assim freando a propagação da doença. Entretanto, tal esquema iria requerer, para sua efetivação, uma mobilização de expressivos recursos para o acompanhamento dos contatos dos casos confirmados, além de pressupor que basicamente todos os indivíduos que forem rastreados como sendo tais contatos sejam testados. De todos os esquemas, é o que requer a maior disponibilidade de recursos tanto materiais quanto humanos. Há evidências de que esse tipo de esquema tenha eficácia na redução da taxa de transmissão da doença, extraídas da experiência de alguns países asiáticos. Entretanto, há dúvidas quanto à possibilidade de aplicação extensiva dessa estratégia no contexto brasileiro.

Por fim, o quinto esquema não se traduz, de maneira imediata, em ações de combate direto à Covid-19. Os dados coletados nesse esquema resultam, antes de tudo, em elementos que visam possibilitar o acompanhamento da evolução da epidemia na população, permitindo a produção de estimativas do número de indivíduos infectados que, indiretamente, alimentam modelos capazes de realizar projeções de curto e médio prazo da evolução do número de casos. Sem esse tipo de informação, mesmo em um cenário no qual houvesse uma grande quantidade de dados obtidos para outras finalidades, não seria possível acompanhar a evolução da epidemia: toda a política de combate à epidemia estaria sendo feita “às cegas”.

Este relatório visa discutir os seguintes pontos:

- Mostrar que a realização de um processo de testagem visando ao monitoramento da evolução da epidemia pode ser feito com a mobilização de relativamente poucos recursos, prejudicando pouco ou nada a realização de testes para as demais finalidades;
- Mostrar que a existência de um sistema de monitoramento da epidemia capaz de captar, com atraso de poucos dias, eventuais mudanças ocorridas no padrão de crescimento do número de casos é fundamental para informar a formulação das políticas de combate à pandemia.

2 Avaliação do significado das séries de números de casos

Tem havido a divulgação diária do número de novos casos suspeitos, confirmados e descartados da Covid-19 em cada município de Minas Gerais. As séries do número de casos confirmados, do número de casos suspeitos e do número de casos descartados na cidade de Belo Horizonte, que concentra o maior número de casos no estado, são mostradas na figura 1.

As informações a respeito do número de testes realizados não são apresentadas de maneira clara nas estatísticas; não se sabe se o número de testes realizados por dia corresponde à soma do número de casos confirmados mais casos descartados, ou se houve algum tipo de subregistro do número de testes com resultado negativo. Fica aparente, da observação da figura 1, que o número de testes aplicados durante os primeiros dias em que foram verificados testes positivos na cidade oscilou por volta de 200 a 400 testes aplicados diariamente, pelo menos (ou seja, foram aplicados pelo menos a soma dos testes com resultado positivo e dos testes com resultado negativo). Após 12 dias desde a constatação do primeiro caso de teste positivo, o número de testes com resultado negativo decresce subitamente, se mantendo entre zero e 25 testes negativos por dia durante dezesseis dias. Não se sabe se esse decréscimo decorre de um não-registro dos resultados de testes quando estes ficavam negativos ou da simples redução drástica do número de testes realizados por dia.

Essa dificuldade na descrição dos dados se traduz em uma expressiva incerteza na geração de uma estimativa do número de casos da Covid-19 em Belo Horizonte, que pode causar a impressão de que o número de casos esteja relativamente controlado durante algum tempo, mesmo que a epidemia esteja evoluindo para atingir grandes proporções. Deve-se notar que, a partir do momento em que o número de casos suspeitos fica maior que o número de testes realizados, o número de casos confirmados nos testes deixa de ser interpretável como sendo uma estimativa do total de casos ocorridos no município. Na medida em que nem todos os casos suspeitos são testados,

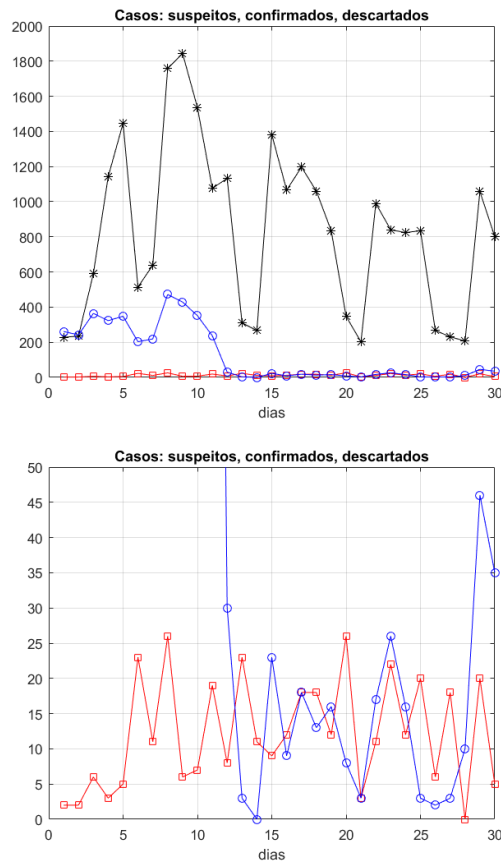


Figura 1: Séries do número de casos confirmados (vermelho), do número de casos suspeitos (preto) e do número de casos descartados (azul) no município de Belo Horizonte. Na figura de baixo, é mostrada a mesma figura em escala menor para permitir a visualização de detalhes das séries de casos confirmados e de casos descartados.

o conjunto de testes realizados passa a ser considerado uma *amostragem* da situação da epidemia na população. Nesse caso, a estimativa do número de pessoas infectadas a cada dia passa a ser dada pela expressão:

$$\hat{I} = \frac{P}{A} \cdot S$$

na qual \hat{I} significa a estimativa do número de pessoas infectadas dentro do conjunto de casos suspeitos, P significa o número de testes realizados com resultado positivo, A significa o tamanho da amostra (ou seja, o número de pessoas testadas) e S significa o número de casos suspeitos (ou seja, o número de pessoas com sintomas compatíveis com a Covid-19 que procuraram o sistema de saúde). Essa expressão pode ser interpretada simplesmente como: olhamos a proporção de casos positivos no conjunto de pessoas que foram testadas, e então notamos que o melhor palpite para o que seria o número

de casos de infectados na população será o de que a mesma proporção de positivos seja verificada em todo o conjunto de casos suspeitos.

Ou seja, se conhecemos o número P de casos confirmados por testes, o número A de pessoas que foram testadas e o número S de casos suspeitos (por questão de custo, nem todos os suspeitos seriam testados), então a melhor estimativa para o número de infectados no conjunto de casos suspeitos será igual a \hat{I} .

A grande dificuldade para se estimar como evolui o número de casos de infecção no município de Belo Horizonte decorre do virtual desconhecimento que se tem do número A de testes realizados por dia, conforme discutido acima. Para ilustrar o tamanho da incerteza envolvida nessa estimativa, a figura 2 mostra o que seriam as séries de números acumulados de pessoas infectadas obtidas a partir de diferentes hipóteses sobre qual seria o número A de testes realizados.

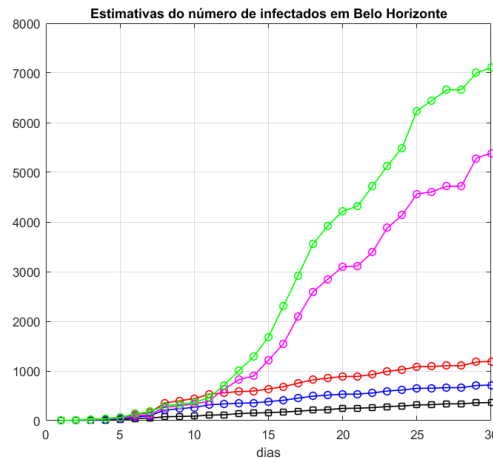


Figura 2: Séries do número acumulado de pessoas infectadas, diante de diferentes alternativas para o número de testes realizados, entre o dia 16/03 e o dia 14/04.

A figura 2 mostra, em preto, a evolução do número acumulado de casos confirmados da doença no município de Belo Horizonte, no período de 16 de Março a 14 de Abril. Caso todos os casos suspeitos tivessem sido testados e o resultado da testagem indicasse esses números, essa série teria correspondência com o número de casos de infecção ocorridos no município que tivessem causado sintomas fortes o suficiente para que o indivíduo procurasse o sistema de saúde. Fica claro, no entanto, que nem todos os casos suspeitos foram testados, o que significa que o número de casos confirmados resultante dos testes deve ser considerado como resultante de uma amostragem do universo de casos suspeitos.

Não se sabe qual foi o número de casos que foram sujeitos à testagem que resultou no número observado de casos confirmados. Em azul, encontra-se a

série que seria resultante de uma amostragem de 500 casos por dia. Note-se que houve pelo menos um dia, o dia 23/03, em que foram feitos pelo menos 498 testes. Nesse cenário, o número estimado de pessoas infectadas até o dia 14/04 seria aproximadamente o dobro do número de casos confirmados.

Em vermelho, é mostrada a série que resultaria de uma amostragem de 300 casos por dia. Note-se que esse número também seria plausível, uma vez que a contagem de 498 testes feitos no dia 23/03 poderia ser resultante de operações laboratoriais realizadas ao longo de três dias. Nesse cenário, o número acumulado de pessoas infectadas seria aproximadamente três vezes o número de casos confirmados em 14/04.

Em magenta é mostrado um cenário no qual o número de testes realizados por dia fosse de 400 até o dia 26/03, e de 40 testes por dia a partir de então. Observando a figura 1, nota-se que esses seriam números plausíveis diante das séries de casos confirmados + descartados. Nesse cenário, o número acumulado de pessoas infectadas em 14/04 seria maior que 5000 pessoas, da ordem de 15 vezes o número de casos confirmados.

Por fim, em verde é mostrado um cenário no qual o número de casos testados fosse igual simplesmente ao número de casos confirmados mais o número de casos descartados, a cada dia. Se o número de casos descartados estivesse sendo reportado adequadamente, esta seria a estimativa correta do número de pessoas infectadas. Nesse caso, o número estimado de pessoas infectadas até a data de 14/04 seria de quase 7000, representando quase vinte vezes o número de casos confirmados.

A análise apresentada nesta seção não visa indicar um número como sendo “o mais provável” para representar o número de pessoas infectadas pela Covid-19 em Belo Horizonte. Ao contrário, visa mostrar que, diante do atual cenário de disponibilidade de dados, torna-se muito difícil fazer estimativas até mesmo da ordem de grandeza do número de pessoas infectadas.

3 Amostragem controlada

Tem havido um debate público sobre a necessidade de se testar “o máximo número possível” de pessoas na população para que se tenha estimativas confiáveis da dimensão assumida pela epidemia no país. A rigor, essa questão tem sido mal colocada. Fazendo um paralelo com um tipo de amostragem com o qual a opinião pública se encontra familiarizada: não é necessário entrevistar todos os eleitores para se fazer uma pesquisa eleitoral de intenção de voto que tenha margem de 3% de erro. Na verdade, basta entrevistar um número relativamente pequeno de eleitores (da ordem de algumas centenas em uma grande cidade) para se obter estimativas com tal acurácia. Conforme discutido na seção 1, a testagem de indivíduos para detecção da Covid-19 pode ser importante por diversos motivos diferentes e, para algumas dessas finalidades, quanto mais indivíduos forem testados melhor será o efeito ob-

tido. Esse não é o caso da testagem para a finalidade de monitoramento da evolução da epidemia: a partir de um certo número de testes feitos, o ganho marginal obtido com testes adicionais será pequeno.

Para exemplificar esse ponto, a figura 3 mostra o resultado de uma simulação do que poderia ser o número de casos da Covid-19 ao longo de 50 dias. Deve-se notar que esta não se trata de uma simulação que pretenda constituir algum tipo de previsão da evolução da doença; esses dados foram gerados apenas para ilustrar a questão da amostragem em um cenário plausível.

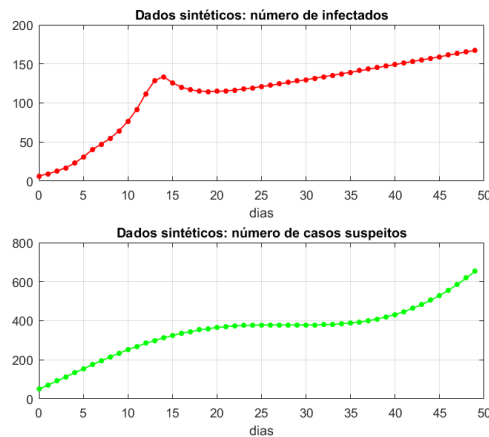


Figura 3: Dados sintéticos, gerados por simulação, de um cenário plausível da evolução do número de casos ao longo de 50 dias. Em cima: número de infectados. Embaixo: número de casos suspeitos.

De maneira hipotética, supõe-se um cenário no qual 20% dos casos suspeitos sejam amostrados. Uma realização dessa amostragem é mostrada na figura 4, que mostra a série de número de casos positivos verificados na amostragem.

A figura 5 mostra a sobreposição das séries das estimativas do número de infectados do número real de infectados e do número de casos suspeitos, mostrando ainda a faixa de confiança de 90% do valor das estimativas, para um esquema de amostragem de 20% do total de casos suspeitos. Nota-se que o número de infectados é corretamente estimado, sendo que menos de 10% das amostras caem fora (ainda que por pouco) dessa faixa.

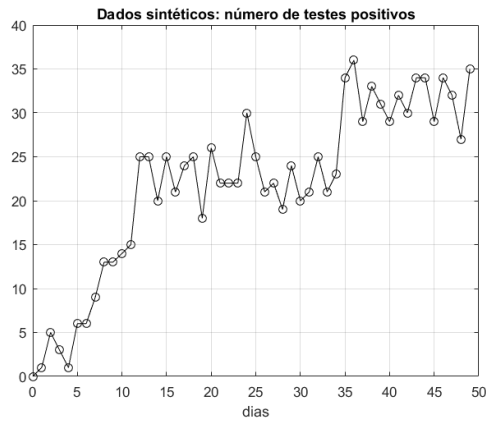


Figura 4: Dados sintéticos: número de casos testados positivos em uma amostragem de 20% dos casos suspeitos.

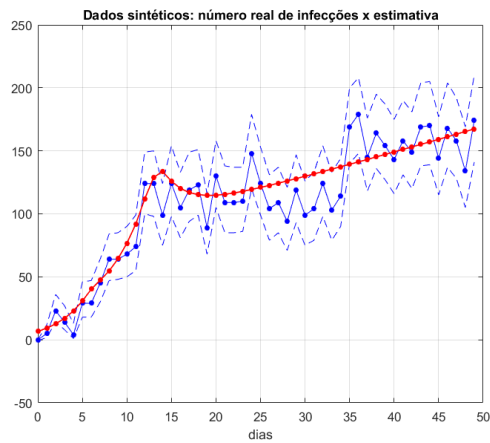


Figura 5: Dados sintéticos: número real de infectados e número estimado de infectados, para uma amostragem de 20% dos casos suspeitos. Também são mostrados os limites da faixa de 95% de confiança das estimativas.

A figura 6 mostra um cenário no qual a taxa de transmissão da epidemia muda por volta do dia 40, com o aumento súbito dessa taxa. Nessa figura, é mostrada a sobreposição das séries das estimativas do número de infectados, do número real de infectados e do número de casos suspeitos, mostrando ainda a faixa de confiança de 95% do valor das estimativas, considerando um esquema de amostragem de 15% dos casos suspeitos. Nota-se que o esquema de monitoramento utilizando os dados estimados por meio de amostragem é capaz de detectar com razoável precisão um evento de aumento súbito da taxa de transmissão da epidemia.

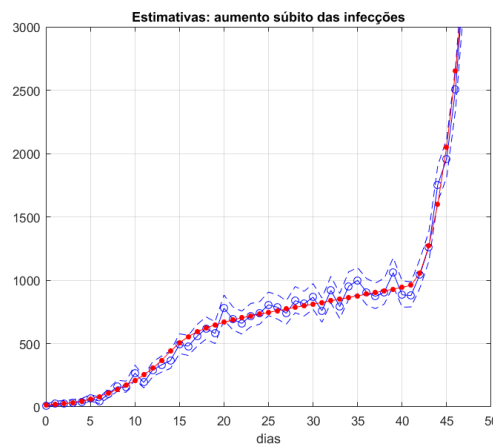


Figura 6: Dados sintéticos: número real de infectados e número estimado de infectados, para uma amostragem de 15% dos casos suspeitos. Neste cenário, ocorre um aumento súbito da taxa de transmissão da epidemia por volta do dia 40. Também são mostrados os limites da faixa de 95% de confiança das estimativas.

4 Detecção de mudanças monitorando número de casos e monitorando hospitalizações

Neste momento, várias cidades no país se preparam para flexibilizar as medidas de redução dos contatos sociais que foram adotadas para conter a velocidade de propagação da epidemia da Covid-19. Tal flexibilização naturalmente irá causar um aumento do número diário de casos da doença. A expectativa dos gestores municipais é de que esse aumento seja moderado, não vindo a causar uma sobrecarga do sistema de saúde. No entanto, não há maneira de se saber, *a priori*, qual será o impacto de uma forma específica de flexibilização sobre a taxa de transmissão da epidemia; a única forma de se obter tal informação é pela observação empírica do que ocorrer após o seu início.

A figura 7 mostra três cenários simulados de evolução da epidemia, em

uma situação hipotética na qual as medidas de isolamento social permanecem em vigor até o dia 39, sendo flexibilizadas no dia 40. Até o dia 39, nessa simulação, a taxa de transmissão da doença permanece abaixo de 20% de seu valor básico (valor que seria verificado na ausência de qualquer medida de isolamento). A partir do dia 40, são simuladas três situações, nas quais a taxa de transmissão passa a ser: (i) 25% do valor básico, (ii) 35% do valor básico, e (iii) 50% do valor básico. Esses três cenários ilustram as possibilidades correspondentes a um incremento moderado na taxa de transmissão, um incremento elevado na taxa de transmissão e um incremento muito elevado na taxa de transmissão.

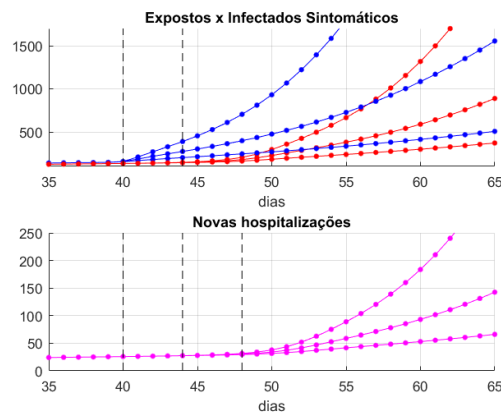


Figura 7: Três cenários de flexibilização do isolamento social. Alto: número de novas contaminações (azul) e número de novos pacientes sintomáticos (vermelho). Baixo: número de novas internações hospitalares (magenta).

Nas simulações, a flexibilização do isolamento é feita a partir do dia 40. No dia seguinte já começam a ocorrer mais casos diários de infecções, como mostrado nas curvas em azul. Essas infecções, entretanto, permanecem invisíveis enquanto perdurar o período de incubação da doença. Apenas no dia 44 começa a se verificar o aumento do número de novos casos de pessoas infectadas decorrente da flexibilização, conforme mostrado nas curvas em vermelho. Como existe um intervalo entre o aparecimento de sintomas e o agravamento destes para um quadro que exige internação, apenas a partir do dia 48 os efeitos da flexibilização começam a ser notados no número de novas internações hospitalares.

Dado que é impossível saber de antemão qual será o comportamento da epidemia a partir do momento em que é implementada uma flexibilização do isolamento social, os gestores têm afirmado que será feito o acompanhamento da situação. A expectativa é a de que, em caso de aumento inesperado na taxa de transmissão da doença, com um crescimento exagerado do número de novos casos, seja possível reverter a flexibilização a tempo de evitar o colapso do sistema de saúde. Isso significa que algum esquema de monitora-

mento deverá ser colocado em funcionamento para acompanhar a evolução da epidemia, como forma de subsidiar a tomada de decisão dos gestores.

A figura 8 apresenta alguns elementos para a discussão dessa questão do monitoramento da evolução da epidemia no momento em que ocorre uma mudança súbita da taxa de transmissão da doença. É feita uma simulação correspondente à situação (iii) acima, na qual a taxa de transmissão da doença passa a ser de 50% de seu valor básico depois que é feita a flexibilização do isolamento. Nessa situação, a taxa de transmissão teria crescido excessivamente após a flexibilização do isolamento.

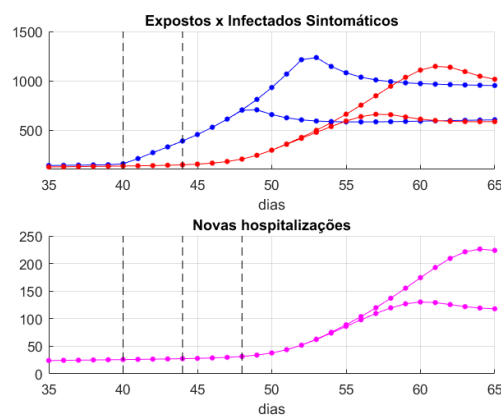


Figura 8: Simulação de dois cenários de recuo na flexibilização do isolamento social. Em um caso, o recuo é feito observando o crescimento do número de casos, que permite o recuo a partir do dia 48. No outro caso, o recuo é feito observando apenas o crescimento da ocupação de leitos hospitalares, que irá disparar o recuo a partir do dia 52. Alto: número diário de novas pessoas infectadas ainda sem manifestação de sintomas (azul) e número diário de novas pessoas infectadas desenvolvendo sintomas (vermelho). Baixo: número diário de novas hospitalizações (magenta).

Nessa simulação mostrada na figura 8, supõem-se dois cenários. No primeiro cenário, o número diário de novos casos da doença estaria sendo monitorado. Desta forma, no dia 44, o número de novos casos detectados por dia começa a crescer. Por volta do dia 48, passa a ser possível constatar que o crescimento do número de novos casos por dia está excessivo, sendo então feita a reversão da flexibilização nesse mesmo dia, para o esquema vigente até o dia 40. Nesse cenário, o número de novos casos constatados no dia 65 encontra-se por volta de cinco vezes o número observado no dia 40. O número de novas internações hospitalares também teria crescido cinco vezes no mesmo período.

No segundo cenário, não existiria o monitoramento do número diário de novos casos; apenas o número de leitos hospitalares ocupados estaria sendo medido diariamente. Conforme já discutido, o número de leitos ocupados começaria a mostrar algum aumento por volta do dia 48, e apenas por volta

do dia 52 seria possível constatar que esse crescimento estaria ocorrendo a uma taxa exagerada. No dia 52 então seria feita a reversão da flexibilização, com o retorno ao esquema de isolamento vigente até o dia 40. Nesse cenário, o número de novos casos no dia 65 se encontraria em um patamar cerca de dez vezes maior que aquele verificado no dia 40. Da mesma forma, o número diário de novas hospitalizações teria crescido cerca de dez vezes.

Claramente, em ambos os cenários teria havido significativo risco de sobrecarga do sistema de saúde. No entanto, tal risco é significativamente menor no caso de estar disponível o monitoramento do número de casos da Covid-19, em comparação com a situação em que tal monitoramento não é feito.

Sabe-se, conforme discutido na seção 2 deste relatório, que no presente momento não existe a possibilidade de inferir o número diário de novos casos, o que impede o monitoramento dessa variável. A medição dos resultados de eventuais mudanças nas medidas de flexibilização do isolamento social só poderá ser feita, no atual contexto, pela observação do número de leitos hospitalares ocupados. É importante alertar para o expressivo risco envolvido em tal flexibilização no presente contexto, uma vez que tal medição não é capaz de detectar, de maneira tempestiva, eventuais situações de crescimento súbito do número de pessoas infectadas.

Apêndice

Distribuição do período de incubação:

dias	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
percentual	15	23.5	22.5	15	8.7	6.3	3.3	2.1	1.5	1.2	0.9

Não parece haver um estudo a respeito da distribuição do período de incubação da Covid-19. Este relatório faz uso de indicações de mediana e de percentil 97,5 para propor a distribuição acima, de acordo com as referências [Guan, 2020, Li, 2020, Lauer, 2020, CDC, 2020].

Distribuição do tempo entre o início dos sintomas e a internação:

dias	4	5	6	7	8
percentual	10	30	30	20	10

Também não parece haver um estudo a respeito da distribuição do tempo entre o aparecimento dos sintomas e a hospitalização dos pacientes da Covid-19. Este relatório faz uso de indicações de faixa de valores plausíveis para a mediana do tempo até o aparecimento do sintoma de *dispnéia* para propor a distribuição acima, de acordo com as referências [Huang, 2020, Wang, 2020, Yang, 2020, Zhou, 2020].

Simulações:

O modelo utilizado neste relatório para realizar as simulações de cenários de evolução da epidemia é o mesmo já descrito no relatório [FT2, 2020].

Cálculo da faixa de confiança das estimativas:

O valor mediano do número de infectados é estimado pela expressão:

$$\hat{I} = \frac{P}{A} \cdot S$$

na qual P representa o número de casos positivos na amostra, A representa o tamanho da amostra e S representa o número de casos suspeitos. Para o cálculo do intervalo de confiança de \hat{I} foi implementada uma rotina computacional que simula a amostragem sem reposição de A amostras em um conjunto de S elementos. O valor I_{05} é variado, em incrementos de 1, desde

\hat{I} até o valor no qual este seja maior que o número de amostras positivas em 5% das amostragens em um total de 1000 tentativas. O valor I_{95} é variado, em decrementos de -1, desde \hat{I} até o valor no qual este seja menor que o número de amostras positivas em 95% das amostragens em um total de 1000 tentativas. O código em Matlab que executa a inferência do número de infectados dentro desse intervalo de confiança é mostrado abaixo:

```
function KK = inferek(X,N,M)
%
% KK = INFEREK(X,N,M)
%
% X -> número de infectados amostrados
% M -> número total de casos (suspeitos + confirmados + descartados)
% N -> número de amostras coletadas
% KK = [K05,K,K95] -> quantis 0.05, 0.50 e 0.95 dos infectados

K = floor(M*X/N);
A = 1000;
K05 = K;
Xe05 = 0;
while Xe05 < X
    K05 = K05 + 1;
    Xe = zeros(1,A);
    for i=1:A
        V = randperm(M,N);
        Xe(i) = sum(V<=K05);
    end
    Xe = sort(Xe);
    Xe05 = Xe(floor(A*0.05));
end
K95 = K;
Xe95 = M;
while Xe95 > X
    K95 = K95 - 1;
    Xe = zeros(1,A);
    for i=1:A
        V = randperm(M,N);
        Xe(i) = sum(V<=K95);
    end
    Xe = sort(Xe);
    Xe95 = Xe(floor(A*0.95));
end
KK = [ K05 K K95 ];
```

Deve-se notar que esse esquema pode ser facilmente adaptado para levar em consideração a taxa de falsos positivos e de falsos negativos na testagem.

Referências

- [FT2, 2020] (2020). Análise do efeito das medidas de contenção à propagação da COVID-19 em Belo Horizonte (23/03 a 29/03). Technical report, Universidade Federal de Minas Gerais. Força-Tarefa de Modelagem da COVID-19.
- [CDC, 2020] (2020). Interim clinical guidance for management of patients with confirmed coronavirus disease (COVID-19). Technical report, Centers for Disease Control and Prevention (CDC).
- [Guan, 2020] Guan, W. (2020). Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China. *New England Journal of Medicine*.
- [Huang, 2020] Huang, C. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*.
- [Lauer, 2020] Lauer, S. A. (2020). The incubation period of coronavirus disease 2019 (COVID-19) from publicly reported confirmed cases: Estimation and application. *Annals of Internal Medicine*.
- [Li, 2020] Li, Q. (2020). Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. *New England Journal of Medicine*.
- [Wang, 2020] Wang, D. (2020). Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China. *Journal of the American Medical Association*.
- [Yang, 2020] Yang, X. (2020). Clinical course and outcomes of critically ill patients with SARS-CoV-2 pneumonia in Wuhan, China: a single-centered, retrospective, observational study. *The Lancet Respiratory Medicine*.
- [Zhou, 2020] Zhou, F. (2020). Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *Lancet*.