

TEXTO PARA DISCUSSÃO

2922

**OS IMPACTOS DESIGUAIS DO
CONGESTIONAMENTO URBANO
NO ACESSO A EMPREGOS**

**DIEGO BOGADO TOMASIELLO
RAFAEL H. M. PEREIRA
VANESSA GAPRIOTTI NADALIN**

ipea

Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

2022

Rio de Janeiro, setembro de 2023

**OS IMPACTOS DESIGUAIS DO
CONGESTIONAMENTO URBANO
NO ACESSO A EMPREGOS**

DIEGO BOGADO TOMASIELLO¹

RAFAEL H. M. PEREIRA²

VANESSA GAPRIOTTI NADALIN³

1. Pesquisador do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). *E-mail:* diego.tomasiello@ipea.gov.br.

2. Técnico de planejamento e pesquisa na Coordenação-Geral de Ciência de Dados e Tecnologia da Informação (CGDTI); e coordenador da Coordenação de Ciência de Dados na CGDTI do Ipea. *E-mail:* rafael.pereira@ipea.gov.br.

3. Técnica de planejamento e pesquisa; e diretora adjunta na Dirur/Ipea. *E-mail:* vanessa.nadalin@ipea.gov.br.

Governo Federal

Ministério do Planejamento e Orçamento

Ministra Simone Nassar Tebet

ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada ao Ministério do Planejamento e Orçamento, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidenta

LUCIANA MENDES SANTOS SERVO

Diretor de Desenvolvimento Institucional

FERNANDO GAIGER SILVEIRA

**Diretora de Estudos e Políticas do Estado,
das Instituições e da Democracia**

LUSENI MARIA CORDEIRO DE AQUINO

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas

CLÁUDIO ROBERTO AMITRANO

**Diretor de Estudos e Políticas Regionais,
Urbanas e Ambientais**

ARISTIDES MONTEIRO NETO

**Diretora de Estudos e Políticas Setoriais,
de Inovação, Regulação e Infraestrutura**

FERNANDA DE NEGRI

Diretor de Estudos e Políticas Sociais

CARLOS HENRIQUE LEITE CORSEUIL

Diretor de Estudos Internacionais

FÁBIO VÉRAS SOARES

Chefe de Gabinete

ALEXANDRE DOS SANTOS CUNHA

Coordenador-Geral de Imprensa e Comunicação Social

ANTONIO LASSANCE

Ouidoria: <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>

URL: <http://www.ipea.gov.br>

Texto para Discussão

Publicação seriada que divulga resultados de estudos e pesquisas em desenvolvimento pelo Ipea com o objetivo de fomentar o debate e oferecer subsídios à formulação e avaliação de políticas públicas.

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2023

Tomasiello, Diego Bogado

Os impactos desiguais do congestionamento urbano no acesso a empregos / Diego Bogado Tomasiello, Rafael H. M. Pereira, Vanessa Gapiotti Nadalin. – Rio de Janeiro: IPEA, 2023.
42 p. : il. – (Texto para Discussão ; 2922).

Inclui Bibliografia.
ISSN 1415-4765

1. Transporte Urbano. 2. Acessibilidade Urbana. 3. Congestionamento. 4. Acesso a Empregos. 5. Desigualdades. I. Pereira, Rafael H. M. II. Nadalin, Vanessa Gapiotti. III. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. IV. Título.

CDD 343.098

Ficha catalográfica elaborada por Elizabeth Ferreira da Silva CRB-7/6844.

Como citar:

TOMASIELLO, Diego Bogado; PEREIRA, Rafael H. M.; NADALIN, Vanessa Gapiotti. **Os impactos desiguais do congestionamento urbano no acesso a empregos.** Rio de Janeiro: Ipea, set. 2023. 42 p. : il. (Texto para Discussão, n. 2922). DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2922-port>

JEL: R4; I2; D6.

As publicações do Ipea estão disponíveis para download gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos).

Acesse: <http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério do Planejamento e Orçamento.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

SUMÁRIO

SINOPSE	
ABSTRACT	
1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	9
3 MÉTODOS.....	11
3.1 Dados.....	13
3.2 Matrizes de tempo de viagem.....	14
3.3 Estimativa de acessibilidade.....	14
3.4 Impacto do congestionamento na acessibilidade	15
4 RESULTADOS.....	16
5 DISCUSSÃO	25
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
REFERÊNCIAS	28
APÊNDICE A	34

SINOPSE

O congestionamento é um problema persistente em grandes metrópoles e cada vez mais comum em médias e grandes cidades. Diversas pesquisas analisam os efeitos negativos dos congestionamentos em termos de perda de produtividade econômica, aumento da poluição ambiental, e efeitos negativos sobre a saúde da população. No entanto, menos atenção tem sido dada aos impactos dos congestionamentos sobre a facilidade de a população acessar oportunidades de emprego, e quais os grupos de renda mais afetados. Este estudo estima os impactos do congestionamento no acesso a oportunidades de empregos nas vinte maiores cidades do Brasil, e analisa como eles se distribuem espacialmente e entre pessoas de diferentes níveis de renda. O estudo compara o número de empregos acessíveis por automóvel num intervalo de 15 a 45 minutos de viagem no período do pico da manhã e em fluxo livre com base em informações históricas sobre a velocidade do tráfego a partir de dados de GPS em alta resolução. Os resultados mostram que os municípios de São Paulo (São Paulo), Rio de Janeiro (Rio de Janeiro) e Brasília (Distrito Federal) têm os maiores níveis de congestionamento, causando uma redução da quantidade média de empregos acessíveis entre 40,7% e 24,6%. Enquanto isso, os municípios de Goiânia (Goiás), Campo Grande (Mato Grosso do Sul) e São Gonçalo (Rio de Janeiro) são os menos impactados pelos congestionamentos (redução entre 3,2% e 0,6% de acessibilidade). A população de baixa renda tende a ser a mais prejudicada, chegando a ter uma queda de mais de 50,0% da quantidade de empregos acessíveis no período de pico comparado ao fluxo livre. Os resultados do estudo suscitam algumas implicações para políticas públicas para redução das desigualdades dos impactos dos congestionamentos no acesso a oportunidades de emprego, podendo auxiliar na elaboração/reformulação de planos municipais de mobilidade urbana, moradia e uso do solo.

Palavras-chave: transporte urbano; acessibilidade urbana; congestionamento; acesso a empregos; desigualdades.

ABSTRACT

Traffic congestion is a persistent problem in large metropolises and increasingly common in medium and large cities. Several studies have analyzed the negative effects of congestion in terms of economic productivity loss, increased environmental pollution, and negative health consequences. However, less attention has been given to the impact of congestion on the population's ease of accessing job opportunities, and which income groups are most affected by congestion. This study estimates the impacts of congestion on access to job opportunities in the twenty largest cities in Brazil and examines how people of different income levels and neighborhoods are impacted by congestion. The study compares the number of jobs accessible by car within a 15 to 45 minute travel time interval during the morning peak period and in free-flowing traffic, based on historical information about traffic speeds from high-resolution GPS data. The results show that the municipalities of São Paulo (São Paulo), Rio de Janeiro (Rio de Janeiro), and Brasília (Distrito Federal) have the

highest levels of congestion, causing an average reduction in the number of accessible jobs between 40.7% and 24.6%. Meanwhile, the municipalities of Goiânia (Goiás), Campo Grande (Mato Grosso do Sul), and São Gonçalo (Rio de Janeiro) are the least impacted by congestion (with a reduction between 3.2% and 0.6% in job accessibility). People with low income tend to be the most affected, experiencing a decrease of more than 50.0% in the number of accessible jobs during peak time compared to free-flowing traffic. The results raise implications for policies aimed at reducing the inequalities in the impacts of congestion on access to job opportunities, and can inform municipal transportation, housing, and land-use plans.

Keywords: agricultural structure; export crops; midwest.

1 INTRODUÇÃO¹

O congestionamento ocorre quando a demanda pelo tráfego de veículos excede a capacidade da infraestrutura viária de transporte, resultando em lentidão e muitas vezes em paralisação do fluxo de tráfego (Stopher, 2004). Todo dia, milhões de pessoas ao redor do mundo perdem horas no trânsito nas grandes cidades por conta de congestionamentos (Higgins *et al.*, 2019; Mondschein e Taylor, 2017; Moya-Gómez e García-Palomares, 2017; Moyano *et al.*, 2021; Yiannakoulias, Bland e Svenson, 2013), e esse problema tem se tornado cada vez mais comum nas grandes metrópoles do mundo (UN-HABITAT, 2022). No Brasil, o tempo que as pessoas gastam no trânsito vem aumentando a cada ano. Segundo a estimativa mais recente, considerando somente o deslocamento de ida e volta de casa para o trabalho, o tempo médio que as pessoas gastavam por dia no trânsito nas regiões metropolitanas subiu de 1h12 em 2001 para 1h22 em 2015 (Pereira *et al.*, 2021).

O congestionamento urbano é uma das principais externalidades negativas causadas pelo transporte motorizado, e seus impactos negativos já foram estudados sob diversos ângulos. Do ponto de vista econômico, o aumento dos custos de transporte causados pelos congestionamentos encolhe as áreas de alcance de mercados e de trabalhadores, reduzindo possíveis ganhos de economias de aglomeração (Weisbrod, Vary e Treyz, 2003). Diversos estudos apontam que o congestionamento prejudica o ritmo de geração de empregos e a produtividade da economia das cidades (Broersma e Dijk, 2007; Jayasooriya e Bandara, 2017; Sweet, 2014), tornando as cidades menos competitivas. Do ponto de vista ambiental, vários estudos mostram que os congestionamentos aumentam os níveis de poluição e são responsáveis por maiores níveis de emissão de gases de efeito estufa (Bharadwaj *et al.*, 2017; Gately *et al.*, 2017; Green, Heywood e Paniagua, 2020; Wu *et al.*, 2017), e que a proximidade de ruas com maiores níveis de congestionamento deprecia o valor de imóveis (Higgins *et al.*, 2019; Tang, 2021).

A piora da qualidade do ar e o aumento do estresse gerados pelos congestionamentos traz também diversos impactos negativos sobre a saúde da população (Levy, Buonocore e Stackelberg, 2010; Mudway *et al.*, 2019; Requia *et al.*, 2018a; Woodcock *et al.*, 2009). Evidências apontam que maiores níveis de congestionamentos estão associados ao aumento de acidentes de trânsito (Retallack e Ostendorf, 2019; Tang e Ommeren, 2022),

1. Esta pesquisa faz parte do *Termo de Execução Descentralizada* celebrado entre o Ipea e a Secretaria Nacional de Mobilidade Urbana do Ministério das Cidades (Semob/MCID). Os autores agradecem os comentários e as sugestões de Danielle Costa de Holanda e Claudio Alves Ferreira Junior da Semob/MCID.

de doenças cardiorrespiratórias (Hoek *et al.*, 2013; Lipsett *et al.*, 2011; Requia *et al.*, 2018b) e de problemas de saúde mental (Clark *et al.*, 2020; Liu, Ettema e Helbich, 2022; Wang *et al.*, 2019). No entanto, tem se dado muito menos atenção ao impacto dos congestionamentos sobre a acessibilidade urbana, isto é, a facilidade de as pessoas acessarem oportunidades, como atividades econômicas e serviços públicos. Também há poucos estudos que examinam como o impacto desigual dos congestionamentos influencia as desigualdades no acesso a oportunidades entre classes de renda. Isso parece uma limitação importante da literatura, especialmente considerando-se que há um crescente consenso entre os pesquisadores e as agências de transporte de que um dos principais benefícios de um sistema de transporte é justamente melhorar o acesso a oportunidades (Duranton e Guerra, 2016; Levine, Grengs e Merlin, 2019; Levinson e King, 2020; Wee, 2021).

Este estudo analisa o impacto dos congestionamentos nas vinte maiores cidades brasileiras, e como esse impacto se distribui espacialmente e entre classes sociais. O trabalho analisa o problema do congestionamento sob uma perspectiva integrada de transporte e uso do solo, que mensura a intensidade dos congestionamentos em termos do seu impacto sobre a acessibilidade urbana. Utilizando uma nova medida cumulativa de acesso a oportunidades, o estudo mede a intensidade do congestionamento comparando o número de oportunidades de empregos acessíveis por automóvel no período do pico da manhã e num cenário de fluxo livre. Para isso, o trabalho utiliza dados de distribuição espacial de empregos e população e dados de GPS com informações históricas sobre velocidade do tráfego em cada segmento de rua nas vinte maiores cidades do Brasil.

Este trabalho busca contribuir para a literatura sobre congestionamento urbano e acessibilidade de diferentes maneiras. O estudo apresenta a primeira análise dos impactos dos congestionamentos no acesso a empregos nas vinte maiores cidades do Brasil, um dos maiores e mais urbanizados países do Sul global, mas carente de estudos nesta temática. Ainda, mostra como os resultados de *rankings* de cidades mais congestionadas e a identificação de áreas impactadas pelos congestionamentos podem ser afetados quando se mensura congestionamentos sob o ponto de vista de acessibilidade urbana ou com base num método tradicional a partir da lentidão das vias. Por fim, este estudo ilustra como a análise da intensidade e da cobertura espacial dos congestionamentos em termos do seu impacto sobre acesso a oportunidades possibilita distinguir quais bairros e grupos socioeconômicos são mais afetados pelos congestionamentos, para além da simples localização das ruas mais congestionadas.

Este texto está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta a revisão da literatura sobre congestionamento com foco nos impactos dos congestionamentos sobre a acessibilidade urbana; a seção 3 apresenta os dados e os métodos utilizados neste estudo; na seção 4 são apresentados os resultados obtidos; e as discussões e as considerações finais são apresentadas nas seções 5 e 6.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A intensidade dos congestionamentos nas cidades é tradicionalmente mensurada na escala de segmentos de ruas medindo-se como o tempo de viagem ou a velocidade média para percorrer cada segmento varia entre o horário de pico e durante a madrugada, com fluxo livre (Adler *et al.*, 2021; Akbar *et al.*, 2023; Anderson, 2014; Liao *et al.*, 2020; Saberi *et al.*, 2020). Outra maneira tradicional de se medir a intensidade do congestionamento é comparar o volume de veículos que trafegam em um segmento de via dentro de um determinado intervalo de tempo em relação ao volume que seria possível considerando a capacidade e limite de velocidade da via (Çolak, Lima e González, 2016). Essas abordagens focam no impacto do congestionamento sob uma perspectiva de eficiência de fluxos de automóveis a partir de dados de viagens observadas/realizadas. Uma limitação dessas metodologias é que, embora elas permitam identificar as vias mais afetadas pelos congestionamentos, elas não permitem indicar quais populações de quais bairros podem ser mais afetadas nos seus deslocamentos. Além disso, essas metodologias não permitem captar a quantidade de oportunidades (como empregos ou serviços de saúde e educação etc.) que as pessoas deixam de acessar por conta do tempo perdido no trânsito devido aos congestionamentos.

Nos últimos anos, tem crescido o número de estudos que analisam o congestionamento sob uma perspectiva de acessibilidade urbana, mas a maioria desses trabalhos ainda se concentra em países do Norte global e sem o enfoque sobre quais grupos de renda são mais impactados pelos congestionamentos. No trabalho desenvolvido por Moya-Gómez e García-Palomares (2017), os autores usaram a medida de acessibilidade gravitacional e a base de dados proprietária TomTom Speed Profiles para medir os impactos dos congestionamentos na acessibilidade a oportunidades em oito regiões metropolitanas europeias. Os autores encontraram que Londres, Paris e Roma são as cidades em que os congestionamentos mais impactam o acesso a oportunidades por automóvel e que a distribuição das oportunidades, infraestrutura de transporte e diferenças culturais influenciaram os resultados em todas as regiões metropolitanas analisadas.

Ainda na Europa, o estudo desenvolvido por Moyano *et al.* (2021) analisou os efeitos da crise econômica de 2008 sobre congestionamento e, conseqüentemente, a acessibilidade por automóvel em Madri (Espanha). Os autores utilizaram como medida de acessibilidade os tempos médios de viagem ponderados pela atratividade de oportunidades, a base de dados do Twitter para geolocalizar oportunidades e sua atratividade, e a base de dados proprietária TomTom Speed Profiles para analisar as variações diárias dos congestionamentos. Os resultados mostraram que a recuperação econômica após 2008 resultou no aumento dos níveis de congestionamento, porém essas mudanças se deram de forma espacialmente desigual. Os autores encontraram também que os grupos mais pobres são os mais prováveis de sofrerem com os impactos negativos do aumento de congestionamento com a retomada após a crise econômica.

Ademais, outros estudos foram desenvolvidos na América do Norte. Owen e Murphy (2021) avaliaram o impacto dos congestionamentos na acessibilidade a empregos nas cinquenta regiões metropolitanas mais populosas dos Estados Unidos. Com base nos dados de empregos do LEHD Origin-Destination Employment Statistics (Lodes) de 2016 e nas bases de dados proprietárias de GPS da TomTom MultiNet e Speed Profile de 2017 a 2019, os autores calcularam a acessibilidade utilizando uma medida cumulativa de acesso a empregos. As estimativas de acessibilidade aos empregos foram calculadas para uma quarta-feira padrão com horários de partida às 4h (fluxo livre) e às 8h (horário de pico). Os autores mediram, então, o impacto do congestionamento sobre a acessibilidade como sendo a diferença entre o número de empregos acessíveis no fluxo livre e no horário de pico. O resultado do estudo foi o ranqueamento das cinquenta regiões metropolitanas, considerando a média ponderada das acessibilidades aos empregos com base na proximidade das oportunidades.

Em Los Angeles (Estados Unidos), Mondschein e Taylor (2017) avaliaram como o congestionamento resulta em diferentes níveis de acessibilidade por bairro. Os autores usaram diversas medidas de acessibilidade e dados de oportunidades e tempos de viagem provenientes da Pesquisa de Viagens e Congestionamento da Associação de Governos do Sul da Califórnia (SCAG) e as estimativas da SCAG de volumes de tráfego e atrasos para vias arteriais e rodovias. Os resultados do estudo indicaram que muitas áreas centrais, apesar de sofrerem com congestionamentos devido à aglomeração de atividades, são mais resilientes ao congestionamento porque grande parte da população faz viagens curtas e/ou a pé. No entanto, também foram identificados bairros mais afastados em que existem poucas atividades e grandes congestionamentos. Com isso, os autores argumentam que deve ser incentivada a criação de áreas com maior proximidade entre pessoas e atividades, seja via aumento de densidade e/ou de *mix* de

uso do solo, de maneira a aumentar a acessibilidade a curtas distâncias que tendem a ser menos afetadas por congestionamentos.

No trabalho de Yiannakoulis *et al.* (2013), foi avaliado o quanto o congestionamento impacta o acesso à rede de atenção primária de saúde em Edmonton (Canadá). Ao invés de utilizarem dados de rastreamento de veículos, foi utilizada a pesquisa origem-destino do município para alocar as viagens do pico da manhã na rede de transporte e simular os congestionamentos. Foi utilizada a medida de acessibilidade com competição proposta por Joseph e Bantock (1982) considerando o tempo de viagem e a disponibilidade de médicos na rede de atenção primária de saúde, ou seja, uma função de demanda por médicos dentro de uma área de captação (*catchment area*). Os resultados mostraram que, uma vez considerados os congestionamentos e as penalidades de tempo em interseções, a acessibilidade à rede de atenção primária de saúde é bastante reduzida, particularmente em áreas mais afastadas do centro da cidade.

Por fim, Higgins *et al.* (2019) analisam os *trade-offs* entre os benefícios e os impactos negativos de aglomerações no mercado imobiliário em Hamilton, no Canadá. Para isso, os autores calcularam a acessibilidade gravitacional a empregos como uma métrica de benefícios de aglomeração e utilizaram modelos de dispersão de poluentes e de congestionamentos como *proxy* de deseconomias de aglomeração. Os resultados indicaram que as famílias valorizam locais com alta acessibilidade aos empregos que não enfrentam os custos ambientais dos congestionamentos, e que o potencial de valorização imobiliária em áreas de alta acessibilidade tende a ser corroído em áreas com maior poluição e congestionamento.

Em síntese, essa literatura sobre efeitos do congestionamento no acesso a oportunidades tem se focado basicamente em cidades do Norte global, e ainda são raros os trabalhos que investigam quais classes sociais são mais impactadas pelos congestionamentos. Nas próximas seções, nós buscamos contribuir para essa literatura investigando o tema nas maiores cidades do Brasil.

3 MÉTODOS

O método utilizado neste estudo para mensurar o impacto do congestionamento urbano sobre o acesso a empregos apresenta algumas similaridades e diferenças em relação aos métodos utilizados na literatura. A começar pelas similaridades, este estudo utiliza a base de dados de tráfego StreetMap Premium, baseado nos dados de *speed profiles* da HERE, que é uma base de dados semelhante ao TomTom Speed Profiles,

que foi utilizado nos estudos de Moya-Gómez e García-Palomares (2017), Moyano *et al.* (2021) e Owen e Murphy (2021). As matrizes de tempo de viagem com fluxo livre foram calculadas com partida às 4h da madrugada, similar ao trabalho de Owen e Murphy (2021). Porém, para as matrizes de hora-pico, nós calculamos as matrizes de tempo de viagem de forma diferente. Enquanto os estudos encontrados na literatura consideram os tempos de viagem num único horário de partida, nós extraímos as medianas dos tempos de viagem considerando múltiplas partidas a cada quinze minutos no período das 6h às 8h. Isso é feito para diminuir possíveis vieses gerados pela escolha arbitrária de um único horário de partida (Pereira, 2019; Stępnik *et al.*, 2019) e para gerar matrizes representativas de todo o período do pico da manhã de todos os vinte municípios analisados. Outra diferença entre o método utilizado neste estudo e o encontrado na literatura é a medida de acessibilidade. Enquanto diversos autores utilizam medidas de acessibilidade gravitacional ou cumulativa, nós utilizamos uma nova medida cumulativa que considera um intervalo de tempo de viagem para o cômputo da acessibilidade (Tomasiello *et al.*, 2022). Esse indicador traz alguns benefícios, como ser menos sensível a escolhas arbitrárias de limites de tempos de viagem e retratar melhor variações dos tempos de viagem na acessibilidade. Os detalhes dos métodos utilizados são apresentados ao longo da seção.

O método utilizado neste trabalho envolve quatro passos. O primeiro passo foi agregar os dados de distribuição espacial da população e de empregos sobre uma grade espacial de hexágonos. Com isso, nós obtemos para cada célula o tamanho da sua população residente total, a renda *per capita* média de sua população, e o número de empregos em cada hexágono. O segundo passo foi calcular as matrizes de tempo de viagem por automóvel entre todos os possíveis pares de origem-destino da cidade considerados a partir dos centroides das células hexagonais. Esse cálculo foi feito separadamente para o período de pico da manhã e num horário de fluxo livre. O terceiro passo foi calcular o número médio de empregos acessíveis a partir de cada hexágono dentro de um intervalo de tempo de viagem. Por fim, no quarto passo analisamos como esse nível de acessibilidade durante o período do pico da manhã se compara com a acessibilidade que se teria num cenário de fluxo livre, e como essas diferenças de acessibilidade variam entre diferentes regiões de cada cidade e suas classes sociais.

Esses passos metodológicos, bem como os dados utilizados neste trabalho, são apresentados com mais detalhes a seguir. O código utilizado na análise e na visualização dos dados deste estudo se encontra disponível no repositório do GitHub.²

2. Disponível em: https://github.com/ipeaGIT/traffic_congestion_accessibility.

3.1 Dados

Informações sobre a distribuição espacial da população foram extraídas da grade estatística (IBGE, 2016), com resolução de 200m x 200m em áreas urbanas e 1km x 1km em áreas rurais. Os dados de renda *per capita* domiciliar foram obtidos do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010) por setor censitário e, em seguida, interpolados para cada célula da grade estatística utilizando uma operação de interpolação espacial dasimétrica (Comber e Zeng, 2019). Os dados de localização de empregos formais foram obtidos a partir do Relatório Anual de Informações Sociais (Rais) de 2019 do Ministério do Trabalho e os empregos foram geolocalizados utilizando dados de endereço com o *software* proprietário ArcGIS Pro e a API do Google Maps. Os dados de empregos e população foram agregados espacialmente utilizando uma grade de hexágonos como unidade de análise. A grade foi criada utilizando o índice hierárquico H3³ na resolução 9, resultando em hexágonos com área de 0,11 km². Cada célula dentro da grade contém informações sobre o tamanho da população residente e a renda média *per capita* domiciliar. Os hexágonos em cada cidade foram classificados de acordo com o quintil de renda com base na distribuição de renda *per capita* de cada cidade. Para uma descrição mais detalhada do processo de geolocalização e de agregação espacial dos dados, consulte Pereira *et al.* (2022). Os dados de população e de distribuição espacial de empregos utilizados neste artigo foram gerados pelo Projeto Acesso a Oportunidades (Pereira *et al.*, 2022) e podem ser baixados pelo site do projeto⁴ ou por meio do pacote de R *aopdata*.⁵

Para estimar a acessibilidade aos empregos por carro, utilizamos informações de velocidade histórica de tráfego nas vias obtidas pela base de dados proprietária StreetMap Premium fornecida pela ESRI e HERE. Essa base de dados fornece informações sobre a velocidade média dos veículos capturada por GPS em cada segmento de via a cada minuto do dia ao longo de um período de dois anos. O período de referência para as informações foi do primeiro trimestre de 2018 ao primeiro trimestre de 2020. Os dados são agregados para cada dia da semana, permitindo-nos capturar variações de velocidade e rotas ótimas entre dias da semana e diferentes horários de partida ao longo do dia.

3. Disponível em: <https://github.com/uber/h3>.

4. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/acessoaoportunidades/>.

5. Disponível em: <https://github.com/ipeaGIT/aopdata>.

3.2 Matrizes de tempo de viagem

O segundo passo para estimar o acesso da população aos empregos envolveu o cálculo de matrizes de tempo de viagem entre os centroides das células da grade espacial de cada cidade. Utilizando a extensão Network Analyst do software ArcGIS Pro, foram geradas duas matrizes de tempo de viagem de carro para os vinte municípios examinados. A primeira matriz de fluxo livre foi calculada para viagens partindo em um domingo típico às 4h da manhã. A segunda matriz, de período de pico, foi calculada para viagens partindo na quarta-feira no período entre 6h e 8h. A escolha do horário exato da partida no período de pico pode influenciar de maneira arbitrária o resultado da análise, devido ao problema de unidade temporal modificável (*modifiable temporal unit problem* – MTUP) (Pereira, 2019). Para minimizar esse problema, nós calculamos oito matrizes de tempo de viagem com partidas a cada quinze minutos das 6h às 8h considerando todos os possíveis pares origem-destino para, em seguida, considerarmos a mediana dos tempos de viagem entre cada par.

3.3 Estimativa de acessibilidade

Um dos indicadores mais amplamente utilizados na literatura para se medir acessibilidade é a medida cumulativa de acesso a oportunidades (Boisjoly *et al.*, 2020; El-Geneidy *et al.*, 2016). Esse indicador capta o número de oportunidades que podem ser alcançadas dentro de um determinado limite de tempo de viagem, e ele traz várias vantagens por ser fácil de comunicar e de se calcular (Geurs e Wee, 2004). Uma das principais desvantagens desse indicador, no entanto, é que seus resultados são muito influenciados pelo tempo máximo de viagem que se decide considerar na análise (Geurs e Eck, 2001). Esse é um viés típico do “efeito de limite” do problema de MTUP, quando os resultados de uma análise podem ser enviesados por uma escolha metodológica *ad hoc* sobre qual o limite de duração do fenômeno que se está analisando (Pereira, 2019).

Para lidar com esse problema, nós utilizamos o novo indicador de acessibilidade cumulativa por intervalo de tempo (Tomasiello *et al.*, 2022). Essa medida indica o número médio de oportunidades acessíveis dentro de um intervalo de tempo de viagem considerando-se múltiplos tempos de viagem de um em um minuto dentro deste intervalo. A medida de acessibilidade cumulativa por intervalo de tempo (Macit) (equação 1) preserva a facilidade de cálculo e a interpretação da medida de acessibilidade cumulativa tradicional, porém é menos sensível a escolhas arbitrárias de limites de tempos de viagem e retrata melhor variações dos tempos de viagem na acessibilidade. A acessibilidade foi calculada por carro, com um intervalo de tempo de 15 a 45 minutos.

Esse intervalo foi escolhido sob um ponto de vista normativo (Páez, Scott e Morency, 2012), considerando limites de tempo de viagem que seriam aceitáveis, tendo em vista a heterogeneidade das cidades analisadas e considerando-se a necessidade de aproximar as pessoas das oportunidades para fazer frente a situações de deserto de oportunidades. Essa noção de deserto de oportunidades pode ser entendida como equivalente à noção de “desconexão” de oportunidades a que se refere o conceito de localização adequada de moradia da Organização das Nações Unidas (ONU) (OHCHR, 2009).

$$\begin{aligned}
 MCAIT_{oI} &= \text{mean}(\{CMA_{oT} \forall T \in I\}) \\
 CMA_{oT} &= \sum_{d=1}^n P_d f(t_{od}) \\
 I &= [T_{min}, T_{max}]
 \end{aligned} \tag{1}$$

Em que:

$MCAIT_{oI}$ – é a acessibilidade cumulativa média da origem dentro do intervalo de tempo de viagem I .

CMA_{oT} – é a acessibilidade cumulativa da origem dentro do intervalo de tempo de viagem T

P_d – é o número de empregos formais no destino d ;

t_{od} – é o tempo de viagem (em minutos) entre a origem o e o destino d ; e

I – é uma distribuição minuto a minuto dos limites de tempo de viagem dentro de um dado intervalo de T_{min} e T_{max} .

3.4 Impacto do congestionamento na acessibilidade

A mensuração do impacto do congestionamento na acessibilidade é feita para cada célula da grade de hexágonos. O impacto do congestionamento de um hexágono é calculado como sendo um menos a proporção do número médio de empregos acessíveis no período do pico da manhã em relação ao número médio de empregos que seriam acessíveis considerando o fluxo livre das 4h da manhã (equação 2). Assim, compara-se uma célula com ela mesma, mantendo constante o uso do solo (localização relativa entre moradores da célula e oportunidades) e a capacidade da infraestrutura de transporte. Obtém-se uma estimativa de qual seria a acessibilidade daquela célula caso a demanda e a eficiência do sistema de transporte fossem os mesmos que no horário de fluxo livre. Como a estimativa é por célula, é possível identificar padrões espaciais

intraurbanos desse impacto, assim como desagregar o impacto do congestionamento por classes de renda. Dessa forma, foi possível comparar o acesso a empregos em diferentes municípios, mesmo com quantidade de oportunidades de emprego bastante discrepante entre eles.

$$I.C. = 1 - \frac{Acc\ Pico}{Acc\ Fluxo\ Livre} \quad (2)$$

Em que:

I.C. – é o impacto do congestionamento no acesso aos empregos;

Acc Pico – é a acessibilidade média aos empregos ponderada pela população no pico; e

Acc Fluxo Livre – é a acessibilidade média aos empregos ponderada pela população no fluxo livre.

4 RESULTADOS

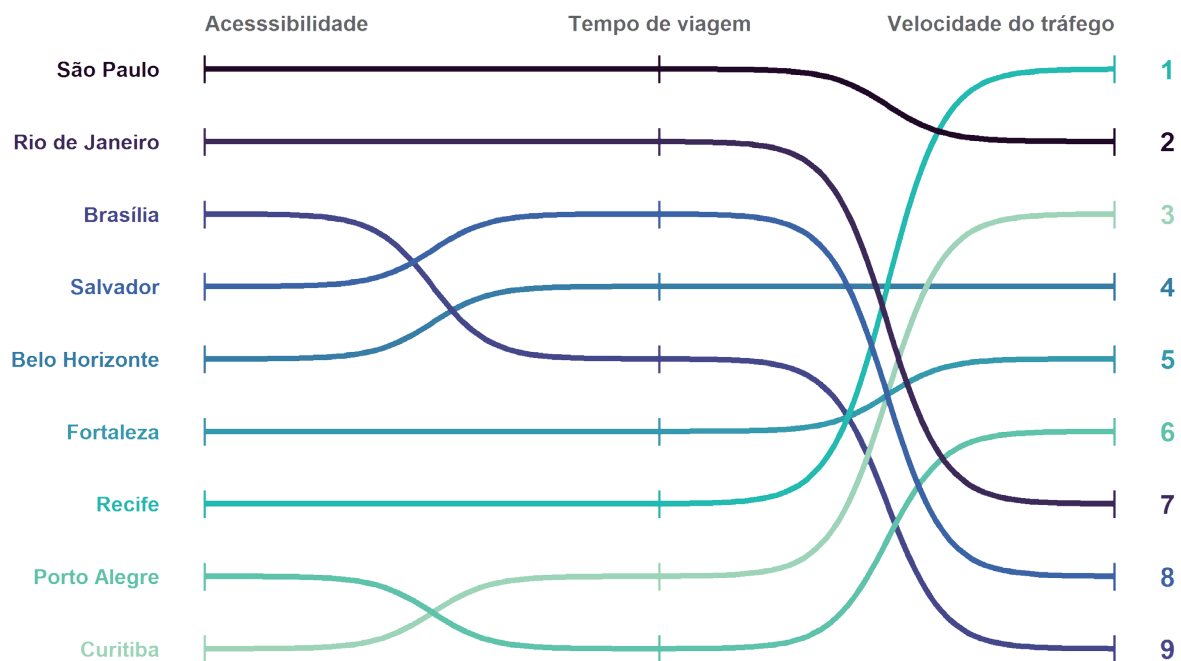
A figura 1 apresenta o resultado de *rankings* de cidades mais congestionadas, que pode se alterar a depender dos diferentes métodos de se medir congestionamento. A figura compara os *rankings* de cidades mais congestionadas que se obtém quando se mensura o congestionamento considerando-se o seu impacto sobre o acesso a empregos, a metodologia deste trabalho, quando se considera os tempos médios de viagem casa-trabalho, extraídos do Censo Demográfico de 2010, e quando se considera uma metodologia convencional de lentidão nos segmentos de vias a partir de dados de tráfego divulgados anualmente pela empresa TomTom. O *ranking* de congestionamento da TomTom é elaborado computando a média dos tempos de viagem para percorrer 10 km em cidades selecionadas no mundo. Além disso, a figura 1 mostra como os *rankings* construídos a partir de análises de acessibilidade e de tempo de viagem casa-trabalho apresentam resultados muito parecidos. Em ambos os *rankings*, os municípios de São Paulo e Rio de Janeiro apresentam os maiores índices de congestionamento, enquanto cidades como Recife, Porto Alegre e Curitiba aparecem entre as menos congestionadas. Se observa também apenas pequenas variações nas posições do *ranking* das cidades de Brasília, Salvador, Belo Horizonte, Porto Alegre e Curitiba. Em contraste, o *ranking* gerado a partir de dados de velocidade de tráfego traz um resultado drasticamente diferente. Por exemplo, Recife que aparecia entre as três menos congestionadas nos *rankings* anteriores passa a despontar como a mais congestionada do país, e Brasília que aparecia como a terceira mais congestionada agora fica como a menos de todas.

Essas diferenças entre os *rankings* podem ser, em parte, explicadas por três importantes questões metodológicas. Uma boa parte da diferença no *ranking* a partir das informações de velocidade é devida ao fato de que os dados da TomTom consideram o tempo médio de viagem para percorrer uma distância de apenas até 10 km, o que não necessariamente corresponde à extensão média das viagens realizadas em cada cidade. Além disso, essa metodologia ignora quantas pessoas vivenciam aquelas velocidades em suas viagens. Assim, uma metodologia como a da TomTom, que considera apenas a velocidade do tráfego, mas ignora as distâncias dos padrões de viagens da população, tende a subestimar o nível de congestionamento em cidades onde as pessoas fazem, em média, viagens consideravelmente mais longas do que 10 km, como pode ser o caso de Brasília ou Rio de Janeiro, por exemplo. A medida de tempo de viagem casa-trabalho, por sua vez, embora considere o tempo de viagem que cada pessoa declara gastar no seu dia a dia, ignora as diferenças em termos das distâncias percorridas e, portanto, de como a velocidade das viagens é afetada pelos congestionamentos. Nenhuma dessas duas metodologias compara como a velocidade ou o tempo de viagem seriam diferentes caso a intensidade do tráfego fosse menos saturada.

A medida de congestionamento com base em acessibilidade, por sua vez, compara a área (e o número de empregos dentro dessa área) que cada pessoa conseguiria potencialmente alcançar considerando-se o fluxo livre *versus* o fluxo no período de pico do trânsito. Essa abordagem se destaca em relação às demais por captar o impacto do congestionamento sob uma perspectiva integrada entre transporte e uso do solo, porque leva em consideração como as oportunidades que as pessoas conseguem alcançar são afetadas tanto pela redução da velocidade devido à intensidade do tráfego quanto pela colocação espacial da população e atividade econômicas. Cabe observar, no entanto, que essa abordagem também não considera necessariamente o comportamento de viagens. Isso porque o cálculo da acessibilidade é baseado numa matriz de custo de viagens potenciais entre todos os possíveis pares origem-destino e não nos pares origem-destino das viagens que as pessoas efetivamente fazem no seu dia a dia. Apesar disso, o nível de acessibilidade das pessoas tende a ser correlacionado com o tempo que elas gastam nos seus deslocamentos casa trabalho (Cui *et al.*, 2019; Levinson, 1998), o que ajuda a explicar porque são parecidos os *rankings* considerando as metodologias com foco em acessibilidade e em tempo de viagem casa-trabalho.

FIGURA 1

Ranking de cidades mais congestionadas de acordo com diferentes métodos de medir congestionamento



Fonte: ESRI; IBGE; TomTom. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-streetmap-premium/overview>; https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/; e <https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>.

Obs.: Foram selecionados apenas os municípios do Brasil que constam no *ranking* de congestionamento divulgado anualmente pela TomTom.

Agora focando-se apenas na análise sobre o impacto do congestionamento sobre o acesso a oportunidades de trabalho, os resultados mostram um cenário muito diverso entre os vinte maiores municípios do Brasil (tabela 1 e figura 2). Esses resultados mostram que os municípios menos afetados pelo congestionamento são Goiânia (Goiás), Campo Grande (Mato Grande do Sul) e São Gonçalo (Rio de Janeiro), enquanto os mais afetados são São Paulo (São Paulo), Rio de Janeiro (Rio de Janeiro) e Brasília (Distrito Federal). Durante o período de pico, a população dos municípios menos afetados pelo congestionamento deixa de acessar menos de 5% dos empregos que estariam acessíveis num cenário com fluxo livre. Em contraste, a população dos municípios mais impactados pelo congestionamento deixa de acessar de 25% a 40% do total de empregos acessíveis com fluxo livre.

TEXTO para DISCUSSÃO

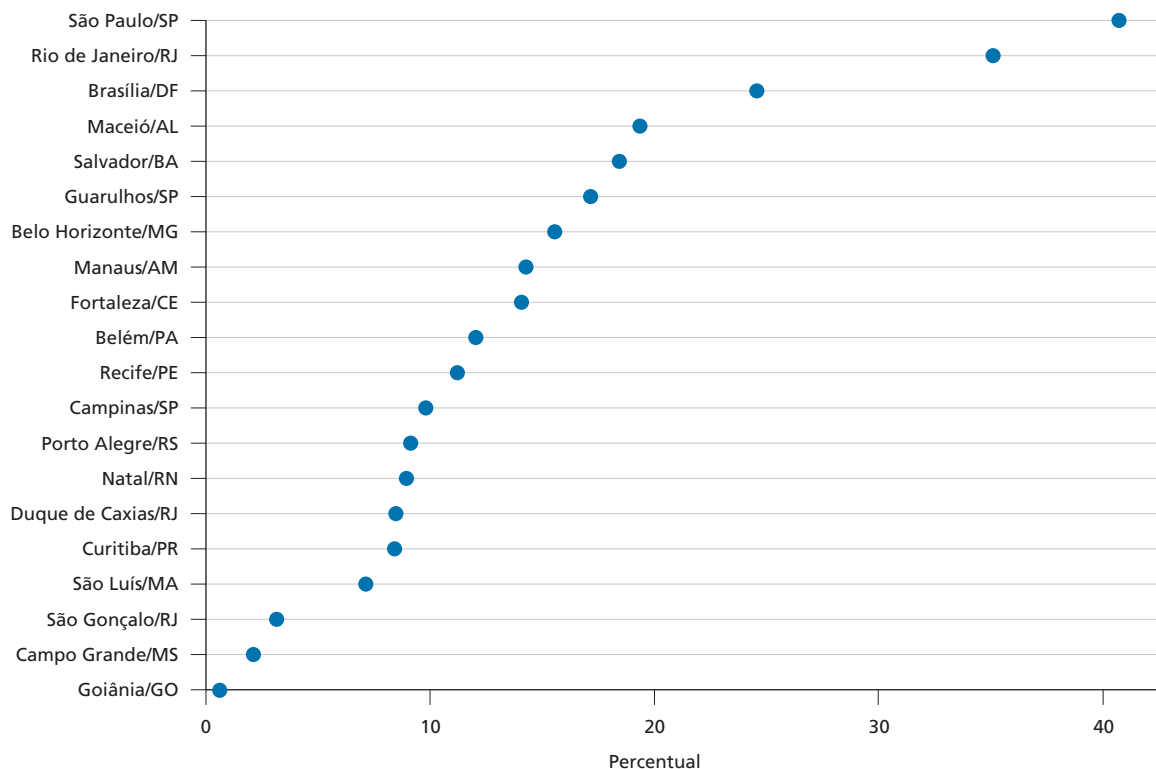
TABELA 1
Dados sobre os municípios analisados

Município	População estimada (2021)	Densidade demográfica (habitantes/km ²)	Automóveis <i>per capita</i> por 100 habitantes (dez. 2022)	Empregos acessíveis durante horário de pico (A)	Empregos acessíveis durante fluxo livre (B)	Impacto do congestionamento (A/B) (%)
São Paulo (São Paulo)	12.396	13.554	49	974.447	1.643.971	40,7
Rio de Janeiro (Rio de Janeiro)	6.775	10.581	31	577.042	889.193	35,1
Brasília (Distrito Federal)	3.094	5.243	45	247.672	328.280	24,6
Maceió (Alagoas)	1.031	8.964	20	127.333	157.936	19,4
Salvador (Bahia)	2.900	14.778	21	378.103	463.772	18,5
Guarulhos (São Paulo)	1.404	8.975	35	224.334	270.785	17,2
Belo Horizonte (Minas Gerais)	2.530	9.235	68	569.369	674.302	15,6
Manaus (Amazonas)	2.255	8.141	19	278.778	325.286	14,3
Fortaleza (Ceará)	2.703	10.656	23	439.156	511.148	14,1
Belém (Pará)	1.506	10.223	16	162.767	185.011	12,0
Recife (Pernambuco)	1.661	11.616	24	363.564	409.514	11,2
Campinas (São Paulo)	1.223	4.990	51	270.759	300.100	9,8
Porto Alegre (Rio Grande do Sul)	1.492	6.945	40	355.141	390.908	9,1
Natal (Rio Grande do Norte)	896	9.028	27	164.231	180.373	8,9
Duque de Caxias (Rio de Janeiro)	929	6.702	22	100.907	110.222	8,5
Curitiba (Paraná)	1.963	5.836	58	521.215	569.120	8,4
São Luís (Maranhão)	1.116	6.724	20	155.577	167.527	7,1
São Gonçalo (Rio de Janeiro)	1.098	8.460	22	80.877	83.538	3,2
Campo Grande (Mato Grosso do Sul)	916	3.626	36	177.842	181.735	2,1
Goiânia (Goiás)	1.555	5.156	41	345.999	348.142	0,6

Elaboração dos autores.

FIGURA 2

Impacto percentual médio dos congestionamentos no acesso a empregos por automóvel num intervalo de 15 a 45 minutos de viagem no período de pico versus fluxo livre: cidades selecionadas (2018-2020)



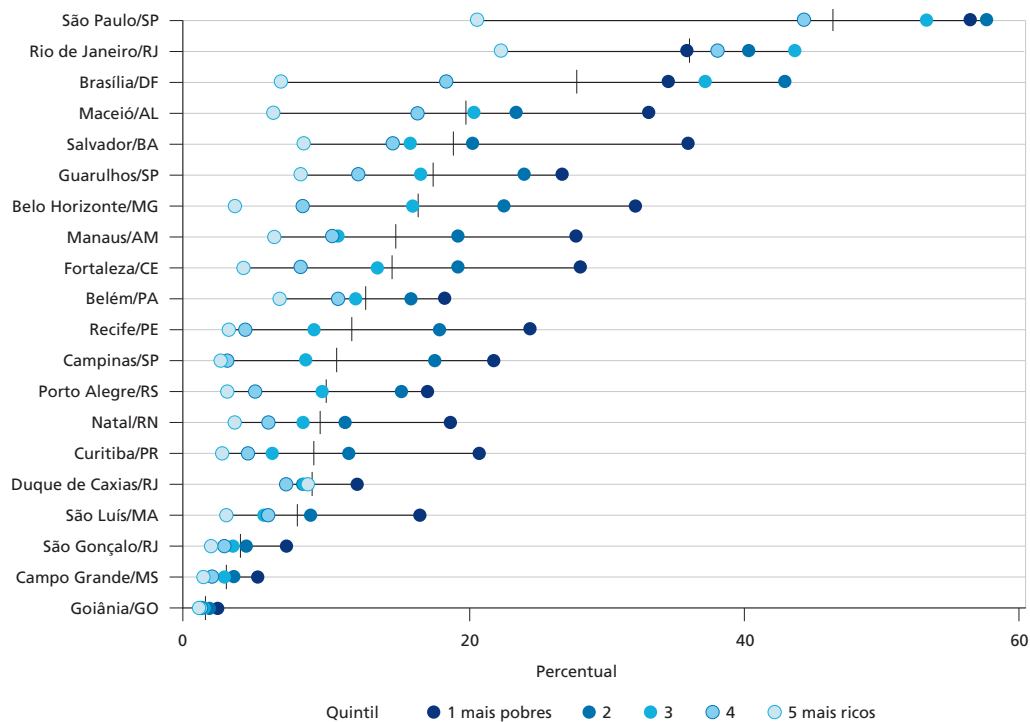
Fonte: Rais.

Elaboração dos autores.

Os resultados da tabela 1 e figura 2 apresentam o efeito médio do congestionamento sobre a acessibilidade de todos os residentes de cada cidade. No entanto, esse efeito tende a ser muito desigual para populações de diferentes níveis socioeconômicos (figura 3). Na grande maioria dos municípios analisados, os grupos de menor renda são os mais impactados pelos congestionamentos. Nas cidades com as maiores desigualdades, São Paulo e Belo Horizonte, a população mais pobre tende a ser entre aproximadamente três e onze vezes mais impactada pelo congestionamento do que a população mais rica. Na cidade de São Paulo (São Paulo), o grupo de maior renda deixa de acessar no período de pico aproximadamente 20% dos empregos acessíveis com fluxo livre, enquanto o grupo de menor renda deixa de acessar mais da metade (56%) dos empregos.

FIGURA 3

Impacto percentual médio dos congestionamentos no acesso a empregos por automóvel por quintis de renda da população num intervalo de 15 a 45 minutos de viagem no período de pico versus fluxo livre: cidades selecionadas (2018-2020)



Fonte: Rais.

Elaboração dos autores.

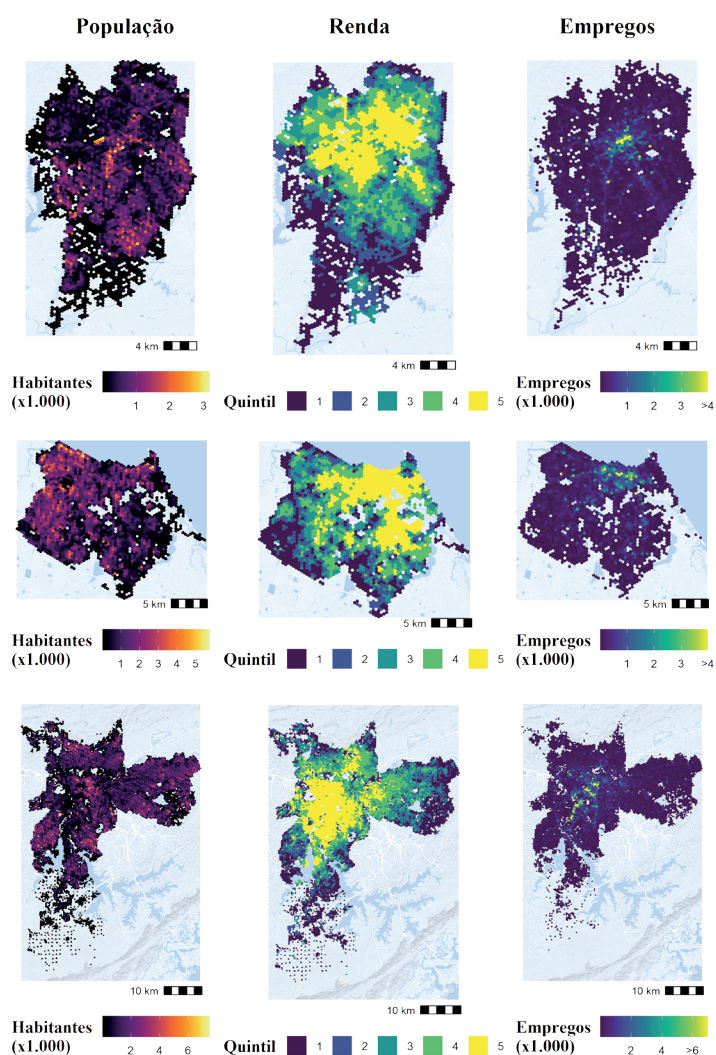
A discrepância dos impactos dos congestionamentos sobre as populações de baixa e alta renda não é surpreendente, apesar de saltar aos olhos. Essa discrepância decorre, em grande medida, devido à combinação de dois fatores: os padrões espaciais de localização de empregos e classes sociais e os padrões espaciais de congestionamento. O mapa 1, a seguir, ilustra esses padrões a partir da distribuição da população total, da população por quintil de renda e de empregos nos municípios em três cidades que possuem baixo, médio e alto níveis de congestionamento, respectivamente Curitiba, Fortaleza e São Paulo.⁶ Nas cidades brasileiras, via de regra, as terras tendem a ser mais caras quanto mais próximas dos centros de emprego. Com isso, as populações de maior renda tendem a residir mais próximas dessas áreas centrais. E embora essas áreas concentrem a maior parte do sistema viário com maiores índices de lentidão no trânsito devido a engarrafamentos, essa proximidade contribui para que a população de

6. Optou-se por apresentar apenas esses municípios no corpo principal do estudo por uma limitação de espaço, e porque esses municípios ilustram bem diferentes níveis de impacto de congestionamento no acesso a empregos, conforme o *ranking* da figura 2.

alta renda que reside nessas áreas gaste menos tempo em deslocamento para acessar os empregos e, por isso, seja menos impactada pelos congestionamentos. Entretanto, a população de menor renda tende a viver em áreas periféricas, onde a terra é mais barata, e acaba sendo mais impactada pelos congestionamentos por ter de percorrer longas distâncias e ruas e avenidas com maior engarrafamento para acessar as áreas centrais, onde estão localizados os empregos.

MAPA 1

Curitiba, Fortaleza e São Paulo: distribuição da população total, quintis de renda e empregos



Fonte: Censo Demográfico de 2010; Rais.

Elaboração dos autores.

Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

O impacto do congestionamento sobre acesso a oportunidades é muito heterogêneo no espaço. O mapa 2 apresenta os mapas de acessibilidade no fluxo livre, horário de pico e o impacto do congestionamento nas cidades de Curitiba, Fortaleza e São Paulo. Os mapas de todos os municípios analisados neste estudo serão apresentados no apêndice deste trabalho. As áreas centrais dos municípios são as com maior concentração de empregos e, portanto, de maior acessibilidade tanto no fluxo livre quanto no horário de pico. Por isso, embora essas áreas costumem concentrar as avenidas com maior lentidão de trânsito, essas regiões são aquelas cujo acesso a oportunidades é menos impactado pelos congestionamentos. Isso ocorre em larga medida devido à maior proximidade de bolsões de empregos, o que faz com que a população residente nessas áreas consiga acessar rapidamente grande quantidade de empregos em viagens relativamente curtas.

Os congestionamentos tendem a ter maior impacto no acesso a oportunidades daquelas pessoas que moram nas áreas periféricas das cidades, onde observa-se uma queda mais significativa da acessibilidade no período de pico. O mapa 2 evidenciou que as regiões com o acesso aos empregos mais impactados são as áreas mais afastadas dos centros, como as zonas sul de Curitiba e oeste de Fortaleza.

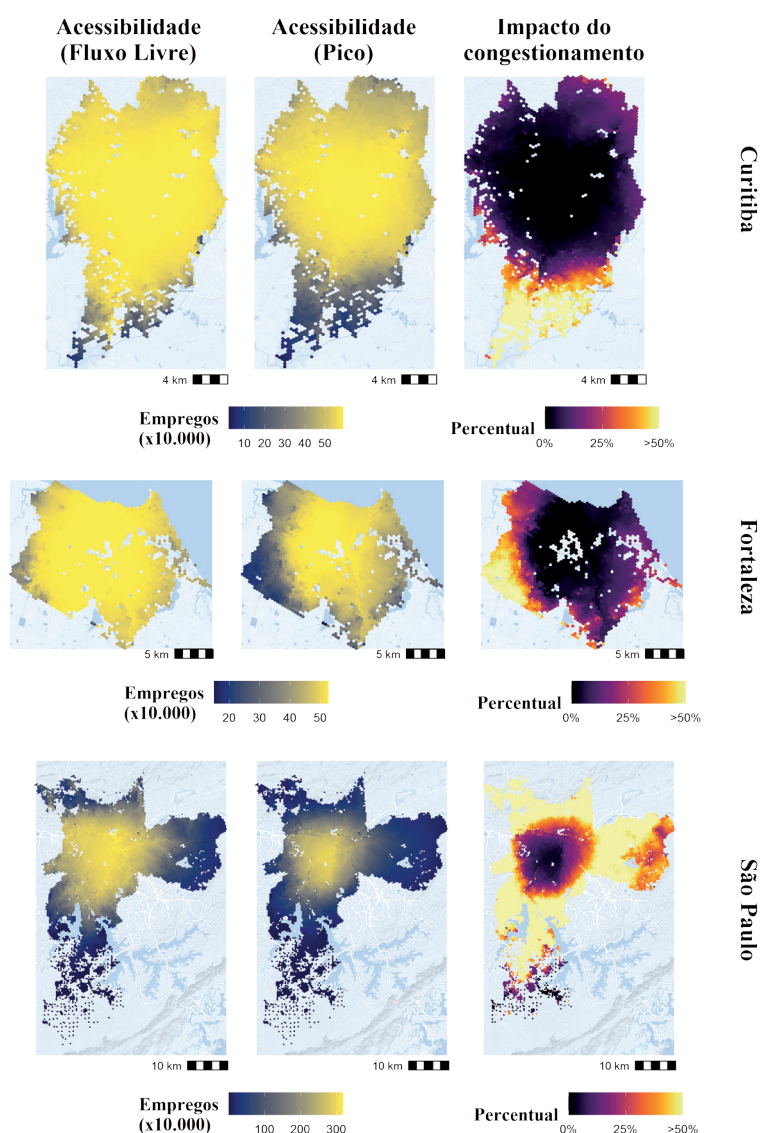
Já no extremo sul e extremo leste de São Paulo, o impacto dos congestionamentos é relativamente mais baixo. Isso ocorre porque essas regiões são muito distantes dos centros de emprego e, portanto, já não conseguiriam acessar esses centros no intervalo de tempo de viagem utilizado (15 a 45 minutos) mesmo no cenário de fluxo livre. Além disso, no mapa 1 o painel de renda indica ser nessas regiões que vivem as famílias mais pobres (primeiro quintil de renda). Dado o baixíssimo nível de acessibilidade evidenciado no mapa 2, a situação desse grupo de renda pode ser descrita como um deserto de oportunidades. As distâncias entre esses bairros e os centros de empregos são tão grandes que o componente uso do solo é o que poderia fazer a maior diferença na melhoria da acessibilidade. Mesmo uma melhora significativa de eficiência do sistema de transporte, via redução de tempos de viagem, não seria capaz de aumentar substancialmente seu nível de acessibilidade devido a grandes distâncias, o que destaca a importância de se aumentar a proximidade entre empregos e áreas residenciais.

Nesse contexto, vale a pena retomar os resultados da figura 3, ressaltando que nas cidades de Brasília, Rio de Janeiro e São Paulo, pessoas de classe média e média baixa (entre 3 e 2 quintis de renda) são mais impactadas pelo congestionamento do que as pobres (1 quintil de renda). A situação de deserto de oportunidades com menor impacto do congestionamento nas zonas da cidade que concentram a população de extrema pobreza, que acabamos de descrever para São Paulo, parece se repetir para os casos de Brasília e Rio de Janeiro, ambas territorialmente muito extensas.

Essa configuração explicaria, ao menos em parte, o menor impacto do congestionamento para o quintil mais pobre da população. No caso do Rio de Janeiro, isso também poderia estar relacionado ao fato de que algumas comunidades e favelas de baixa renda ficam relativamente bem localizadas próximas aos centros de emprego.

MAPA 2

Curitiba, Fortaleza e São Paulo: acessibilidade média a empregos num intervalo de 15 a 45 minutos de viagem por automóvel com fluxo livre e no período de pico, e o impacto do congestionamento sobre acessibilidade (2018-2020)



Fonte: Rais.

Elaboração dos autores.

Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

5 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo vão ao encontro de trabalhos semelhantes feitos em outros países. Nós encontramos que os congestionamentos tendem a gerar maior perda de acesso a oportunidades para as populações de baixa renda, assim como encontrado pelo estudo de Moyano *et al.* (2021) para Madri, na Espanha. Contudo, esses resultados se somam a uma extensa literatura sobre *spatial mismatch* que mostra como populações pobres moram mais distantes de oportunidades de empregos (Andersson *et al.*, 2018; Gobillon, Selod e Zenou, 2007; Jin e Paulsen, 2018). No entanto, esses resultados também contribuem para a literatura ao mostrar que as dificuldades das pessoas de baixa renda em acessar empregos, e a desigualdade de acesso a oportunidades entre ricos e pobres, é agravada não apenas devido a longas distâncias, mas também pela maior vulnerabilidade dos pobres às deseconomias de aglomeração que são os congestionamentos.

De maneira similar à pesquisa de Mondschein e Taylor (2017) para Los Angeles, nos Estados Unidos, nós também encontramos para cidades brasileiras que a acessibilidade nas áreas centrais, apesar de apresentar maiores índices de lentidão no trânsito devido a engarrafamentos, tendem a ser menos afetadas pelos congestionamentos do que das regiões periféricas. Esses resultados apontam para um aparente paradoxo: por um lado, a maior concentração de densidade e proximidade entre pessoas e atividades econômicas em áreas urbanas centrais contribuem para gerar deseconomias de aglomeração como engarrafamentos devido à demanda excessiva de automóveis por pessoas que querem acessar as oportunidades concentradas nessas regiões. Por outro lado, é justamente essa densidade e proximidade que permitem que as pessoas residentes nas áreas centrais sejam menos impactadas pelos congestionamentos, uma vez que seu acesso a oportunidades exige apenas curtas distâncias que podem mais facilmente serem cobertas com viagens rápidas de automóvel ou mesmo a pé ou por bicicleta.

Os resultados encontrados para as cidades brasileiras suscitam a importância de uma série de recomendações de políticas públicas para a redução dos congestionamentos que já foram corroboradas pela literatura da área. A primeira é a implementação de políticas de pedágio urbano nos grandes centros urbanos brasileiros. O pedágio urbano foi implementado em grandes metrópoles no mundo, como Londres (Leape, 2006), Estocolmo e Gotemburgo (Börjesson e Kristoffersson, 2015; 2018) e Singapura (Santos, 2005), se mostrando uma medida efetiva na redução dos congestionamentos. Outra recomendação é o aumento da oferta e cobertura dos sistemas de transporte

público coletivo, que podem impactar diretamente a redução dos congestionamentos urbanos (Adler *et al.*, 2021). Políticas de incentivo ao transporte ativo, como a implantação e a melhoria de infraestrutura cicloviária e de pedestres, podem levar à redução dos congestionamentos, de emissão de dióxido de carbono (CO₂) e trazer benefícios à saúde da população (Woodcock *et al.*, 2018). Por fim, os casos analisados das três maiores metrópoles brasileiras nos mostraram como é necessária, nesses casos, a inclusão das parcelas mais pobres da população em bairros mais bem localizados, estimulando a demarcação de zonas de habitação de interesse social, por exemplo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho utilizou um novo método para mensurar o congestionamento urbano a partir do seu impacto sobre o acesso a empregos nas vinte maiores cidades brasileiras, e examinar o impacto dos congestionamentos no acesso a empregos de grupos populacionais com diferentes níveis de renda. Ao analisar o congestionamento como a diferença entre a acessibilidade média de uma cidade ou bairro observada com fluxo livre comparada com ela mesma no horário de pico, a metodologia utilizada neste trabalho permite identificar o impacto do congestionamento sob uma perspectiva integrada entre transporte e uso do solo. Isso porque a medida de acessibilidade nos horários de pico leva em consideração não apenas a conectividade e o desempenho dos sistemas de transporte, mas também os padrões espaciais de colocação entre pessoas e atividades. No entanto, como as características de colocação e de capacidade da infraestrutura viária são mantidas constantes nas análises durante o pico e fora do pico, a diferença de acessibilidade entre esses dois períodos permite isolar o efeito dos congestionamentos devido ao excesso de demanda de viagens motorizadas.

Os resultados indicaram que os municípios onde os congestionamentos têm maior impacto sobre o acesso a empregos são, respectivamente, São Paulo, Rio de Janeiro e Brasília, e os com menores impactos são Goiânia, Campo Grande e São Gonçalo. O estudo também encontrou que as populações de baixa renda e moradora das periferias das cidades são as mais impactadas pelos congestionamentos. Na média de todas as cidades, os congestionamentos reduzem em 23,5% o número de empregos acessíveis pela população de baixa renda, enquanto essa redução é de apenas 5,5% para os mais ricos.

Este estudo mostra ainda que uma análise do congestionamento urbano sob uma abordagem de acessibilidade traz novos *insights* que permitem identificar quais bairros e grupos socioeconômicos são mais afetados pelos congestionamentos, o que não

é possível com métodos tradicionais que analisam congestionamentos puramente a partir da lentidão do tráfego. O estudo também mostrou como essa abordagem de acessibilidade traz resultados bem diferentes daqueles encontrados a partir de métodos tradicionais. Enquanto abordagens tradicionais, focadas na mobilidade de veículos, mostra que, em geral, as vias congestionadas se concentram no centro das cidades, o foco na acessibilidade mostra que as pessoas mais impactadas pelos congestionamentos não são as pessoas que moram no centro, porque essas pessoas já possuem alto nível de acessibilidade em viagens relativamente curtas. Ao contrário, o foco na acessibilidade mostra que as pessoas mais impactadas são as que moram mais distantes, que não conseguem acessar as oportunidades no centro da cidade por conta dos engarrafamentos, que tornam o centro impermeável para quem está fora dele.

Contudo, o trabalho apresenta algumas limitações. Primeiro, as estimativas de acessibilidade a partir de matrizes de tempo de viagem consideram viagens potenciais entre todos os possíveis pares origem-destino, e não consideram o número de pessoas que efetivamente viajam entre hexágonos específicos, o que pode introduzir vieses nos resultados. Além disso, a base de dados de tráfego é um modelo derivado da cobertura de dois anos (2018-2020) e pode ter variações de qualidade para diferentes municípios, o que também pode afetar a precisão dos resultados. Por fim, é provável que a diferença do impacto do congestionamento sobre ricos e pobres que encontramos esteja subestimada. Isso por duas razões. Porque a população de baixa renda tem taxas consideravelmente mais altas de uso do transporte público, que tende a ter pior desempenho e níveis de acessibilidade, e porque a população de baixa renda tende a fazer viagens mais longas do que a população de alta renda, o que as tornaria mais expostas à lentidão do trânsito devido aos congestionamentos.

Um possível desdobramento deste trabalho seria investigar como essas variações dos níveis de congestionamento entre cidades e dentro de cada cidade poderiam estar associadas a diferentes padrões de oferta de transporte público coletivo e variáveis de forma urbana, como uso do solo, densidade, compacidade e contiguidade. A investigação dessas relações poderia ajudar a identificar os seus mecanismos e aprofundar a compreensão dos fatores urbanos que influenciam a formação de congestionamentos. Ainda, o trabalho poderia ser refinado incluindo-se também análises de acessibilidade por transporte público com base em dados históricos de GPS que permitiram captar o impacto dos congestionamentos sobre condições de acessibilidade de usuários de transporte público.

Sob uma perspectiva de política pública, a metodologia utilizada neste trabalho poderia auxiliar na demarcação de áreas de alto tráfego para a implementação de pedágios urbanos. Da mesma forma, a metodologia poderia ser usada posteriormente para avaliar os impactos de políticas de pedágio urbano e de demais políticas públicas de transporte e uso do solo no acesso a oportunidades, além de trazer informações relevantes para a opinião pública e para a persuasão na implementação dessas políticas.

REFERÊNCIAS

- ADLER, M. W. *et al.* The congestion relief benefit of public transit: evidence from Rome. **Journal of Economic Geography**, v. 21, n. 3, p. 397-431, 2021.
- AKBAR, P. *et al.* Mobility and congestion in Urban India. **American Economic Review**, v. 113, n. 4, p. 1083-1111, 2023.
- ANDERSON, M. L. Subways, strikes, and slowdowns: the impacts of public transit on traffic congestion. **American Economic Review**, v. 104, n. 9, p. 2763-2796, 2014.
- ANDERSSON, F. *et al.* Job displacement and the duration of joblessness: the role of spatial mismatch. **The Review of Economics and Statistics**, v. 100, n. 2, p. 203-218, 2018.
- BHARADWAJ, S. *et al.* Impact of congestion on greenhouse gas emissions for road transport in Mumbai metropolitan region. **Transportation Research Procedia**, v. 25, p. 3538-3551, 2017.
- BOISJOLY, G. *et al.* Accessibility measurements in São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba and Recife, Brazil. **Journal of Transport Geography**, v. 82, p. 102551, 2020.
- BÖRJESSON, M.; KRISTOFFERSSON, I. The Gothenburg congestion charge: effects, design and politics. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 75, p. 134-146, 2015.
- _____. The Swedish congestion charges: ten years on. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 107, p. 35-51, 2018.
- BROERSMA, L.; DIJK, J. van. The effect of congestion and agglomeration on multifactor productivity growth in Dutch regions. **Journal of Economic Geography**, v. 8, n. 2, p. 181-209, 2007.
- CLARK, B. *et al.* How commuting affects subjective wellbeing. **Transportation**, v. 47, n. 6, p. 2777-2805, 2020.
- ÇOLAK, S.; LIMA, A.; GONZÁLEZ, M. C. Understanding congested travel in urban areas. **Nature Communications**, v. 7, n. 1, p. 10793, 2016.

COMBER, A.; ZENG, W. Spatial interpolation using areal features: a review of methods and opportunities using new forms of data with coded illustrations. **Geography Compass**, v. 13, n. 10, p. e12465, 2019.

CUI, B. *et al.* Accessibility and the journey to work through the lens of equity. **Journal of Transport Geography**, v. 74, p. 269-277, 2019.

DURANTON, G.; GUERRA, E. Developing a common narrative on urban accessibility: An urban planning perspective. *In*: TRB ANNUAL MEETING, 2016, Washington, District of Columbia. **Proceedings...** Washington: TRB, 2016. Disponível em: <https://trid.trb.org/view/1489337>.

EL-GENEIDY, A. *et al.* The cost of equity: assessing transit accessibility and social disparity using total travel cost. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 91, p. 302-316, 2016.

GATELY, C. K. *et al.* Urban emissions hotspots: quantifying vehicle congestion and air pollution using mobile phone GPS data. **Environmental Pollution**, v. 229, p. 496-504, 2017.

GEURS, K. T.; ECK, J. R. van. **Accessibility measures**: review and applications. Bilthoven: National Institute of Public Health and the Environment, 2001. Disponível em: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/408505006.html>.

GEURS, K. T.; WEE, B. van. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. **Journal of Transport Geography**, v. 12, n. 2, p. 127-140, 2004.

GOBILLON, L.; SELOD, H.; ZENOU, Y. The mechanisms of spatial mismatch. **Urban Studies**, v. 44, n. 12, p. 2401-2427, 2007.

GREEN, C. P.; HEYWOOD, J. S.; PANIAGUA, M. N. Did the London congestion charge reduce pollution? **Regional Science and Urban Economics**, v. 84, p. 103573, 2020.

HIGGINS, C. D. *et al.* Accessibility, air pollution, and congestion: capturing spatial trade-offs from agglomeration in the property market. **Land Use Policy**, v. 84, p. 177-191, 2019.

HOEK, G. *et al.* Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review. **Environmental Health**, v. 12, n. 1, p. 43, 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base cartográfica**: grade estatística. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/recortes_para_fins_estatisticos/grade_estatistica/censo_2010/. Acesso em: 15 fev. 2022.

JAYASOORIYA, S. A. C. S.; BANDARA, Y. M. M. S. Measuring the economic costs of traffic congestion. *In: MORATUWA ENGINEERING RESEARCH CONFERENCE (MERCON). Proceedings...* Moratuwa: IEEE, 2017. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7980471/>. Acesso em: 3 abr. 2023

JIN, J.; PAULSEN, K. Does accessibility matter? Understanding the effect of job accessibility on labour market outcomes. **Urban Studies**, v. 55, n. 1, p. 91-115, 2018.

JOSEPH, A. E.; BANTOCK, P. R. Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: a method and case study. **Social Science and Medicine**, v. 16, n. 1, p. 85-90, 1982.

LEAPE, J. The London congestion charge. **Journal of Economic Perspectives**, v. 20, n. 4, p. 157-176, 2006.

LEVINE, J.; GRENGS, J.; MERLIN, L. A. **From mobility to accessibility**: transforming urban transportation and land-use planning. Ithaca: Cornell University Press, 2019.

LEVINSON, D. M. Accessibility and the journey to work. **Journal of Transport Geography**, v. 6, n. 1, p. 11-21, 1998.

LEVINSON, D. M.; KING, D. **Transport access manual**: a guide for measuring connection between people and places. Sydney: Committee of the Transport Access Manual, University of Sydney, 2020.

LEVY, J. I.; BUONOCORE, J. J.; STACKELBERG, K. von. Evaluation of the public health impacts of traffic congestion: a health risk assessment. **Environmental Health**, v. 9, n. 1, p. 65, 2010.

LIAO, Y. *et al.* Disparities in travel times between car and transit: spatiotemporal patterns in cities. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 4056, 2020.

LIPSETT, M. J. *et al.* Long-Term exposure to air pollution and cardiorespiratory disease in the California teachers study cohort. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 184, n. 7, p. 828-835, 2011.

LIU, J.; ETTEMA, D.; HELBICH, M. Systematic review of the association between commuting, subjective wellbeing and mental health. **Travel Behaviour and Society**, v. 28, p. 59-74, 2022.

MONDSCHHEIN, A.; TAYLOR, B. D. Is traffic congestion overrated? Examining the highly variable effects of congestion on travel and accessibility. **Journal of Transport Geography**, v. 64, p. 65-76, 2017.

MOYA-GÓMEZ, B.; GARCÍA-PALOMARES, J. C. The impacts of congestion on automobile accessibility. What happens in large European cities? **Journal of Transport Geography**, v. 62, p. 148-159, 2017.

MOYANO, A. *et al.* Traffic congestion and economic context: changes of spatiotemporal patterns of traffic travel times during crisis and post-crisis periods. **Transportation**, v. 48, n. 6, p. 3301-3324, 2021.

MUDWAY, I. S. *et al.* Impact of London's low emission zone on air quality and children's respiratory health: a sequential annual cross-sectional study. **The Lancet Public Health**, v. 4, n. 1, p. e28-e40, 2019.

OHCHR – OFFICE OF THE HIGH COMMISSIONER FOR HUMAN RIGHTS. **The human right to adequate housing**. Geneva: OHCHR, 2009. (Fact Sheet, n. 21). Disponível em: <https://www.refworld.org/docid/479477400.html>.

OWEN, A.; MURPHY, B. **Access across America: auto 2019**. Minneapolis: Center for Transportation Studies, 2021. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11299/253738>.

PÁEZ, A.; SCOTT, D. M.; MORENCY, C. Measuring accessibility: positive and normative implementations of various accessibility indicators. **Journal of Transport Geography**, v. 25, p. 141-153, 2012.

PEREIRA, R. H. M. Future accessibility impacts of transport policy scenarios: equity and sensitivity to travel time thresholds for Bus Rapid Transit expansion in Rio de Janeiro. **Journal of Transport Geography**, v. 74, p. 321-332, 2019.

PEREIRA, R. H. M. *et al.* **Tendências e desigualdades da mobilidade urbana no Brasil I: o uso do transporte coletivo e individual**. Brasília: Ipea, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10713>. (Texto para Discussão, n. 2673).

PEREIRA, R. H. M. *et al.* **Distribuição espacial de características sociodemográficas e localização de empregos e serviços públicos das vinte maiores cidades do Brasil**. Brasília: Ipea, 2022. (Texto para Discussão, n. 2772).

REQUIA, W. J. *et al.* The health impacts of weekday traffic: a health risk assessment of PM_{2.5} emissions during congested periods. **Environment International**, v. 111, p. 164-176, 2018a.

REQUIA, W. J. *et al.* Global Association of air pollution and cardiorespiratory diseases: a systematic review, meta-analysis, and investigation of modifier variables. **American Journal of Public Health**, v. 108, n. S2, p. S123-S130, 2018b.

RETALLACK, A. E.; OSTENDORF, B. Current understanding of the effects of congestion on traffic accidents. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 18, p. 3400, 2019.

SABERI, M. *et al.* A simple contagion process describes spreading of traffic jams in urban networks. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, p. 1616, 2020.

SANTOS, G. Urban congestion charging: a comparison between London and Singapore. **Transport Reviews**, v. 25, n. 5, p. 511-534, 2005.

STĘPNIAK, M. *et al.* The impact of temporal resolution on public transport accessibility measurement: review and case study in Poland. **Journal of Transport Geography**, v. 75, p. 8-24, 2019.

STOPHER, P. R. Reducing road congestion: a reality check. **Transport Policy**, v. 11, n. 2, p. 117-131, 2004.

SWEET, M. Traffic congestion's economic impacts: evidence from US metropolitan regions. **Urban Studies**, v. 51, n. 10, p. 2088-2110, 2014.

TANG, C. K. The cost of traffic: evidence from the London congestion charge. **Journal of Urban Economics**, v. 121, p. 103302, 2021.

TANG, C. K.; OMMEREN, J. van. Accident externality of driving: evidence from the London congestion charge. **Journal of Economic Geography**, v. 22, n. 3, p. 547-580, 2022.

TOMASIELLO, D. B. *et al.* **A time interval metric for cumulative opportunity accessibility**. [s.l.]: SocArXiv, 2022. Disponível em: <https://osf.io/ux5ah>. Acesso em: 16 fev. 2023.

UN-HABITAT – UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME. **World cities report 2022**: envisaging the future of cities. Nairobi: UN-HABITAT, 2022.

WANG, X. *et al.* Commute patterns and depression: evidence from eleven Latin American cities. **Journal of Transport and Health**, v. 14, p. 100607, 2019.

WEE, B. van. Transport modes and accessibility. *In*: VICKERMAN, R. (Ed.). **International Encyclopedia of Transportation**. Oxford: Elsevier, 2021. p. 32-37.

WEISBROD, G.; VARY, D.; TREYZ, G. Measuring economic costs of urban traffic congestion to business. **Transportation Research Record**: Journal of the Transportation Research Board, v. 1839, n. 1, p. 98-106, 2003.

WOODCOCK, J. *et al.* Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. **The Lancet**, v. 374, n. 9705, p. 1930-1943, 2009.

WOODCOCK, J. *et al.* Development of the Impacts of Cycling Tool (ICT): a modelling study and web tool for evaluating health and environmental impacts of cycling uptake. **PLOS Medicine**, v. 15, n. 7, p. e1002622, 2018.

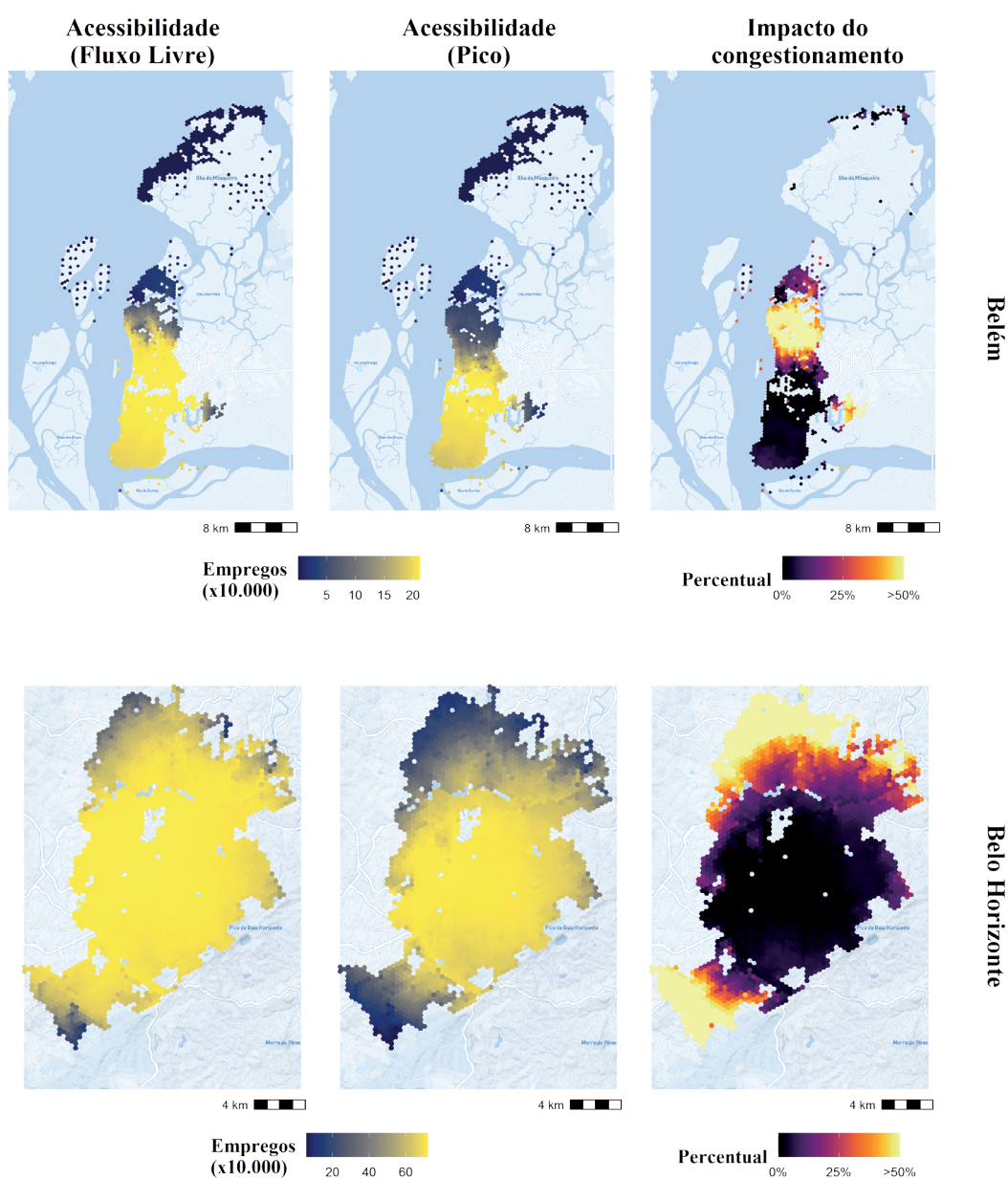
WU, K. *et al.* Traffic and emissions impact of congestion charging in the central Beijing urban area: a simulation analysis. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 51, p. 203-215, 2017.

YIANNAKOULIAS, N.; BLAND, W.; SVENSON, L. W. Estimating the effect of turn penalties and traffic congestion on measuring spatial accessibility to primary health care. **Applied Geography**, v. 39, p. 172-182, 2013.

APÊNDICE A

MAPA A.1

Belém e Belo Horizonte: acessibilidade média a empregos num intervalo de 15 a 45 minutos de viagem por automóvel com fluxo livre, período de pico e impacto do congestionamento sobre acessibilidade (2018-2020)



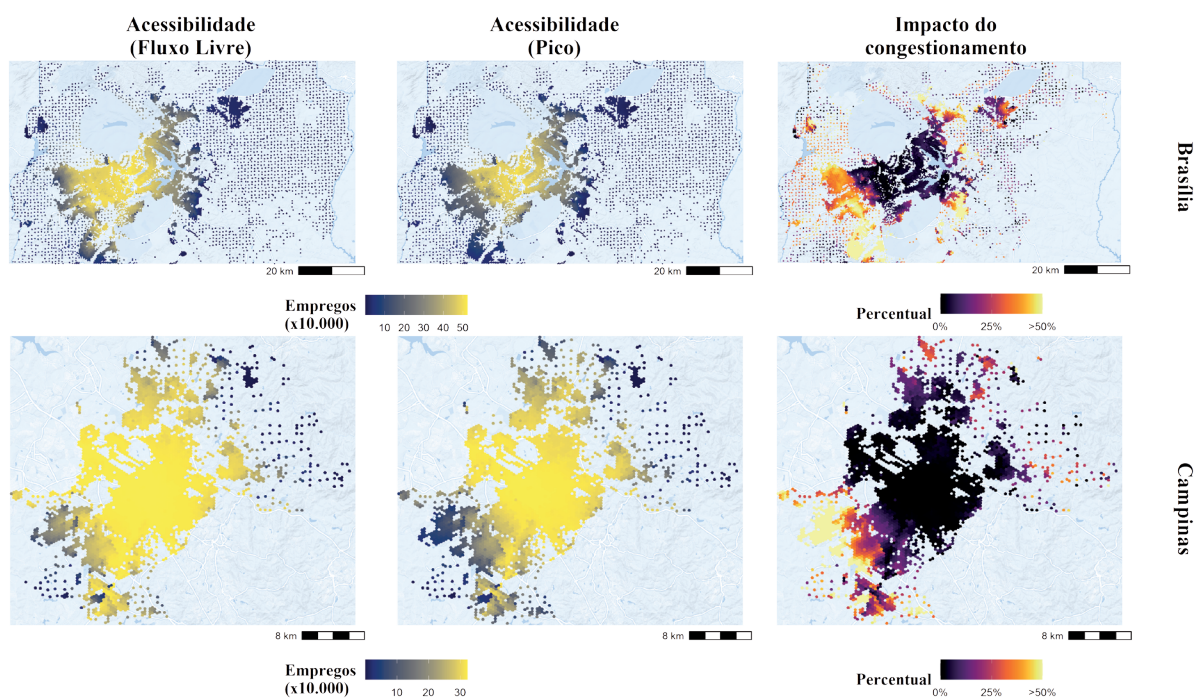
Fonte: Rais.

Elaboração dos autores.

Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

MAPA A.2

Brasília e Campinas: acessibilidade média a empregos num intervalo de 15 a 45 minutos de viagem por automóvel com fluxo livre, período de pico e impacto do congestionamento sobre acessibilidade (2018-2020)



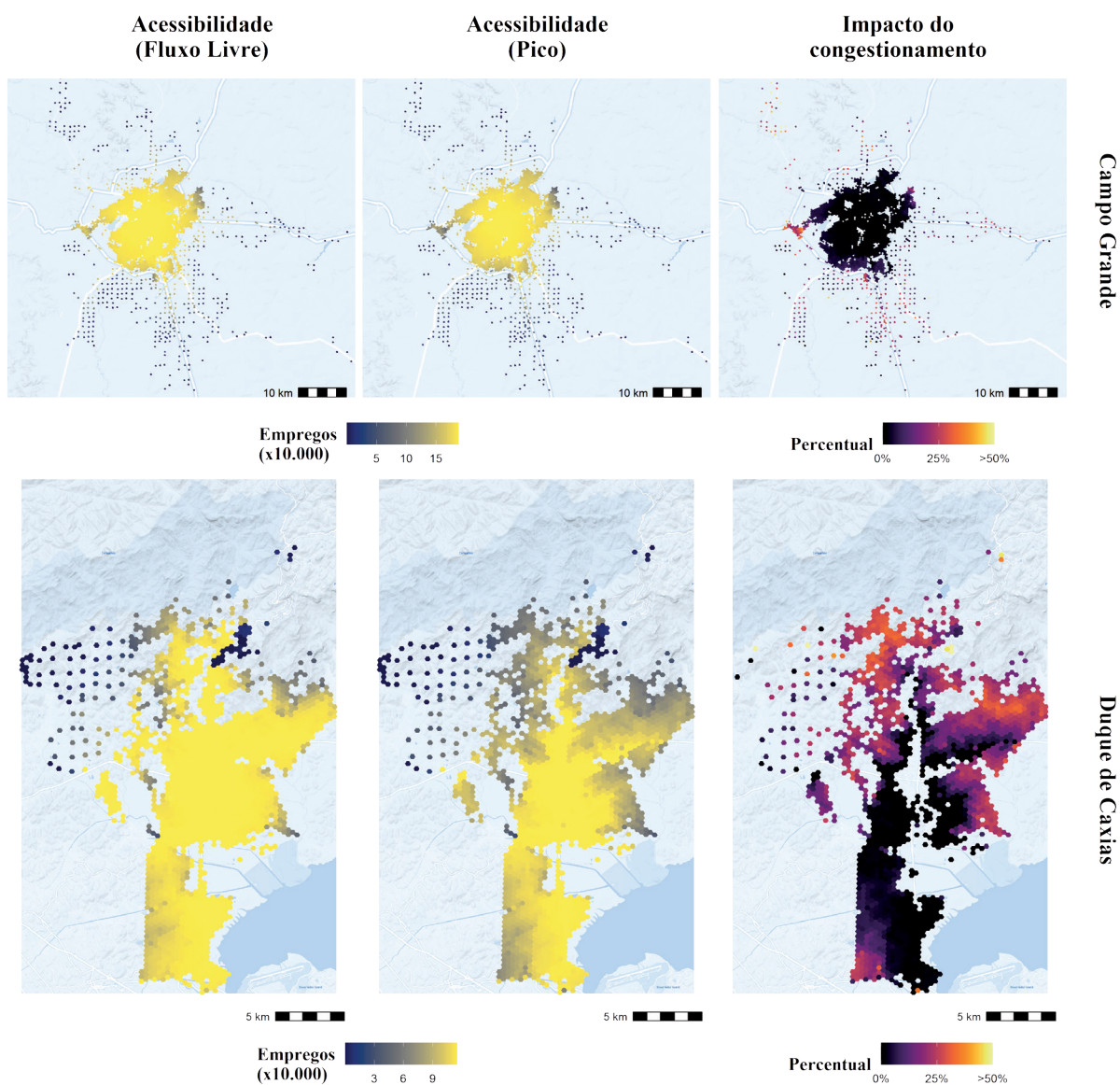
Fonte: Rais.

Elaboração dos autores.

Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

MAPA A.3

Campo Grande e Duque de Caxias: acessibilidade média a empregos num intervalo de 15 a 45 minutos de viagem por automóvel com fluxo livre, período de pico e impacto do congestionamento sobre acessibilidade (2018-2020)



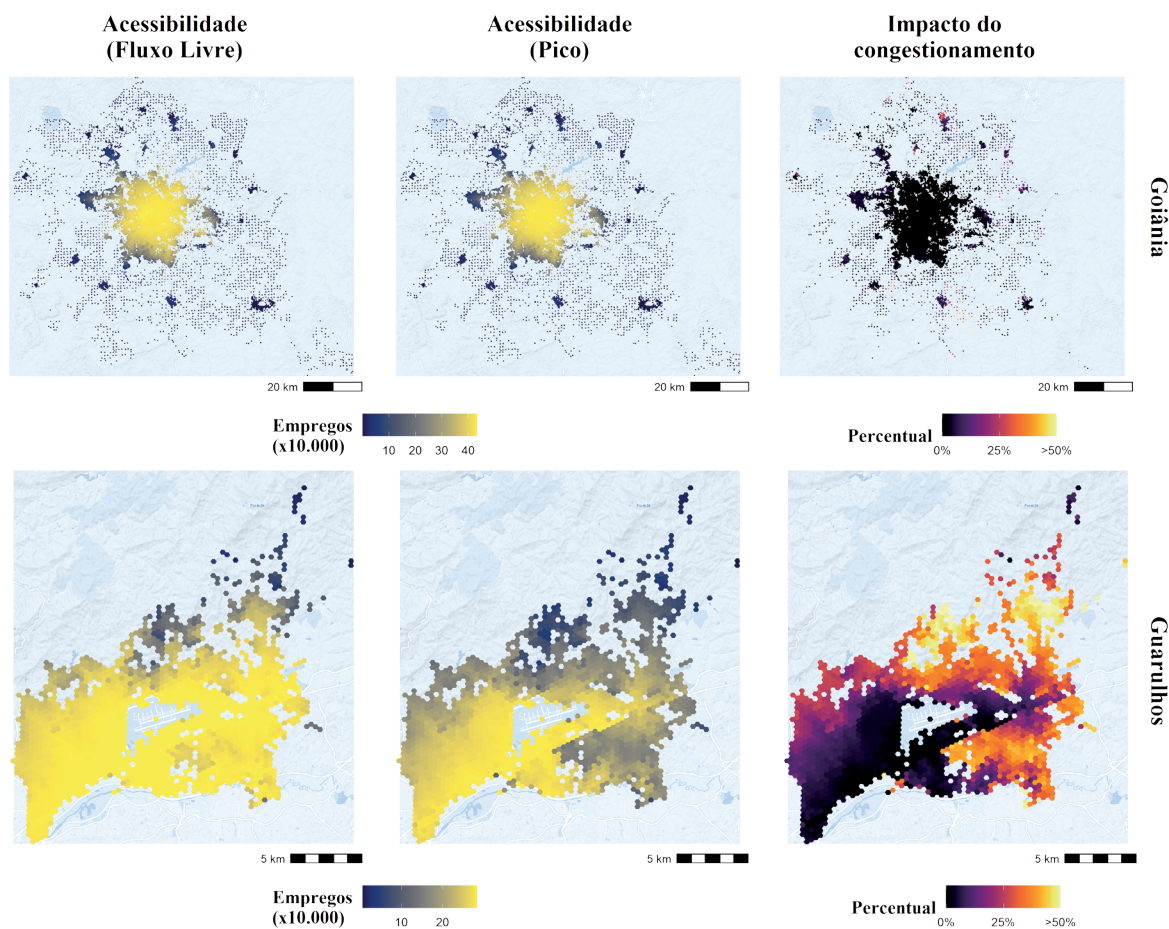
Fonte: Rais.

Elaboração dos autores.

Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

MAPA A.4

Goiânia e Guarulhos: acessibilidade média a empregos num intervalo de 15 a 45 minutos de viagem por automóvel com fluxo livre, período de pico e impacto do congestionamento sobre acessibilidade (2018-2020)



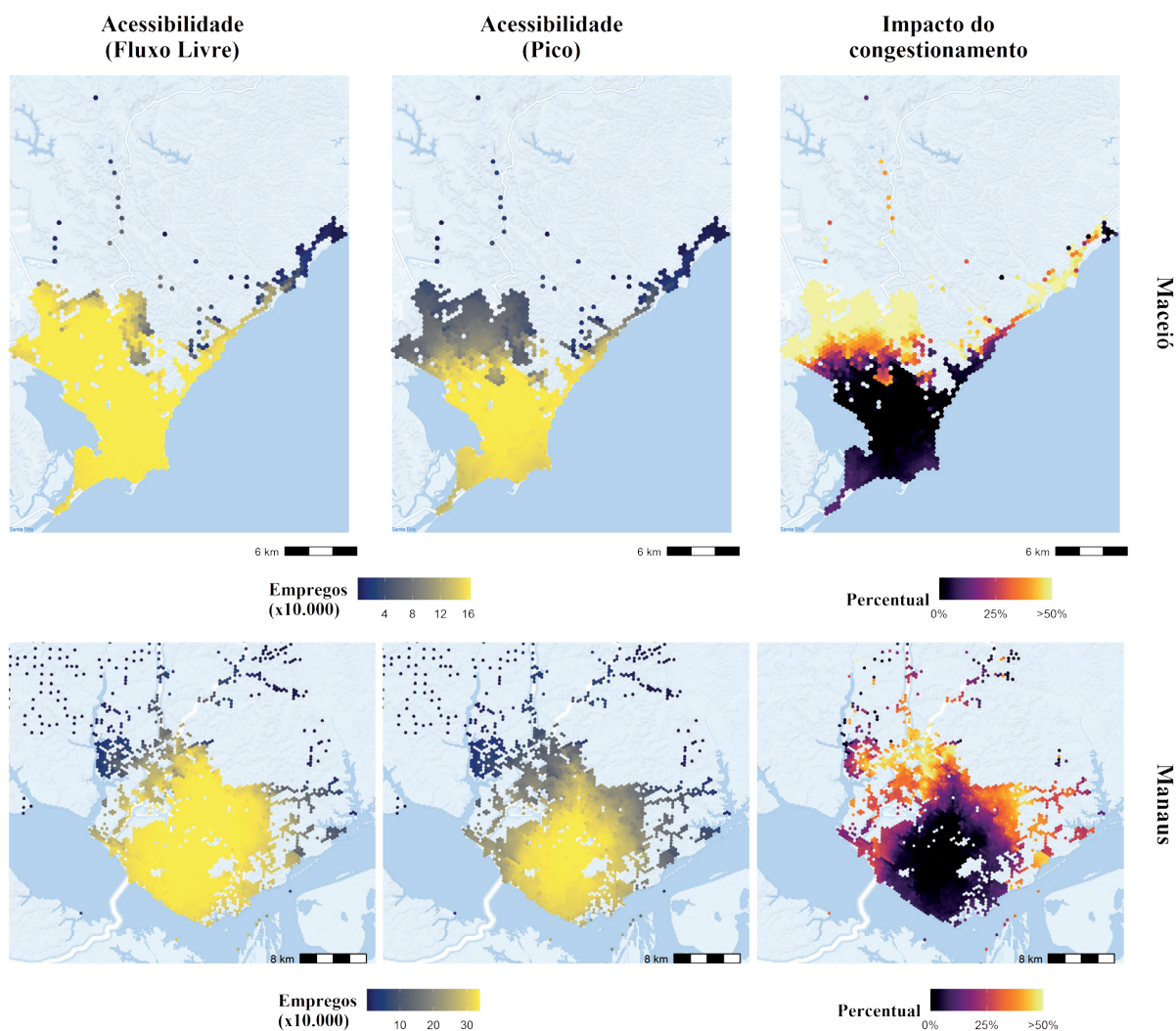
Fonte: Rais.

Elaboração dos autores.

Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

MAPA A.5

Maceió e Manaus: acessibilidade média a empregos num intervalo de 15 a 45 minutos de viagem por automóvel com fluxo livre, período de pico e impacto do congestionamento sobre acessibilidade (2018-2020)



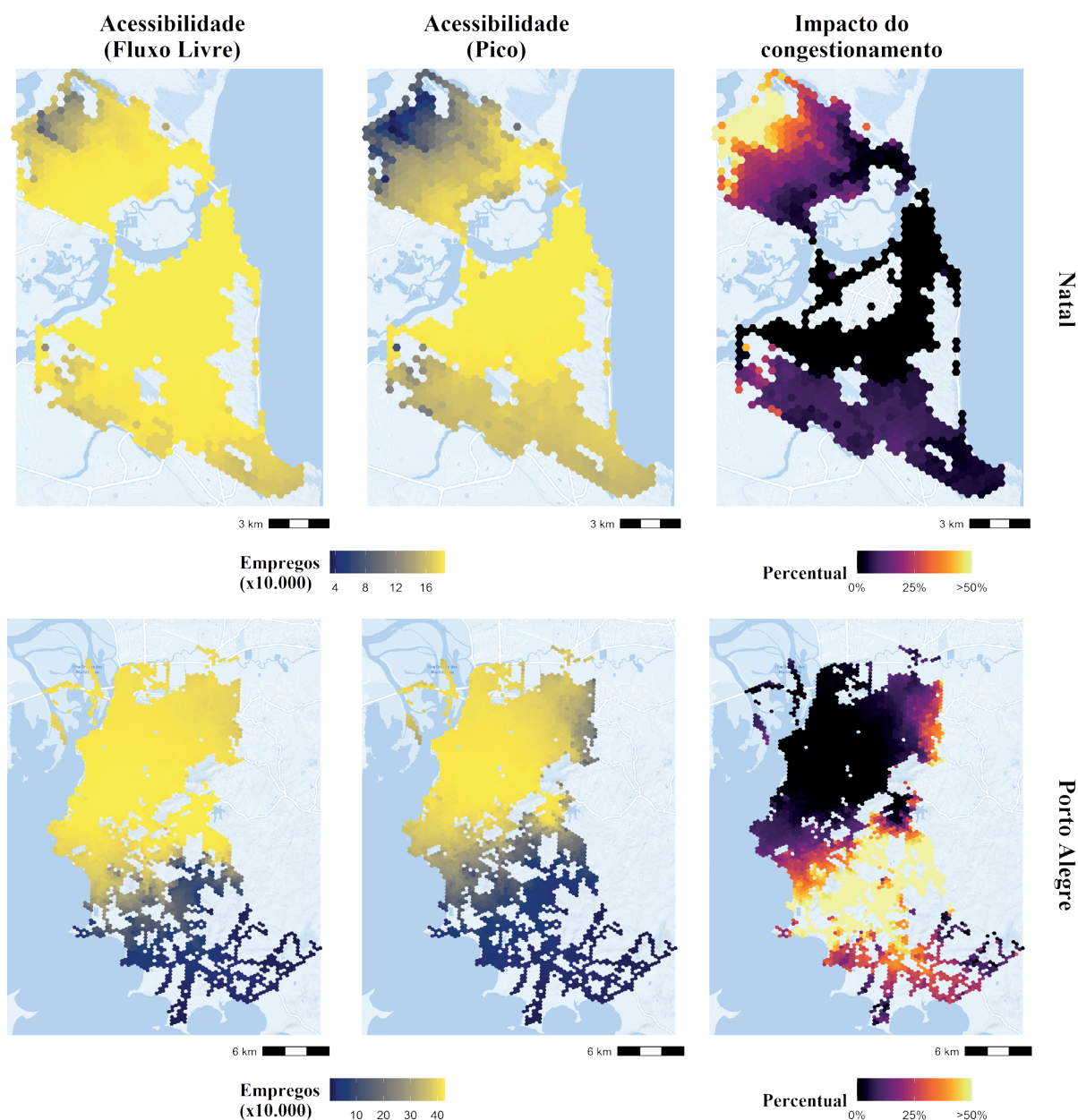
Fonte: Rais.

Elaboração dos autores.

Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

MAPA A.6

Natal e Porto Alegre: acessibilidade média a empregos num intervalo de 15 a 45 minutos de viagem por automóvel com fluxo livre, período de pico e impacto do congestionamento sobre acessibilidade (2018-2020)



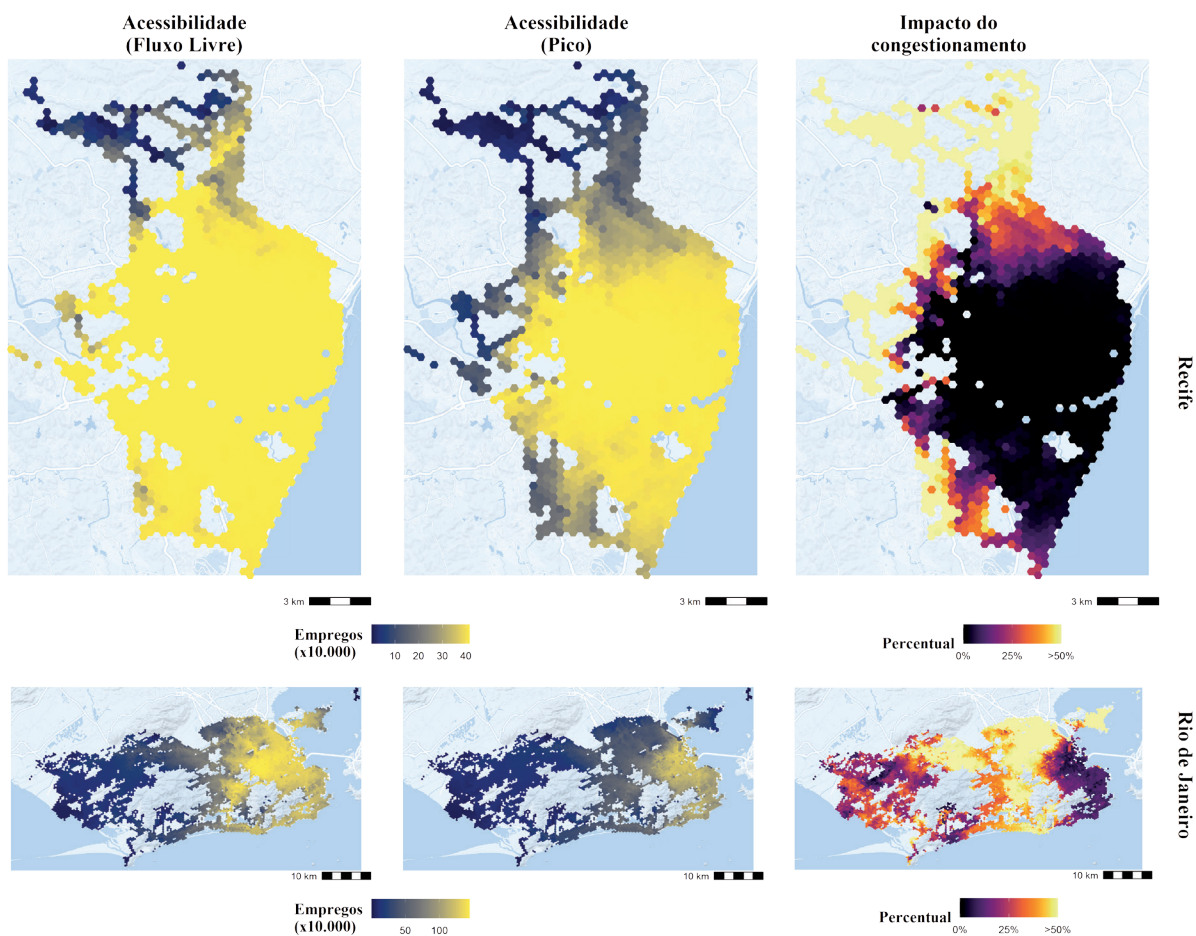
Fonte: Rais.

Elaboração dos autores.

Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

MAPA A.7

Recife e Rio de Janeiro: acessibilidade média a empregos num intervalo de 15 a 45 minutos de viagem por automóvel com fluxo livre, período de pico e impacto do congestionamento sobre acessibilidade (2018-2020)



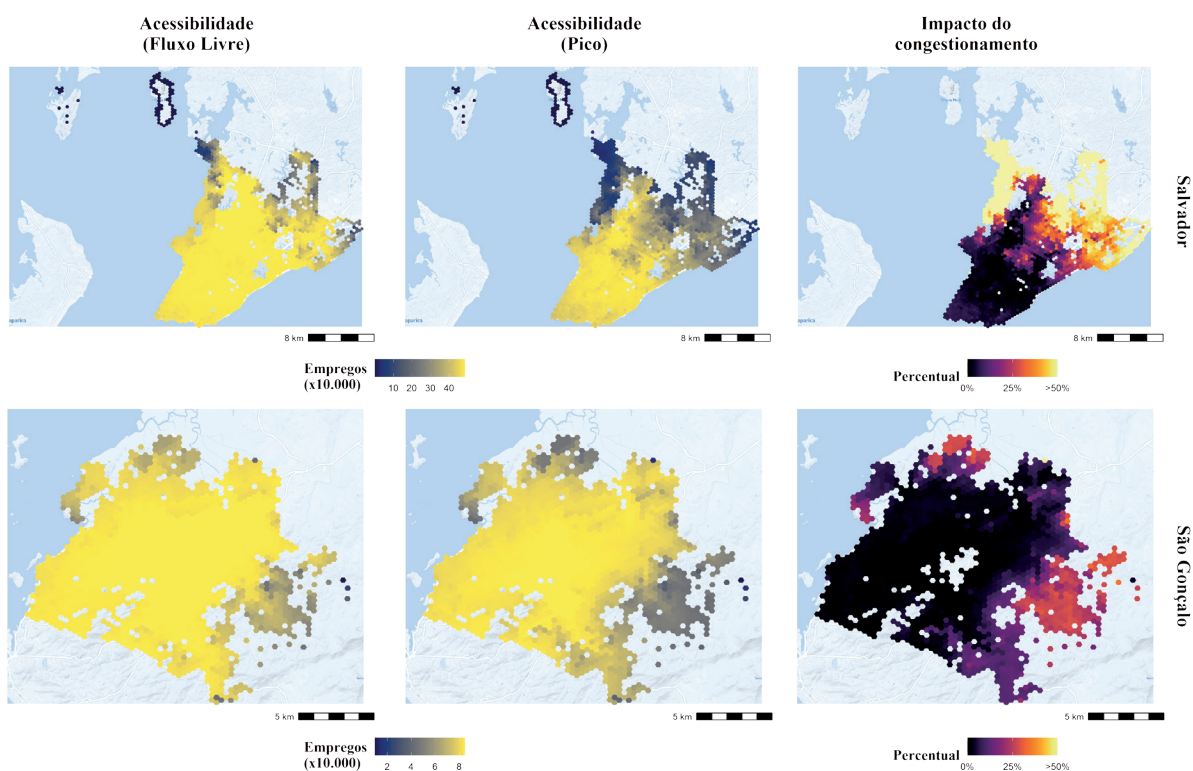
Fonte: Rais.

Elaboração dos autores.

Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

MAPA A.8

Salvador e São Gonçalo: acessibilidade média a empregos num intervalo de 15 a 45 minutos de viagem por automóvel com fluxo livre, período de pico e impacto do congestionamento sobre acessibilidade (2018-2020)



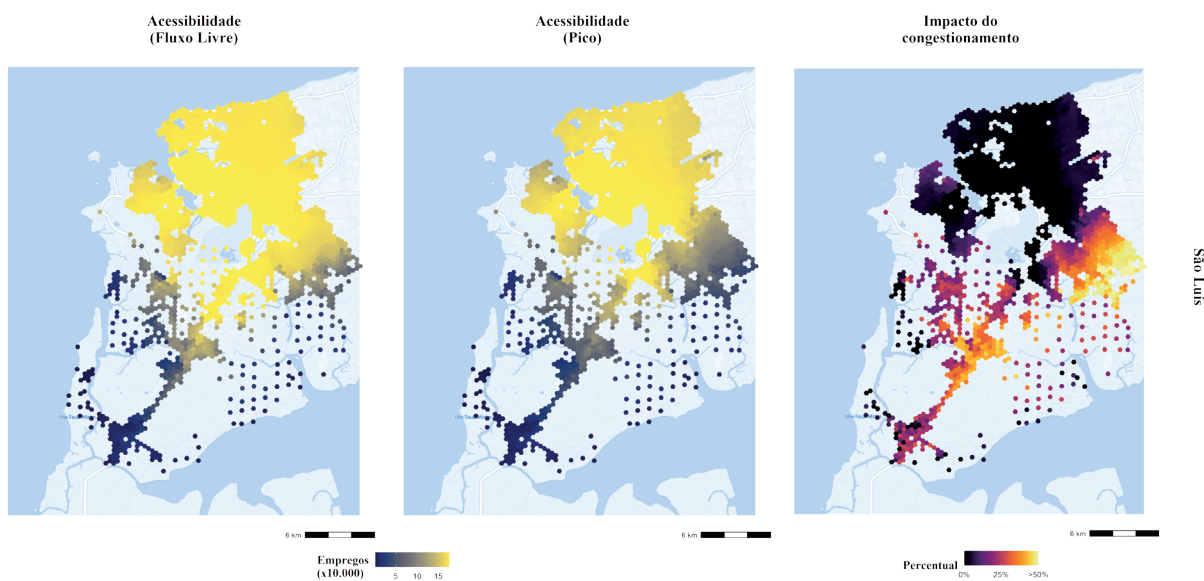
Fonte: Rais.

Elaboração dos autores.

Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

MAPA A.9

São Luís: acessibilidade média a empregos num intervalo de 15 a 45 minutos de viagem por automóvel com fluxo livre, período de pico e impacto do congestionamento sobre acessibilidade (2018-2020)



Fonte: Rais.

Elaboração dos autores.

Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

EDITORIAL

Coordenação

Aeromilson Trajano de Mesquita

Assistentes da Coordenação

Rafael Augusto Ferreira Cardoso

Samuel Elias de Souza

Supervisão

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Revisão

Bruna Neves de Souza da Cruz

Bruna Oliveira Ranquine da Rocha

Carlos Eduardo Gonçalves de Melo

Crislayne Andrade de Araújo

Elaine Oliveira Couto

Luciana Bastos Dias

Rebeca Raimundo Cardoso dos Santos

Vivian Barros Volotão Santos

Deborah Baldino Marte (estagiária)

Maria Eduarda Mendes Laguardia (estagiária)

Editoração

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Camila Guimarães Simas

Leonardo Simão Lago Alvite

Mayara Barros da Mota

Capa

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Projeto Gráfico

Aline Cristine Torres da Silva Martins

The manuscripts in languages other than Portuguese published herein have not been proofread.

Missão do Ipea
Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro
por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria
ao Estado nas suas decisões estratégicas.



ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

MINISTÉRIO DO
PLANEJAMENTO
E ORÇAMENTO

