

**Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**

---

(geo)grafos dinâmicos em mobilidade urbana

Jéssica Domingues Santos<sup>1</sup>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, SP

Leonardo Bacelar Lima Santos

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, São José dos Campos, SP

Marcos Gonçalves Quiles

Universidade Federal de São Paulo, UNIFESP, São José dos Campos, SP

Elbert Einstein Nehrer Macau

INPE e Universidade Federal de São Paulo, UNIFESP, São José dos Campos, SP

## 1 Resumo

A interação e a circulação de pessoas em regiões urbanas definem a evolução das cidades ao longo do tempo. Sem um planejamento ativo que controle essa evolução, problemas urbanos são altamente prováveis. Entretanto, esse planejamento não é trivial e demanda estudos multidisciplinares envolvendo as mais diversas áreas, como o planejamento urbano, engenharia de trânsito, infraestrutura, gestão de riscos de desastres, dentre outros.

Nesse contexto, esse trabalho investiga, via análise de redes complexas, o fluxo de pessoas entre as regiões de uma cidade ao longo do dia. Especificamente, duas abordagens são exploradas para a construção do grafo geográfico: fluxo completo e limiarizado, detalhados posteriormente.

Um grafo geográfico, ou (geo)grafo, é uma estrutura na qual cada objeto (vértice) tem uma representação no espaço geográfico e a conexão (aresta) reflete uma relação espacial entre os objetos, [4]. Para refletir a variação dinâmica do fluxo ao longo dia, os dados são agrupados em uma sequência ordenada de intervalos temporais que, por sua vez, definem a estrutura dinâmica da rede [1].

O desenvolvimento foi dividido em 3 etapas: pré-processamento, processamento e pós-processamento. No pré-processamento, um grafo temporal origem-destino com 24 camadas (uma para cada hora do dia) é gerado. Nesse grafo, cada vértice representa uma zona de tráfego e as arestas, em cada camada, definem o fluxo de pessoas ao longo das 24 horas do dia. As medidas da rede são calculadas na fase de processamento. Especificamente, as seguintes medidas topológicas foram consideradas: grau (número de conexões), coeficiente de aglomeração (redundância de conexões entre vizinhos) e diâmetro (maior menor distância). A evolução espaço-temporal da rede, a partir da sua estrutura de comunidades reveladas pelo algoritmo *walktrap* [3] também foi considerada. Finalmente, no pós-processamento,

---

<sup>1</sup>jessica.domingues@inpe.br

utilizando o conceito de (geo)grafos, foi desenvolvido a GeoCNet, ferramenta que permite a criação de um *shapefile* com as propriedades topológicas do grafo.

Para estabelecer a topologia da rede, foram testados duas abordagens para regra de criação da conexão: a primeira permitindo qualquer viagem entre zonas (fluxo total); A segunda, estabelecendo um limiar crítico.

Nesse trabalho, o campo de estudo é a cidade de São José dos Campos, São Paulo, Brasil. Foram considerados dados reais obtidos pelo IPPLAN (Instituto de Pesquisa, Administração e Planejamento) [2]. Os dados consistem em uma pesquisa Origem-Destino. Nessa pesquisa, a cidade foi dividida em 55 zonas de tráfego e mais de 20 mil pessoas foram questionadas sobre o horário de partida e chegada de cada viagem.

Nas medidas de centralidade e conectividade observou-se uma rede altamente conectada para o limiar do fluxo total. Na rede dinâmica os destaques ocorrem às 7hr, 12hr, 17hr (maior valor) e 22h, apresentando valores coesos ao se comparar com o fluxo.

Da estrutura modular pode se destacar que os valores da modularidade para o limiar crítico é muito superior à do limiar 1 (fluxo total). A estrutura modular mostrou que no momento de alto fluxo a rede se torna muito conectada e a estrutura modular desaparece. Por outro lado, nos momentos de baixo fluxo, a rede apresenta estrutura modular bem definida e as sub-regiões da cidade são representadas pelas comunidades detectadas. Em especial, a região sul da cidade teve poucas variações ao longo do dia e um vértice do extremo norte se mostrou altamente dependente da região central da cidade.

Os resultados iniciais obtidos mostram que a análise de fluxo urbano via rede complexas é viável e pode complementar os estudos clássicos via estatística tradicional.

## Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa da primeira autora, aos projetos CNPq 454267/2014-2, FAPESP 2015/50122-0 e DFG-GRTK 1740/2 e ao Comitê Matemática & Desastres da SBMAC.

## Referências

- [1] L. da F. Costa, F. A. Rodrigues, G. Travieso e P. R. V. Boas. Characterization of complex networks: A survey of measurements, *Advances in Physics*, Volume 56, 1:167-242, 2007.
- [2] IPPLAN, Instituto de Pesquisa, Administração e Planejamento. Atlas da pesquisa Origem-Destino - Panorama da mobilidade em São José dos Campos, Ed.Cubo, 2014.
- [3] P. Pons e M. Latapy, Computing communities in large networks using random walks. *Journal of Graph Algorithms and Applications*, Volume 10, 2:191–218, 2006.
- [4] L. B. L. Santos, A. A. S. Jorge, M. Rossato, J. D. Santos, O. A. Candido, W. Seron e C. N.de Santana, (geo)graphs - Complex Networks as a shapefile of nodes and a shapefile of edges for different applications, arXiv:1711.05879, 2017.