

## MODELAGEM INTEGRADA DA ACESSIBILIDADE AO TRABALHO EM FORTALEZA COM MODELOS BASEADOS EM AGENTES

**Davi Garcia Lopes Pinto**  
**Carlos Felipe Grangeiro Loureiro**

Universidade Federal do Ceará  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

### RESUMO

A modelagem integrada tem exercido importante papel como instrumento de auxílio para uma melhor compreensão das problemáticas relacionadas à acessibilidade e mobilidade urbanas. Esse tipo de modelagem vem evoluindo ao longo dos anos, incluindo cada vez mais elementos na representação das decisões individuais, tanto locais quanto de viagens. Observa-se uma tendência na utilização de modelos mais desagregados, tanto espacialmente quanto temporalmente. Neste cenário, o objetivo principal desta pesquisa é a modelagem da acessibilidade ao trabalho em Fortaleza com a utilização de modelos desagregados baseados em agentes. Para se atingir tal objetivo foi realizada, inicialmente, uma análise crítica dos esforços anteriores de modelagem desse fenômeno que utilizaram modelos agregados, de modo a compreender quais lacunas poderiam ser preenchidas pela abordagem desagregada. Além disso, está em elaboração um método de calibração para modelos LUTI baseados em agentes, que contribua para uma melhor compreensão desse complexo fenômeno urbano.

### 1. INTRODUÇÃO

O ferramental da modelagem integrada tem sido, ao longo das últimas décadas, um importante instrumento de auxílio ao planejamento estratégico (Te Brömmelstroet e Bertolini, 2011). Os modelos LUTI (*Land Use and Transport Interaction*), ao integrar as decisões de viagens às escolhas locais (Acheampong e Silva, 2015; Waddell, 2011), possibilitam caracterizar e diagnosticar problemas de acessibilidade, tanto pela simulação direta dos indicadores quanto por uma análise interpretativa dos parâmetros calibrados (Gudmundsson, 2011). Acredita-se, portanto, que tal tipo de modelagem permita uma melhor compreensão desse fenômeno, reduzindo, assim, a turbidez do processo de tomada de decisão (Miller, 2018b).

Uma das principais características dos modelos LUTI é seu nível de agregação, que está relacionado a três aspectos distintos da modelagem: a unidade de análise espacial; o período de tempo da análise, que está relacionado ao grau de dinamicidade; e o nível de detalhamento da modelagem da decisão (Sousa *et al.*, 2017). Especialmente, os modelos mais tradicionais normalmente agregam a demanda por viagens em zonas de análise de tráfego, com base em características socioeconômicas, demográficas e de uso do solo (Martínez *et al.*, 2007). Além disso, o período de tempo modelado retrata apenas um recorte específico, partindo-se da premissa de equilíbrio nas relações entre uso do solo e transportes (Wegener, 2004).

Os modelos integrados têm sido, nas últimas décadas, o estado da arte da modelagem dos subsistemas urbanos, em especial, em análises com foco na acessibilidade. Sousa (2016), por exemplo, calibrou o modelo Tranus para representar esse fenômeno na cidade de Fortaleza. Entretanto, o próprio autor verificou que o modelo utilizado apresentou algumas limitações na modelagem, em especial, na representação mais detalhada das decisões locais dos indivíduos, ao considerar que estas seguem apenas as lógicas do mercado imobiliário. Cabe ressaltar que Costa e Pequeno (2015) reconhecem que existem em Fortaleza dinâmicas locais de alguns grupos socioeconômicos que fogem aos aspectos mercadológicos dessas decisões. Nesse contexto, os modelos desagregados baseados em agentes despontam como ferramentas capazes de superar algumas dessas limitações.

Diante disso, deriva a principal questão de pesquisa desse trabalho: como modelar a

acessibilidade aos postos de trabalho em Fortaleza com a utilização de modelos desagregados baseados em agentes, de forma a melhor representar as decisões locais e de viagens, bem como suas interações? Para responder a essa questão, outras lacunas precisam ser respondidas: quais as limitações dos modelos tradicionais agregados na representação dessas decisões? Em quais aspectos os modelos desagregados baseados em agentes são capazes de superar essas limitações? Qual o método de calibração mais adequado para essa categoria de modelos?

## 2. OBJETIVOS

A partir do que foi discutido na seção introdutória, o objetivo geral dessa pesquisa é modelar a acessibilidade ao trabalho em Fortaleza com a utilização de modelos desagregados baseados em agentes. Para alcançar esse objetivo são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Fazer uma análise crítica da modelagem do Transus para Fortaleza, identificando as lacunas existentes na representação das decisões locais e de viagens;
- Fazer uma análise comparativa entre a modelagem agregada e a modelagem baseada em agentes, identificando os avanços destes tipos de modelos na representação das decisões locais e de viagens;
- Escolher o modelo desagregado mais adequado para a modelagem da acessibilidade aos postos de trabalho de distintos segmentos populacionais na cidade de Fortaleza;
- Propor um método de calibração do modelo escolhido, que contribua para uma melhor compreensão do fenômeno a partir da interpretação dos parâmetros calibrados.

## 3. PROPOSTA METODOLÓGICA

O primeiro passo metodológico para se atingir os objetivos propostos nesse trabalho foi a realização de uma análise crítica da calibração do modelo LUTI Transus para a cidade de Fortaleza, proposta por Sousa (2016). A principal contribuição dessa análise foi a identificação de lacunas nesse modelo na representação das decisões locais e de viagens. Com relação às decisões locais, percebeu-se que o modelo Transus falha em representar satisfatoriamente o alto grau de complexidade das dinâmicas dos distintos grupos socioeconômicos ao tomar essas decisões. Costa e Pequeno (2015) propõem a existência de pelo menos três dessas dinâmicas: (i) uma cidade regulada pela lógica do mercado imobiliário; (ii) uma segunda, também regulada por lógicas de mercado, porém resultado de políticas públicas voltadas à produção de moradia social; (iii) e uma terceira cidade, denominada informal e espontânea, que foge a qualquer lógica mercadológica e reflete-se na expansão do mercado informal de aluguel e na favelização. Como no Transus as decisões locais acontecem, dentre outros fatores, em função do preço do solo, ou seja, de acordo com as lógicas do mercado imobiliário, é possível concluir que ele não representaria de maneira adequada as características da cidade informal e espontânea, descrita anteriormente.

Já na modelagem do subsistema de transportes, o Transus modela as decisões de viagens seguindo uma abordagem baseada em viagens, utilizando modelos comportamentais de utilidade. Sabe-se, porém, que esse tipo de modelagem apresenta limitações. Uma delas é considerar a geração de viagens de forma independente, não representando o encadeamento das viagens ao longo do dia, e como as restrições espaciais e temporais influenciam nessas decisões. Além disso, ao modelar a distribuição de viagens de forma agregada, o Transus deixa de considerar a diversidade e complexidade das escolhas individuais, limitando, portanto, a sensibilidade do modelo a cenários alternativos de intervenção (Castiglione *et al.*, 2015).

Diante dessas dificuldades, contesta-se, no meio da comunidade acadêmica, se tal nível de

agregação é suficiente para representar de forma adequada as decisões locais e de viagens, dado seu alto grau de complexidade, heterogeneidade e interatividade. De acordo com Miller (2018a), a única maneira de se incorporar tamanho grau de detalhamento é desagregando a modelagem ao nível do indivíduo, possibilitando simular as ações individuais dos diversos agentes e o resultado destas no ambiente urbano ao longo do tempo, em múltiplas escalas e níveis organizacionais distintos (Brown, 2006). Tais elementos permitem acreditar que a modelagem desagregada baseada em agentes seja capaz de incorporar características que os modelos agregados são incapazes de representar, seja na modelagem das decisões locais, ao possibilitar a incorporação de dinâmicas fora do escopo mercadológico, ou na modelagem das decisões de viagens, ao possibilitar uma abordagem baseada em atividades, proporcionando uma representação mais consistente do comportamento dos indivíduos nessas decisões e como estas se inter-relacionam com as primeiras.

O passo seguinte do método proposto foi a escolha de uma ferramenta de modelagem desagregada, dentre as principais disponíveis atualmente. Primeiramente, foi realizada uma varredura dos principais modelos existentes, a partir da busca na literatura de trabalhos cujo objetivo foi a modelagem integrada dessas decisões (Tannier *et al.*, 2016; Zhu *et al.*, 2018; Zhuge *et al.*, 2018, 2019). Dos modelos analisados, dois destacaram-se por incorporarem submodelos de uso do solo e de transportes e as interações entre eles: MobiSim e SimMobility. Para esses dois modelos, foi realizada uma análise mais aprofundada de como cada um incorpora as decisões locais e de viagens, bem como a interação entre elas, em sua estrutura interna. Em ambos os casos, as decisões de viagens são modeladas a partir de modelos baseados em atividades, cuja medida de acessibilidade impacta nas decisões locais. Estas, no MobiSim, podem ser modeladas de acordo com regras determinadas pelo modelador, a partir das características ambientais e dos indivíduos. Já o SimMobility representa as dinâmicas locais a partir de um modelo baseado no mercado imobiliário. Como um dos objetivos desse trabalho é representar dinâmicas locais que fogem da lógica mercadológica, acredita-se que o MobiSim proporcionará uma maior flexibilidade de modelagem dessas dinâmicas.

Escolhida a ferramenta a ser utilizada, o próximo passo refere-se à calibração do modelo selecionado. O grande desafio, nesta fase, concerne à seleção de uma base de dados adequada para a calibração de modelos desagregados. Trabalhos recentes (Tannier *et al.*, 2016; Viegas de Lima *et al.*, 2018) utilizaram dados de censo populacional para reconstruir uma população sintética que representasse bem as características demográficas e socioeconômicas da população original. Além disso, Tannier *et al.* (2016) utilizaram mapas cartográficos da cidade de Besançon, na França, para representar a configuração espacial do território, bem como dados de pesquisas de preferências dos indivíduos para calibrar os modelos de decisões locais. Já Viegas de Lima *et al.* (2018) utilizaram dados de pesquisa domiciliar e matrizes de tempos de viagens veicular para calibrar um modelo de viagens para Boston (EUA). Para a calibração do modelo para Fortaleza, espera-se utilizar: os dados da pesquisa domiciliar realizada pela Prefeitura, a ser concluída ainda este ano; dados do censo domiciliar; dados de uso do solo, fornecidos pela Secretaria de Finanças do município (SEFIN); *big data* de validações no transporte público; e dados de contagem volumétrica de equipamentos de fiscalização eletrônica, dentre outros.

#### **4. RESULTADOS ESPERADOS**

Espera-se, com esse trabalho, confirmar a hipótese de que os modelos desagregados baseados

em agentes são capazes de modelar a complexa cadeia de relações entre as decisões locais e de viagens, sendo, desta forma, ferramentas mais robustas para uma melhor representação da problemática da acessibilidade urbana. Acredita-se, portanto, que a presente pesquisa de dissertação traga contribuições tanto fenomenológicas quanto metodológicas.

Metodologicamente, a principal contribuição diz respeito à proposição de um método de calibração de um modelo desagregado para representar a realidade de Fortaleza. A partir dessa calibração, acredita-se que essa pesquisa preencherá ainda lacunas na compreensão do fenômeno da acessibilidade urbana, como consequência da incorporação de dinâmicas locais até então desconsideradas no paradigma da modelagem agregada.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acheampong, R. A. e E. Silva (2015) Land Use–Transport Interaction Modeling: A Review of the Literature and Future Research Directions. *Journal of Transport and Land Use*, v. 8, n. 5, p. 11–38.
- Brown, D. G. (2006). Agent-Based Models. In: Geist, H. (ed.) *The Earth's Changing Land: An Encyclopaedia of Land-Use and Land-Cover Change* (pp. 7–13). Westport, CT, USA.
- Castiglione, J., M. Bradley e J. Gliebe (2015) *Activity-Based Travel Demand Models: A Primer*. Transportation Research Board, Washington, DC, USA.
- Costa, M. C. L. e R. Pequeno (2015) *Fortaleza: Transformações na Ordem Urbana*. Letra Capital, Rio de Janeiro.
- Gudmundsson, H. (2011) Analysing Models as a Knowledge Technology in Transport Planning. *Transport Reviews*, v. 31, n. 2, p. 145–159.
- Martínez, L. M., J. M. Viegas e E. A. Silva (2007) Zoning Decisions in Transport Planning and Their Impact on the Precision of Results. *Transportation Research Record*, v. 1994, n. 1, p. 58–65.
- Miller, E. (2018a) The Case for Microsimulation Frameworks for Integrated Urban Models. *The Journal of Transport and Land Use*, v. 11, n. 1, p. 1025–1037.
- Miller, E. (2018b) Integrated Urban Modeling : Past, Present, and Future. *The Journal of Transport and Land Use*, v. 11, n. 1, p. 387–399.
- Sousa, F. F. L. M. (2016) *Metodologia De Calibração para Modelos Integrados dos Transportes e Uso do Solo*. Dissertação. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.
- Sousa, F. F. L. M., C. F. G. Loureiro e A. S. Lopes (2017) Representação do Fenômeno Urbano por Meio de Modelos Integrados dos Transportes e Uso do Solo: Revisão da Literatura e Discussão Conceitual. *Transportes*, v. 25, n. 4, p. 96–108.
- Tannier, C., J. Hirtzel, R. Stephenson, A. Couillet, G. Vuidel e S. Youssoufi (2016) Conception and Use of an Individual-Based Model of Residential Choice in a Planning Decision Process. Feedback from an Experimental Trial in the City of Besançon, France. *Progress in Planning*, v. 108, p. 1–38.
- Te Brömmelstroet, M. e L. Bertolini (2011) The Role of Transport-Related Models in Urban Planning Practice. *Transport Reviews*, v. 31, n. 2, p. 139–143.
- Viegas de Lima, I., M. Danaf, A. Akkinapally, C. L. De Azevedo e M. Ben-Akiva (2018) Modeling Framework and Implementation of Activity- and Agent-Based Simulation: An Application to the Greater Boston Area. *Transportation Research Record*, v. 2672, n. 49, p. 146–157.
- Waddell, P. (2011) Integrated Land Use and Transportation Planning and Modelling: Addressing Challenges in Research and Practice. *Transport Reviews*, v. 31, n. 2, p. 209–229.
- Wegener, M. (2004) Overview of Land-Use Transport Models. In: Hensher, D. A. e K. Button (eds.) *Transport Geography and Spatial Systems*. Kidlington, UK.
- Zhu, Y., M. Diao, J. Ferreira e C. Zegras (2018) An Integrated Microsimulation Approach to Land-Use and Mobility Modeling. *Journal of Transport and Land Use*, v. 11, n. 1, p. 633–659.
- Zhuge, C., C. Shao, S. Wang e Y. Hu (2018) An Agent- and GIS-Based Virtual City Creator: A Case Study of Beijing, China. *Journal of Transport and Land Use*, v. 11, n. 1, p. 1231–1256.
- Zhuge, C., C. Shao, S. Wang e Y. Hu (2019) Sensitivity Analysis of Integrated Activity-Based Model: Using MATSim as an Example. *Transportation Letters*, v. 11, n. 2, p. 93–103.