

AMPLIANDO A ABRANGÊNCIA DE UMA ESTRATÉGIA DE AVALIAÇÃO DA RESILIÊNCIA NA MOBILIDADE URBANA PARA OUTROS MODOS E LOCAIS

Luiza Gagno Azolin

Antônio Nélon Rodrigues da Silva

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

Nuno Pinto

The University of Manchester

School of Environment, Education and Development

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivos inserir o transporte público em uma estratégia para avaliação da resiliência na mobilidade urbana, diante de uma hipotética crise de combustível em que o transporte privado motorizado não pudesse ser utilizado, e realizar um estudo de caso em uma cidade no Reino Unido. A partir de dados de uma Pesquisa Origem e Destino, as viagens necessárias e essenciais podem ser classificadas em resilientes (persistentes, excepcionais ou adaptáveis) e vulneráveis (transformáveis). Analisando diferentes cenários com Distâncias Máximas Possíveis (DMP) de serem percorridas por modos ativos e com variadas condições de funcionamento do transporte público, é determinado o nível de resiliência na mobilidade urbana. Assim, a partir da avaliação da influência da inserção do transporte público em diferentes circunstâncias, é possível identificar as rotas que geram melhoria na resiliência quando colocadas em operação, além de realizar uma comparação com estudos equivalentes aplicados a cidades brasileiras.

1. INTRODUÇÃO

O predomínio do uso do petróleo no setor dos transportes (BP, 2018), a previsão de que sua produção chegará a um limite máximo (Krumdieck *et al.*, 2010) e a ocorrência de crises, como a paralisação no transporte de produtos em geral e de combustível enfrentada pelos brasileiros em 2018 (Da Silva *et al.*, 2019), evidenciam a necessidade de se identificar as vulnerabilidades do setor de transportes e, então, buscar maneiras de reduzir as consequências das perturbações (Berdica, 2002).

Um sistema que, diante de uma interrupção, é capaz de resistir aos impactos (Jin *et al.*, 2014), se adaptar às novas condições (Gaitanidou *et al.*, 2017) ou ainda se transformar (Mehmood, 2016) para se recuperar e se manter em bom desempenho, é considerado resiliente. No que se refere às análises dos sistemas de transporte e à aplicação da resiliência inter-relacionando diferentes modos de transporte, a literatura existente ainda é escassa (Leobons *et al.*, 2019).

Assim, os objetivos deste trabalho são inserir o transporte público em uma estratégia para avaliação da resiliência na mobilidade urbana, diante da situação hipotética de oferta restrita de combustível, e realizar um estudo de caso em um centro urbano do Reino Unido com economia fortemente industrializada, o que exige um sistema de mobilidade robusto e resiliente. Além do interesse nos resultados específicos, tal análise possibilitará uma comparação com cidades brasileiras já estudadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Holling (1973) introduziu o uso do termo “resiliência” na análise de sistemas ecológicos como a capacidade de um sistema resistir a possíveis distúrbios e persistir em funcionamento. Para Walker *et al.* (2004), um sistema resiliente apresenta adaptabilidade, que assegura estabilidade através do ajuste às mudanças impostas (Folke *et al.*, 2010), e transformabilidade, situação em que novos domínios de estabilidade são formados (Fernandes *et al.*, 2017).

Os estudos que utilizam a resiliência aplicada aos sistemas de transporte consideram como eventos causadores da interrupção: desastres naturais (Chan e Schofer, 2016), desastres de origem humana (Cox *et al.*, 2011), crises econômicas ou energéticas (Fernandes *et al.*, 2017; Martins *et al.*, 2019), interrupções de redes (sem especificar o episódio causador) (Jin *et al.*, 2014), entre outros. Nas análises, algumas pesquisas avaliam um modo de transporte específico (Chan e Schofer, 2016), outras consideram a integração entre diferentes modos, avaliando situações em que a demanda não atendida de um possa ser satisfeita por outro (Cox *et al.*, 2011; Jin *et al.*, 2014) ou sob circunstâncias em que há a necessidade de se adequar o modo de transporte (Martins e Rodrigues da Silva, 2018; Martins *et al.*, 2019).

Krumdieck *et al.* (2010) analisam os efeitos de uma possível crise energética nos sistemas de mobilidade urbana. Os autores propõem que as viagens sejam classificadas em *opcionais*, *necessárias* e *essenciais*. Diante de uma crise, caso fossem eliminadas, as duas últimas categorias causariam maiores impactos. Neste contexto, Fernandes *et al.* (2017) propõem um conceito para resiliência da mobilidade urbana onde a mobilidade é analisada em três aspectos: a *persistência*, quando o padrão de mobilidade é mantido; a *adaptabilidade*, quando o padrão precisa ser modificado para manutenção da funcionalidade do sistema; e a *transformabilidade*, situação em que há a necessidade de se realizar alterações no sistema que afetem a população socialmente e economicamente.

Uma abordagem quantitativa para avaliar a resiliência na mobilidade urbana diante de uma situação de crise energética é apresentada por Martins e Rodrigues da Silva (2018). Ao compor diferentes cenários com Distâncias Máximas Possíveis (DMP) de serem percorridas a pé e por bicicleta, os autores classificam as viagens *necessárias* e *essenciais* em quatro categorias: *persistentes*, *adaptáveis*, *transformáveis* e *excepcionais*. Entretanto, a estratégia proposta só considera a possibilidade de escassez total de combustível, admitindo apenas a utilização dos modos ativos, além de não avaliar transportes públicos e privados motorizados de forma distinta. Martins *et al.* (2019) aplicaram tal estratégia na cidade de São Carlos-SP e na Região Metropolitana de Maceió-AL, o que possibilitou identificar a relação entre os níveis de resiliência e a renda dos indivíduos. Porém, observa-se que os estudos de caso realizados adotando essa metodologia ainda estão restritos às regiões brasileiras.

3. METODOLOGIA

Primeiramente, a região a ser avaliada é definida com a condição de que se tenham disponíveis os dados da Pesquisa Origem e Destino (OD) e dos itinerários das linhas de transporte público da mesma. Além disso, é interessante selecionar um local com características razoavelmente semelhantes a pelo menos uma das cidades brasileiras já estudadas, possibilitando a comparação dos resultados.

Para aplicar a estratégia proposta, as distâncias em rede entre os centroides das zonas de tráfego são obtidas com um Sistema de Informação Geográfica (SIG), assim como no método proposto por Martins *et al.* (2019). Então, diferentes cenários para os modos ativos (CA) são compostos, para os quais devem ser determinadas as Distâncias Máximas Possíveis (DMP) de serem percorridas a pé e por bicicleta, com a única restrição de que a distância máxima para o modo a pé deve ser sempre menor do que para o modo bicicleta. A definição das DMP é necessária porque se considera que características locais e dos indivíduos podem influenciar nos valores limites admitidos para viagens realizadas por estes modos (Martins *et al.*, 2019). Então, cada par de DMP a pé e para bicicleta determinado compõe um CA a ser avaliado.

As zonas de tráfego percorridas por cada linha de transporte público em operação na região estudada, nos percursos de ida e volta, são identificadas com a utilização de um SIG. Então, a Matriz de Trechos Atendidos (MTA) é composta. A MTA apresenta se um trecho é ou não atendido por uma determinada linha de transporte público a partir dos números 1 e 0, respectivamente. Considerando uma situação em que apenas uma parcela do sistema de transporte possa ser colocada em operação, supõe-se que deva existir uma ordem de prioridade entre as linhas. Dessa forma, é proposto o cálculo da demanda potencial (DP), para cada linha de transporte público, que é determinada pelo somatório do número de viagens motorizadas referentes aos trechos atendidos pela linha analisada. Quanto maior a DP, maior a prioridade da linha. Os cenários de funcionamento de transporte público (CP) são construídos adicionando as linhas, uma por vez, seguindo a ordem de prioridade estabelecida. A cada CP é associada uma MTA que corresponde à junção das matrizes das linhas em operação no respectivo cenário.

A partir de todas as combinações possíveis entre os cenários de modos ativos (CA) e de funcionamento de transporte público (CP) são construídos os cenários resultantes (C). Para cada C, as viagens *necessárias* e *essenciais* são identificadas segundo as categorias *persistentes*, *excepcionais*, *adaptáveis* ou *transformáveis*, sendo as três primeiras consideradas como de viagens resilientes e a última como de viagens vulneráveis. São classificadas como *persistentes* as viagens realizadas a pé ou por bicicleta que possuem distâncias dentro dos limites das respectivas DMP determinadas para o cenário e viagens realizadas por transporte público com distâncias acima da DMP para bicicleta, com trechos origem-destino atendidos de acordo com o respectivo CP. São consideradas *excepcionais* as viagens realizadas por modos ativos com distâncias acima das DMP. São identificadas como *adaptáveis*: viagens realizadas por modos motorizados com distâncias dentro dos limites das DMP e viagens realizadas por modos privados motorizados, com distâncias acima da DMP para bicicleta e com trechos atendidos pelo transporte público em operação. Viagens que não possam ser realizadas nem por modos ativos de transporte, nem através do transporte público, são classificadas como *transformáveis*.

Então, a resiliência da mobilidade urbana é obtida a partir da proporção de viagens resilientes em relação ao total de viagens avaliadas. A partir deste estudo será possível analisar a variação da resiliência na mobilidade em diferentes circunstâncias e a influência do transporte público, considerando-o em variados níveis de funcionamento. Assim, espera-se que a estratégia proposta possa ser utilizada como uma ferramenta na gestão dos sistemas de transporte para tornar a mobilidade mais resiliente em uma possível crise.

4. ESTUDO DE CASO

Para a realização do estudo de caso, a princípio foi escolhida a cidade de Manchester, situada no noroeste da Inglaterra. A Grande Manchester é composta por oito distritos e duas cidades, dentre elas Manchester e Salford. O sistema de transporte público oferecido é composto por ônibus, trem e VLT (Veículo Leve sobre Trilhos), tal como Maceió. Segundo estatísticas divulgadas pelo TfGM (2015), a região conta com mais de 600 rotas de ônibus oferecidas aos passageiros que realizam mais de 225 milhões de viagens anuais por este modo. A rede do serviço de trens cobre cerca de 150 milhas onde são realizadas em torno de 25 milhões de viagens a cada ano, com aproximadamente 21000 passageiros no pico da manhã. Em 2014 foram registradas 30 milhões de viagens nas oito linhas de VLT. O contato com os órgãos responsáveis para obtenção dos dados necessários, referentes à cidade de Manchester, já foi iniciado. Além da semelhança com Maceió, pela disponibilidade de mais de um modo de transporte público, Manchester e São Carlos possuem forte produção industrial baseada no

desenvolvimento tecnológico, apesar de apresentarem estruturas urbanas com diferentes proporções. Isto justificaria outra possível comparação dos resultados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo 130795/2018-6), à FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo 2017/50309-9), à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Código de Financiamento 001) e à Universidade de São Paulo, pelo apoio para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berdica, K. (2002) An Introduction to Road Vulnerability: What Has Been Done, Is Done and Should Be Done. *Transport Policy*, v. 9, n. 2, p. 117-127.
- BP (2018) BP Energy Outlook 2018. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2018.
- Chan, R. e J. L. Schofer (2016) Measuring Transportation System Resilience: Response of Rail Transit to Weather Disruptions. *Natural Hazards Review*, v. 17, n. 1.
- Cox, A.; F. Prager e A. Rose (2011) Transportation Security and the Role of Resilience: A Foundation for Operational Metrics. *Transport Policy*, v. 18, n. 2, p. 307-317.
- Da Silva, B. L.; T.A. Sarmiento; V. E. da S. Santos e F. B. R. Tavares (2019) Crise Petrolífera e o Descaso Ferroviário: Da Dependência ao Colapso. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 17, n. 1, p. 1-10.
- Fernandes, V. A.; R. Rothfuss; V. Hochschild; W. R. da Silva e M. P. de S. Santos (2017) Resiliência da Mobilidade Urbana: Uma Proposta Conceitual e de Sistematização. *Transportes*, v. 25, n. 4, p. 147-160.
- Folke, C.; S. R. Carpenter; B. Walker; M. Scheffer; T. Chapin e J. Rockström (2010) Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology and Society*, v. 15, n. 4.
- Gaitanidou, E.; M. Tsamib e E. Bekiaris (2017) A Review of Resilience Management Application Tools in the Transport Sector. *Transportation Research Procedia*, v. 24, p. 235-240.
- Holling, C. S. (1973) Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 4, p. 1-23.
- Jin, J. G.; L. C. Tang; L. Sun e D. H. Lee (2014) Enhancing Metro Network Resilience Via Localized Integration with Bus Services. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 63, p. 17-30.
- Krumdieck, S.; S. Page e A. Dantas (2010) Urban Form and Long-term Fuel Supply Decline: A Method to Investigate the Peak Oil Risks to Essential Activities. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 44, n. 5, p. 306-322.
- Leobons, C. M.; V. B. G. Campos e R. A. de M. Bandeira (2019) Assessing Urban Transportation Systems Resilience: A Proposal of Indicators. *Transportation Research Procedia*, v. 37, p. 322-329.
- Martins, M. C. M. e A. N. Rodrigues da Silva (2018) Uma Estratégia para Avaliação da Resiliência na Mobilidade Urbana. *Transportes*, v. 26, n. 3, p. 75-86.
- Martins, M. C. M.; A. N. Rodrigues da Silva e N. Pinto (2019) An Indicator-based Methodology for Assessing Resilience in Urban Mobility. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, disponível online em: <<https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.01.004>>. Acesso em: 27 fev. 2019.
- Mehmood, A. (2016) Of Resilient Places: Planning for Urban Resilience. *European Planning Studies*, v. 24, n. 2, p. 407-419.
- TfGM (2015) Transport for Greater Manchester. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20150704034705/http://www.tfgm.com/Corporate/Media_Centre/Pages/facts_figures.aspx>. Acesso em: 05 jun. 2019.
- Walker, B.; C. S. Holling; S. R. Carpenter e A. Kinzig (2004) Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems. *Ecology and Society*, v. 9, n. 2.

Luiza Gagno Azolin (luiza.azolin@usp.br)

Antônio Néelson Rodrigues da Silva (anelson@sc.usp.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador São-carlense, 400 - São Carlos, SP, Brasil

Nuno Pinto (nuno.pinto@manchester.ac.uk)

Oxford Rd, Manchester M13 9PL, United Kingdom