

Situação: O preprint não foi submetido para publicação

Vulnerabilidade das microrregiões do Nordeste brasileiro à pandemia do novo coronavírus (SARS-CoV-2)

Rafael Raimundo, Kate Maia, Danilo Muniz, Mauricio Cantor, Paulo Guimaraes, Jr., Paula Lemos-Costa, Erika Marques Santana, Marilia Palumbo Gaiarsa, Pamela Santana, Leandro Giacobelli, Ana Paula Assis, Irina Birskis-Barros, Lucas Medeiros, Flávia Marquitti, Wesley Dáttilo, Cecilia Andreazzi, Mathias Pires, Viviana Velásquez, Eduardo Migon

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.35>

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- O autor submissor declara que todos os autores responsáveis pela elaboração do manuscrito concordam com este depósito.
- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa estão descritas no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores estão incluídas no manuscrito.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que caso o manuscrito venha a ser postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo estará disponível sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.

Submetido em (AAAA-MM-DD): 2020-04-11

Postado em (AAAA-MM-DD): 2021-03-31

Relatório 01: 04/04/2020 - 16:44 PM

Vulnerabilidade das microrregiões do Nordeste brasileiro à pandemia do novo coronavírus, SARS-CoV-2

Observatório COVID19, Grupo Redes de Contágio^a & Coronel Eduardo X. F. G. Migon^b

^a COVID-19BR - (<https://covid19br.github.io/>): Grupo Redes de Contágio: Kate P. Maia¹, Danilo G. Muniz¹, Mauricio Cantor⁷, Paula Lemos-Costa⁸, Viviana M. Velásquez¹², Leandro Giacobelli¹, Irina Birskis-Barros³, Erika Marques Santana¹, Marília Palumbo Gaiarsa², Pamela Santana¹, Ana P. de Assis¹, Lucas P. Medeiros⁴, Flavia M. D. Marquitti⁵, Wesley Dáttilo⁶, Cecilia S. Andreazzi¹⁰, Mathias M. Pires¹¹, Paulo R. Guimarães Jr¹, Rafael L. G. Raimundo^{9*}.

^b Laboratório de Estudos de Defesa, Escola de Comando e Estado-Maior do Exército (LED/ECEME)

¹ - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo;

² - Department of Entomology, University of California, Riverside, EUA;

³ - School of Natural Sciences, University of California, Merced, EUA;

⁴ - Department of Civil and Environmental Engineering, MIT, EUA;

⁵ - Instituto de Física "Gleb Wataghin", Universidade Estadual de Campinas;

⁶ - Instituto de Ecologia AC, México;

⁷ - Departamento de Ecologia e Zoologia, Universidade Federal de Santa Catarina; Max Planck Institute of Animal Behaviour, Alemanha.

⁸ - Department of Ecology and Evolution, University of Chicago, EUA;

⁹ - Departamento de Engenharia e Meio Ambiente, Centro de Ciências Aplicadas e Educação (CCA), Universidade Federal da Paraíba

¹⁰ - Instituto Oswaldo Cruz - RJ;

¹¹ - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas.

¹² - Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba.

E-mail para contato: rafael.raimundo@ccae.ufpb.br

Índice

1. Sumário de resultados e recomendações	1
2. Detalhamento das análises e resultados	3
Figura 1. Rede de fluxo rodoviário entre as microrregiões do Nordeste brasileiro	5
Figura 2. Projeção espacial dos módulos rodoviários do Nordeste brasileiros	Error! Bookmark not defined
Figura 3. Papéis estruturais das microrregiões nordestinas na rede de fluxo rodoviário	5
Figura 4. Vulnerabilidades à propagação do SARS-CoV-2 nas microrregiões do NE (02/04)	7
3. Ressalvas e direções de refinamento das análises	8
4. Agradecimentos	9
5. Referências	9

1. Sumário de resultados e recomendações

Este é o primeiro relatório do *Observatório COVID19 - Grupo: Redes de Contágio* para a região Nordeste do Brasil. Combinamos dados de casos confirmados do novo coronavírus, SARS-CoV-2, para o Nordeste até o dia 02/04 com análises estruturais da rede de rotas rodoviárias intra e interestaduais para estimarmos a vulnerabilidade e potencial influência das microrregiões nordestinas na propagação da doença.

1.1. Principais resultados até o momento:

I. A rede de fluxo rodoviário nordestina tem 05 módulos que indicam conjuntos de microrregiões mais conectadas entre si do que com outras microrregiões nordestinas (**Figs. 1 e 2**): Módulo NE1: Maranhão e Piauí, com exceção de uma microrregião piauiense; Módulo NE2: Ceará e uma microrregião piauiense; Módulo NE3: Rio Grande do Norte e Paraíba; Módulo NE4: Pernambuco, Alagoas e uma microrregião baiana; e NE5: Bahia e Sergipe, exceto uma microrregião baiana.

II. Sete microrregiões densamente povoadas têm possivelmente forte influência sobre a dinâmica global da epidemia na região Nordeste: Fortaleza (CE), Teresina (PI), Recife (PE), Vale do Ipojuca (Caruaru-PE), João Pessoa (PB), Maceió (AL) e Campina Grande (PB). Com menor influência global, mas com influência regional marcada, destacam-se as microrregiões de Salvador (BA), Feira de Santana (BA) e Natal (RN). Um grande número de microrregiões têm papel estrutural de conectores intermodulares da rede (Fig. 3).

III. O Estado de Pernambuco apresenta nove microrregiões classificadas como de alta vulnerabilidade à chegada da epidemia e que ainda não apresentam infectados: Itamaracá, Suape, Vitória de Santo Antão, Alto Capibaribe, Médio Capibaribe, Brejo Pernambucano, Garanhuns, Pajeú e Sertão do Motoxó (Fig. 4, Tabela 1).

IV. Dentre as cinco microrregiões com alto potencial de emissão de pacientes infectados, quatro não incluem capitais de Estado: Mata Setentrional Pernambucana (PE), Mata Meridional Pernambucana (PE), Vale do Ipojuca (PE) e Campina Grande (PB). A microrregião de Recife também se enquadra nessa categoria (Fig. 4, Tabela 1).

1.2. Recomendações

I. Sugere-se ao Governo do Estado de Pernambuco planejamento para uma potencial situação epidemiológica emergencial em escala estadual. Essa previsão está baseada na análise estrutural da rede de fluxos rodoviários, que indica a concentração de várias microrregiões com (i) alta centralidade topológica, (ii) contíguas e (iii) com alta vulnerabilidade à propagação da pandemia ou (iv) alta probabilidade de funcionarem como núcleos propagadores dentro da dinâmica epidemiológica em escala geográfica. Tais microrregiões distribuem-se nas mesorregiões metropolitana de Recife, Mata Pernambucana, Agreste Pernambucano e Sertão Pernambucano.

II. Sugere-se ao Governo do Estado da Paraíba e às prefeituras municipais da microrregião de Campina Grande (PB) reforçarem junto à população a conscientização sobre medidas de isolamento social, uma vez que trata-se de potencial núcleo emissor de pessoas infectadas com influência sobre a dinâmica epidemiológica em escala geográfica. Até a data de 03/04/2020, a microrregião registrava apenas 2 casos confirmados de COVID-19 -- na cidade de Campina Grande¹ -- de forma que campanhas de conscientização da população

¹ [Monitoramento do número de casos de COVID-19 no Brasil](#) em em 02/04/2020.

sobre medidas de isolamento social podem contribuir para evitar ou postergar ao máximo o estágio de transmissão comunitária e o crescimento exponencial do número de casos nessa microrregião identificada como potencial núcleo propagador da epidemia em escala geográfica.

III. Recomenda-se a estrita observação das recomendações das autoridades sanitárias e o reforço das medidas de isolamento social em todas as microrregiões, inclusive aquelas ainda não afetadas ou classificadas como de vulnerabilidade intermediária ou baixa, independentemente das análises aqui apresentadas -- cujo escopo refere-se à vulnerabilidade e influência das microrregiões nas redes de propagação da epidemia em escala geográfica e não implicam portanto, em qualquer tipo de avaliação, inferência ou recomendação sobre as situações locais da severidade da epidemia de SARS-CoV-2.

Tabela 1. Sumário das microrregiões nordestinas com altos índices de vulnerabilidade à chegada de pessoas infectadas com SARS-CoV-2, com base em suas centralidades nas redes de fluxos rodoviários da região Nordeste. Microrregiões sem casos confirmados em 02/04/2020 estão classificadas como *altamente vulneráveis*. Microrregiões que já tinham casos confirmados nessa data estão classificadas como *núcleo propagadores de alta centralidade*, a qual refere-se à sua potencial influência sobre a dinâmica geográfica da epidemia em função de sua centralidade topológica na rede de fluxos rodoviários. As microrregiões estão agrupadas conforme seus respectivos estados e mesorregiões.

Estado de Pernambuco		
Mesorregião Metropolitana de Recife		
Microrregião	Casos confirmados²	Classificação
Recife	91	Núcleo propagador de alta centralidade
Itamaracá	0	Microrregião altamente vulnerável
Suape	0	Microrregião altamente vulnerável
Mesorregião da Mata Pernambucana		
Microrregião	Casos confirmados²	Classificação
Mata Setentrional Pernambucana	2	Núcleo propagador de alta centralidade
Mata Meridional Pernambucana	1	Núcleo propagador de alta centralidade
Vitória de Santo Antão	0	Microrregião altamente vulnerável
Mesorregião do Agreste Pernambucano		

² Casos confirmados em 02 de Abril de 2020 conforme [Monitoramento do número de casos de COVID-19 no Brasil](#).

Microrregião	Casos confirmados ²	Classificação
Vale do Ipojuca	2	Núcleo propagador de alta centralidade
Brejo Pernambucano	0	Microrregião altamente vulnerável
Alto Capibaribe	0	Microrregião altamente vulnerável
<i>Tabela 1 (Continuação)</i>		
Microrregião	Casos confirmados ²	Classificação
Médio Capibaribe	0	Microrregião altamente vulnerável
Garanhuns	0	Microrregião altamente vulnerável
Mesorregião do Sertão Pernambucano		
Microrregião	Casos confirmados ²	Classificação
Pajeú	0	Microrregião altamente vulnerável
Sertão do Moxotó	0	Microrregião altamente vulnerável
Paraíba		
Mesorregião do Agreste Paraibano		
Campina Grande	2	Núcleo propagador de alta centralidade

2. Detalhamento das análises e resultados

2.1. Estrutura da rede rodoviária e papéis topológicos das microrregiões. Integramos dados sobre rotas rodoviárias, análises estruturais de redes e princípios de epidemiologia para prever áreas com maior probabilidade de chegada de pessoas com SARS-CoV-2 e áreas com maior chance de enviar pessoas infectadas a outros locais. Usamos dados do fluxo de transporte rodoviário intermunicipal nos estados da região nordeste (IBGE, 2016) para criar uma rede na qual cada microrregião nordestina é representada por um ponto, e viagens de ônibus ligando diferentes microrregiões são representados por linhas. Realizamos então uma análise de cartografia de redes que detecta módulos (Newman 2006, Brandes *et al.* 2008). Módulos rodoviários são grupos de microrregiões mais conectadas entre si por fluxos rodoviários do que com o restante das microrregiões da rede (**Fig. 1**). Foram detectados 5 módulos formados por: NE1: Maranhão e Piauí, com exceção de uma microrregião piauiense; NE2: Ceará e uma microrregião piauiense; NE3: Rio Grande do Norte e Paraíba; NE4: Pernambuco, Alagoas e uma microrregião baiana; e NE5: Bahia e Sergipe, exceto uma

microrregião baiana (**Fig. 2**). Computamos descritores dos papéis topológicos das microrregiões, com a ponderação de sua conectividade (influência) considerada em dois níveis: dentro de seus módulos (z), e com microrregiões de outros módulos (c) (Amaral *et al.* 2000). De forma heurística, identificamos 3 grupos de microrregiões com potencial relevância central na dinâmica epidemiológica em escala geográfica (**Fig. 3**). O primeiro grupo de áreas relevantes para a dinâmica epidemiológica global inclui 7 microrregiões com valores altos de conectividade intramodular (z) e intermodular (c): **Fortaleza (CE), Teresina (PI), Recife (PE), Vale do Ipojuca (Caruaru - PE), João Pessoa (PB), Maceió (AL) e Campina Grande (PB)**. Essas microrregiões são nós centrais da rede de contágio da região Nordeste, conectando-se dentro e entre módulos (**Figura 3**). Um segundo grupo de microrregiões com potencial influência global na dinâmica epidemiológica é formado por áreas com menor conectividade global (baixo c), mas localmente bastante conectadas (alto z) e que podem catalisar a propagação regional da epidemia, incluindo **Salvador (BA), Feira de Santana (BA) e Natal (RN)**. Por fim, um grande número de microrregiões atuam conectores intermodulares da rede (alto c , **Fig. 3**).

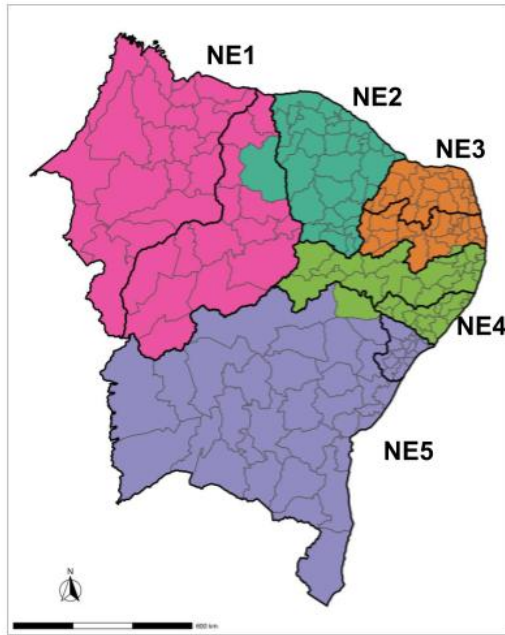
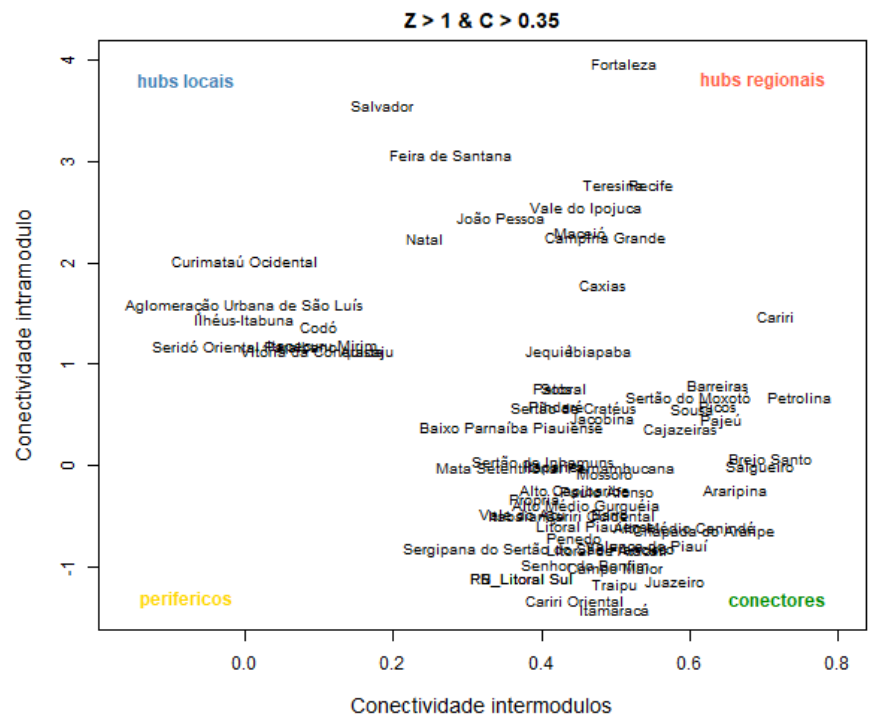


Figura 2. Projeção geográfica dos cinco módulos rodoviários segundo rede de fluxos rodoviários, indicados por diferentes cores, sobre o mapa do Nordeste brasileiro. NE1, formado por Maranhão e Piauí, com exceção de uma microrregião piauiense. NE2: formado por Ceará e uma microrregião piauiense. NE3, formado por Rio Grande do Norte e Paraíba. NE4: formado por Pernambuco, Alagoas e uma microrregião baiana. NE5: formado por Bahia e Sergipe, exceto uma microrregião baiana. As linhas pretas mais grossas indicam limites estaduais e as linhas pretas mais finas indicam os limites de cada microrregião. Note que os módulos não representam regiões político-administrativas e sim conjuntos de microrregiões mais conectadas entre elas por fluxos rodoviários do que com o restante das microrregiões nordestinas.

Figura 3. Papéis estruturais das microrregiões nordestinas na rede de fluxo rodoviário. Conectividades intermodular (c) e intramodular (z). Hubs locais têm valores altos de z , i.e., são muito conectados com microrregiões no mesmo módulo. Conectores apresentam altos valores de c e, portanto, alta conectividade com outros módulos. Se uma região tem os valores de c e z altos, é um hub regional. Nesse gráfico foram incluídas apenas microrregiões com $c > 0.35$ e $z > 1$.



2.2. Análise de vulnerabilidade. As análises descritas acima caracterizam a posição relativa das microrregiões na estrutura da rede, mas podem não capturar adequadamente seus efeitos na propagação geográfica da epidemia, particularmente considerando-se o grande número de rotas indiretas que compõem uma rede geográfica com a dimensão do Nordeste brasileiro. De forma complementar, portanto, usamos uma técnica apropriada para a descrição da propagação de efeitos em redes complexas que considera a posição das microrregiões nordestinas no conjunto de rotas diretas e indiretas que compõem a rede geográfica. Especificamente, adaptamos uma medida que permite computar rotas diretas e indiretas entre microrregiões denominada centralidade de Katz (Katz, 1956). Para calcular a centralidade de Katz para as microrregiões nordestinas, computamos a matriz de efeitos diretos e indiretos (Katz, 1956; Guimarães et al., 2017): $T = (I - rQ)^{-1}$, na qual I é a matriz identidade, r é um fator que pesa o efeito de rotas rodoviárias que envolvam múltiplas microrregiões e Q é a matriz de fluxo rodoviário entre microrregiões. Nossa abordagem supõe, como aproximação, que se uma microrregião apresenta casos, a partir dela a doença pode propagar-se para uma região que dela receba passageiros pelo sistema rodoviário.

Para informar a matriz de efeitos diretos e indiretos conforme descrito acima, utilizamos dados de circulação de ônibus entre as microrregiões dos estados conforme providos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística³. Dados dos casos confirmados do SARS-CoV-2 nas microrregiões nordestinas foram obtidos no sítio [Monitoramento do número de casos de COVID-19 no Brasil](#) em em 02/04/2020, conforme informados pelo Ministério da Saúde e Secretarias de Estado de Saúde. Apenas consideramos as rotas rodoviárias diretas e indiretas que partem de áreas com casos comprovados do SARS-CoV-2. Calculamos então a centralidade Katz de entrada de todas as microrregiões como uma medida de vulnerabilidade: quanto maior a centralidade, maior fluxo de passageiros vindos de microrregiões com SARS-CoV-2 confirmado. Como o fluxo de passageiros depende do tamanho populacional das microrregiões, ponderamos a centralidade de Katz conforme tamanhos populacionais. Para obter uma medida da potencial influência de cada microrregião como emissora do SARS-CoV-2, anotamos as microrregiões mais vulneráveis e que já possuem casos confirmados. Quando maior esse valor, maior o fluxo de passageiros que saem de uma região onde o SARS-CoV-2 foi confirmado para outras microrregiões por meio de rotas diretas e indiretas. Nessa análise, microrregiões onde o SARS-CoV-2 não foi observada têm potencial de emissão zero na propagação da epidemia. Novamente, dividimos os valores pelo máximo observado para que a medida ficasse padronizada para variar entre zero e um. Os resultados foram sumarizados em uma mapa com as microrregiões agrupadas em três categorias de risco (**Fig. 4**).

³ [Ligações Rodoviárias e Hidroviárias - IBGE | 2016](#)).

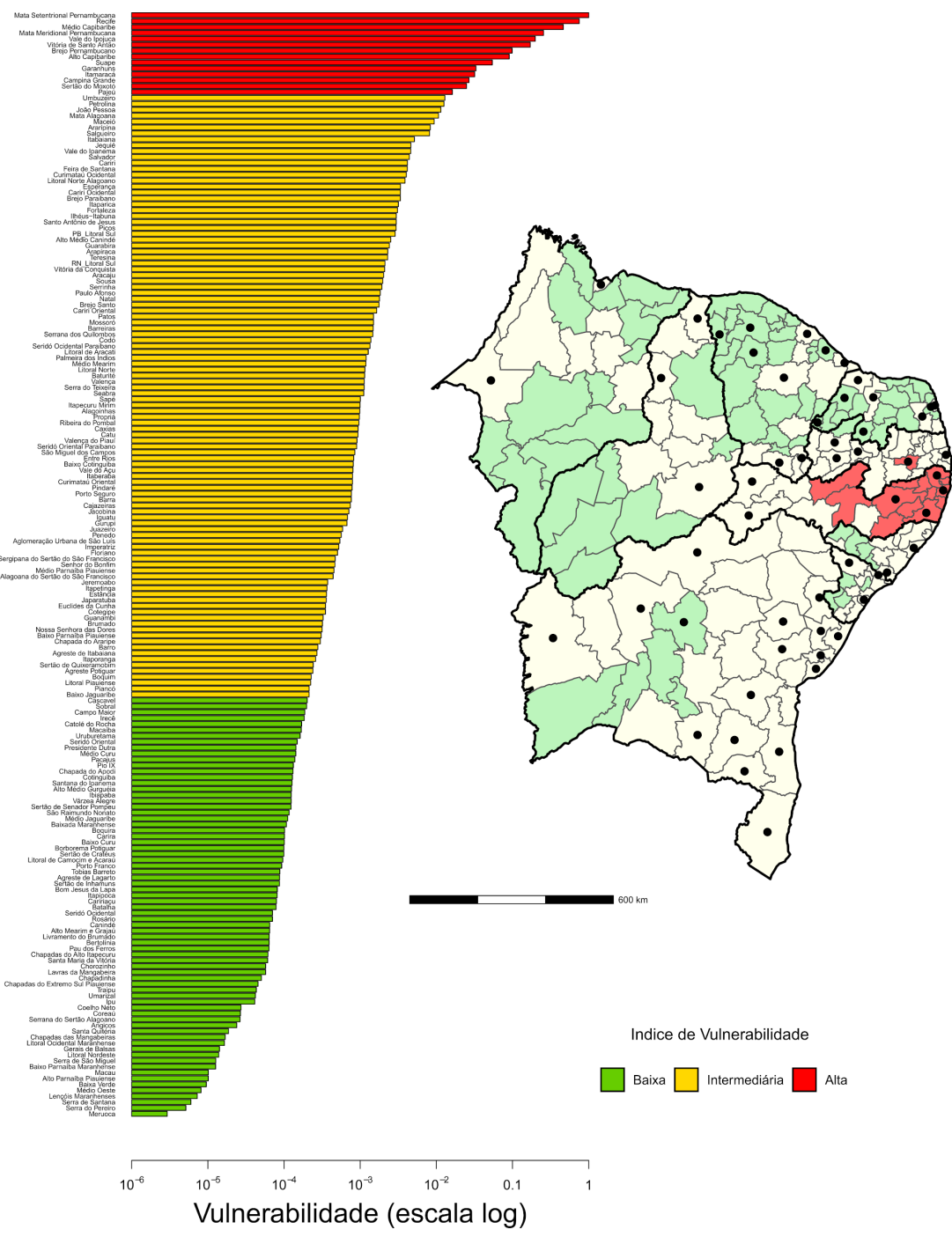


Figura 4. Categorização das microrregiões nordestinas quanto à vulnerabilidade perante a pandemia de SARS-CoV-2 em 02/04/2020. Microrregiões marcadas com um ponto preto têm casos confirmados do novo coronavírus. As barras mostram o valor do índice de vulnerabilidade (em escala log) de cada microrregião. Dado o grande número de microrregiões, os rótulos das barras não são legíveis. Dados para cada região podem ser obtidos no Anexo 1.

A categorização dos grupos em graus de vulnerabilidade foi definida de forma heurística com objetivo de facilitar a tomada de decisões. O Estado de Pernambuco concentra nove microrregiões altamente vulneráveis à chegada de pessoas infectadas com o SARS-CoV-2 e que ainda não têm casos confirmados: **Itamaracá, Suape, Vitória de Santo Antão, Alto Capibaribe, Médio Capibaribe, Brejo Pernambucano, Garanhuns, Pajeú e Sertão do Motozó (Fig. 4, Tabela 1)**. Pernambuco também concentra quatro das microrregiões cuja centralidade topológica indica que podem, no contexto geográfico da epidemia, atuar como núcleos propagadores que emitem pessoas infectadas: **Mata Setentrional Pernambucana (PE), Recife (PE), Mata Meridional Pernambucana (PE) e Vale do Ipojuca (PE)**. Em adição, uma microrregião paraibana -- **Campina Grande** -- também enquadra-se na categoria de potencial núcleo propagador da epidemia em escala geográfica, dada sua alta centralidade topológica, e tinha dois caso de COVID-19 registrados em 02/04/2020 (<https://labs.wesleycota.com/sarscov2/br/>) (Fig. 4, Anexo 1).

4. Ressalvas direções de refinamento das análises

4.1. Escopo da análise. A indicação de maior vulnerabilidade e recomendações específicas para Pernambuco e Paraíba **não deve** ser interpretada como indicativo de menor atenção às demais áreas, particularmente considerando-se o crescimento do número de casos em diferentes capitais nordestinas e suas regiões metropolitanas densamente povoadas que não foram aqui mencionadas. **Ressalva-se que as análises e recomendações apresentadas neste relatório estão focadas em prover, com base na análise da rede de fluxos rodoviários, previsões empiricamente fundamentadas sobre microrregiões com possível papel-chave na disseminação geográfica da pandemia de SARS-Cov-2, bem como indicar microrregiões ainda sem casos confirmados de COVID-19 cuja centralidade topológica implicam alta vulnerabilidade à chegada de pessoas infectadas.** Dessa forma, o propósito das análises é prover aos tomadores de decisão informações estratégicas para mitigar a expansão geográfica da pandemia no Nordeste brasileiro, sem qualquer prejuízo às ações locais atualmente em curso em diferentes Estados. De fato, epidemias possuem dois níveis de propagação distintos, apesar de correlacionados, que são a propagação local e a propagação geográfica, sendo que o escopo de nossas análises refere-se à última. As dinâmicas de propagação local das infecções estão relacionada à rede de contatos entre pessoas. A propagação geográfica depende de como essa rede sociais de contatos estendem-se em escalas espaciais mais amplas, acabando por conectar diferentes microrregiões. **Nossa análise pode apenas ser usada para ajudar a identificar locais que poderão ser mais rapidamente atingidos pela epidemia, mas não permite identificar o quão grande será o número de infectados em cada microrregião.** Um próximo passo importante para refinar nossas análises envolve a obtenção de estimativas locais para o crescimento de número de casos e suas implicações para os padrões geográficos de propagação da epidemia -- em outras palavras, devemos relacionar como as dinâmicas de contágio dentro das microrregiões influencia a propagação da epidemia entre microrregiões.

4.2. Dados sobre casos confirmados de COVID-19: Uma limitação para o refinamento das análises e modelagem da dinâmica epidemiológica em escala geográfica é a ausência de dados disponibilizados rapidamente, por município, sobre o número de casos confirmados de COVID-19. Por exemplo, pretendemos aplicar ferramentas de *machine learning* -- algoritmos computacionais que fazem uso de dados anteriores para gerar previsões uma vez que novos dados são obtidos -- para, diária e automaticamente, verificarmos e refinarmos indicadores estratégicos. Porém, sem a atualização dos dados sobre os pacientes por município, tal

abordagem é inviável. Ainda, há outras fontes de erro nos dados, principalmente subnotificações, demora no aparecimento dos sintomas e ausência de testes diagnósticos em larga escala.

4.3. Dados do fluxo rodoviário. Usamos dados do transporte rodoviário intermunicipal e interestadual dos Estados do nordeste brasileiro obtidos pelo IBGE⁴. Esses dados são fruto de uma pesquisa feita com o uso de questionários deixados nos guichês dos terminais rodoviários e em pontos do lado de fora dos terminais. Desta forma, essa amostragem do fluxo rodoviário e nossos resultados podem ser influenciados por problemas de amostragem, particularmente a sub-amostragem. Estamos tentando outras formas de estimar o fluxo entre locais, como por exemplo usando um modelo gravitacional ponderado pelos tamanhos populacionais de cada microrregião. Porém, qualquer outra estimativa de fluxo rodoviário (ônibus, carros, veículos por pedágios, por exemplo) poderia nos ajudar a validar a robustez de nossas previsões. Ainda, é importante notar que não estamos considerando o fluxo aeroviário de pessoas, o que provavelmente subestima o papel das microrregiões nas quais situam-se os aeroportos.

4.4. Acurácia. Apesar das fontes de erro listadas acima, ao usar uma abordagem similar para prever a propagação da epidemia do SARS-CoV-2 entre estados por meio da rede aérea, a nossa abordagem explicou > 56% da variação das datas do primeiro registro de COVID-19 entre os estados brasileiros (<https://guimaraeslabbr.weebly.com/voos.html>).

5. Agradecimentos. Nossos especiais agradecimentos a Marcelo Gomes (Fiocruz) e a Roberto Kraenkel (IFT-UNESP). Também agradecemos à FAPESP, CAPES e CNPq por financiarem nossos grupos de pesquisa.

6. Conflitos de interesse. Não temos conflito de interesse.

7. Referências

Amaral, L. A. N., Scala, A., Barthelemy, M., & Stanley, H. E. (2000). Classes of small-world networks. *Proceedings of the national academy of sciences*, 97(21), 11149-11152.

Brandes, U.; Dellinger, D.; Gaertler, M.; Gorke, R.; Hoefer, M.; Nikoloski, Z.; Wagner, D. (2008). On Modularity Clustering. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 20(2): 172-188.

Guimarães *et al.* (2017). Indirect effects drive coevolution in mutualistic networks. *Nature*, 550: 511-514.

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

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ligações Rodoviárias e Hidrovias. (2016). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/redes-e-fluxos-geograficos/15794-rodoviaras-e-hidrovias.html?=&t=o-que-e>

Katz, L. (1953). A new status index derived from sociometric analysis. *Psychometrika*, 18(1), 39-43.

⁴ [Ligações Rodoviárias e Hidrovias - IBGE | 2016](#)

Newman, M. E. J. (2006). Modularity and community structure in networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 103 (23): 8577–8696.

Anexo 1. Índice de vulnerabilidade à propagação da epidemia de SARS-CoV-2 das microrregiões dos Estados do nordeste brasileiro. *Quanto maior for o valor de seu índice de vulnerabilidade, maior será o potencial de uma microrregião para receber pessoas com SARS-CoV-2 em 02/04/2020. Para regiões já infectadas, a interpretação é de que quanto maior for o índice, maior também será o potencial daquela microrregião em servir como núcleo de propagação (emissão) de infectados para outras microrregiões. Os valores foram padronizados pelo máximo para variar entre 0 e 1. Por simplicidade, índices de vulnerabilidade menores que 0.001 foram arredondados para zero.*

Microrregião	UF	Casos	Índice de Vulnerabilidade	Categoria
Mata Setentrional Pernambucana	Pernambuco	2	1	alto
Recife	Pernambuco	91	0.7513	alto
Médio Capibaribe	Pernambuco	0	0.4644	alto
Mata Meridional Pernambucana	Pernambuco	1	0.2553	alto
Vale do Ipojuca	Pernambuco	2	0.199	alto
Vitória de Santo Antão	Pernambuco	0	0.1706	alto
Brejo Pernambucano	Pernambuco	0	0.0988	alto
Alto Capibaribe	Pernambuco	0	0.0903	alto
Suape	Pernambuco	0	0.0542	alto
Garanhuns	Pernambuco	0	0.0331	alto

Itamaracá	Pernambuco	0	0.0318	alto
Campina Grande	Paraíba	2	0.0268	alto
Sertão do Moxotó	Pernambuco	0	0.0249	alto
Pajeú	Pernambuco	0	0.0162	alto
Umbuzeiro	Paraíba	0	0.0129	intermediário
Petrolina	Pernambuco	2	0.0126	intermediário
João Pessoa	Paraíba	23	0.0115	intermediário
Mata Alagoana	Alagoas	0	0.0107	intermediário
Maceió	Alagoas	17	0.0094	intermediário
Araripina	Pernambuco	1	0.0083	intermediário
Salgueiro	Pernambuco	0	0.0081	intermediário
Itabaiana	Paraíba	0	0.0051	intermediário
Jequié	Bahia	1	0.0046	intermediário
Vale do Ipanema	Pernambuco	0	0.0046	intermediário
Salvador	Bahia	184	0.0044	intermediário
Cariri	Ceará	1	0.0042	intermediário

Feira de Santana	Bahia	22	0.0042	intermediário
Curimataú Ocidental	Paraíba	0	0.004	intermediário
Litoral Norte Alagoano	Alagoas	0	0.0039	intermediário
Esperança	Paraíba	0	0.0034	intermediário
Cariri Ocidental	Paraíba	0	0.0034	intermediário
Brejo Paraibano	Paraíba	0	0.0034	intermediário
Itaparica	Pernambuco	0	0.0032	intermediário
Fortaleza	Ceará	432	0.0031	intermediário
Ilhéus-Itabuna	Bahia	20	0.003	intermediário
Santo Antônio de Jesus	Bahia	0	0.003	intermediário
Picos	Piauí	0	0.003	intermediário
PB_Litoral Sul	Paraíba	0	0.0029	intermediário
Alto Médio Canindé	Piauí	1	0.0025	intermediário
Guarabira	Paraíba	0	0.0024	intermediário
Arapiraca	Alagoas	0	0.0023	intermediário
Teresina	Piauí	17	0.0023	intermediário

RN_Litoral Sul	Rio Grande do Norte	0	0.0021	intermediário
Vitória da Conquista	Bahia	1	0.0021	intermediário
Aracaju	Sergipe	20	0.002	intermediário
Sousa	Paraíba	1	0.002	intermediário
Serrinha	Bahia	1	0.0019	intermediário
Paulo Afonso	Bahia	0	0.0018	intermediário
Natal	Rio Grande do Norte	69	0.0018	intermediário
Brejo Santo	Ceará	0	0.0018	intermediário
Cariri Oriental	Paraíba	0	0.0016	intermediário
Patos	Paraíba	1	0.0015	intermediário
Mossoró	Rio Grande do Norte	22	0.0015	intermediário
Barreiras	Bahia	1	0.0015	intermediário
Serrana dos Quilombos	Alagoas	0	0.0015	intermediário
Codó	Maranhão	0	0.0014	intermediário
Seridó Ocidental Paraibano	Paraíba	0	0.0013	intermediário

Litoral de Aracati	Ceará	1	0.0013	intermediário
Palmeira dos Índios	Alagoas	0	0.0012	intermediário
Médio Mearim	Maranhão	0	0.0012	intermediário
Litoral Norte	Paraíba	0	0.0012	intermediário
Baturité	Ceará	0	0.0011	intermediário
Valença	Bahia	0	0.0011	intermediário
Serra do Teixeira	Paraíba	0	0.0011	intermediário
Seabra	Bahia	0	0.0011	intermediário
Sapé	Paraíba	0	0.001	intermediário
Itapecuru Mirim	Maranhão	0	0.001	intermediário
Alagoinhas	Bahia	3	0.001	intermediário
Propriá	Sergipe	2	0.001	intermediário
Ribeira do Pombal	Bahia	1	0.001	intermediário
Caxias	Maranhão	0	0	intermediário
Catu	Bahia	1	0	intermediário
Valença do Piauí	Piauí	0	0	intermediário

Seridó Oriental Paraibano	Paraíba	0	0	intermediário
São Miguel dos Campos	Alagoas	0	0	intermediário
Entre Rios	Bahia	1	0	intermediário
Baixo Cotinguiba	Sergipe	0	0	intermediário
Vale do Açu	Rio Grande do Norte	2	0	intermediário
Itaberaba	Bahia	0	0	intermediário
Curimataú Oriental	Paraíba	0	0	intermediário
Pindaré	Maranhão	0	0	intermediário
Porto Seguro	Bahia	19	0	intermediário
Barra	Bahia	1	0	intermediário
Cajazeiras	Paraíba	0	0	intermediário
Jacobina	Bahia	0	0	intermediário
Iguatu	Ceará	0	0	intermediário
Gurupi	Maranhão	0	0	intermediário
Juazeiro	Bahia	2	0	intermediário
Penedo	Alagoas	1	0	intermediário

Aglomeração Urbana de São Luís	Maranhão	68	0	intermediário
Imperatriz	Maranhão	3	0	intermediário
Floriano	Piauí	0	0	intermediário
Sergipana do Sertão do São Francisco	Sergipe	1	0	intermediário
Senhor do Bonfim	Bahia	0	0	intermediário
Médio Parnaíba Piauiense	Piauí	0	0	intermediário
Alagoana do Sertão do São Francisco	Alagoas	0	0	intermediário
Jeremoabo	Bahia	0	0	intermediário
Itapetinga	Bahia	1	0	intermediário
Estância	Sergipe	0	0	intermediário
Japarutuba	Sergipe	0	0	intermediário
Euclides da Cunha	Bahia	0	0	intermediário
Cotegipe	Bahia	0	0	intermediário
Guanambi	Bahia	0	0	intermediário
Brumado	Bahia	5	0	intermediário

Nossa Senhora das Dores	Sergipe	0	0	intermediário
Baixo Parnaíba Piauiense	Piauí	0	0	intermediário
Chapada do Araripe	Ceará	0	0	intermediário
Barro	Ceará	1	0	intermediário
Agreste de Itabaiana	Sergipe	0	0	intermediário
Itaporanga	Paraíba	0	0	intermediário
Sertão de Quixeramobim	Ceará	2	0	intermediário
Agreste Potiguar	Rio Grande do Norte	2	0	intermediário
Boquim	Sergipe	0	0	intermediário
Litoral Piauiense	Piauí	1	0	intermediário
Piancó	Paraíba	1	0	intermediário
Baixo Jaguaribe	Ceará	0	0	intermediário
Cascavel	Ceará	1	0	baixo
Sobral	Ceará	5	0	baixo
Campo Maior	Piauí	0	0	baixo
Irecê	Bahia	1	0	baixo

Catolé do Rocha	Paraíba	0	0	baixo
Macaíba	Rio Grande do Norte	6	0	baixo
Uruburetama	Ceará	0	0	baixo
Seridó Oriental	Rio Grande do Norte	0	0	baixo
Presidente Dutra	Maranhão	0	0	baixo
Médio Curu	Ceará	0	0	baixo
Pacajus	Ceará	0	0	baixo
Pio IX	Piauí	0	0	baixo
Chapada do Apodi	Rio Grande do Norte	1	0	baixo
Cotinguiba	Sergipe	0	0	baixo
Santana do Ipanema	Alagoas	0	0	baixo
Alto Médio Gurguéia	Piauí	0	0	baixo
Ibiapaba	Ceará	1	0	baixo
Várzea Alegre	Ceará	0	0	baixo
Sertão de Senador Pompeu	Ceará	0	0	baixo

São Raimundo Nonato	Piauí	0	0	baixo
Médio Jaguaribe	Ceará	0	0	baixo
Baixada Maranhense	Maranhão	0	0	baixo
Boquira	Bahia	0	0	baixo
Carira	Sergipe	0	0	baixo
Baixo Curu	Ceará	0	0	baixo
Borborema Potiguar	Rio Grande do Norte	0	0	baixo
Sertão de Cratêus	Ceará	0	0	baixo
Litoral de Camocim e Acaraú	Ceará	0	0	baixo
Porto Franco	Maranhão	0	0	baixo
Tobias Barreto	Sergipe	0	0	baixo
Agreste de Lagarto	Sergipe	0	0	baixo
Sertão de Inhamuns	Ceará	0	0	baixo
Bom Jesus da Lapa	Bahia	0	0	baixo
Itapipoca	Ceará	0	0	baixo

Caririaçu	Ceará	0	0	baixo
Batalha	Alagoas	0	0	baixo
Seridó Ocidental	Rio Grande do Norte	1	0	baixo
Rosário	Maranhão	0	0	baixo
Canindé	Ceará	0	0	baixo
Alto Mearim e Grajaú	Maranhão	0	0	baixo
Livramento do Brumado	Bahia	0	0	baixo
Bertolínia	Piauí	0	0	baixo
Pau dos Ferros	Rio Grande do Norte	0	0	baixo
Chapadas do Alto Itapecuru	Maranhão	0	0	baixo
Santa Maria da Vitória	Bahia	0	0	baixo
Chorozinho	Ceará	0	0	baixo
Lavras da Mangabeira	Ceará	0	0	baixo
Chapadinha	Maranhão	0	0	baixo
Chapadas do Extremo Sul Piauiense	Piauí	0	0	baixo

Traipu	Alagoas	0	0	baixo
Umarizal	Rio Grande do Norte	0	0	baixo
Ipu	Ceará	0	0	baixo
Coelho Neto	Maranhão	0	0	baixo
Coreaú	Ceará	0	0	baixo
Serrana do Sertão Alagoano	Alagoas	0	0	baixo
Angicos	Rio Grande do Norte	0	0	baixo
Santa Quitéria	Ceará	1	0	baixo
Chapadas das Mangabeiras	Maranhão	0	0	baixo
Litoral Ocidental Maranhense	Maranhão	0	0	baixo
Gerais de Balsas	Maranhão	0	0	baixo
Litoral Nordeste	Rio Grande do Norte	0	0	baixo
Serra de São Miguel	Rio Grande do Norte	1	0	baixo
Baixo Parnaíba Maranhense	Maranhão	0	0	baixo
Macau	Rio Grande do	0	0	baixo

	Norte			
Alto Parnaíba Piauiense	Piauí	0	0	baixo
Baixa Verde	Rio Grande do Norte	0	0	baixo
Médio Oeste	Rio Grande do Norte	0	0	baixo
Lençóis Maranhenses	Maranhão	0	0	baixo
Serra de Santana	Rio Grande do Norte	0	0	baixo
Serra do Pereiro	Ceará	0	0	baixo
Meruoca	Ceará	0	0	baixo