

Recebimento: 23/09/2020

Aceite: 15/10/2020

ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS USUÁRIOS DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO E OS CASOS DE COVID-19: UM ESTUDO DE CASO PARA RECIFE (PE)

ANALYSIS OF SPATIAL CORRELATION BETWEEN USERS OF PUBLIC TRANSPORTATION SYSTEMS AND CASES OF COVID-19: A CASE STUDY FOR RECIFE (PE)

Carlos Fabrício Assunção da Silva¹

Leonardo Herszon Meira²

Leise Kelli de Oliveira³

Pâmela Roberta Gonçalves dos Santos⁴

Isabela Kopperschmidt de Oliveira⁵

Resumo

O uso de sistemas de transporte público é apontado como possível vetor de transmissão de vírus durante epidemias. Nesse contexto, é objetivo deste artigo analisar a correlação espacial entre os usuários do sistema de transporte público e os casos da COVID-19, por meio de um estudo para Recife (PE). Utilizando-se da análise espacial, foi calculado o índice I de Moran global e local, e foram estimados modelos de regressão global e geograficamente ponderados, para os meses de março a junho de 2020, considerando o bairro como unidade espacial de análise. Os resultados indicaram correlação espacial global e local entre as variáveis consideradas. Ainda, o número de usuários do transporte público é uma variável que influenciou no número de casos de COVID-19, principalmente em abril, maio e junho. Por fim, o sistema de transporte público pode não ter sido o único fator que contribuiu para a disseminação da COVID-19 no Recife, visto o elevado número de bairros sem indicador de associação espacial local com significância estatística. Como o sistema de transporte público contribui para a mobilidade de pessoas que trabalham em atividades essenciais para a vida urbana, são necessárias estratégias que contribuam para o distanciamento social dentro dos veículos do sistema.

¹ Mestrando em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (UFPE), Recife- PE, Brasil. E-mail: carlos.assuncao@ufpe.br

² Doutor em Engenharia Civil (UFPE). Professor da Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE Brasil. E-mail: leonardo.meira@ufpe.br

³ Doutora em Engenharia de Produção (UFSC). Professora da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, Brasil. E-mail: leise@etg.ufmg.br

⁴ Mestre em Engenharia Civil (UFPE). Doutoranda engenharia Civil (UFPE), Recife-PE. E-mail: pammela.santos@ufpe.br

⁵ Mestranda em Geotecnia e Transportes, (UFMG), Belo Horizonte - MG, Brasil. E-mail: isabelakopper@ufmg.br

Palavras-chave: Sistemas de Transporte Público. COVID-19. Análise Espacial. Índice I de Moran. Regressão Geograficamente Ponderada.

Abstract

The use of public transport systems has been pointed out as a possible vector of virus transmission during epidemics. In this context, this article aims to analyze the spatial correlation between public transportation users and COVID-19 cases, using Recife (PE) as a case study. Using spatial analysis, the Moran I Global and Local index were calculated, and global and geographically weighted regression models were estimated for the months of March to June 2020, considering the neighborhood as spatial unit of analysis. The results indicated global and local spatial correlation between the variables considered. Nevertheless, the number of users of public transport is a variable that influenced the number of COVID-19 cases, especially in April, May, and June. Finally, the public transport system may not have been the only factor that contributed to the spread of COVID-19 in Recife, given the high number of neighborhoods without an indicator of local spatial association with statistical significance. As the public transport system contributes to the mobility of people who work in essential activities to the urban life, strategies that contribute to social distance within the vehicles of the system are necessary.

Keywords: Public Transport Systems. COVID-19. Spatial Analysis. Moran's I Index. Geographically Weighted Regression.

Introdução

Os primeiros casos de COVID-19, doença causada pelo coronavírus SARS-COV-2, ocorreram na China em dezembro/2019 e se disseminou muito rapidamente por todo o mundo, sendo considerada uma pandemia pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em março de 2020 (SOHRABI *et al.*, 2020).

Dentre as medidas para reduzir a transmissão de doenças infecciosas, destacam-se o fechamento de repartições públicas, comércio, e grandes polos geradores de viagens, aumento do trabalho remoto, a suspensão total ou parcial de serviços não essenciais (HENSON *et al.*, 2017) e a suspensão da operação do transporte público (MO *et al.*, 2020). Como exemplo, a suspensão dos serviços foi implementada para impedir a propagação do vírus da *influenza* nos anos de 1918 e 1919 (HENSON *et al.*, 2017). Durante a pandemia da COVID-19, cidades como Wuhan e Wuxi (China) e Milão (Itália) suspenderam a operação dos sistemas de transporte público de passageiros (total ou parcial) para reduzir o nível de contágio entre os usuários do transporte público (MO *et al.*, 2020). Ainda de acordo com Mo *et al.* (2020), parece existir uma forte correlação entre a dinâmica de deslocamento das pessoas e o número de casos de COVID-19.

Além dessas medidas, o distanciamento social foi uma estratégia adotada quase mundialmente para prevenção e redução do número de casos da COVID-19 (AINSLIE *et al.* 2020). O distanciamento social consiste em reduzir as atividades no exterior das residências de modo a manter o distanciamento físico entre as pessoas, além de reduzir o número de deslocamentos. Como consequência, tem-se o atraso na disseminação de doenças contagiosas, como a COVID-19, tornando a taxa de transmissão mais lenta, dando oportunidade ao sistema de saúde de absorver a demanda de pessoas infectadas por COVID-19 e acometidas por outras comorbidades.

No entanto, uma cidade precisa manter serviços essenciais para manter-se funcionando e, para isso, os sistemas de transporte público são fundamentais, apesar de poderem atuar como vetores de transmissão de vírus durante epidemias (RODRIGUE *et al.*, 2020; ANDREWS *et al.*, 2013; XU *et al.*, 2013; Edelson *et al.* 2011). Como existem vários conceitos, para efeito deste artigo, será usada a definição de sistema de transporte público proposta por Vuchic (2002), que diz que são serviços prestados por empresas públicas ou privadas, disponível para todos aqueles que pagam uma tarifa pré-determinada. Em áreas urbanas, os sistemas de transporte público típicos são ônibus, metrô, trem regional e outros modos que operam em rotas prescritas em horários estabelecidos.

O uso de sistemas de transporte público de passageiros por pessoas contaminadas é apontado como um possível veículo de disseminação de doenças (XU *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2019; TEIXEIRA *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2020; GUPTA; ABRAMSON, 2007), apesar desse ser um sistema essencial para o funcionamento das cidades. O contato entre usuários dos sistemas de transportes públicos

pode ser um mediador na transmissão de doenças contagiosas (MO *et al.*, 2020; MOHR *et al.*, 2012; LEE *et al.* 2020), muito pelo fato de os sistemas operarem com alta ocupação e em ambientes fechados (MOHR *et al.* 2012). A literatura aponta que a utilização dos sistemas de transporte público contribuiu para a disseminação de doenças contagiosas como a *Influenza* (LEMEY *et al.*, 2014) e o *ebola* (HENSON *et al.*, 2017).

Há uma vasta literatura analisando a relação das epidemias com os sistemas de transporte público, porém ainda existem lacunas de pesquisa. Apesar de a literatura comprovar que os sistemas de transporte público são potenciais vetores de doenças contagiosas, os resultados se voltam muito para estratégias de redução da contaminação pela doença. Contudo, o transporte público é um serviço essencial. Medidas como as restrições de viagens penalizam os trabalhadores de serviços essenciais, tão importantes para momentos de pandemia. Nesse sentido, este artigo vem contribuir com esta lacuna, analisando a contribuição do transporte público na disseminação da COVID-19, por meio de análise espacial-temporal.

Entender a disseminação de qualquer tipo de vírus por meio dos sistemas de transportes públicos é essencial para criar estratégias que permitam o funcionamento de serviços essenciais, sem impactar demasiadamente o sistema de saúde pública (COSNER *et al.*, 2009; BOGOCH *et al.*, 2020; TIRACHINI *et al.*, 2020; LIU, 2020). Considerando isto, tem-se a seguinte pergunta de pesquisa: existe correlação espacial entre os usuários de sistema de transporte público e o número de infectados por COVID-19? Tem-se como hipótese de pesquisa que existe correlação espacial entre os usuários do sistema de transporte público e o número de infectados por COVID-19 na cidade do Recife (PE). Assim, este artigo tem como objetivo analisar a correlação espacial entre os usuários do Sistema de Transporte Público de Passageiros (STPP) e os casos da COVID-19 na cidade do Recife. Para tanto, utilizou-se de análise espacial para identificar a correlação do uso do STPP na disseminação da COVID-19.

Epidemias no contexto dos Sistemas de Transporte Público de Passageiros

A disseminação de vírus necessita de uma aproximação física de uma pessoa saudável com uma pessoa infectada. É essencial analisar os percursos individuais dos passageiros e os níveis de aglomerações das viagens nos sistemas de transporte público (CHAN *et al.*, 2020) para entender a disseminação de um vírus em uma área urbana. Assim, entender os padrões de mobilidade da população é um elemento importante para a construção de modelos de disseminação de epidemias (HACKL *et al.*, 2019), principalmente considerando as características espaciais e o nível de ocupação dos SPTS nos modelos epidemiológicos (COLIZZA *et al.* 2007; EUBANK *et al.* 2004), para, assim, identificar os caminhos dominantes de propagação do vírus (GAUTREAU *et al.*, 2008).

A literatura sobre a disseminação de vírus devido à utilização de sistemas de transporte público de passageiros é vasta. Mateus *et al.* (2014) apresentam uma revisão de literatura sobre a temática. A utilização de simulação também foi uma ferramenta utilizada para avaliar a disseminação de vírus pelos STPPs (SHOGHRI *et al.*, 2019; HADDAD *et al.*, 2016; RAMLI; MONTEROLA, 2015; LEMEY *et al.*, 2014), enquanto outros pesquisadores se concentraram na análise do uso do transporte público como um vetor para as transmissões de vírus (MO *et al.*, 2020; QUIAN *et al.*, 2020; DU e BAI, 2018; BÓTA *et al.*, 2017; RAMLI; MONTEROLA, 2015; SUN *et al.*, 2015; ANDREWS *et al.*, 2013; XU *et al.*, 2013).

Alguns estudos analisaram medidas para reduzir a taxa de disseminação de vírus, como tornar inativas as estações STPP com maior dinâmica de transmissão de vírus (RAMLI; MONTEROLA, 2015). Tal estratégia se baseia no fato de que as restrições às viagens atrasaram a propagação do vírus da gripe (MATEUS *et al.*, 2014; SHOGHRI *et al.*, 2019).

No entanto, a maior parte dos estudos foca no desenvolvimento de modelos de disseminação de doenças pelo uso dos sistemas de transporte público de passageiros. Para Tirachini e Cats (2020), modelos de transmissão de doenças por sistemas de transportes públicos permitem testar as consequências potenciais de vários níveis de demanda do sistema e características da disseminação de vírus para apoiar novas estratégias de controle da pandemia.

Balcan *et al.* (2010) desenvolveram um modelo denominado *Global Epidemic and Mobility* (GLEaM), que integra dados sociodemográficos e de deslocamento de pessoas. Os autores utilizaram uma abordagem estocástica da doença, espacialmente estruturada, para simular a propagação de epidemias em escala mundial. Para o caso da COVID-19, Chinazzi *et al.* (2020) mostraram que os efeitos da restrição de viagens a partir da China atrasaram a disseminação da doença pelo mundo.

Por fim, López-Olmedo *et al.* (2020), por meio de uma revisão da literatura, concluíram que existe um aumento na probabilidade de infecções respiratórias associadas ao uso do transporte público. Os mesmos autores apontaram que a incidência de contágio viral da *influenza* A ou B foi 54% maior em pessoas que utilizam frequentemente o transporte público em comparação com pessoas que não utilizam frequentemente o serviço. Usando dados de Londres, Goscé e Johansson (2018) identificaram que o número de infectados por *influenza* e outras doenças virais é maior entre as pessoas que utilizam o metrô para deslocamentos mais longos (logo, com maior tempo de viagem), principalmente em bairros mais populosos, com predominância de usuários do metrô.

Esta seção deixa evidente que, apesar da vasta literatura analisando a relação das epidemias com os sistemas de transporte público, ainda existem lacunas de pesquisa. Por exemplo, apesar de a literatura comprovar que os sistemas de transporte público são potenciais vetores de doenças contagiosas, os resultados se voltam muito para estratégias de redução da contaminação pela doença. Contudo, o transporte público é um serviço essencial. Medidas como as restrições de viagens penalizam os trabalhadores de serviços essenciais, tão importantes para momentos de pandemia. Nesse sentido, este artigo vem contribuir com esta lacuna, analisando a contribuição do transporte público na disseminação da COVID-19, por meio de análise espacial-temporal. A próxima seção detalha esse método de pesquisa.

Método de pesquisa

Para analisar a influência do sistema de transporte público na disseminação da COVID-19, foram necessários dados do número de passageiros que utilizam o STPP e do número de infectados por COVID-19. Como o estudo foi desenvolvido para Recife (PE), dados do número de infectados foram obtidos na Secretaria de Saúde de Pernambuco (PERNAMBUCO, 2020), para o período de 12 de março (primeiro caso registrado em Recife) a 30 de junho de 2020. Em relação aos usuários do sistema de transporte público, a partir dos dados da pesquisa origem-destino realizada em 2018 (ICSP, 2020), considerou-se o número diário de passageiros do transporte público, por motivo trabalho, como *proxy* na análise devido à indisponibilidade de dados atualizados para o mesmo período em que se coletaram os casos de COVID-19. Sobre isso, salienta-se que usuários de transporte público para motivo de trabalho geralmente são cativos do sistema e, por isso, seus números diários não variam muito com o tempo. As análises foram realizadas para os meses de março, abril, maio e junho.

A análise espacial foi utilizada como método de pesquisa. Inicialmente, foram elaborados cartogramas para cada um dos meses analisados, para ilustrar a distribuição espacial do fenômeno investigado para caracterização da área de estudo.

O Índice I de Moran global bivariado foi calculado para identificar correlação entre as variáveis analisadas no Recife. O Índice I de Moran global bivariado mede a correlação espacial entre duas variáveis, analisando a relação entre a covariância e a variância dos elementos analisados para a área de estudo como um todo (MELICIANI; PERACCHI, 2009). O teste de pseudo significância fornece a significância estatística do índice pelo z-valor e respectivo p-valor. Se o p-valor $< 0,05$, rejeita-se a hipótese nula de independência espacial entre as variáveis. O resultado do índice I de Moran global bivariado deve ser comparado com o índice I de Moran esperado para a área de estudo. Quando os valores obtidos são próximos ao índice I esperado, pode-se dizer que a correlação espacial é mais intensa (ANSELIN, 1996; GOODCHILD, 1986). Detalhes sobre o cálculo do Índice I de Moran Global bivariado podem ser obtidos em Moran (1974).

Também foi calculado o Índice I de Moran local bivariado, que mede a heterogeneidade da amostra. Ele é obtido de maneira análoga ao índice global, entretanto obtém a relação entre a variância e a covariância para cada unidade geográfica da área de estudo. No cálculo foi considerado a contiguidade da rainha para a elaboração da matriz de pesos e intervalo de confiança de 95%. A partir do cálculo do Índice I de Moran local bivariado, obtém-se o Índice Associação Espacial Local (do inglês, *Local Indicators of Spatial Association* – LISA), cujos resultados indicam *clusters* (ou agrupamentos) de unidades geográficas contíguas, cujo LISA é significativo. Os *clusters* indicam a similaridade de uma unidade geográfica com seu vizinho, a partir do índice de correlação local agrupados em um *map cluster*. Para maiores informações sobre o Índice I de Moran local bivariado e o LISA, sugere-se consultar Anselin (1995). Essas análises foram realizadas no *software* GeoDa.

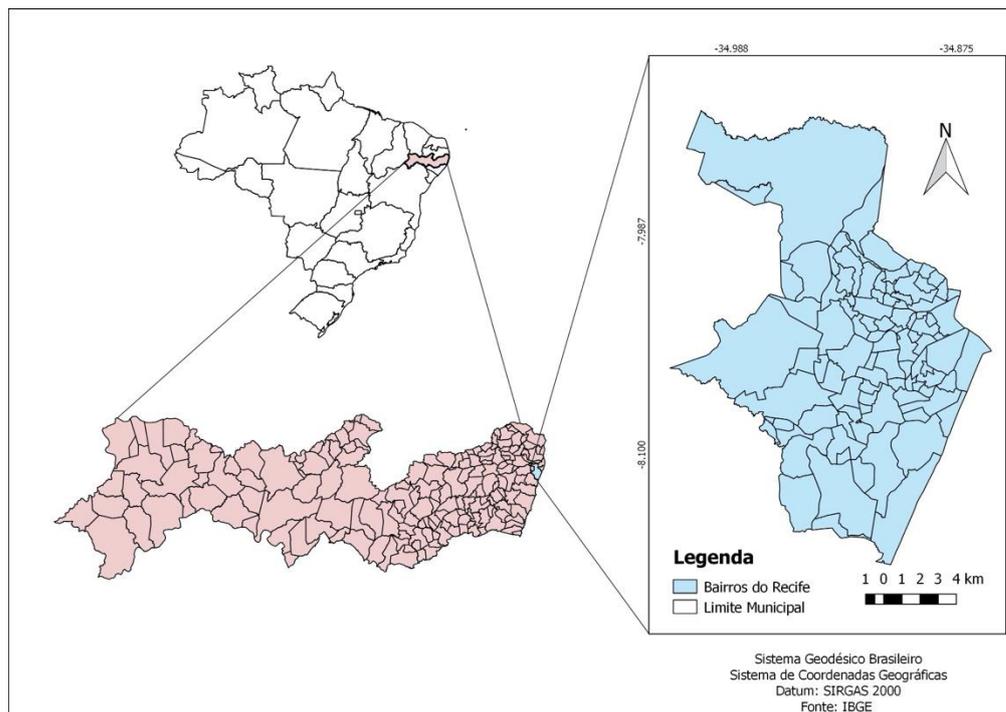
Por fim, foram estimados modelos de regressão global e geograficamente ponderados para cada um dos meses de análise. Nos modelos de regressão global, são estimados os parâmetros globais das variáveis do fenômeno estudado. Nos modelos de regressão geograficamente ponderados, são

estimados coeficientes em função de sua localização, permitindo analisar a influência das variáveis de análise a nível local (FORTHERINGHAM *et al.*, 2002). Neste trabalho, foram estimados modelos em que o número de casos era a variável resposta, e o número de passageiros, a variável independente. Esses modelos foram estimados, utilizando-se o pacote *spgwr* (BIVAND *et al.*, 2020) na linguagem R e utilizando-se também a função gaussiana. As estatísticas do modelo foram obtidas, empregando o pacote *GWmodel* (LU *et al.*, 2020) na linguagem R.

Caracterização da área de estudo

A cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, no Nordeste brasileiro (Figura 1), foi escolhida como área de estudo. A população estimada de cidade do Recife, em 2020, é de 1.653.461 habitantes, distribuída em 219km² (IBGE, 2020)

Figura 1: Localização da cidade do Recife no Estado de Pernambuco e no Brasil



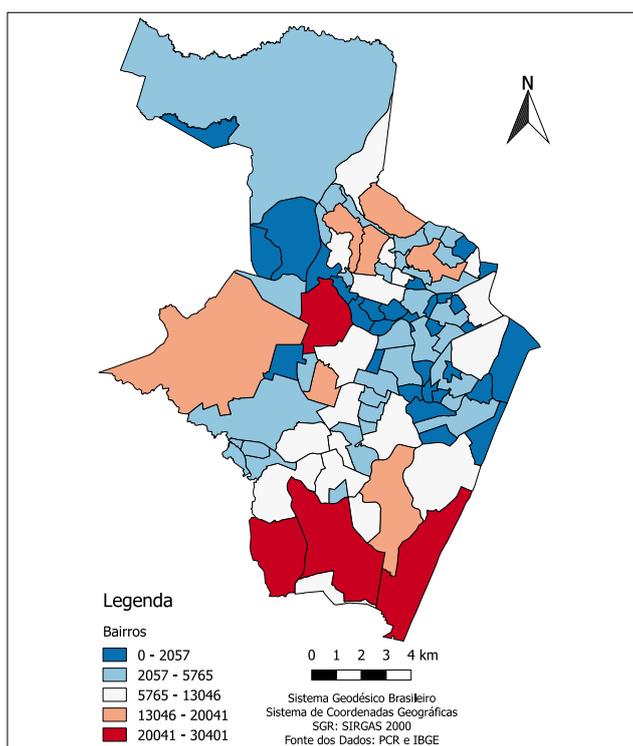
Fonte: IBGE (2020).

O território da capital pernambucana é marcado por extrema desigualdade social, evidenciada pelo alto valor do Índice de Gini (0,67 – Atlas do Desenvolvimento Humano, 2010), sendo considerada a capital brasileira com maior desigualdade social. Isso se reflete na distribuição da população no espaço, onde, em um mesmo bairro, há uma parcela da população morando em habitações luxuosas e outra parcela que não dispõe nem saneamento básico adequado. Apenas 69,2% do município têm saneamento básico adequado, e 49,6% das vias têm urbanização adequada (IBGE, 2017). O estudo espacial realizado por Cavalcanti e Avelino (2018) demonstra o quão complexa é a urbanização da cidade. Uma grande porção do norte e do oeste da cidade abrigam zonas de preservação ambiental, a porção leste, próxima à costa, abriga uma grande porção de patrimônio histórico material, preservado pelo IPHAN e por todo território é possível encontrar diversas concentrações de Zonas de Especial Interesse Social (ZEIS), que abrigam a porção da população com menor renda e menor acesso à infraestrutura urbana. Assim, a porção sudeste e a região central são aquelas que abrigam maior concentração populacional, por poderem abrigar maior número de unidades multifamiliares e terem melhores condições para o adensamento urbano.

Na Figura 2, é apresentada a representação cartográfica do número de passageiros do transporte público nos bairros de Recife. Observa-se que os bairros da zona sul, juntamente com o bairro da zona oeste, são os que concentram o maior número de passageiros. Segundo dados da pesquisa origem-destino (ICPS, 2020), cerca de 43% da população do Recife utilizam os sistemas de transportes públicos para deslocamentos por motivo de trabalho. O STPP/RMR é gerido pelo Grande

Recife Consórcio de Transporte e composto pelo Sistema Estrutural Integrado (SEI) e pelo Sistema de Transporte Complementar Metropolitano (STCM). O SEI, que atende a maior parte dos passageiros, é uma rede de transporte público com linhas de ônibus e metrô integradas por terminais que possibilitam que o usuário viaje dentro da RMR pagando apenas uma tarifa. O SEI apresenta uma configuração espacial constituída por eixos radiais e perimetrais, sendo os terminais de integração localizados no cruzamento desses eixos. Essa configuração de transporte, embora tenha uma função social ao permitir que as pessoas que moram mais longe possam ter o benefício de pagar apenas uma tarifa, exige que muitos transbordos sejam feitos nos terminais de integração, que acabam tendo grande aglomeração de pessoas. No entanto, são constantes os problemas relacionados às precárias condições deste sistema, principalmente em relação à elevada ocupação dos veículos (SILVA, 2018).

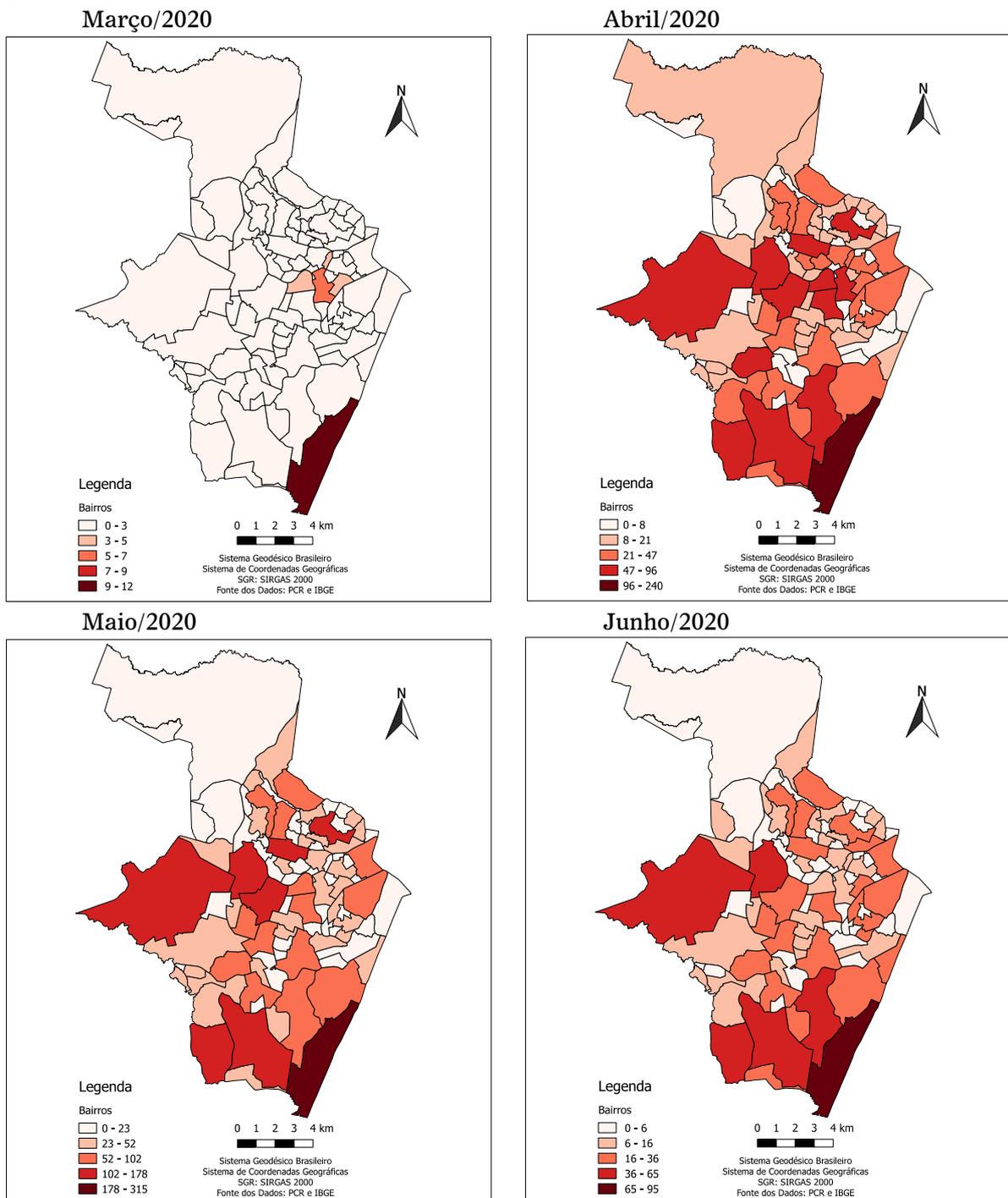
Figura 2: Representação cartográfica do número de passageiros do sistema de transporte público em Recife



Fonte: ICPS (2020).

Em relação à COVID-19, o primeiro caso de transmissão foi diagnosticado em 12 de março de 2020. A partir dessa data, o número de casos aumentou gradativamente, conforme ilustrado nos cartogramas apresentados na Figura 3. Observa-se que, em março de 2020, os casos estavam concentrados no bairro localizado na região Sul do Recife. Em abril de 2020, houve, além do aumento do aumento nos números de casos, disseminação espacial do vírus. Em maio de 2020, a distribuição espacial foi semelhante ao mês de abril, apesar do aumento do número de casos. Finalmente, em junho de 2020, observa-se uma redução do número de casos, apesar de haver casos em todas as unidades espaciais. Para atrasar a propagação da COVID-19, o Governo Estadual de Pernambuco adotou o distanciamento social. Como consequência, observou-se queda na demanda de passageiros do sistema de transporte público, principalmente nos meses de março e abril de 2020. Diante da redução na demanda de passageiros, houve também a redução da frota e da frequência das linhas de ônibus para adequação da oferta e demanda, respeitando-se determinações locais no sentido de se minimizar ou evitar aglomerações (NTU, 2020).

Figura 3: Representação cartográfica do número de casos de COVID-19 entre março a junho no Recife



Fonte: Pernambuco (2020).

Segundo a FECOMÉRCIO-PE (2020), a partir de uma pesquisa para conhecer o perfil do usuário do transporte público de passageiro durante a pandemia, a população considera que o maior risco de contágio da COVID-19 está relacionado à utilização do sistema de transporte público nos horários em que o sistema se encontra com maior nível de ocupação. A frota de ônibus, ainda reduzida, não acompanha a demanda de passageiros que estão gradativamente retornando às atividades de trabalho, seguindo os protocolos de reabertura do Estado. A pesquisa também apontou que o aumento do tempo de espera entre as viagens é o ponto mais negativo para 34% das pessoas, seguido da elevada taxa de ocupação dos ônibus (32%) e da redução das linhas (22%). O estudo considera que essas dificuldades elevam o risco de contaminação entre os usuários (FECOMÉRCIO-PE, 2020).

Resultados e Análises

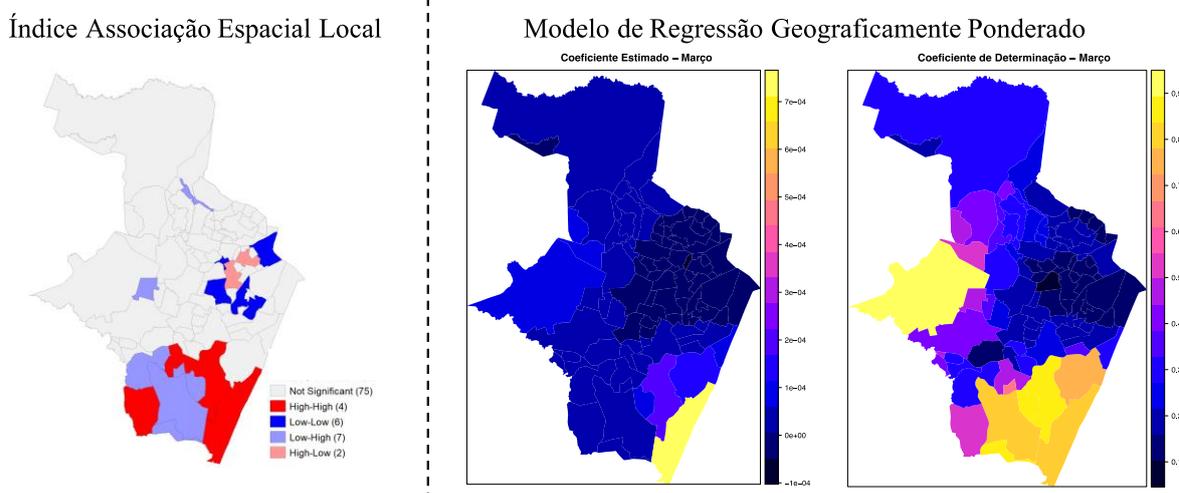
A Tabela 1 apresenta os resultados do Índice I de Moran global que avalia a existência de correlação espacial global. Para todos os meses, os resultados do teste de pseudo-significância indicam que existe a correlação espacial entre as variáveis, pois todos os p-valor < 0,05. Neste estudo, o índice I de Moran esperado para a cidade do Recife é de 0,33. Logo, exceto para o mês de março, pode-se concluir que é mais intensa a correlação espacial entre as variáveis nos meses de abril, maio e junho.

Tabela 1: Resultados da correlação espacial global – Índice I de Moran Global

Meses	Índice I	z valor (p-valor)
Março	0,060	1,382 (0,001)
Abril	0,116	2,374 (0,001)
Maio	0,190	3,528 (0,001)
Junho	0,225	4,145 (0,001)

O mês de março marcou o início da adoção das medidas de distanciamento social em Recife. Os resultados do índice de associação espacial local (LISA) e do modelo de regressão geograficamente ponderado estão apresentados na Figura 4. Os resultados do LISA indicam que os bairros com maior incidência de casos apresentaram *clusters* do tipo *high-high* ou *low-high*, indicando associação espacial positiva. Nesses mesmos bairros, o modelo de regressão geograficamente ponderado apresentou os maiores coeficientes de determinação (R^2), apesar dos baixos valores para os coeficientes estimados, em consequência de serem os primeiros estágios da disseminação do vírus. O maior coeficiente estimado foi para o bairro de Boa Viagem, com maior número de casos registrados, sendo esse um dos bairros com maior número de passageiros do sistema de transporte público. Dessa forma, pode-se concluir que existe correlação espacial entre os usuários do sistema de transporte público e o número de infectados por COVID-19 para 10 bairros do Recife no mês de março, representados pelos *clusters low-low* and *high-high*.

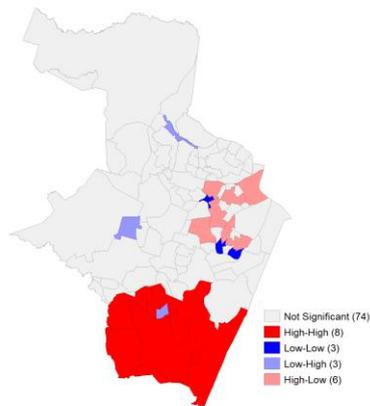
Figura 4: Resultados das análises espaciais para o mês de março



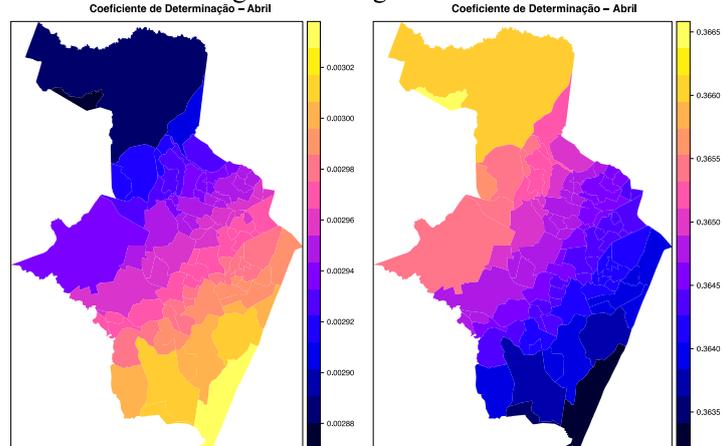
O mês de abril apresentou um aumento significativo no número de casos de COVID-19, tendo sido observados casos em todos os bairros do Recife. Os resultados do LISA apresentados na Figura 5 tornam possível observar a disseminação do vírus com o aumento do número de *clusters*, principalmente do tipo *high-high* ou *high-low*, que indica correlação espacial positiva nesses bairros. Esses resultados são confirmados pelo modelo de regressão geograficamente ponderado, em que os bairros com os maiores valores do coeficiente são os mesmos com os maiores quantitativos de usuários do sistema de transporte público, entretanto há locais com coeficientes de menor magnitude em regiões em que há grande número de passageiros, como locais com *cluster* do tipo *low-high*. Dessa forma, pode-se concluir que existe correlação local positiva entre o número de usuários do sistema de transporte público e o número de infectados por COVID-10 em 11 bairros do Recife no mês de abril.

Figura 5: Resultados das análises espaciais para o mês de abril

Índice Associação Espacial Local



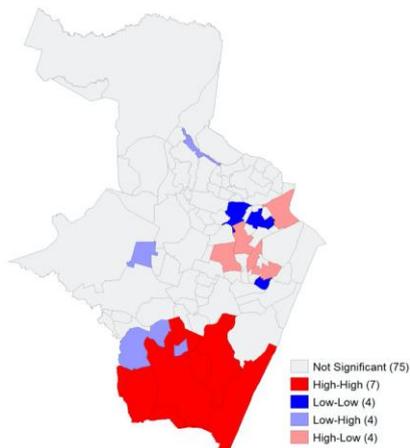
Modelo de Regressão Geograficamente Ponderado



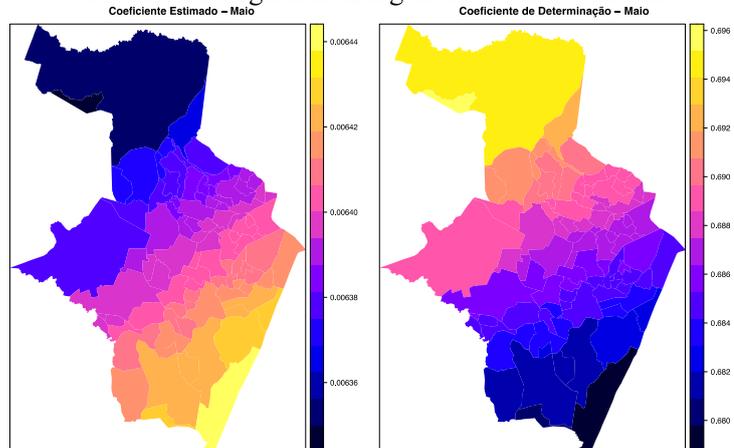
No mês de maio, o LISA indicou uma redução no número de *clusters* do tipo *high-high* e aumento dos *clusters* do tipo *low-low* (Figura 6), sinalizando ainda a existência de correlação espacial local positiva, mas uma alteração nos bairros com esta correlação. Além disso, os coeficientes estimados do modelo de regressão geograficamente ponderado apresentaram um ligeiro aumento, além do fato de o modelo ter apresentado melhores ajustes locais representados pelo coeficiente de determinação. Dessa forma, pode-se concluir que existe correlação local positiva entre o número de usuários do sistema de transporte público e o número de infectados por COVID-19 em 11 dos 94 bairros do Recife no mês de maio.

Figura 6: Resultados das análises espaciais para o mês de maio

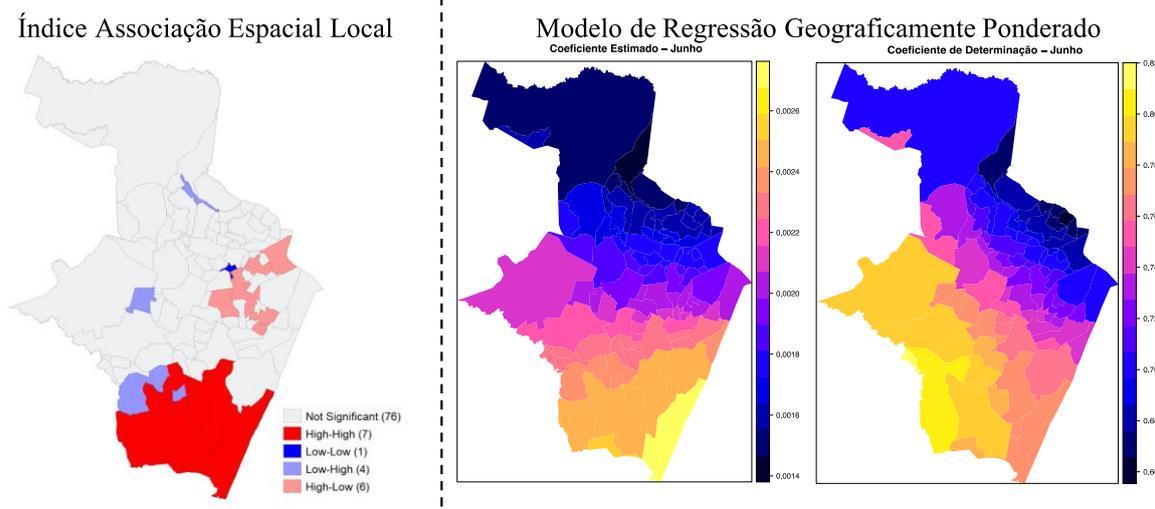
Índice Associação Espacial Local



Modelo de Regressão Geograficamente Ponderado



Em junho, houve redução no número de casos de COVID-19 em Recife, apesar de existir ocorrência em todos os bairros do município. Como consequência, o resultado do LISA (Figura 7) mostra um aumento do número de *clusters* do tipo *high-low*, sugerindo que o aumento do número de casos não está, necessariamente, associado ao número de usuários do sistema de transporte público. Apesar disso, o modelo de regressão geograficamente ponderado indica a existência de correlação espacial em todo o território recifense, com maiores valores estimados para a porção sul, que também apresenta os melhores ajustes locais observados pelo valor do coeficiente de determinação. Dessa forma, pode-se concluir que, apesar da redução do número de casos de COVID-19 e da identificação de correlação espacial negativa em alguns bairros de Recife (observado pelos *clusters* do tipo *high-low*), ainda existe correlação espacial positiva entre o número de usuários dos sistema de transporte público e o número de infectados por COVID-19 em nove bairros do Recife.

Figura 7: Resultados das análises espaciais para o mês de junho

Analisando os coeficientes dos modelos de regressão geograficamente ponderado, observa-se que a disseminação da COVID-19 ocorreu no sentido sudeste-noroeste. Esses modelos também demonstram a influência nas relações de vizinhança dos bairros, que se mostraram mais significativas na disseminação da COVID-19 que o próprio número de usuários do sistema de transporte público. Essa relação fica evidente ao comparar o cartograma do número de casos de COVID-19 e os resultados dos modelos, em que se observa similaridades no número de casos em bairros adjacentes e os resultados dos coeficientes dos modelos GWR nesse mesmo conjunto de bairros.

Por fim, os resultados da regressão global estão apresentados na Tabela 2. A regressão global permite identificar se o uso do STPP influenciou na disseminação da COVID-19. Apesar de os modelos terem coeficientes estatisticamente válidos (p-valor do teste-t) para todos esses meses e serem estatisticamente válidos (p-valor do teste-f), os valores estimados para o número de usuários do STPP apresentaram variação entre os meses analisados. Para o mês de março, que apresentou poucos casos concentrados em poucos bairros, o modelo não apresenta bom ajuste global (representado pelo valor do R^2). Os melhores ajustes foram obtidos para os meses de maio e junho.

Tabela 2: Resultados da regressão global

	Março	Abril	Maio	Junho
Número de usuários	0.00005	0.00298	0.00641	0.00217
T-valor (p-valor)	2.16 (0.033a)	7.20 (1.6e-10b)	14.09 (<2e-16b)	14.356 (<2e-16b)
Múltiplo R2	0.05	0.36	0.68	0.69
R2 Ajustado	0.04	0.35	0.68	0.69
F-estatística (p-valor)	4.67 (0.03)	51.88 (1.58e-10)	198.7 (< 2.2e-16)	206.1 (< 2.2e-16)
Sigma ($\hat{\sigma}$)	1.46	24.32	26.74	8.88

^a = 0,05, ^b = 0,01

O resultado da regressão global permite concluir que o número de usuários do sistema de transporte público influenciou no número casos de COVID-19 no Recife, confirmando os resultados da correlação global obtida pelo Índice I de Moran global bivariado. Contudo, quando analisa o fenômeno no bairro, observa-se a existência de correlação espacial local nos bairros localizados principalmente na poção sul do Recife. Como existiram casos em todos os bairros de Recife, pode-se concluir que o sistema de transporte público pode ter contribuído para a disseminação da COVID-19, principalmente em bairros em que o número de usuários é mais representativo. Contudo, o transporte público não foi o único fator de disseminação do COVID-19 na cidade do Recife, visto que o número de bairros sem incidência de *clusters* de correlação local foi representativo neste estudo.

Os resultados permitem concluir que o transporte público é um dos fatores que contribuíram para a disseminação da COVID-19 no Recife. Contudo, comparando os resultados do LISA com os

modelos regredidos geograficamente ponderados, observa-se que esta incidência é maior nos bairros com maior número de usuários do sistema de transporte público. Por fim, observou-se uma grande parte do território sem *clusters* com significância estatística, indicando que outros fatores influenciaram na disseminação da COVID-19.

Conclusão

A COVID-19 tem se mostrado um desafio para as autoridades públicas no que tange ao gerenciamento da disseminação do vírus. As medidas de distanciamento social reduziram os deslocamentos urbanos e pareceram reduzir a velocidade da disseminação, apesar desta hipótese não poder ser testada devido à escassez de dados de movimentação de pessoas durante a pandemia. Como alternativa, torna-se importante investigar possíveis fatores que podem contribuir para a disseminação de doenças infectocontagiosas, com a COVID-19, para identificação de estratégias eficazes que reprimam o avanço da disseminação. Nesse sentido, este artigo analisou a correlação espacial entre o número de usuários do sistema de transporte público do Recife e o número de casos de COVID-19.

Com esse intuito, foi feita uma pergunta-condutora para investigar se existe correlação espacial entre os usuários de sistema de transporte público e o número de infectados por COVID-19. Feita a pesquisa, o estudo confirmou a hipótese de pesquisa, mostrando que existe correlação espacial global e local, com ocorrência de *clusters* que indicam existência de relação espacial de vizinhança entre o número de casos de COVID-19 e o número de usuários do transporte público, nos meses de março a junho, na cidade do Recife, comprovando a hipótese de pesquisa. Dessa forma, também se pode afirmar que os objetivos do artigo foram atingidos. Ao analisar a contribuição do transporte público na disseminação da COVID-19, por meio de análise espacial-temporal, infere-se que também foi atingida a proposta de suprir essa lacuna na literatura.

Como os serviços essenciais continuaram a funcionar para a manutenção da vida urbana, assim como ocorre a retomada gradual das atividades na medida em que os casos diminuem e protocolos de segurança sanitárias são criados, o sistema de transporte público deve fornecer segurança aos seus usuários, uma vez que o nível de ocupação dos sistemas de transporte público é um fator contribuinte para a disseminação da COVID-19. Como o sistema de transporte público deve ser um espaço democrático, muitas vezes pessoas portadoras do vírus, na busca por atendimento do sistema de saúde ou por desconhecimento sobre a patologia, compartilham espaço com pessoas saudáveis. Dessa forma, é fundamental manter o distanciamento social dentro dos veículos que compõem o sistema de transporte público, fazendo com que os mesmos operem com nível de ocupação abaixo do previsto. Para garantir o acesso de todos, é fundamental o aumento da oferta, principalmente nos horários de pico, para reduzir a ocupação dos veículos, garantir o distanciamento social e a manutenção das atividades econômicas da cidade. Adicionalmente, o incentivo ao transporte ativo, com investimento em infraestrutura, pode garantir o deslocamento da população de maneira segura e saudável.

Para futuros trabalhos, sugere-se incorporar na análise espacial outros fatores com o objetivo de entender como as relações sócio-econômicas-espaciais podem ter influenciado na disseminação da COVID-19 em Recife.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES, FACEPE e FAPEMIG pelo suporte a pesquisa.

Referências

- AINSLIE, K.E. *et al.* Evidence of initial success for China exiting COVID-19 social distancing policy after achieving containment. **Wellcome Open Research**, v.5, 81, 2020. DOI: 10.12688/wellcomeopenres.15843.1
- ANDREWS, J.R.; MORROW, C.; WOOD, R. (Modeling the Role of Public Transportation in Sustaining Tuberculosis Transmission in South Africa. **American Journal of Epidemiology**, v.177, n.6, p.556-561, 2013. DOI: 10.1093/aje/kws331
- ANSELIN, L. Local Indicator of Spatial Association - LISA. **Geographical Analysis**, v.72, n.2, p.93-115, 1995. DOI: 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x

ANSELIN, L. The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association. In: FISCHER, M.M.; SCHOLTEN, H.J.; UNWIN, D. (eds) **Spatial Analytical Perspectives on GIS**. Londres: Taylor & Francis. cap. 8, p. 111-126, 1996.

ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO. **Atlas do Desenvolvimento Humano: Recife, PE**, 2010. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/recife_pe>. Acesso em: 18 set. 2020.

BALCAN, D. *et al.* Modeling the spatial spread of infectious diseases: The Global Epidemic and Mobility computational model. **Journal of Computational Science**, v.1, p.132–145, 2010. DOI: [10.1016/j.jocs.2010.07.002](https://doi.org/10.1016/j.jocs.2010.07.002)

BIVAND, R.; YU, D.; NAKAYA, T.; GARCIA-LOPEZ, M. **Spgwr: Geographically Weighted Regression**. v.0.6-34, 16 set. 2020. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=spgwr> Acesso em: 12 set 2020.

BOGOCH, I.I. *et al.* Pneumonia of unknown aetiology in Wuhan, China: potential for international spread via commercial air travel. **Journal of travel medicine**, v.27, n.2, taaa008, 2020. DOI: [10.1093/jtm/taaa008](https://doi.org/10.1093/jtm/taaa008)

BÓTA, A.; GARDNER, L.M.; KHANI, A. Identifying Critical Components of a Public Transit System for Outbreak Control. **Network and Spatial Economics**, v.17, p.1137–1159, 2017. DOI: 10.1007/s11067-017-9361-2

CAVALCANTI, H.; AVELINO, E. Dimensão teórica da exclusão/inclusão e diferentes padrões de medidas intra-urbanas. Recife seus recortes:naturais e inventados. In: CAVALCANTI, H.; LYRA, M.R.J.; AVELINO, E. **Mosaico Urbano do Recife: Inclusão/Exclusão Socioambiental**. Recife: Editora Massangana, 2018. cap. I, p. 16-53.

CHAN, J.F.W.; *et al.* A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: a study of a family cluster. **The Lancet**, v.395, p.514-523, 2020. DOI: [10.1016/S0140-6736\(20\)30154-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30154-9)

CHINAZZI, M. *et al.* The effect of travel restrictions on the spread of the 2019 novel coronavirus (COVID-19) outbreak. **Science**, v.368, p.395–400 2020. DOI: 10.1126/science.aba9757

COLIZZA, V. *et al.* Epidemic modeling in complex realities. **Comptes Rendus Biologies**, v.330, n.4, p.364-374, 2007. DOI: [10.1016/j.crv.2007.02.014](https://doi.org/10.1016/j.crv.2007.02.014)

COSNER, C. *et al.* (2009). The effects of human movement on the persistence of vector-borne diseases. **Journal of theoretical biology**, v. 258, n. 4, p. 550-560. DOI: /10.1016/j.jtbi.2009.02.016

DU, Z. BAI, Y. Detecting the impact of public transit on the transmission of epidemics. **Social and Information Networks**, 2018. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1801.09333>>. Acesso em: 01 set. 2020.

EDELSON, P. J.; PHYPER, M. TB transmission on public transportation: a review of published studies and recommendations for contact tracing. **Travel medicine and infectious disease**, v.9, n.1, p.27-31, 2011. DOI: 10.1016/j.tmaid.2010.11.001

EUBANK, S. *et al.* Modelling disease outbreaks in realistic urban social networks. **Nature**, v.429, n.6988, p.180-184, 2004. DOI: [10.1038/nature02541](https://doi.org/10.1038/nature02541)

FECOMÉRCIO-PE (2020). **Perfil do usuário do transporte público da Região Metropolitana do Recife (RMR)**. Recife: Federação do Comércio de Bens, Serviços e Turismo do Estado de Pernambuco. Disponível em: <<http://fecomercio-pe.com.br/site/wp-content/uploads/2020/09/Pesquisa-Transporte-P%C3%BAblico.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2020.

FORTHERINGHAM, A.S.; BRUNSDON, C.; CHASRLTON, M. **Geographically Weighted Regression: The analysis of spatially varying relationships**. West Sussex, England: John Wiley and Sons, LTD, 2002.

- GAUTREAU, A.; BARRAT, A.; BARTHELEMY, M. Global disease spread: statistics and estimation of arrival times. **Journal of theoretical biology**, v.251, n.3, p.509-522, 2008. DOI: 10.1016/j.jtbi.2007.12.001
- GOODCHILD, M.F. (1986) **Spatial Autocorrelation**. Ontario: Geo Books
- GOSCÉ, L.; JOHANSSON, A. Analysing the link between public transport use and airborne transmission: mobility and contagion in the London underground. **Environmental Health**, v.17, 84, 2018. DOI: [10.1186/s12940-018-0427-5](https://doi.org/10.1186/s12940-018-0427-5)
- HACKL, J. & DUBERNET, T. Epidemic spreading in urban areas using agent-based transportation models. **Future Internet**, v.11, n.4, 92, 2019 DOI: [10.3390/fi11040092](https://doi.org/10.3390/fi11040092)
- HADDAD, H.; MOULIN, B.; THÉRIAULT, M. A fully GIS-integrated simulation approach for analyzing the spread of epidemics in urban areas. **Sigspatial**, v.9, n.1, p.34-41, 2016. DOI 10.1145/2961028.2961034
- HENSON, T.C. TIMMONS, M.; MCDANIEL, J. **Public Transit Emergency Preparedness Against Ebola and Other Infectious Diseases: Legal Issues**. The National Academies Press: Washington, 2017. DOI: 10.17226/24795
- IBGE. IBGE Cidades: Recife. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>>. Acesso em: 18 set. 2020.
- ICPS (2020) **Matriz Origem-Destino**. Recife: Instituto da Cidade Pelópidas Silveira. Disponível em: <http://icps.recife.pe.gov.br/node/61317>>. Acesso em: 30 ago. 2020.
- LEE, V.J. *et al.* Epidemic preparedness in urban settings: new challenges and opportunities. **The Lancet Infectious Diseases**, v.20, p.527-529, 2020. DOI: [10.1016/S1473-3099\(20\)30249-8](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30249-8)
- LEMEY, P., *et al.* Unifying Viral Genetics and Human Transportation Data to Predict the Global Transmission Dynamics of Human Influenza H3N2. **PLOS Pathogens**, v.10, n.2, e1003932, 2014. DOI: 10.1371/journal.ppat.1003932
- LI, T.; RONG, L.; YAN, K. Vulnerability analysis and critical area identification of public transport system: A case of high-speed rail and air transport coupling system in China. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v.127, p.55-70, 2019. DOI: 10.1016/j.tra.2019.07.008
- LIU, L. Emerging study on the transmission of the Novel Coronavirus (COVID-19) from urban perspective: Evidence from China. **Cities**, v. 103, 102759, 2020. DOI: [10.1016/j.cities.2020.102759](https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102759)
- LÓPEZ-OLMEDO, N. *et al.* (2020). Revisión rápida: probabilidad de contagio por infecciones respiratorias agudas en el transporte público y medidas para mitigarlo. **Salud Pública de México**, p.1-25. DOI: [10.21149/11601](https://doi.org/10.21149/11601)
- LU, B. *et al.* **GWmodel: Geographically-Weighted Models**. v.2.1-4, 2020. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=GWmodel>>. Acesso em: 12 set. 2020.
- MATEUS, A.L.P. *et al.* Effectiveness of travel restrictions in the rapid containment of human influenza: a systematic review. **Bulletin of the World Health Organization**, v.92, 868-880D, 2014. DOI: 10.2471/BLT.14.135590
- MELICIANI, V.; PERACCHI, F. Convergence in per-capita GDP across European regions: a reappraisal. **Empirical Economics**, v. 31, p.549-568, 2006. DOI: 10.1007/s00181-006-0053-x
- MO, B. *et al.* Modeling Epidemic Spreading through Public Transit using Time-Varying Encounter Network. **Physics and Society**, 2020. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2004.04602> Acesso em: 01 set. 2020.
- MOHR, O. *et al.* Evidence for airborne infectious disease transmission in public ground transport: a literature review. **Eurosurveillance**, v.35, n.17, 20255, 2012. DOI: [10.2807/ese.17.35.20255-en](https://doi.org/10.2807/ese.17.35.20255-en)
- NTU. **COVID-19 e o transporte público por ônibus: impactos no setor e ações realizadas**. Brasília: Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. Disponível em:

[ht<tps://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub637231535674949776.pdf>](https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub637231535674949776.pdf). Acesso em: 15 set. 2020.

PERNAMBUCO (2020) **Boletim Epidemiológico – COVID-19**. Recife: Secretaria Estadual de Saúde de Pernambuco. Disponível em: <<http://portal.saude.pe.gov.br/boletim-epidemiologico-covid-19>> Acesso em: 30 ago. 2020.

QUIAN, X.; SUN, L.; UKKUSURI, S.V. Scaling of contact networks for epidemic spreading in urban transit systems. **Physics and Society**, 2020. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2002.03564v1>>. Acesso em: 01 set. 2020.

RAMLI, M.A.; MONTEROLA, C.P. The Resilience of the Encounter Network of Commuters for a Metropolitan Public Bus System. **Procedia Computer Science**, v.51, p.2117-2116, 2015. DOI: 10.1016/j.procs.2015.05.482

RODRIGUE, J.-P.; LUKE,T.; OSTERHOLM, M. Transportation and Pandemics. In J.-P. RODRIGUE. **The Geography of Transport Systems**. New York: Routledge, 2020. Chapter 11.

SHOGHRI, A.E., *et al.* (2019) How Mobility Patterns Drive Disease Spread: A Case Study Using Public Transit Passenger Card Travel Data. In **2019 IEEE 20th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks**, Washington. DOI: 10.1109/WoWMoM.2019.8793018

SILVA, M.N. **O transporte público coletivo na produção do espaço: experiências cotidianas de uma mobilidade periférica na Região Metropolitana do Recife**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. f. 102.

SOHRABI, C. *et al.* (2020). World Health Organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19). *International Journal of Surgery*, v.76, p.71-76. DOI: [10.1016/j.ijso.2020.02.034](https://doi.org/10.1016/j.ijso.2020.02.034)

SUN, L. *et al.* Efficient detection of contagious outbreaks in massive metropolitan encounter networks. **Scientific Report**, v.4, 5099, 2015. DOI: 10.1038/srep05099

TEIXEIRA, J.F., & LOPES, M. The link between bike sharing and subway use during the COVID-19 pandemic: The case-study of New York's Citi Bike. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, v.6, 100166, 2020. DOI: [10.1016/j.trip.2020.100166](https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100166)

TIRACHINI, A.; CATS, O. (2020) COVID-19 and Public Transportation: Current Assessment, Prospects, and Research Needs. **Journal of Public Transportation**, v.22, n.1, p.1-21, 2020. DOI: 10.5038/2375-0901.22.1.1

VUCHIC, V.R. (2002). **Urban public transportation systems**. Philadelphia: University of Pennsylvania.

XU, B. *et al.* Impacts of road traffic network and socioeconomic factors on the diffusion of 2009 pandemic influenza A (H1N1) in Mainland China. **International journal of environmental research and public health**, v.16, n.7, 1223, 2019. DOI: [10.3390/ijerph16071223](https://doi.org/10.3390/ijerph16071223)

XU, F., MCCLUSKEY, C.C., CRESSMAN, R. Spatial spread of an epidemic through public transportation systems with a hub. **Mathematical Biosciences**, v.246, p.164-175, 2013. DOI: 10.1016/j.mbs.2013.08.014

ZHANG, Y.; ZHANG, A.; WANG, J. Exploring the roles of high-speed train, air and coach services in the spread of COVID-19 in China. **Transport Policy**, v.94, p.34-42, 2020. DOI: [10.1016/j.tranpol.2020.05.012](https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.05.012)



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.