2º relatório - 23 março 2020 (*atualizado em 25 de março de 2020*).

Estimativa de risco de espalhamento da COVID-19 no Brasil e avaliação da vulnerabilidade socioeconômica nas microrregiões brasileiras

Núcleo de Métodos Analíticos para Vigilância em Saúde Pública do PROCC/Fiocruz e EMAp/FGV[1], e colaboradores

Resumo

Esse relatório atualiza a análise do risco de disseminação da COVID-19 para as microrregiões brasileiras decorrente da presença de transmissão sustentada nos dois maiores centros urbanos, Rio de Janeiro e São Paulo. Faz também a identificação de microrregiões com alta vulnerabilidade social, e maior contingente de população idosa. A combinação de um alto risco de introdução com alta vulnerabilidade constitui em situação de alerta máximo.

Esses cenários foram construídos assumindo ausência de distanciamento social e restrição de viagem que entraram em vigor. Muitos municípios e unidades da federação acertadamente já iniciaram implementação de medidas de isolamento. Tais medidas contribuem para diminuir o risco que foi avaliado neste estudo. Foram incluídos também cenários de redução da mobilidade intermunicipal e interação social para avaliação de impacto.

[1] **Núcleo de Métodos Analíticos para Vigilância em Saúde Pública (PROCC/Fiocruz e EMAp/FGV):** Cláudia T Codeço[1], Daniel Villela[1], Flávio Coelho[2], Leonardo S Bastos[1,3], Luiz Max Carvalho[2], Marcelo F C Gomes[1*], Oswaldo G Cruz[1], Raquel M Lana[1]

[1] Fiocruz, Programa de Computação Científica, Rio de Janeiro, Brasil
[2] Escola de Matemática Aplicada, Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, Brasil
[3] London School of Hygiene and Tropical Medicine, Londres, Reino Unido
*contato: marcelo.gomes@fiocruz.br

Colaboradores externos: Alessandro Vespignani[4], Ana Pastore y Piontti[4], Jessica T Davis[4]
[4] Laboratory for the Modeling of Biological and Socio-technical Systems, Northeastern University, Boston, EUA.

Os principais achados são:

1. Em função da alta conectividade aérea das capitais São Paulo e Rio de Janeiro, identifica-se alto potencial de rápida dispersão de casos originados de ambas, para outras capitais do país. São Paulo apresenta maior potencial de rápida dispersão para os demais estados. *Mesmo que já haja ocorrência de epidemias em determinados municípios, esta conectividade demonstra risco de novas importações de casos nestas microrregiões, que podem iniciar novos focos de transmissão.*
2. Os centros urbanos das regiões Sul e Sudeste têm grande probabilidade de acumular casos graves no curto prazo devido ao alto percentual de população de risco e alta conectividade com SP e RJ. Os centros urbanos de Brasília, Recife e Salvador também se encontram neste quadro.
3. Num segundo momento, prevê-se a disseminação do COVID-19 para a região litorânea entre Porto Alegre e Salvador, e várias microrregiões da Paraíba, Ceará e Pernambuco.Outras áreas com risco alto são as microrregiões no entorno de Cuiabá, Goiânia e Foz do Iguaçu.
4. A redução do fluxo intermunicipal só apresenta impacto significativo na disseminação para outras regiões se acompanhada de redução do contato entre indivíduos dentro de cada município, como medidas de distância social. Se adotadas de maneira independente, ações locais se mostram mais relevantes que redução de fluxos intermunicipais.
5. O país foi estratificado em cinco classes de vulnerabilidade social para facilitar a definição de estratégias mais precisas de enfrentamento. As microrregiões com maior vulnerabilidade estão nas regiões norte e nordeste. Ações de mitigação que se adequem a essas realidades terão maior chance de sucesso.
6. Listamos as microrregiões que possuem alto risco de epidemia a curto prazo e alta vulnerabilidade social para ações imediatas. Elas se concentram no estado do Ceará, Pernambuco, Paraíba e Bahia.

Introdução

Este relatório analisa o risco de disseminação de COVID-19 dentro do país a partir de Rio de Janeiro e São Paulo, que concentram o maior número de casos no país até a presente data. Exportação de casos através da malha aérea internacional e comutação entre municípios vizinhos deve seguir tendo papel importante no futuro próximo nas regiões alimentadas pelos principais aeroportos internacionais. No entanto, com as crescentes medidas de restrição de deslocamento nos países mais afetados bem como potencial aumento de controle sanitário em relação aos passageiros de voos internacionais, o número de casos importados internacionalmente tende a diminuir sua relevância frente aos casos decorrentes de transmissão comunitária sustentada na ausência de ações de mitigação efetivas. Em função disso, analisar as rotas potenciais a partir das duas maiores cidades , que são também os

principais *hubs* de mobilidade no país, torna-se de fundamental relevância para tomada de decisão por parte das autoridades de saúde pública.

Situação atual. Até o dia 23 de março, foram notificados 1,924 casos confirmados, 34 óbitos e 2 casos recuperados no país (1)[2]. Retrospectivamente, o primeiro caso importado da COVID-19 foi confirmado no Brasil em 26 de fevereiro de 2020, na cidade de São Paulo (2), após 2 meses do alerta emitido pela China.

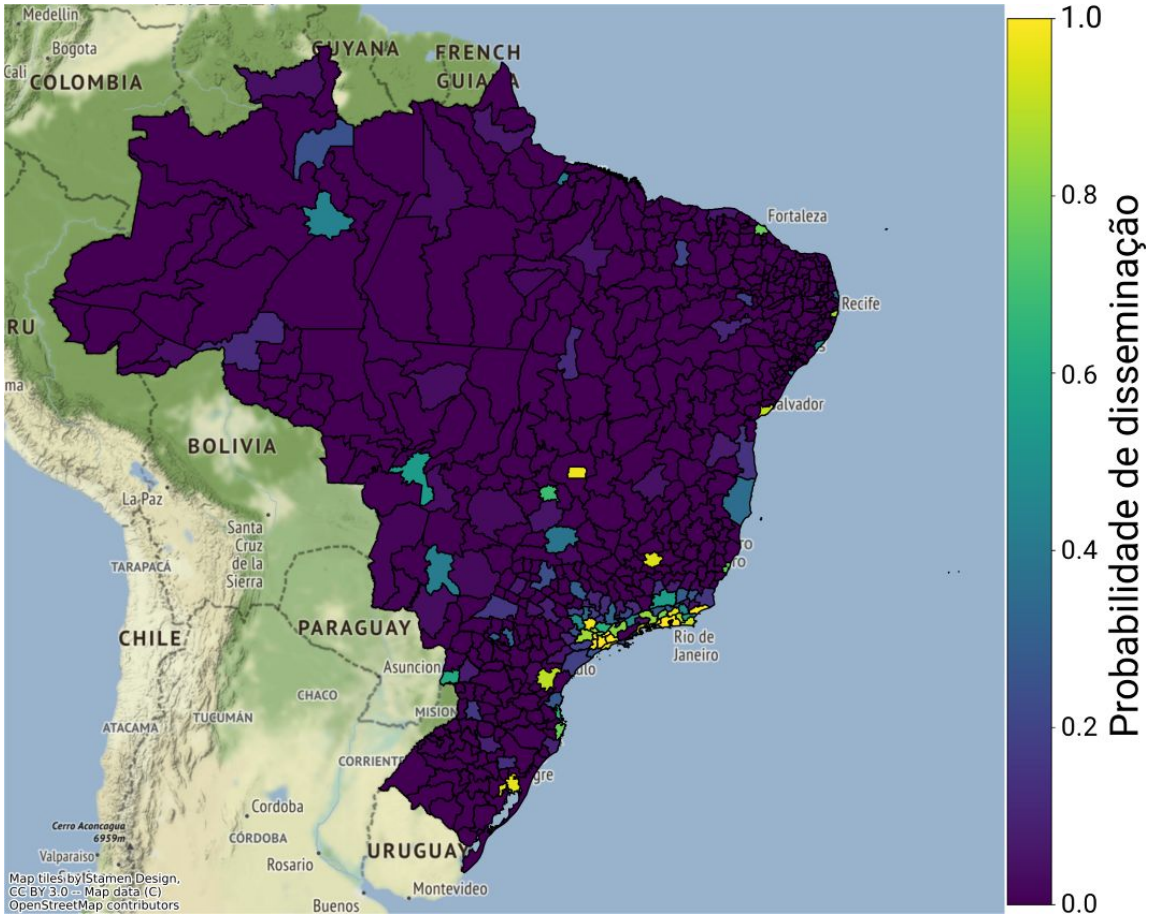
O que há de novo em relação ao relatório anterior.

- Classificação e mapeamento de áreas de alta vulnerabilidade social que estão expostas ao COVID-19 caso ações eficazes de proteção não sejam tomadas.
- Estimativa de oportunidade para ação em cenários de intervenção na mobilidade intermunicipal e redução do contato pessoal dentro dos municípios.
- Identificação de microrregiões com perigo iminente dada à conectividade com os grandes centros urbanos e a alta vulnerabilidade social.

Resultados

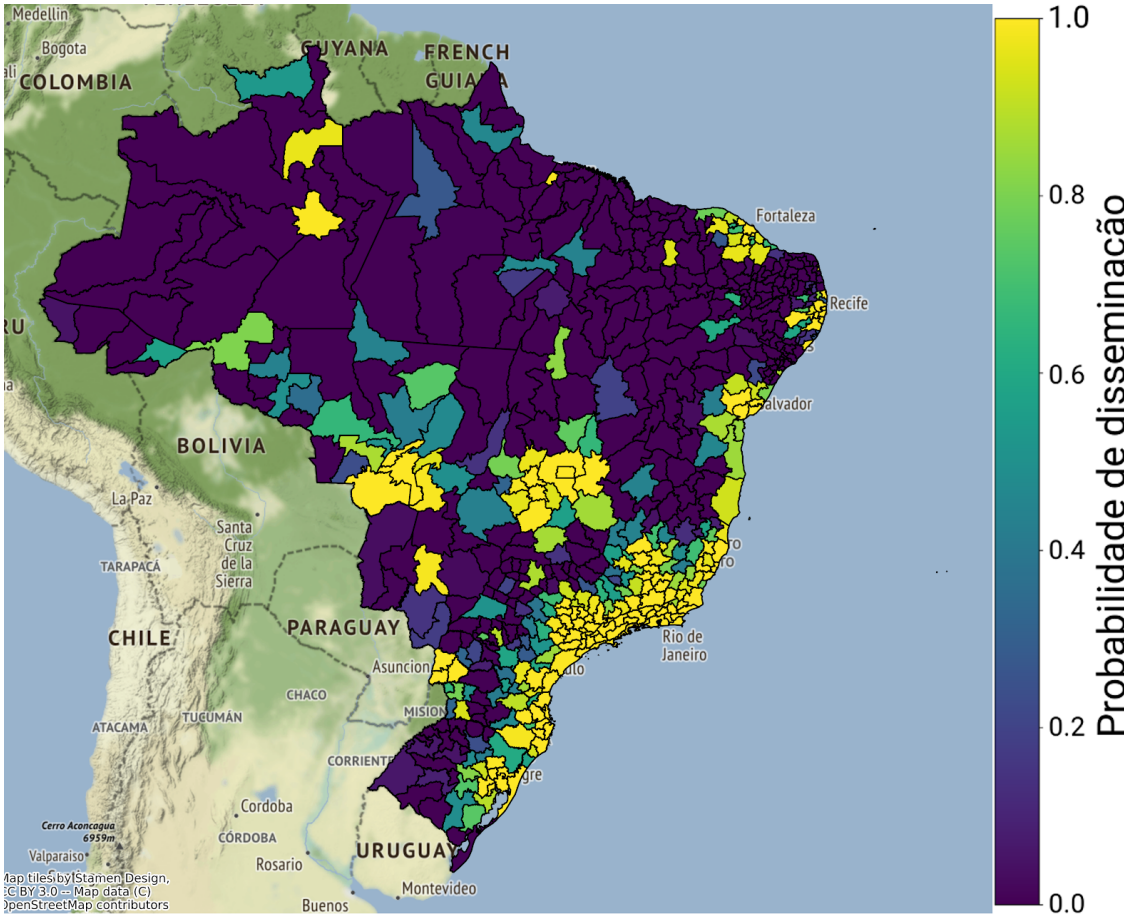
Potencial de espalhamento de COVID-19 no país a partir de Rio e São Paulo. A partir da instalação de transmissão sustentada e alta incidência no Rio e São Paulo, exportação de casos para o restante do país deverá seguir o padrão de mobilidade interna (somada à importação de casos provenientes do exterior). O potencial de exportação de São Paulo é muito maior do que do Rio de Janeiro, *em situações normais de fluxo aéreo* **(Relatório 1)**. As microrregiões mais prováveis de instalação de transmissão sustentada de COVID-19 são as microrregiões que fazem fronteira com as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, bem como as capitais estaduais, dentre elas: Belo Horizonte, Vitória, Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre, Brasília, Recife e Salvador **(Mapa 1)**.

[2] Número de casos reportados pode variar entre fontes distintas em função do horário utilizado para fechamento do relatório diário.



Mapa 1. Probabilidade de instalação de transmissão sustentada de COVID-19 em microrregiões brasileiras a partir da exportação de casos de São Paulo e Rio de Janeiro, estando essas duas cidades com transmissão sustentada. Estimativa feita no cenário sem redução de mobilidade.

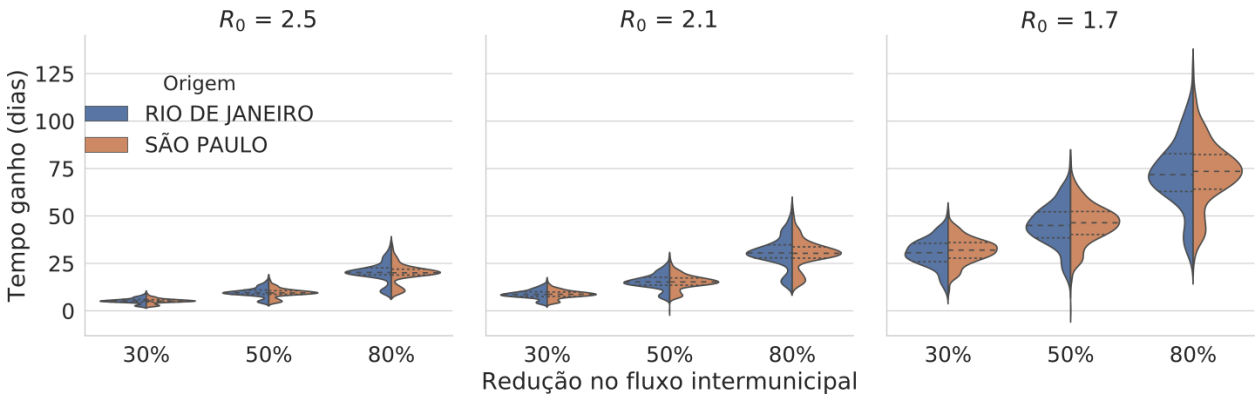
Potencial de espalhamento de COVID-19 no país em uma segunda onda após instalação nas áreas mais expostas do mapa 1. O **Mapa 2** mostra a probabilidade de surto em uma rodada secundária de propagação, após o estabelecimento de transmissão nas microrregiões de maior risco (probabilidade > 0,5) acima mencionadas. Nesse segundo momento, o estabelecimento da transmissão COVID-19 é muito provável na maioria das microrregiões do litoral, de Porto Alegre a Salvador. Outras áreas de alto risco são as áreas vizinhas de Recife e Fortaleza, no nordeste, áreas vizinhas de Foz do Iguaçu, Paraná, e nas áreas vizinhas de Cuiabá, Brasília e Goiânia, no Centro-Oeste.



Mapa 2. Probabilidade de instalação de transmissão sustentada de COVID-19 em microrregiões brasileiras após instalação da epidemia nas microrregiões mais prováveis do **mapa 1**. Estimativa feita no cenário sem redução de mobilidade.

Tempo até disseminação em cenários de mitigação. Recomendações de redução do fluxo de pessoas entre municípios e distância social tem impactos distintos na velocidade de disseminação do vírus a partir de um foco específico. Para as cenários apresentados, utilizamos 8 dias como período de infecção típico, e adoção de redução do fluxo intermunicipal em 0% (fluxo inalterado), 30%, 50% e 80%. Em termos de adoção de medidas de distância social em cada município, supomos efeitos que mantém R_0 em 2,5 (taxa de interação diária inalterada), 2,1 (16% de redução), e 1,7 (32% de redução). Calculamos a estimativa de tempo até disseminação para cada microrregião a partir de caso índice nas microrregiões de São Paulo e Rio de Janeiro, separadamente. Vemos que, para termos ganho de tempo para ação significativo nas demais microrregiões, é necessária a combinação das duas ações **(Painel 1)**, sendo a principal contribuição advinda da adoção de medidas de distância social locais (que equivalem a redução de R_0). Apenas redução no fluxo intermunicipal não gera impacto significativo. Quando mais larga a distribuição, maior o intervalo de tempo entre a disseminação

do vírus para microrregiões distintas, resultando em maior tempo para ação em cada localidade.



Painel 1. Distribuição do ganho de tempo em dias até disseminação em cada microrregião do país a partir do **caso índice** na microrregião do Rio de Janeiro (azul) ou São Paulo (laranja), em relação a ausência de medidas de mitigação, supondo uma redução no fluxo de pessoas entre microrregiões de 30%, 50%, e 80%. Para cada cenário de fluxo, avaliamos adesão às recomendações de distância social e isolamento **dentro de cada microrregião** resultando em taxa de reprodução R_0 = 2,5 (esquerda), 2,1 (centro), e 1,7 (direita).

Indicadores de vulnerabilidade

População com mais de 60 anos . Os *centros urbanos das regiões Sul e Sudeste* apresentam alto percentual de população acima de 60 anos **(Mapa 3A)**, que constituem as principais populações de risco, e baixa distância efetiva de São Paulo e Rio de Janeiro. Portanto, são as regiões mais propensas a acumular casos graves no curto prazo. Essas são regiões que historicamente apresentam maior carga de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG).

Distribuição de leitos hospitalares. Observa-se uma leve tendência de maior número de leitos complementares (UTI e unidade intermediária) em microrregiões próximas de São Paulo e Rio de Janeiro **(Mapa 3B)**, o que sugere uma melhor cobertura nos grandes centros urbanos da região Sudeste e Sul. Ainda assim, a maioria das microrregiões apresenta menos de 4 leitos complementares por 10 mil habitantes, um quantitativo baixo, além de uma grande heterogeneidade na oferta de leitos por habitante em todo o território nacional. Frente a um possível cenário de grande necessidade desses leitos por conta do acometimento da população de risco, medidas como implantação de novos leitos e remanejo para UTI devem ser priorizadas, com particular urgência naquelas microrregiões que combinam número relativamente baixo de leitos por habitante e baixa distância efetiva.

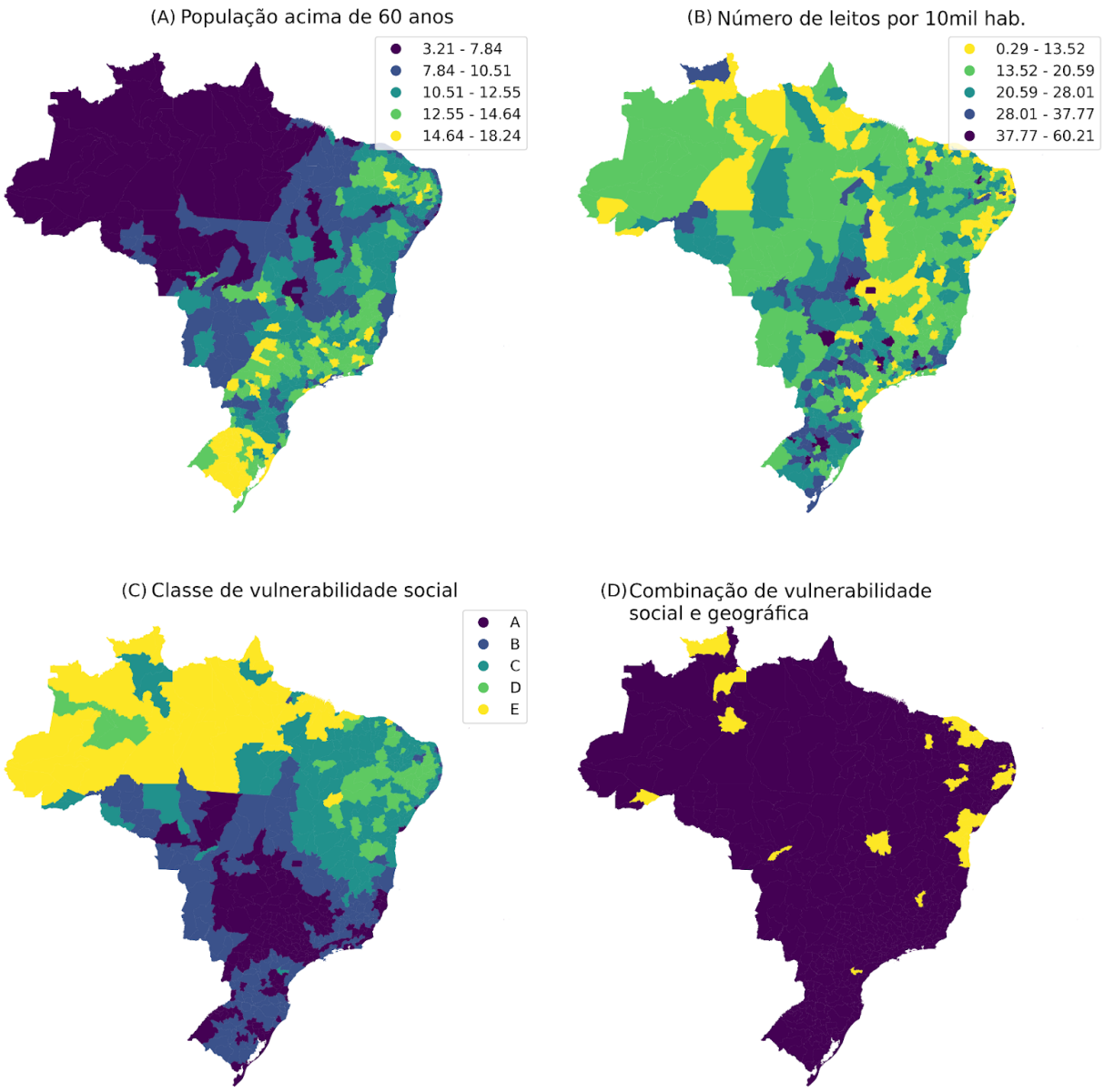
Classificação de vulnerabilidade social. Identificamos cinco classes de vulnerabilidade social nas microrregiões brasileiras, ordenadas de A (menos vulnerável) a D-E (mais vulnerável) **(Mapa 3C)**. Essa classificação levou em consideração as seguintes variáveis: expectativa de vida ao nascer, índice de GINI, componente de escolaridade do IDH, % população vivendo em situação de extrema pobreza, % população vivendo em área urbana, % de pessoas em domicílios com abastecimento de água e esgotamento sanitário inadequados, % de domicílio com água encanada, % de domicílio sem energia elétrica. A descrição das classes resultantes está no **Quadro 1**.

Quadro 1. Descrição das classes de vulnerabilidade social das microrregiões brasileiras

Classe	Descrição
A	Predominantemente urbano, com expectativa de vida acima da média, comparativamente menor desigualdade, menor população vivendo em extrema pobreza, melhor acesso aos serviços de abastecimento de água e esgoto, ensino superior.
B	Muito semelhante a A na expectativa de vida. Ainda mais urbano, mas com mais população vivendo em extrema pobreza (média de 5 \%). Os índices de desigualdade e a infraestrutura são piores em comparação com A, mas ainda acima da média.
C	Mistura ou populações urbanas e rurais. Em comparação com A e B, eles têm uma expectativa de vida significativamente menor, pobreza significativamente alta e menos infraestrutura. São as áreas mais urbanizadas da região Nordeste. Manaus, capital do estado do Amazonas na região Norte, também está nesta categoria
D	Predominância de populações rurais, alta desigualdade, baixo IDH, baixo acesso a serviços de água e esgoto, mas com acesso a eletricidade. Eles estão localizados principalmente na área seca do bioma Caatinga, no Nordeste.
E	Regiões predominantemente rurais na Amazônia. IDH baixo, acesso precário à água tratada, disposição de esgoto e eletricidade.

As microrregiões das classes C, D e E são as mais vulneráveis. Elas estão localizadas principalmente nas regiões Nordeste e Norte. Como esperado, maior expectativa de vida está associada a melhores condições de vida, concentradas significativamente na parte sul do país.

Microrregiões de alta vulnerabilidade social e com risco alto de ocorrência de transmissão sustentada. O **Mapa 3(D)** mostra as microrregiões com alta probabilidade de epidemia a curto prazo, e que também possuem alta vulnerabilidade social. Estão concentradas no Nordeste, nos estados do Ceará, Paraíba e Bahia. São regiões com grande aporte de viajantes e alta vulnerabilidade social. A lista completa está no anexo Tabela S2.



Mapa 3. (A) Porcentagem da população com mais de 60 anos por microrregião; **(B)** Distribuição da capacidade hospitalar medida em número de leitos hospitalares; **(C)** classificação das microrregiões em vulnerabilidade social: A e B são as microrregiões com melhores índices. C-D-E tem alta vulnerabilidade social; **(D)** microrregiões com alta vulnerabilidade social e alta probabilidade de epidemia de COVIDE-19.

Métodos

Distância efetiva para importação de casos: foi calculada uma medida associada à probabilidade de importação de caso para microrregiões do Brasil por via aérea com base no cálculo de distância efetiva proposto por Gautreau et al. (5) e Ianelli et al. (6), que mede proximidade em termos do fluxo de pessoas entre as localidades ao invés da distância geográfica. Esses dois trabalhos mostram que há forte correlação entre essa medida e o tempo até importação em cada território a partir de uma origem bem definida, de tal forma que o ranking das duas medidas é preservado com significância estatística. Isto é, quanto menor a distância efetiva, menor o tempo até invasão. Para estimar o tempo T_{ij} até disseminação de um vírus para cada destino *j* desde a introdução do mesmo em uma origem específica *i*, utilizamos a medida de distância efetiva que leva em conta parâmetros associados à transmissão, como a taxa de reprodução básica R_0 e o período de infecção típico ɣ:

$$T_{ij} = \frac{d_{ij}}{\gamma(R_0-1)}$$

Para as cenários apresentados, utilizamos 8 dias como período de infecção típico, e adoção de redução do fluxo intermunicipal em 0% (fluxo inalterado), 30%, 50% e 80%. Em termos de adoção de medidas de distância social em cada município, supomos efeitos que mantém R_0 em 2,5 (taxa de interação diária inalterada), 2,1 (16% de redução), e 1,7 (32% de redução).
A malha aérea foi construída com dados da OAG referentes ao ano de 2019, agregados por ano e restritos aos fluxos nacionais (3). Para fins de fluxo aéreo de/para São Paulo, o aeroporto de Campinas (Viracopos) foi considerado como pertencente à mesma área de abrangência territorial, de modo que os fluxos se somam. Foram utilizadas como áreas de influência imediata as microrregiões correspondentes ao município de referência de cada aeroporto.

No **Relatório 1**, e **Tabelas S1** e **S2** apresentamos distância efetiva baseada apenas em fluxo de passageiros na malha aérea.

Probabilidade de epidemia: para calcular a probabilidade de epidemia em cada microrregião *m*, computamos a expressão: $p_{epi} = 1 - (1/R_0)^{Im}$ onde I_m = número de viajantes infectados chegando em *m* no dia *t e* R_0 é o número de reprodução básico (7). Utilizamos o valor $R_0 = 2.5$, valor nas faixas estimadas em estudos da emergência da epidemia em Wuhan (8,9), mantido constante para todas a microrregiões. Há muita incerteza na estimativa do número *I* de viajantes. Para os mapas aqui gerados, assumimos o cenário de uma semana com 100 casos notificados no Rio de Janeiro e em São Paulo cada, multiplicado por um fator de expansão de 10 para levar em consideração casos assintomáticos e subnotificados e uma duração de infecção de 8 dias, resultando em um número efetivo (prevalência) aproximado de casos de 8000 em cada um das duas cidade de origem. Após esta correção, I_m é o número de passageiros totais chegando do Rio de Janeiro e de São Paulo, multiplicado pela proporção de prevalência em cada cidade. Os dados relativos à mobilidade humana foram os mesmos utilizados para cálculo de distância efetiva, somados à mobilidade pendular para trabalho e estudo extraídos do Censo de 2010 (4). Deve-se notar que esse é um cenário *baseline*, pois

não leva em consideração as intervenções em curso, nem efeitos demográficos e ambientais que possam afetar o valor de R_0.

Percentual de população acima de 60 anos: A partir dos dados do IBGE (10), foram projetadas as populações de cada microrregião para o ano de 2020, agregados por faixa etária. Reportamos a fração de indivíduos em duas faixas elevadas como indicador de impacto, acima de 60 anos e acima de 80 anos, em função da letalidade ser maior para ambas (11). Quanto menor for a distância efetiva e maior o percentual de população idosa, maior o risco no curto prazo em função do elevado risco populacional aliado ao menor tempo para ação. Quanto maior a distância efetiva e quanto menor o percentual, menor o risco no curto prazo em função do baixo risco populacional aliado ao maior tempo para ação.

Leitos hospitalares para internação por 10.000 habitantes: Dada a necessidade de leitos para atendimento dos casos graves, coletamos os dados oficiais disponibilizados na plataforma Tabnet/Datasus referente à quantidade de leitos de internação e leitos complementares (UTI e unidade intermediária) disponíveis para cada microrregião (12), bem como suas estratificações em leitos SUS e não SUS. Essas medidas indicam a capacidade de cada região em atender eventuais casos, assim como avaliar vulnerabilidade em caso de crescimento significativo do número de casos graves ativos.

Análise de cluster: A análise de agrupamento de particionamento (k-medóide) foi realizada para identificar regiões com vulnerabilidade social semelhante. Este método é uma variação mais robusta das médias k padrão. O primeiro passo foi a remoção de variáveis altamente linearmente correlacionadas. Permaneceram os seguintes: expectativa de vida ao nascer, índice de GINI, componente de escolaridade do IDH, % população vivendo em situação de extrema pobreza, % população vivendo em área urbana, % de pessoas em domicílios com abastecimento de água e esgotamento sanitário inadequados, % de domicílio com água encanada, % de domicílio sem energia elétrica. O método do cotovelo foi utilizado para determinar o número de clusters.

As análises foram agregadas na unidade administrativa de microrregião do IBGE (10). O shapefile do Brasil por microrregião também foi obtido do IBGE (10). Para a confecção dos mapas e dos gráficos, os softwares Python (13), R (14), Inkscape (15) e QGis (16) foram utilizados. Códigos para cálculos e processamento de dados foram feitos com os softwares R (14) e Python (13).

Limitações

- Fatores de sazonalidade da malha aérea, bem como diminuição no fluxo aéreo em decorrência da atual emergência sanitária podem gerar alterações que levem ao aumento da distância efetiva, porém não devem impactar significativamente o ranking apresentado.
- Projeções de população por faixa etária valem-se das taxas de crescimento e morte entre os censos de 2000 e 2010 para cálculo de crescimento populacional por faixa etária entre 2010-2020. Tais medidas podem sofrer com mudanças nesses parâmetros no período analisado.

Núcleo de Métodos Analíticos para Vigilância em Saúde Pública (PROCC/Fiocruz e EMAp/FGV): Cláudia T Codeço[1], Daniel Villela[1], Flávio Coelho[2], Leonardo S Bastos[1,3], Luiz Max Carvalho[2], Marcelo F C Gomes[1*], Oswaldo G Cruz[1], Raquel M Lana[1]

[1] Fiocruz, Programa de Computação Científica, Rio de Janeiro, Brasil
[2] Escola de Matemática Aplicada, Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, Brasil
[3] London School of Hygiene and Tropical Medicine, Londres, Reino Unido
*contato: marcelo.gomes@fiocruz.br

Colaboradores externos:
Ana Pastore y Piontti[4], Alessandro Vespignani[4], Jessica T Davis[4]

[4] Laboratory for the Modeling of Biological and Socio-technical Systems, Northeastern University, Boston, EUA.

Referências

1. Dong E, Du H, Gardner L. An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. Lancet Infect Dis; published online Feb 19. https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30120-1
2. Ministério da Saúde. Linha do tempo coronavírus [Internet]. [citado 16 de março de 2020]. Disponível em: http://coronavirus.saude.gov.br/linha-do-tempo
3. Official Airline Guide. OAG [Internet]. Disponível em: http://www.oag.com
4. IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010: Resultados gerais da amostra [Internet]. 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_gerais_amostra/resultados_gerais_amostra_tab_uf_microdados.shtm
5. Gautreau A, Barrat A, Barthélemy M. Global disease spread: Statistics and estimation of arrival times. J Theor Biol. 7 de abril de 2008;251(3):509–22.
6. Iannelli, F., Koher, A., Brockmann, D., Hövel, P., & Sokolov, I. M. (2017). Effective distances

for epidemics spreading on complex networks. *Physical Review E*, *95*(1), 012313.
7. L. J. Allen, F. Brauer, P. Van den Drissche, J. Wu. Mathematical epidemiology. Vol. 1945. Berlin: Springer; 2008.
8. Wu JT, Leung K, Leung GM. Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study. The Lancet. 2020;
9. Li Q, Guan X, Wu P, Wang X, Zhou L, Tong Y, et al. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus–Infected Pneumonia. N Engl J Med. 2020;NEJMoa2001316.
10. IBGE | Portal do IBGE | IBGE [Internet]. [citado 21 de novembro de 2019]. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/
11. The Novel Coronavirus Pneumonia Emergency Response Epidemiology Team. The epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19) in China. Chin J Epidemiol. 17 de fevereiro de 2020;41(02):145–51.
12. Ministério da Saúde. DATASUS - Informações de Saúde - Rede Assistencial [Internet]. 2020 [citado 15 de março de 2020]. Disponível em: http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0204&id=11663
13. Van Rossum G, Drake FL. Python 3 Reference Manual. Scotts Valley, CA: CreateSpace; 2009.
14. R Core Team [Internet]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2020. Disponível em: https://www.R-project.org/
15. Inkscape [Internet]. Disponível em: http://www.inkscape.org/
16. QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. [Internet]. Open Source Geospatial Foundation Project; Disponível em: http://qgis.osgeo.org

Anexos

Tabela S1. Microrregiões atendidas por aeroportos[3] e com ocorrência ou risco imediato de transmissão sustentada de COVID-19. * vulnerabilidade social é ordenada de A (menor) a D-E (maior).

Microregião	UF	Distância efetiva[4] de São Paulo	Vulnerabilidade Social *	População maior de 60 anos (%)	Leitos hospitalares por 10mil hab.
São Paulo	SP	0,00	A	12	23,64
Rio de Janeiro	RJ	2,86	A	14	17,49
Porto Alegre	RS	3,54	A	13	26,99
Brasília	DF	3,59	A	8	60,21
B Horizonte	MG	3,68	A	11	22,78
Salvador	BA	3,86	A	9	26,81
Curitiba	PR	3,87	A	10	27,34
Recife	PE	4,03	B	11	32,76
Florianópolis	SC	4,25	B	11	30,55
Fortaleza	CE	4,33	B	9	27,03
Goiânia	GO	4,45	A	9	39,13
Vitória	ES	4,50	A	10	22,89
Itajaí	SC	4,58	A	10	16,12
Cuiabá	MT	4,73	B	8	28,46
Maceió	AL	5,13	B	9	25,77
Foz do Iguaçu	PR	5,13	A	10	25,06
Campo Grande	MS	5,17	A	10	25,91
Uberlândia	MG	5,25	A	11	18,57
Manaus	AM	5,28	E	6	16,85
Natal	RN	5,34	A	10	29,98
Belém	PA	5,41	B	8	21,69
Porto Seguro	BA	5,42	B	9	18,84
Londrina	PR	5,48	A	13	31,51
Maringá	PR	5,55	A	12	33,47
Joinville	SC	5,67	A	9	19,12

[3] Tabela completa disponível sob consulta.

[4] Nesta tabela apresentamos a distância efetiva calculada apenas com dados da malha aérea e sem incluir parâmetros de transmissão da doença.

João Pessoa	PB	5,71	B	10	29,52
Aracaju	SE	5,71	A	8	26,55
Ribeirão Preto	SP	5,76	A	12	27,71
S.José R.Preto	SP	5,87	A	14	33,57
Cariri	CE	6,04	C	11	27,54
Sudeste RR	RR	6,08	C	6	16,40
Teresina	PI	6,09	C	9	32,93
Pres.Prudente	SP	6,20	A	14	30,15
Chapecó	SC	6,22	B	11	24,91
Caxias do Sul	RS	6,41	A	12	25,53
Ilhéus-Itabuna	BA	6,43	C	11	22,63
Juiz de Fora	MG	6,59	B	14	36,00
Porto Nacional	TO	6,63	B	6	35,72
Porto Velho	RO	6,66	B	6	33,32
Petrolina	PE	6,68	C	8	21,14
Tubarão	SC	6,73	B	13	24,31

Table S2. Microrregiões atendidas por aeroportos[5] que apresentam alto perigo devido a transmissão do COVID-19 *e* ***alta vulnerabilidade social.***

Região	**UF**	**Microregião**	**Vulnerabilidade social**
	AC	RIO BRANCO	C
	AM	MANAUS	E
	RR	BOA VISTA	E
NORTE	RR	SUDESTE DE RORAIMA	C
	PI	TERESINA	C
	CE	LITORAL DE CAMOCIM E ACARAÚ	C
	CE	SOBRAL	C
	CE	ITAPIPOCA	E
	CE	BAIXO CURU	C
	CE	URUBURETAMA	C
	CE	MÉDIO CURU	D
	CE	CANINDÉ	D
NORDESTE	CE	BATURITÉ	D

[5] Tabela completa disponível sob consulta.

	CE	CHOROZINHO	D
	CE	CASCAVEL	C
	CE	PACAJUS	C
	CE	SERTÃO DE QUIXERAMOBIM	D
	CE	LITORAL DE ARACATI	C
	CE	BAIXO JAGUARIBE	C
	CE	CARIRI	C
	PB	CAMPINA GRANDE	D
	PB	SAPÉ	D
	PE	PETROLINA	C
	PE	VALE DO IPOJUCA	D
	PE	ALTO CAPIBARIBE	D
	PE	MÉDIO CAPIBARIBE	D
	PE	GARANHUNS	D
	PE	BREJO PERNAMBUCANO	C
	PE	MATA SETENTRIONAL PERNAMBUCANA	C
	PE	VITÓRIA DE SANTO ANTÃO	C
	PE	MATA MERIDIONAL PERNAMBUCANA	C
	PE	ITAMARACÁ	C
	BA	FEIRA DE SANTANA	C
	BA	SERRINHA	C
	BA	ALAGOINHAS	C
	BA	ENTRE RIOS	C
	BA	CATU	C
	BA	SANTO ANTÔNIO DE JESUS	C
	BA	JEQUIÉ	C
	BA	VALENÇA	C
	BA	ILHÉUS-ITABUNA	C
SUDESTE	MG	CONCEIÇÃO DO MATO DENTRO	C
SUL	PR	CERRO AZUL	C
	MT	ROSÁRIO OESTE	C
	GO	CHAPADA DOS VEADEIROS	C
CENTRO-OESTE	GO	VÃO DO PARANÃ	C