

NOTA TÉCNICA

CAPP

Nº 03

DEZEMBRO / 2021

Rastreamento digital de contatos potencialmente infecciosos de COVID-19 e análise de super-propagação com base na Teoria de Redes Complexas

Governador do Estado do Ceará

Camilo Sobreira de Santana

Vice-Governadora do Estado do Ceará

Maria Izolda Cela de Arruda Coelho

Secretaria do Planejamento e Gestão – SEPLAG

Flávio Ataliba Flexa Daltro Barreto – Secretário (respondendo)

Flávio Ataliba Flexa Daltro Barreto – Secretário Executivo de

Planejamento e Orçamento

Ronaldo Lima Moreira Borges – Secretário Executivo de

Planejamento e Gestão Interna

Adriano Sarquis Bezerra de Menezes – Secretário Executivo de

Gestão

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE

Diretor Geral

João Mário Santos de França

Diretoria de Estudos Econômicos – DIEC

Ricardo Antônio de Castro Pereira

Diretoria de Estudos Sociais – DISOC

Diretoria de Estudos de Gestão Pública – DIGEP

Marília Rodrigues Firmiano

Gerência de Estatística, Geografia e Informações – GEGIN

Rafaela Martins Leite Monteiro

Nota Técnica CAPP – Nº 03 – Dezembro / 2021

SETOR RESPONSÁVEL:

Centro de Análise de Dados e Avaliação de Políticas Públicas – CAPP

Elaboração:

José Soares de Andrade Júnior

Humberto de Andrade Carmona

Saulo Davi Soares e Reis

César Ivan Nunes Sampaio Filho

Rilder de Sousa Pires

César Menezes Vieira

O Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) é uma autarquia vinculada à Secretaria do Planejamento e Gestão do Estado do Ceará. Fundado em 14 de abril de 2003, o IPECE é o órgão do Governo responsável pela geração de estudos, pesquisas e informações socioeconômicas e geográficas que permitem a avaliação de programas e a elaboração de estratégias e políticas públicas para o desenvolvimento do Estado do Ceará.

Missão: Gerar e disseminar conhecimento e informações, subsidiar a formulação e avaliação de políticas públicas e assessorar o Governo nas decisões estratégicas, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do Ceará.

Valores: Ética, transparência e impessoalidade; Autonomia Técnica; Rigor científico; Competência e comprometimento profissional; Cooperação interinstitucional; Compromisso com a sociedade; e Senso de equipe e valorização do ser humano.

Visão: Até 2025, ser uma instituição moderna e inovadora que tenha fortalecida sua contribuição nas decisões estratégicas do Governo.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE)

Av. Gal. Afonso Albuquerque Lima, s/n | Edifício SEPLAG | Térreo Cambéba

| Cep: 60.822-325 |

Fortaleza, Ceará, Brasil | Telefone: (85) 3101-3521

www.ipece.ce.gov.br

Sobre Nota Técnica – CAPP

A Série de **Notas Técnicas** do **Centro de Análise de Dados e Avaliação de Políticas Públicas (CAPP)** possuem com objetivo a divulgação de trabalhos técnicos e o compartilhamento de conhecimento sobre técnicas e metodologias que podem ser aplicadas na análise e modelagem de dados e na promoção de atividades de monitoramento e avaliação de políticas públicas.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE
2021

Nota Técnica CAPP / Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) / Fortaleza – Ceará: Ipece, 2021

1. Políticas Públicas. 2. Avaliação Executiva. 3. Ceará.

Nesta Edição

Nota Técnica CAPP – Nº 03 – Dezembro / 2021

Empregando dados anonimizados provenientes da Secretaria Municipal de Saúde do Município de Fortaleza e dados anonimizados de GPS provenientes do “Grandata-United Nations Development Programme Partnership to combat COVID-19 with data” desenvolvemos, calibramos, testamos e implementamos um algoritmo de rastreamento digital eficiente de contatos contaminantes que permitem a detecção de núcleos super-propagadores na rede complexa de contatos.

Rastreamento digital de contatos potencialmente infecciosos de COVID-19 e análise de super-propagação com base na Teoria de Redes Complexas

1. Introdução

A disseminação da pandemia COVID-19 causada pelo vírus SARS-CoV-2 representa um problema mundial com consequências devastadoras. Para desacelerar a evolução da pandemia, quarentenas em massa foram implementadas globalmente, provocando distúrbios sociais e perturbações econômicas em alta escala. É inequívoco que, durante o período inicial da pandemia, na ausência de um medicamento eficaz ou vacina, medidas de isolamento e distanciamento social contribuíram imensamente para desacelerar a propagação da doença, mesmo não conseguindo detê-la completamente. Sabe-se que vários países ao redor do mundo ainda estão concentrando esforços no sentido de desenvolver e implantar aplicativos de rastreamento dinâmico de contatos para combater a pandemia. Neste âmbito, mesmo com a vacinação em massa da população, mas considerando a possibilidade do aparecimento contínuo de mutantes do vírus, acreditamos que os resultados deste projeto terão grande utilidade no design de melhores protocolos de quarentena e testagem a serem implementados em conjunto com aplicativos móveis.

O objetivo principal deste item do projeto era desenvolver, calibrar, testar e implantar um algoritmo de rastreamento digital eficiente de contatos contaminantes que permita a detecção de núcleos super-propagadores na rede complexa de contatos [1-4]. Mais precisamente, para determinar a dinâmica de rastreamento, procedemos inicialmente com a verificação cruzada dos dados anonimizados de pacientes contaminados com um conjunto de dados de geolocalização por GPS e construímos a rede complexa de contatos potencialmente contaminantes entre os indivíduos, como detalhado a seguir. Empregamos então a técnica de Decomposição em k -camadas para a identificação dos núcleos super-propagadores, ou seja, aqueles grupos de indivíduos que são potencialmente responsáveis pela manutenção prolongada

e resiliente da transmissão do vírus, estando presentes na rede complexa de contatos contaminantes em suas diversas camadas.

2. Bancos de dados para o rastreamento em Fortaleza como caso de estudo

O primeiro conjunto de dados utilizado em nosso estudo é referente a dados anonimizados de GPS de aparelhos celulares obtido através da “Grandata-United Nations Development Programme Partnership to Combat COVID-19 with data” [5], o qual consiste em uma compilação de centenas de aplicativos de celular, para toda a América Latina. Em particular, para a cidade de Fortaleza, capital do Estado, utilizada inicialmente como caso de estudo para a validação do nosso algoritmo, foram utilizados dados de 257606 aparelhos de celular, com média diária de 52211 aparelhos de celular. O segundo conjunto de dados foi fornecido pela Secretaria Municipal de Saúde do Município de Fortaleza, por meio da sua Coordenação de Vigilância Epidemiológica, e corresponde às geolocalizações de pacientes SARS-CoV-2 confirmados como positivos, também devidamente anonimizados.

3. Modelo de transmissão indivíduo-indivíduo para a COVID-19

Para o rastreamento de contatos, a transmissão da COVID-19 pode ser descrita a nível individual em termos de um modelo epidemiológico do tipo Suscetível-Exposto-Infecioso-Removido (SEIR). Como mostra a Fig. 1, o período infeccioso, ou seja, aquele no qual o paciente transmite o vírus, tem início em média dois dias antes do aparecimento dos primeiros sintomas, durando cerca de 7 dias. Neste projeto, adicionamos 2 dias a ambos esses limites para que, de forma conservadora, possamos capturar o máximo de infecções possíveis [6]. Assim, para identificarmos indivíduos infectados com COVID-19, fazemos a busca de contatos de até 4 dias antes e 7 dias depois da data de primeiros sintomas, tal como reportada. Além disso, estendemos o rastreamento no tempo para identificarmos contatos provenientes de indivíduos

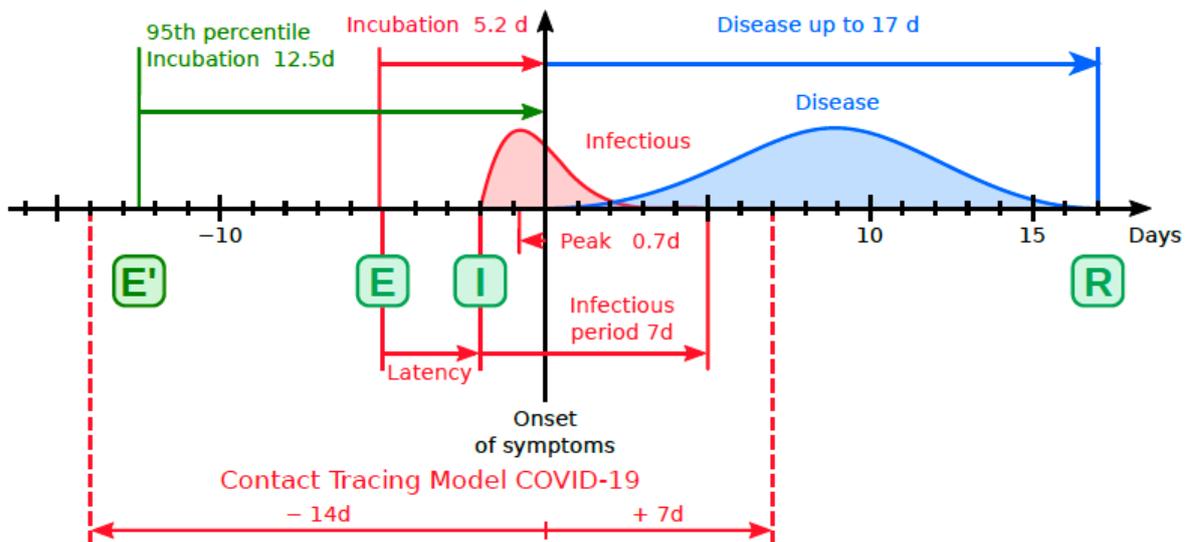


Figura 20 – A pandemia do COVID-19 pode ser representada por um processo SEIR. Um indivíduo exposto (E) possui o vírus incubado por 5,2 dias em média (12,5 dias para o 95º percentil) [30], iniciando seu período infeccioso (I) dois dias antes do surgimento dos primeiros sintomas e permanecendo doente por até 17 dias, até a recuperação (R). Aqui utilizamos uma janela de -14/+7 dias a partir dos primeiros sintomas para detectar infecciosos e expostos.

assintomáticos. A exposição inicia em um período de 5,2 dias de incubação do vírus por um indivíduo infectado. Esse período pode ser de até 12,5 dias, relacionado ao 95º percentil. Assim, também para melhor garantir o protocolo de rastreamento de transmissões e exposições, adicionamos 2 dias a esse valor. Deste modo, realizamos um rastreamento de contatos utilizando um intervalo de -14/+7 dias com relação à data de primeiros sintomas. Com o cruzamento dos dados de GPS e dos dados georeferenciados de pacientes contaminados, podemos então rastrear estes pacientes durante um intervalo de -14/+7 dias, como previamente descrito, e passamos a identificar possíveis contatos contaminantes.

De posse dos contatos acumulados durante um certo período, torna-se possível construir a rede complexa de contatos potencialmente contaminantes de transmissões de COVID-19 na cidade de Fortaleza. Cada sítio desta rede corresponde a um indivíduo, enquanto cada ligação corresponde à ocorrência de pelo menos um contato potencialmente contaminante entre dois indivíduos. Os nossos resultados preliminares mostram como estas redes de

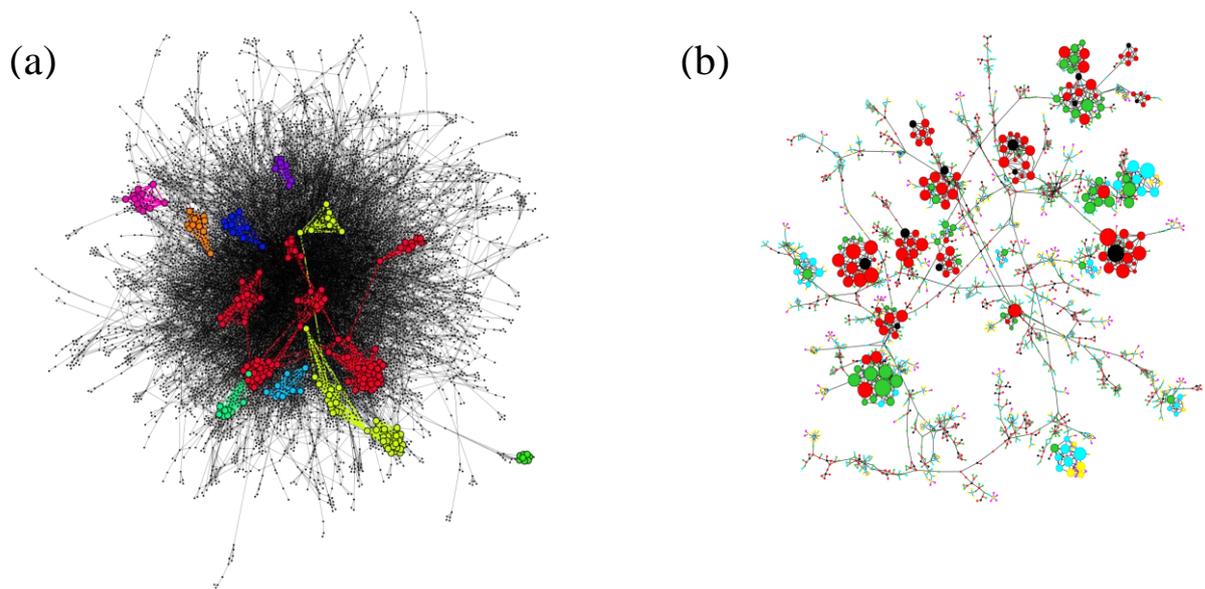


Figura 21 – Evolução dos k -núcleos durante a quarentena. Em (a) temos a rede de contatos potencialmente contaminantes na cidade de Fortaleza antes da quarentena decretada no dia 19 de março de 2020. Em (b) apresentamos o mesmo, mas para o período de distanciamento social.

transmissão evoluem no tempo e apresentam topologias distintas para os períodos pré- e pós-quarentena, tal como apresentadas nas Figs. 2(a) e 2(b), respectivamente. O regime de distanciamento social foi decretado inicialmente no Estado do Ceará em 19 de março de 2020. Para o período anterior ao decreto, a rede de transmissão em Fortaleza é densa, apresentado uma topologia do tipo *bola-de-pêlos*, como mostrado na Fig. 2(a). Na Fig. 2(b), por sua vez, apresentamos a rede de contatos obtida para o dia 28 de abril de 2020. A estrutura densa anterior passa a uma estrutura mais diluída, posto que as ligações (contatos potencialmente contaminantes) entre indivíduos na rede são muito menos frequentes.

Para identificar os chamados super-propagadores [7-8], ou seja, aqueles grupos de indivíduos que são potencialmente responsáveis pela manutenção prolongada e resiliência da transmissão do vírus na rede de contatos, utilizamos a técnica de Decomposição em k -camadas [7]. Como também mostram as Figuras 2(a) e 2(b), tais indivíduos estão presentes na rede complexa em suas diversas camadas. Em particular, para o período anterior às normas de

distanciamento social, Fig. 2(a), apresentamos a estrutura de k -núcleo para $k=7$, onde as cores correspondem aos diferentes componentes deste núcleo. Vale notar que os 7-núcleos se conectam indiretamente através das conexões restantes na rede (sítios e ligações em preto). Para o período posterior ao decreto de distanciamento social, Fig. 2(b), uma estrutura similar é encontrada, aqui apresentada por meio do tamanho dos nós da rede. Tais componentes conectam-se através de uma estrutura mais diluída em suas conexões. As cores aqui representam a hierarquia de cada um dos sítios na rede de contatos. Em especial, os sítios em preto representam os indivíduos infectados, qualquer que seja a k -camada a que eles pertençam.

Finalmente para desmantelar a rede, utilizamos técnicas de ataque otimizadas a redes complexas com o objetivo de detectar as denominadas *ligações fracas*. Tais ligações estão associadas a um grupo pequeno de sítios que, se removidos, são capazes de destruir a conexão global da rede. Empregando estas técnicas, torna-se possível implementar quarentenas e protocolos inteligentes de testagem para promover o controle sistemático e a desaceleração da evolução dinâmica da pandemia COVID-19, com perturbações sociais e econômicas minimizadas. A implementação do algoritmo de rastreamento digital aqui apresentado em uma plataforma de aquisição automática dos dados necessários para a sua alimentação permitiria a detecção contínua dos contatos potencialmente infecciosos no Estado do Ceará. Por conseguinte, as estratégias de quarentena otimizadas para a contenção da epidemia poderiam ser efetivamente realizadas.

4. Referências

- [1] M. Serafino, *et al.* Superspreading k -cores at the center of COVID-19 pandemic persistence. arXiv preprint arXiv:2103.08685 (2021).
- [2] A. Reyna-Lara, *et al.* Virus spread versus contact tracing: Two competing contagion processes. *Physical Review Research*, v. 3, pp. 013163 (2021).
- [3] J. A. Lednicky, *et al.* Viable SARS-CoV-2 in the air of a hospital room with COVID-19 patients *International Journal of Infectious Diseases*, v. 100, pp. 476-482 (2020).

[4] K. Kwon, *et al.* Evidence of Long-Distance Droplet Transmission of SARS-CoV-2 by Direct Air Flow in a Restaurant in Korea. *Journal of Korean Medical Science*, v. 35, pp. e415 (2020).

[5] Grandata-United Nations Development Programme partnership to combat COVID-19 with data. <https://covid.grandata.com>.

[6] He, X. *et al.* Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nature Med.* **26**, 672-675 (2020).

[7] Kitsak, M., Gallos, L., Havlin, S. *et al.* Identification of influential spreaders in complex networks. *Nature Phys.* **6**, 888–893 (2010).

[8] J. O. Lloyd-Smith, S. J. Schreiber, P. E. Kopp & W. M. Getz, Superspreading and the effect of individual variation on disease emergence. *Nature*, v. 438, pp. 355-359 (2005).