

CARACTERIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO DO PADRÃO DE MOBILIDADE DE FORTALEZA A PARTIR DA CALIBRAÇÃO DO TRANUS

Francelino Franco Leite de Matos Sousa

Centro Universitário Christus

Kaio Gefferson de Almeida Mesquita

Carlos Felipe Grangeiro Loureiro

Universidade Federal do Ceará

RESUMO

A principal fonte de dados para a compreensão da mobilidade de uma cidade ainda são as pesquisas domiciliares de origem destino. Fortaleza realizou sua última pesquisa em 1996 e, por conta disso, possui um déficit de informação sobre os deslocamentos que ocorrem na cidade. Desta forma, esse trabalho tem o propósito de caracterizar a evolução da mobilidade na cidade a partir da calibração de uma base do modelo integrado Tranus para o passado e outra para o presente. Foi possível identificar um aumento substancial na utilização dos modos motorizados individuais na cidade, assim como um aumento nos tempos de espera por transporte coletivo e redução de custos e tempos de viagens dentro dos veículos. A concentração dos destinos e a dispersão periférica das origens fez com que as distâncias dos deslocamentos aumentassem.

1. INTRODUÇÃO

As pesquisas domiciliares de origem destino são as ferramentas mais tradicionais para se obterem informações da mobilidade de uma cidade. Através delas é possível conhecer os padrões de deslocamento de distintos grupos de usuários do sistema de transporte, assim como servem de base para a modelagem da demanda desses deslocamentos, que permite a expansão dos padrões amostrais para um conjunto de deslocamentos que representem adequadamente o estado atual (ou passado) do sistema. Para isso, esses modelos precisam estar devidamente calibrados, processo pelo qual os parâmetros dos modelos são estimados (Bonnel *et al*, 2014).

Para Fortaleza, a última pesquisa domiciliar foi realizada em 1996. São mais de vinte anos sem que ocorra uma atualização sobre as condições de mobilidade da cidade. Esforços de modelagem na academia (Sousa, 2015) e na comunidade técnica (PMF, 2015) estimam o que ocorre na cidade em seus anos bases de análise, mas nenhum deles consegue comparar efetivamente as alterações do sistema neste período, pois as informações existentes para o passado são originadas a partir de técnicas com premissas e com desagregações espaciais e socioeconômicas diferentes das que são propostas para os cenários atuais de análise.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é caracterizar a evolução do padrão de mobilidade de Fortaleza desde a realização da última pesquisa domiciliar de origem destino com a utilização de medidas de desempenho originadas da calibração do modelo integrado Tranus (de la Barra, 1989). Para tanto, apresenta-se na seção 2 uma classificação dos indicadores de mobilidade e na seção 3 uma análise dos modelos que simulam o subsistema de transportes do Tranus. A seção 4 compreende o procedimento metodológico de calibração dos modelos e a seção 5 os resultados dessa calibração e uma síntese evolutiva da mobilidade no começo do século XX. Por fim, a seção 5 apresenta as conclusões, destacando as principais contribuições do trabalho, além de sugerir estudos futuros.

2. INDICADORES DE MOBILIDADE

A proposição e revisão sobre indicadores de mobilidade é um tema que tem interessado diversos pesquisadores, como Zegras (2005) e Costa (2008), que tem sido objetivo de projetos de pesquisa, como SUTRA (2001) e DISTILLATE (2005) além de interessar agências

governamentais como o Centre for Sustainable Transportation no Canadá (Gilbert *et al.*, 2002) e Department for Transport in London (Marsden *et al.*, 2007). Saloman e Mokhtarian (1998) dividem os indicadores na perspectiva da demanda e da oferta.

Os indicadores que expressam a facilidade dos deslocamentos são relacionados com a oferta do sistema de transportes e refletem a disponibilidade de alternativas de transporte ou o nível de serviço do sistema. Os diversos tipos de serviços e infraestruturas podem ser expressos pela disponibilidade de carro, presença de sistemas de compartilhamento de carros e bicicletas, posse de bilhete para o transporte coletivo ou quilômetros de vias. No segundo caso, podem ser considerados indicadores do nível de serviço do sistema a velocidade média de deslocamento, ou a relação demanda/capacidade da malha viária ou dos serviços de transportes coletivos.

Os indicadores relacionados aos comportamentos dos indivíduos estão relacionados com a demanda do sistema de transportes. Estes indicadores expressam a viagem através da medida da quantidade ou duração dos deslocamentos, expressando o número total de viagens, ou razões por habitante ou domicílios e podem ser diferenciadas por modo, propósito, ou período do dia. Podem também expressar a divisão modal, indicador frequentemente utilizado para subsidiar análises dos transportes (Khanna *et al.*, 2011), assim como a duração, ou o comprimento deslocamentos (Zegras, 2005)

Na análise dos indicadores de mobilidade deve-se considerar a combinação das diferentes perspectivas que eles podem representar, antes de se chegar a uma conclusão sobre o estado atual do sistema (Saloman e Mokhtarian, 1998). Em um contexto de priorização da mobilidade, uma alta quantidade de deslocamentos aparentemente não revela nenhum tipo de problema; entretanto, se estiver associada a elevados tempos de deslocamentos, pode-se estar verificando um problema de baixa acessibilidade. Portanto, a combinação de indicadores da mobilidade apresenta-se como uma melhor abordagem para representar a completa dinâmica dos problemas de mobilidade quando comparados a utilização de um único indicador (Garcia, 2016).

3. MODELOS DO TRANUS DO SUBSISTEMA DE TRANSPORTES

O Tranus é um modelo econométrico (Iacono *et al.*, 2008) que simula decisões locais e de viagens, sendo capaz de simular as intrarrelações dos subsistemas de atividades, uso do solo e transportes, considerando equilíbrio em cada um deles; modela também as inter-relações entre uso do solo e transportes, assim como o impacto do subsistema de atividades sobre os outros dois subsistemas urbanos (Lopes *et al.*, 2018). Essa modelagem considera que a demanda por transportes é um resultado da interação entre modelos de uso do solo e atividades e que a acessibilidade influencia as decisões locais (Sousa *et al.*, 2017).

A oferta de transportes é o componente do subsistema de transportes onde as decisões de viagens podem ser alocadas, contemplando, portanto, a malha viária e a rede de transporte público da área em estudo. No Tranus, a malha viária é multimodal, onde todos os modos podem simultaneamente utilizar os mesmos segmentos de vias, por isso, cada segmento é composto por dois grupos de características: as físicas, relacionadas com a estrutura física da rede, como a capacidade, o tipo específico de cada segmento, direção e nome; e do modo, características operacionais relacionadas a cada modo que o utiliza, como a velocidade em fluxo livre (Modelística, 2012). Essas características e variáveis compõem o custo generalizado dos deslocamentos, cujos parâmetros podem ser separados em dois tipos: aqueles que penalizam de forma igual os modos para todos os tipos de viagens e funcionam como a constante específica

da alternativa de uma função de utilidade; e aqueles que penalizam de maneira diferente o modo por cada tipo de viagem, uma parte deles está relacionada com os atributos deste custo generalizado (tempo de viagem, tempo de espera, custo de transbordo e custo do deslocamento) e outra parte funciona como uma constante específica da alternativa por tipo de viagem.

A quantidade de viagens é modelada utilizando um modelo elástico (Equação 1), que transforma os fluxos econômicos (interação espacial entre atividades, representada pela variável “ F_{ij}^s ”, sendo um resultado da modelagem dos subsistemas de uso do solo e das atividades) em quantidade de viagens e é dependente do custo generalizado (\tilde{c}_{ij}^s) das viagens do tipo “s” viajando de “i” para “j”. A elasticidade (η^s) é a responsável pela curvatura da função, enquanto as variáveis “ v_{min}^s ” e “ v_{max}^s ” representam, respectivamente, os limites mínimos e máximos de quantidade de viagens que podem ser geradas por unidade de fluxo econômico.

$$T_{ij}^s = F_{ij}^s * [min^s + (max^s - min^s).exp(-\eta^s \cdot \tilde{c}_{ij}^s)] \quad (1)$$

A segunda etapa da modelagem da demanda por transportes, que é a escolha das rotas e dos modos, utiliza a teoria de escolha discreta, especificamente os modelos aninhados *logit* multinominais, em que a decisão de um nível superior é escolher entre os subconjuntos de alternativas que compartilham atributos não observáveis e a decisão de nível inferior é escolher entre alternativas internas a cada subconjunto (Hensher *et al.*, 2005). No TRANUS, a decisão superior é a probabilidade de um tipo de viagem “s” escolher entre um conjunto de modos “k” no deslocamento entre “i” e “j” (Equação 2). Os conjuntos de modos são formados por modos nos quais os usuários podem realizar integração (Modelística, 2012). Na decisão inferior, é modelada a probabilidade de que uma viagem do tipo “s” utilizando o conjunto de modos “k” escolha a rota “p” para se deslocar entre “i” e “j” (Equação 3). Nessas equações, existem parâmetros de escala (θ), que definem a importância do menor valor; e a elasticidade das decisões (γ), que modificam a decisão a partir da mudança de uma unidade dos custos generalizados, ambos necessitam ser calibrados.

$$P_{ij}^{ks} = \frac{exp(-\gamma^{ks}(\tilde{c}_{ij}^{ks}/(\min_k(\tilde{c}_{ij}^{ks}))^{\theta^{ks}}))}{\sum_k exp(-\gamma^{ks}(\tilde{c}_{ij}^{ks}/(\min_k(\tilde{c}_{ij}^{ks}))^{\theta^{ks}}))} \quad (2)$$

$$P_{ijp}^{ks} = \frac{exp(-\gamma^{ps}\tilde{c}_{ijp}^{ks})}{\sum_p exp(-\gamma^{ps}\tilde{c}_{ijp}^{ks})} \quad (3)$$

Os custos generalizados utilizados no cálculo das probabilidades podem ser específicos para uma determinada rota (\tilde{c}_{ijp}^{ks}), ou agregados (\tilde{c}_{ij}^{ks}) representando a impedância de se deslocar com um conjunto de modos, considerando todas as possibilidades de rotas. Esse custo é agregado mais uma vez para que se represente apenas a impedância para que um tipo de viagem “s” realize um deslocamento entre “i” e “j”, considerando todas as rotas e conjuntos de modos disponíveis e que é utilizada no modelo elástico de geração de viagens (Equação 1). Essas duas agregações são realizadas com o *logsum*.

A partir das probabilidades, as viagens obtidas com o modelo elástico podem ser alocadas na rede. Sendo assim, o que antes eram viagens “ T_{ij}^s ” entre origens “i” e destinos “j” de cada categoria de transportes “s”, transformam-se em viagens “ T_{ijp}^{ks} ” entre origens e destinos para cada categoria de transportes “s” fazendo uso de determinada rota “p” e de um determinado conjunto de modos “k” (Equação 4).

$$T_{ijp}^{ks} = T_{ij}^s \cdot P_{ij}^{ks} \cdot P_{ijp}^{ks} \quad (4)$$

4. MÉTODO DE CALIBRAÇÃO E COLETA DE DADOS

Para calibrar os modelos de transporte do Transus para o ano base 2000 foram utilizadas informações da pesquisa domiciliar de origem e destino da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) de 1996, que foram atualizados para 1999 durante o estudo de integração do Metrô de Fortaleza (METROFOR, 1999). Dessa pesquisa, foram coletadas medidas de desempenho agregadas do sistema de transporte: divisão modal por tipo de viagem, percentual de deslocamentos por tipo e tempo médio de viagem. Os parâmetros calibrados na base de 2000 foram utilizados como parâmetros iniciais para a calibração dos parâmetros na base de 2015 considerando novas medidas de desempenho. Essas medidas foram obtidas das pesquisas de linha de contorno e de linha de travessia realizadas durante o Projeto Fortaleza 2040 (PMF, 2015), assim como a demanda do transporte coletiva retirada das validações do transporte coletivo (ETUFOR, 2015) e a posse veicular por domicílios e tempos médios de deslocamentos obtidos pela Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios (PNAD) de 2015 (IBGE, 2015).

A construção da malha viária e da rede de transporte coletivo foi realizada com a utilização do software R, com o qual foram gerados dados cruzados entre os períodos, dando origem ao levantamento dos dados de criação de novas vias, aumento no número de faixas, mudanças de sentido de circulação e alterações físicas dentro desse espaço temporal em análise. Buscou-se identificar como a cidade modificou-se dos anos 2000 até 2015, inclusive simulando a integração tarifária e temporal no transporte coletivo em 2015. Foi, portanto, construída uma rede de simulação para cada ano base, as quais simularam deslocamentos por carro, moto, bicicleta, a pé, ônibus e metrô. Esses modos de transporte foram subdivididos em 3 conjuntos: motorizados coletivos; motorizados individuais e não motorizados.

As viagens foram modeladas para a hora de pico da manhã (entre 7:00 e 8:00) e subdivididas em 6 tipos: 1) por motivo trabalho da população de baixa renda (60% dos domicílios mais pobres) que não possui veículo motorizado no domicílio; 2) por motivo trabalho da população de baixa renda que possui veículo motorizado no domicílio; 3) por motivo trabalho da população de média renda (30% dos domicílios com renda intermediária); 4) por motivo trabalho da população de alta renda (10% dos domicílios mais ricos); 5) por motivo educação; 6) por outros motivos. Elas foram simuladas a partir de um conjunto de 241 zonas, que possuem um raio médio de 500 metros, portanto, não foram simuladas viagens intrazonais.

Dois parâmetros foram coletados diretamente da pesquisa domiciliar: as quantidades mínimas (min^s) e máximas (max^s) de deslocamentos realizadas para cada fluxo econômico (Equação 1). A elasticidade (η^s) da função elástica foi calibrada com o uso dos custos generalizados de uma rede não carregada. Já os parâmetros de escala e elasticidade das decisões de escolha de modos e rotas foram mantidos com seus valores padrões de 0 e 1, respectivamente. Por fim, os parâmetros do custo generalizado foram manualmente ajustados até que as medidas de desempenho fossem atingidas, seguindo a seguinte ordem: 1º) ajuste dos parâmetros que modificam a percepção de todos os tipos de viagens sobre um conjunto de modos; 2º) ajuste dos parâmetros que modificam a percepção de todos os tipos de viagens sobre um determinado modo de transporte; e 3º) ajuste dos parâmetros que modificam a percepção de um determinado tipo de viagem sobre um modo de transporte.

Para representar a mobilidade considera-se que todas as categorias de indicadores possuem um importante papel em sua caracterização, entretanto, indicadores baseados na oferta e que

representam a disponibilidade de alternativas de transportes não precisam de uma ferramenta de simulação computacional do sistema de transportes para serem obtidos. Os demais podem ser obtidos a partir de coleta de dados realizadas diretamente em campo; entretanto, a modelagem pode contribuir expandindo esses dados para toda a região do estudo, e permitindo uma compreensão do fenômenos através do esforço de calibração desses modelos, por isso serão utilizados nas análises comparativas da mobilidade de Fortaleza entre 2000 e 2015.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A calibração para o ano base de 2000 produziu resultados satisfatórios de ajuste do modelo, quando se comparam as medidas de desempenho coletadas e modeladas (Figura 1). Na divisão modal, o maior erro se verifica para viagens do tipo 2 que utilizam os modos motorizados individual, no qual a calibração subestimou a utilização deste modo de transporte em 7%. Em média, os valores coletados possuem uma diferença de 2,7% do valor coletado. Quanto ao percentual de cada tipo de viagem, os erros obtidos são ainda mais baixos, já que o modelo subestima a quantidade de viagens motivo outros em 2% e superestima as viagens a trabalho da renda média em 2%.

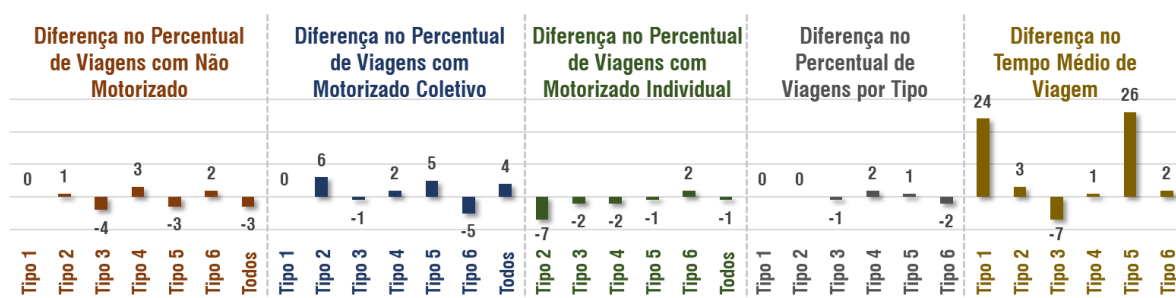


Figura 1: Subtração entre medidas de desempenho modeladas e coletadas para 2000

Os piores erros são encontrados ao se comparar os tempos médios de viagem, em que o tempo de viagem ao trabalho da população de baixa renda que não possui veículo motorizado é 24 minutos maior que o tempo coletado e as viagens educação são 26 minutos maiores. Esses tipos de viagens possuem especificidades que dificultam sua modelagem sem que haja uma coleta de dados específica para atendê-las: 1) viagens do tipo 1 estão diretamente relacionadas com os empregos informais, cuja distribuição espacial não é coletada pelas pesquisas econômicas; 2) não é possível estabelecer uma relação entre o lugar de moradia e o de estudo de um aluno.

Para 2015 as medidas de desempenho coletadas precisam ser, em alguns casos, medidas proxy, já que não existe pesquisa domiciliar recente que subsidie a coleta. O pior erro para 2015 também foi verificado nos tempos de viagem, em que viagens do tipo 1 foram modeladas com 35 minutos a mais do que as viagens coletadas pela PNAD (IBGE, 2015). Essa diferença pode ter ocorrido porque a PNAD é uma pesquisa cuja desagregação espacial máxima é a da RMF, dessa forma, existem nesse tempo médio muitos deslocamentos rápidos que ocorrem nas pequenas cidades da RMF, que não estão incorporadas na modelagem.

O esforço de calibração do Tranus também contribui na caracterização da mobilidade: verificou-se que o modo não motorizado é vantajoso em Fortaleza, pois é rápido e sem custo, e precisou ser altamente penalizado para que a modelagem representasse as demandas coletadas; a comparação dos parâmetros calibrados nos dois anos base permite verificar que a população perdeu o interesse nos modos motorizados coletivos e não motorizados e passou a preferir a

utilização dos modos motorizados individuais, assim como o aumento da renda reduz a preferência pela moto, mas aumenta o interesse pelo carro.

A partir dessas bases calibradas foram selecionados alguns indicadores de oferta e de demanda dos transportes, que combinados possibilitaram caracterizar a evolução da mobilidade em Fortaleza entre 2000 e 2015. Em 2000, Fortaleza possuía na hora de pico aproximadamente 215 mil viagens, em 2015 esse número passou para 235 mil deslocamentos, um aumento de aproximadamente 10%, enquanto a população cresceu em torno de 20%. Neste período, destaca-se a estagnação no uso do transporte coletivo, que nos dois anos possui aproximadamente 120.000 deslocamentos na hora de pico. Sabendo que esse pico representa em torno 8% dos deslocamentos diários, percebe-se que os deslocamentos no sistema estão em torno de 1.000.000, dados que se confirmam ao se verificar o histórico de demanda do sistema (ETUFOR, 2015). Um aumento brusco de viagens e de população e a estagnação na demanda do transporte coletivo, ocasionam um aumento no uso dos modos motorizados individuais, que saíram de 40 mil para 78 mil deslocamentos na hora de pico, impulsionados pela facilidade no acesso a carros e motos verificado neste período.

Em todos os tipos de viagens ocorrem aumentos na utilização dos modos motorizados individuais nos deslocamentos, em contraponto a redução na utilização dos modos motorizados coletivos e não motorizados (Figura 2, da qual foram retiradas as viagens do Tipo 6, pois são poucas). Quanto a divisão modal, a população de baixa renda que tem acesso aos modos motorizados individuais comporta-se de maneira intermediária entre as classes média e alta, o que indica que a posse do veículo motorizado influencia mais no deslocamento do que a renda. Viagens motivo educação são aquelas que possuem os maiores percentuais de utilização dos modos não motorizados, favorecidas pela proximidade das escolas com as residências e pela impossibilidade de adolescentes utilizarem carro ou moto.

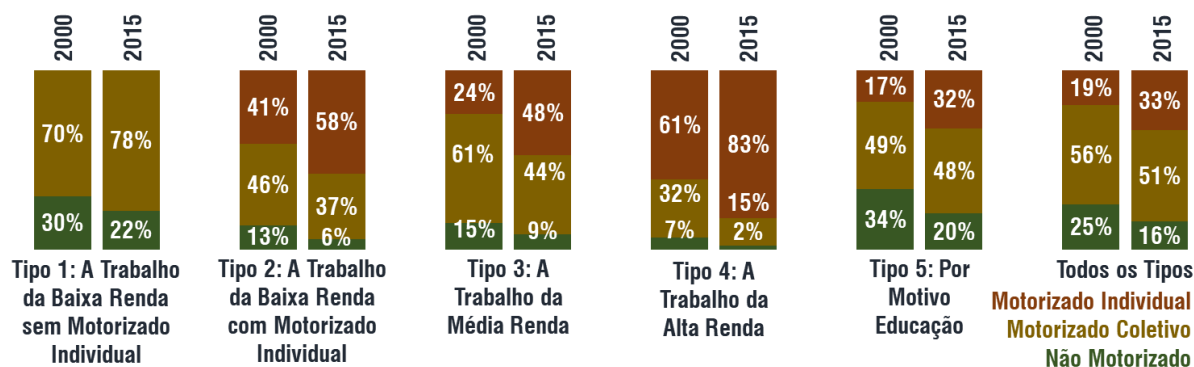


Figura 2: Divisão modal por tipo de viagem e ano de análise

O congestionamento e a lotação do transporte coletivo são responsáveis pela geração de uma demanda reprimida de aproximadamente 10% dos deslocamentos em 2000 e de 30% em 2015, resultados obtidos a partir da comparação entre o total de viagens na 1ª iteração e na última iteração do modelo. Como a maior parte dessas viagens são do tipo trabalho e educação, essas viagens acabam ocorrendo possivelmente antes do horário de pico.

Pela Figura 3, percebe-se que o grupo de baixa renda é o que possui as piores condições de mobilidade. São eles que precisam se deslocar por maiores distâncias, pagando mais e tendo que passar muito tempo nos veículos ou esperando para que o transporte coletivo chegue à

parada. De 2000 para 2015, os usuários do sistema passaram a ter que se deslocar por distâncias maiores, entretanto experimentando uma redução nos custos e tempo dentro dos veículos, ocasionado possivelmente pela integração tarifária e ampliação da rede de transporte coletivo da cidade. Apesar disso, os tempos de espera aumentaram consideravelmente. Por conta disso, a distância total dos deslocamentos passou de 1,7 milhões de quilômetros para pouco mais de 2,0 milhões, o tempo perdido passou de 170 mil horas para mais de 200 mil horas, enquanto o custo pago pelos usuários ficou praticamente estável em torno de 480 mil reais.

	Distância (Km)		Custo (R\$)		Tempo de Viagem (min)		Tempo de Espera (min)	
	2000	2015	2000	2015	2000	2015	2000	2015
Tipo 1	9.3	10.5	2.4	2.1	54.0	51.0	5.4	26.4
Tipo 2	7.6	9.0	2.3	2.3	32.4	27.6	3.6	12.0
Tipo 3	6.6	6.9	2.3	2.1	30.6	24.6	3.0	9.6
Tipo 4	5.1	5.3	2.1	2.1	18.0	13.8	1.2	3.0
Tipo 5	7.4	7.3	2.0	1.9	47.4	34.8	2.4	13.2

Figura 3: Indicadores médios dos deslocamentos por tipo de viagem e ano de análise

Espacialmente, verifica-se uma dispersão maior nas origens dos deslocamentos do que nos seus destinos (Figura 4), resultado da concentração dos empregos no norte da cidade (onde localiza-se o centro histórico). Esse fenômeno de *spatial mismatch* entre origens (população) e destinos (empregos e instituições de ensino) explicam porque as distâncias médias de deslocamento são elevadas. De 2000 para 2015 ocorre um aumento de viagens com origem no lado oeste da cidade, uma intensificação do destino norte e um aumento de viagens dirigindo-se para a região sudeste. Essas alterações podem ser explicadas pela periferação da população de renda mais baixa para o lado oeste da cidade e pela descentralização da população de alta renda na direção sudeste, que pode ter contribuído atraindo empregos para esse lado da cidade.

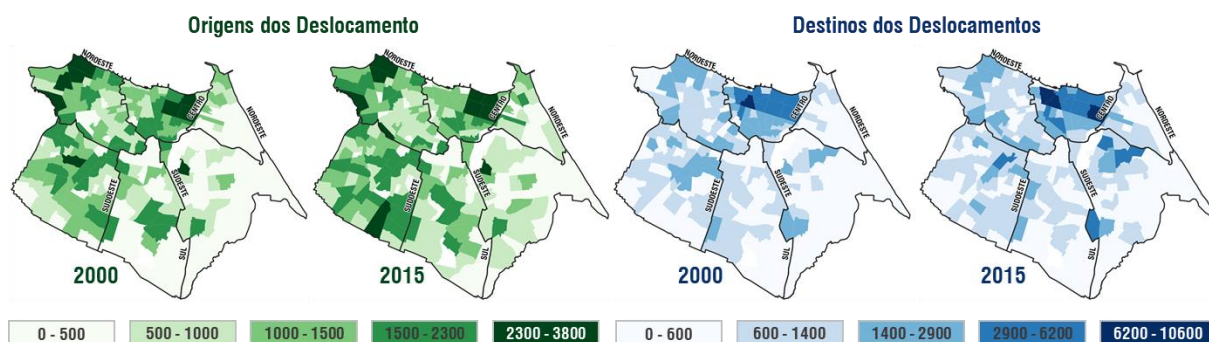


Figura 4: Origens e destinos das viagens

6. CONCLUSÕES

As condições de mobilidade da cidade de Fortaleza têm se agravado nos últimos anos. A concentração de destinos aliado ao espraiamento da população tem tornado as distâncias mais longas. Os esforços de melhoria da rede de transporte coletivo até conseguem reduzir tempos médios de deslocamentos dentro dos veículos, mas a concentração de deslocamentos dirigindo-se para uma única região da cidade faz com que os tempos de espera nas paradas sejam elevados. A população de alta e média renda, que pouco utilizam o transporte coletivo, se beneficiaram com a redução das distâncias, tempos e custos ao trabalho. Entretanto, ressalta-se que pode estar ocorrendo na cidade um efeito de aumento do período de pico, em que a rede fica congestionada por mais tempo e esses aparentes benefícios verificados em apenas uma hora, podem não se manter em uma análise com período maior.

Neste trabalho são apresentados elementos que indicam que o processo de calibração pode contribuir na compreensão do fenômeno modelado. A calibração pode assim contribuir não apenas como um método para se obterem medidas de desempenho, mas como ferramenta de compreensão das decisões dos indivíduos, especialmente, quando se utilizam modelos econométricos, como o Tranus. Para que este esforço fique ainda mais completo, recomenda-se uma análise dos parâmetros calibrados dos modelos de uso do solo do Tranus para que se compreenda a evolução comportamental dos indivíduos ao realizarem decisões locais (onde morar, onde trabalhar), decisões essas que são responsáveis pela geração da matriz OD. Além disso, a confiabilidade nos resultados produzidos com a utilização de um modelo irá aumentar se esses modelos já tiverem passado também por um esforço de validação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bonnel, P. *et al.* (2014) A survey on the calibration and validation of integrated land use and transportation models. Symposium Towards integrated modelling of urban systems. Anais...Lyon, France.
- Costa, M. S. (2008). Um índice de mobilidade urbana sustentável. Tese de Doutorado em Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes, Universidade de São Paulo.
- de la Barra, T. (1989). *Integrated land use and transport modelling: Decision chains and hierarchies*. Cambridge University Press, New York, USA.
- DISTILLATE (2005). Sustainable Transport Indicators: Selection and Use. Design and Implementation Support Tools for Integrated Local Land Use, Transport and the Environment, European Commission.
- Empresa de Transporte Urbano de Fortaleza. (2015) Dados de validação do transporte coletivo de Fortaleza.
- Garcia, C. (2016) Strategic Assessment of Accessibility on Urban Mobility Networks. Tese de Doutorado, Instituto Superior Tecnico da Universidade de Lisboa, Lisboa, PT.
- Gilbert, R., N. Irwin, B. Hollingworth and P. Blais (2002). Sustainable Transportation Performance Indicators, The Centre for Sustainable Transportation. Report on phase 3.
- Hensher, D. A.; Rose, J. M.; Greene, W. H. *Applied Choice Analysis*. New York, USA: Cambridge University Press, 2005.
- Iacono, M., Levinson, D., e El-Geneidy, A. (2008). Models of transportation and land use change: A guide to the territory. *Journal of Planning Literature*, 22(4), 323–340. DOI:10.1177/0885412207314010
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015) Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios.
- Khanna, P., S. Jain, P. Sharma e S. Mishra (2011). Impact of increasing mass transit share on energy use and emissions from transport sector for National Capital Territory of Delhi. *Transportation Research Part D* 16(1): 65-72.
- Lopes, A. S., Loureiro, C. F. G. Van wee, B. (2018). LUTI operational models review based on the proposition of an a priori ALUTI conceptual model, *Transport Reviews*, DOI: 10.1080/01441647.2018.1442890
- Marsden, G., M. Kimble and J. Nellthorp (2007). Appraisal of Sustainability in Transport Institute for Transport Studies, University of Leeds Final report.
- Metrô de Fortaleza (1999). Estudo de integração.
- Modelística. (2012). Formulación matemática de TRANUS. Caracas, Venezuela.
- Prefeitura Municipal de Fortaleza (2015) Fortaleza 2040. Cidade Conectada, Acessível e Justa. Plano de Mobilidade e Acessibilidade Urbano. Vol. 3. Parte I, II e III.
- Salomon, I. and P. L. Mokhtarian (1998). "What happens when mobility-inclined market segments face accessibility-enhancing policies?" *Transportation Research Part D: Transport Environment* 3(3): 129-140.
- Sousa, F. F. L. M. (2016) Metodologia de calibração para modelos integrados dos transportes e uso do solo. Dissertação. Universidade Federal do Ceará.
- Sousa, F. F. L. M., Loureiro, C. F. G. e Lopes, A. S. (2017). Representação do fenômeno urbano por meio de modelos integrados dos transportes e uso do solo: revisão da literatura e discussão conceitual. *Transportes (Rio de Janeiro)*, 25(4), 21-33. DOI: 10.14295/transportes.v25i4.1319
- SUTRA (2001). *Sustainability Indicators*. Sustainable Urban Transportation, European Commission.
- Zegras, C. (2005). *Sustainable urban mobility: exploring the role of the built environment*. PhD, Massachusetts Institute of Technology.