

MICROSSIMULAÇÃO APLICADA AOS ESTUDOS DE ACESSIBILIDADE

Ana Bastos Silva¹, Luis Vasconcelos², Gonçalo Correia¹ e Silvia Santos¹.

¹Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Rua Luís Reis Santos - Pólo II da Universidade, 3030-788 Coimbra, Portugal

email: abastos@dec.uc.pt <http://www.dec.uc.pt>

²Instituto Politécnico de Viseu, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Repeses, 3504-510 Viseu, Portugal

Sumário

A necessidade de salvaguardar um bom nível de funcionamento do sistema global de transportes constitui um dos maiores desafios que se coloca às entidades gestoras e ao qual apenas os modelos de simulação podem responder. Este artigo procura evidenciar as potencialidades do uso da microssimulação, recorrendo a um estudo de caso real que envolve uma zona de expansão urbana em Coimbra. Apresenta-se a metodologia de trabalho adotada, o desenvolvimento do modelo, os métodos de calibração e validação do modelo e os principais resultados da aplicação.

Palavras-chave: microssimulação; estudo de tráfego; calibração; avaliação do desempenho

1 INTRODUÇÃO

Os estudos de tráfego e de acessibilidades ganharam, nos últimos anos, particular relevância, atendendo à obrigatoriedade da sua apresentação nos processos de licenciamento, independentemente do tipo e dimensão do empreendimento em análise. As novas áreas de expansão urbana são tipicamente polos geradores/attractores de viagens pelo que importa avaliar, com rigor, os impactes da sua entrada ao serviço no funcionamento da rede viária envolvente e, em particular, dos seus pontos críticos. A necessidade de salvaguardar níveis de fluidez aceitáveis em ambientes urbanos, aliada à necessidade de integrar preocupações de desenho urbano e à garantia de sustentabilidade do sistema global de transporte, constitui um dos principais desafios que se coloca às entidades gestoras das áreas urbanas e, por consequência, às equipas técnicas de apoio.

O recurso a modelos convencionais de estimação dos níveis de serviço, aplicados a elementos rodoviários isolados, é assim cada vez mais comprometido, uma vez que não permite responder de forma integrada à complexidade associada ao funcionamento das redes viárias urbanas. Os efeitos estocásticos, a variabilidade da procura do tráfego no tempo e a redistribuição do tráfego na rede em função dos níveis de congestionamento, são aspetos que apenas poderão ser levados em conta por recurso a modelos integrados de atribuição e simulação de tráfego. Nesta linha de ação, este artigo procura evidenciar as potencialidades do uso da microssimulação, aplicada aos estudos de tráfego em meio urbano, comparativamente aos modelos convencionais. Os conceitos são aplicados a um estudo de caso real que envolve uma zona de expansão urbana (Plano de Urbanização da Entrada Poente e Nova Estação Central de Coimbra), procurando-se evidenciar a metodologia de trabalho adotada, o desenvolvimento do modelo, e os resultados obtidos.

2 MODELOS DE SIMULAÇÃO

2.1 Breve evolução histórica

A definição das bases da teoria fundamental associada aos primeiros estudos em transportes foi feita nos anos 50 nos estados unidos, integrada nos estudos dos sistemas de transportes de Detroit e Chicago. Estes modelos foram

desenvolvidos no período pós 2ª guerra mundial como resposta ao grande crescimento económico e consequente aumento da mobilidade em transporte individual. Nessa altura, a necessidade de criar ferramentas que pudessem prever numa escala de tempo abrangente o efeito da interação entre políticas de usos do solo e a oferta de transportes (rede viária e transportes coletivos), levou à elaboração do já clássico modelo dos quatro passos, ou modelo global de transportes, que inclui as seguintes fases: geração, distribuição, repartição modal, e atribuição de tráfego à rede [1].

Na aplicação sequencial deste modelo, cada passo pretende responder a uma questão ligada à forma como se fazem as viagens: “Faço ou não faço a viagem?”, “Para onde vou?”, “Que modo de transporte vou utilizar?” e “Que caminho devo escolher?”. Durante os anos 70 surgiram algumas alternativas de modelação mais desagregadas considerando explicitamente a influência de outros fatores, como a constituição familiar e as características de cada viajante, assim como o seguimento da cadeia de viagens efetuadas por um indivíduo durante um dia, aspeto que o modelo dos quatro passos não consegue ter em conta. Como tal, vários autores chegaram à conclusão que para a resolução de problemas de tráfego estas abordagens não são muito confiáveis devido aos erros associados à estimação dos fluxos e à maior dificuldade em transpor a sua aplicação em diferentes realidades ou outras escalas temporais.

Tal levou ao uso de soluções intermédias para a resolução de problemas de curto a médio prazo de cariz mais operacional. Deixa de ser necessário recorrer ao modelo global que explique as determinantes de mobilidade e as ligue às características da população e usos do solo podendo a matriz ser obtida por observação direta ou por atualização de uma já existente. O passo relevante em todo o processo de análise e planeamento centra-se na atribuição de tráfego à rede o que leva à necessidade de se desenvolver modelos de atribuição mais realistas e sensíveis à configuração da rede viária, especialmente em meio urbano.

2.2 Princípios básicos de modelos de atribuição de tráfego

Num modelo convencional de atribuição os principais *inputs* são a matriz Origem/Destino (O/D) das viagens, a rede viária com informação topológica e um conjunto de equações/parâmetros que traduzem o processo de interação entre condutores e entre estes e a rede. São identificados os caminhos alternativos entre cada par O/D e, posteriormente, as viagens geradas/atraídas entre esse par são distribuídas pelo conjunto de caminhos. Os principais *outputs* são os fluxos de tráfego nos diferentes arcos da rede e os custos de viagem entre as zonas.

O modelo assenta num conjunto de conceitos e técnicas que vale a pena apresentar de forma resumida. O conceito de *custo generalizado de viagem* está na base de todos os modelos de atribuição. No caso de um viajante dispor de mais do que uma alternativa para fazer a viagem ele irá considerar diversos fatores para fazer a sua escolha de caminhos. Estes fatores são muitas vezes difíceis de quantificar e considerar no modelo, como é o caso do conforto, paisagem e sentimento de perigo. Normalmente, o custo de uma viagem é formulado através de uma combinação linear de tempo de viagem, extensão, e eventualmente custos fixos tais como portagens.

Por simplificação considera-se que todas as viagens com origem (ou destino) numa zona começam (ou acabam) num ponto específico denominado de *centróide*. As viagens realizadas na área de estudo durante um período de tempo estão contidas na matriz O/D, a qual pode ser obtida essencialmente de duas formas: *i*) sessões de inquéritos O/D complementados por contagens de tráfego; *ii*) estimativa baseada em contagens de tráfego. O primeiro método é rigoroso, mas caro, já que implica a realização de um número elevado de inquéritos e o recurso a uma equipa alargada de observadores e de agentes policiais. Em zonas urbanas este processo pode ainda impor perturbações à normal circulação do tráfego. O segundo método consiste em encontrar a matriz mais provável que quando atribuída à rede conduz à minimização do erro entre os fluxos observados e os modelados. É uma abordagem muito mais económica e prática, embora menos confiável.

A rede viária é representada através de um conjunto de arcos e de nós. Em modelos mais básicos, a única função dos nós é a de ligar os arcos, enquanto os arcos são caracterizados por um conjunto de atributos que servem de base ao cálculo do custo generalizado das viagens. Neste cálculo assume-se que o tempo de viagem varia com o tráfego de acordo com a curva da *velocidade-fluxo*, também conhecida como a curva fundamental do tráfego. Na escolha de caminhos assume-se que os condutores se comportam de forma racional e escolhem o caminho com o menor custo. Independentemente deste princípio é sabido que há condutores que optam por diferentes trajetos para realizar uma viagem entre o mesmo par O/D. As seguintes razões podem ser apontadas para essas diferenças: *i*) a população de condutores é heterogénea, havendo condutores que valorizam de forma distinta os fatores envolvidos na viagem; *ii*) os condutores não têm todos o mesmo conhecimento da rede e das condições

de circulação (efeitos estocásticos); *iii*) o tempo de viagem em cada caminho depende do nível de serviço oferecido pelos arcos, o qual varia no tempo em função das condições de saturação.

2.3 Modelos dinâmicos

Os resultados dos métodos convencionais representam o estado da rede num período de tempo bem definido, assumindo que as condições de circulação dos veículos são constantes nesse período. Este tipo de representação é adequada para aplicações tradicionais mas tem limitações para a análise de desempenho de efeitos dinâmicos no tráfego como por exemplo aqueles que se esperam da implementação de Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS). Para este tipo de objetivos os modelos mais indicados são os microscópicos.

Os modelos microscópicos pretendem reproduzir as dinâmicas de cada veículo na rede através da representação dos comportamentos de interação entre veículos baseados nas características dos condutores e dos próprios veículos. O sub-modelo de *car-following* é um dos mais relevantes já que permite simular a resposta do condutor relativamente à posição de outro veículo que segue à sua frente (veículo líder) com efeitos diretos ao nível da capacidade das vias e das interseções. Os modelos microscópicos também usam os submodelos de *gap-acceptance* e de *lane change*. O primeiro determina as condições mínimas de que um veículo necessita para se inserir numa corrente de tráfego prioritária. O submodelo de *lane change* determina a motivação e possibilidade de um condutor mudar de via de acordo com o seu próximo objetivo. Todos estes submodelos são sensíveis às características da unidade condutor-veículo de acordo com parâmetros médios associados à agressividade do condutor e desempenho do veículo. Os valores individuais associados a cada unidade são gerados aleatoriamente a partir de distribuições de probabilidade centradas na média através de um processo de *Monte Carlo*.

Numa fase inicial, o principal obstáculo à utilização dos modelos microscópicos era a inexistência de computadores com suficiente capacidade de cálculo. Esta restrição foi sendo ultrapassada ao longo do tempo e atualmente é recorrente a sua utilização para estudo de redes congestionadas. Os métodos convencionais de atribuição continuam a ser utilizados no domínio do planeamento e gestão em larga escala, enquanto os modelos microscópicos se aplicam, entre outras, em análises de índole operacional nomeadamente no estudo do desempenho de medidas ITS e na gestão/otimização de redes viárias urbanas complexas.

3 CONSTRUÇÃO DE UM MODELO DE MICROSSIMULAÇÃO

3.1 Objetivo do estudo

O estudo de caso apresentado refere-se a um estudo de tráfego aplicado à zona norte da cidade de Coimbra, recorrendo a um modelo de microssimulação baseado na aplicação *AIMSUN* [2]. Perspetiva-se que, a prazo, venha a nascer nessa zona o futuro Interface como parte integrante do Plano de Urbanização (PU) da Entrada Poente e Nova Estação Central de Coimbra. Este PU abrange uma área de cerca de 107 ha e integra diferentes usos do solo pelo que virá a gerar e atrair um número considerável de viagens.

Por uma questão de limitação da extensão deste documento, optou-se por limitar aqui a análise à avaliação do impacte associada à abertura ao serviço de uma nova via rodoviária, com funções estruturante para a cidade – Anel à Pedrulha. O objetivo central ao trabalho foi avaliar o impacte da sua construção, designadamente em termos de melhoria do funcionamento dos atuais pontos críticos e benefícios para os utentes. Simultaneamente procura-se avaliar a viabilidade de eventuais faseamentos na construção. O desenvolvimento do modelo passou por três fases essenciais: *i*) delimitação da área de estudo e construção da matriz; *ii*) codificação da rede viária; *iii*) calibração e validação do modelo.

3.2 Delimitação da área de intervenção e construção da matriz O/D

A primeira parte do trabalho consistiu na delimitação da zona de intervenção e das zonas envolventes, para melhor compreensão dos mecanismos de geração e atração de tráfego na zona em estudo, sendo definidas 10 zonas internas e 20 zonas exteriores (correspondentes à interseção do limite da zona de estudo com os eixos viários) - ver a Fig.1. A cada uma dessas zonas foi atribuído um centróide, resultando em matrizes parciais e globais de 30x30 células.

3.4 Calibração e validação do modelo

A calibração do modelo integrou a introdução de um conjunto de ajustamentos que atuam quer ao nível de parâmetros globais que controlam os processos de escolha discreta de trajetos, quer ao nível do movimento longitudinal dos veículos (modelo de *car-following*), procurando-se obter uma representação realista das condições de circulação para a situação existente.

3.4.1 Movimento longitudinal dos veículos

O principal submodelo de uma aplicação de simulação de tráfego tem como função descrever o movimento longitudinal dos veículos. No *AIMSUN*, os veículos deslocam-se de acordo com as equações de Gipps [3], as quais dependem de um conjunto relativamente extenso de parâmetros, designadamente o tempo de reação, a velocidade máxima desejada, o comprimento real dos veículos, o espaçamento mínimo entre veículos parados, a aceleração máxima, a desaceleração normal, e ainda o tempo de reação dos veículos parados em fila e o tempo máximo de espera na linha de cedência de prioridade. A maioria destes parâmetros não tem uma relação direta com grandezas mensuráveis no terreno; por outro lado, o ajuste manual por tentativas é impraticável dado o elevado número de combinações que seria necessário testar. Optou-se assim por uma estratégia de calibração híbrida, em que parte dos parâmetros foram calibrados de modo a ajustar a mancha de pontos fluxo-velocidade registados por um contador automático [4] e outra parte foi calibrada através de um procedimento automático, implementado em *Matlab*, baseado num algoritmo genético, com o qual se procurou ajustar a evolução temporal das filas de espera prevista às observações (Fig.4). Constatou-se que o modelo calibrado reproduz satisfatoriamente a evolução temporal do número total de veículos na secção (indicador diretamente relacionado com a densidade), embora sobrestimando ligeiramente esse número no período de maior procura; no mesmo gráfico apresenta-se o resultado da simulação com os parâmetros predefinidos pelo programa, ficando evidente a necessidade de calibrar os modelos microscópicos para as condições locais.

3.4.2 Escolha de trajetos

Admitiu-se que os condutores maioritariamente valorizam e optam por uma determinada alternativa viária em função do tempo necessário para a percorrer. Porém, devido à existência de outras características da rede não modeladas explicitamente (como a extensão do trajeto, a previsibilidade do tempo final da viagem, o número de paragens, o estado do pavimento, etc.) e a falhas na perceção individual da verdadeira duração da viagem, optou-se por modelar a escolha de trajetos como um processo estocástico, em que a probabilidade de ser escolhido um determinado trajeto, de entre um conjunto de alternativas, é dada por um modelo *logit* de escolha discreta.

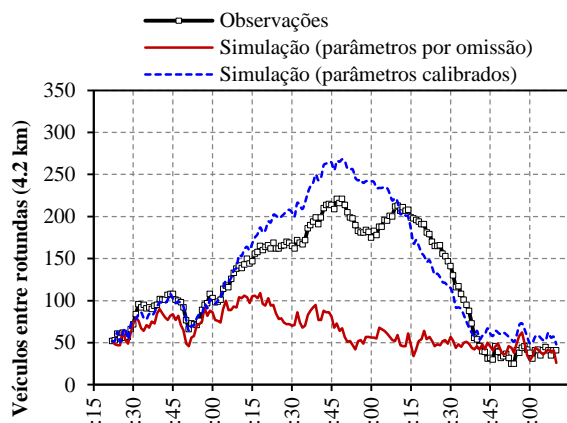


Fig.4. Evolução das filas de espera na EN111A (parâmetros definidos por omissão vs parâmetros calibrados)

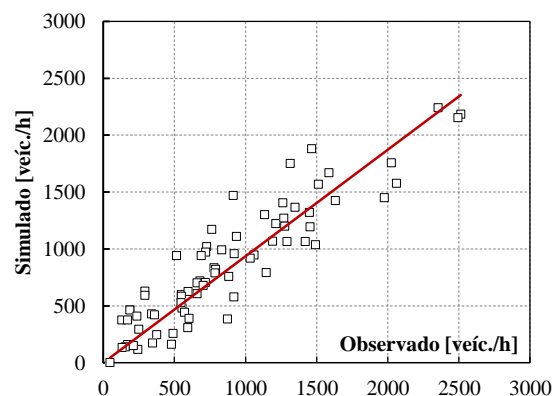


Fig.5. Comparação de fluxos observados/simulados após calibração do modelo de escolha de trajetos

Nesse modelo intervêm vários parâmetros, nomeadamente o próprio parâmetro de escala do modelo *logit*, o intervalo de *feedback* dinâmico (frequência com que os condutores adquirem informação atualizada sobre os tempos de trajeto), o número máximo de trajetos avaliados por par O/D, e a proporção de condutores dispostos a modificar o trajeto após o início da viagem. Neste caso, a gama de variação dos parâmetros é relativamente

estreita, tendo-se optado por uma calibração manual por tentativas. A estratégia de calibração destes parâmetros e validação do modelo para aplicação ao problema proposto foi desenvolvida a dois níveis. Inicialmente foi feita a inspeção visual dos resultados da simulação por técnicos familiarizados e conhecedores do funcionamento da rede. Essa análise baseou-se na escolha dos trajetos sugerida pelo modelo e na avaliação da extensão das filas de espera, da qual resultaram ajustamentos muito localizados em algumas secções e intersecções, nomeadamente ao nível da alocação de vias e dos movimentos permitidos. A segunda tarefa incidiu sobre a comparação dos fluxos de tráfego observados no período 8h00-9h00 (resultantes das contagens reais de tráfego) com os fluxos simulados pelo modelo no mesmo período (ver a Fig.5). Conclui-se que, apesar de se verificar uma dispersão significativa, os pontos concentram-se ao longo de uma linha de 45°, o que indica um bom ajuste, confirmado pelo valor de $r^2 = 0,82$.

4 PRINCIPAIS RESULTADOS DA APLICAÇÃO

4.1 Introdução

O trabalho apresentado é uma parte do estudo de tráfego aplicado ao futuro Interface Intermodal de Coimbra enquanto peça integrada no Plano de Urbanização da Entrada Poente e Nova Estação Central de Coimbra [2]. O objetivo central do trabalho foi efetuar uma correta avaliação do impacto previsível em termos das alterações da procura do tráfego na rede viária envolvente ao Plano de Urbanização (PU) que se relacionam com as diferentes dinâmicas que envolvem o espaço em estudo.

Por uma questão de dimensão do documento, optou-se por limitar a apresentação aos resultados relativos à avaliação do impacto associado à construção de uma nova ligação rodoviária (designado de Anel à Pedrulha), no funcionamento da rede viária envolvente (Fig.6). Esse eixo que liga a zona norte da cidade à zona Nordeste, assume funções de coletora e serve de alternativa ao atravessamento de um ponto extremamente congestionado da cidade (Casa do Sal), particularmente nas viagens com destino na zona central e Circular Externa. Como tal, um dos objetivos da análise foi avaliar a capacidade deste novo eixo para desviar tráfego das zonas mais congestionadas.

A metodologia adotada passou pelo desenvolvimento de análises comparativas relativamente a um cenário de referência (situação atual), procurando assim identificar eventuais melhorias/agravamentos do funcionamento da rede envolvente. Foram considerados diferentes cenários relativos à construção faseada do Anel à Pedrulha, bem como cenários futuros de dimensionamento após a entrada ao serviço do PU e da Estação Intermodal.

O trabalho foi desenvolvido com base no modelo calibrado apresentado no ponto 3 do presente documento e suportado pela aplicação *AIMSUN*. Esta aplicação disponibiliza um conjunto alargado de indicadores de desempenho capazes de caracterizar quer o funcionamento global da rede em estudo (entre outros, tempos de percurso, velocidade média, comprimento de filas, demoras, número de paragens, etc.) quer um elemento rodoviário específico (um eixo, uma secção de estrada; uma entrada em cruzamento, etc.). Neste estudo optou-se por considerar os indicadores globais *tempo total de trajeto* e *velocidade média harmónica* por se considerarem robustos e refletirem o desempenho da rede ao nível dos utilizadores.

4.2 Cenário de referência

A situação atual foi considerada como cenário de referência para efeito de comparação com os cenários futuros propostos. Os indicadores globais de desempenho resultantes da afetação da matriz O/D atual à rede viária atual estão sintetizados no Quadro 1.

Quadro 1. Cenário de referência (situação atual) - Indicadores gerais de desempenho [7h30-9h30]

Indicador	Valor	Un.
Tempo total gasto	107703	min. × veíc.
Distância total percorrida	84871	km × veíc.
Vel. média harmónica	45,0	km/h

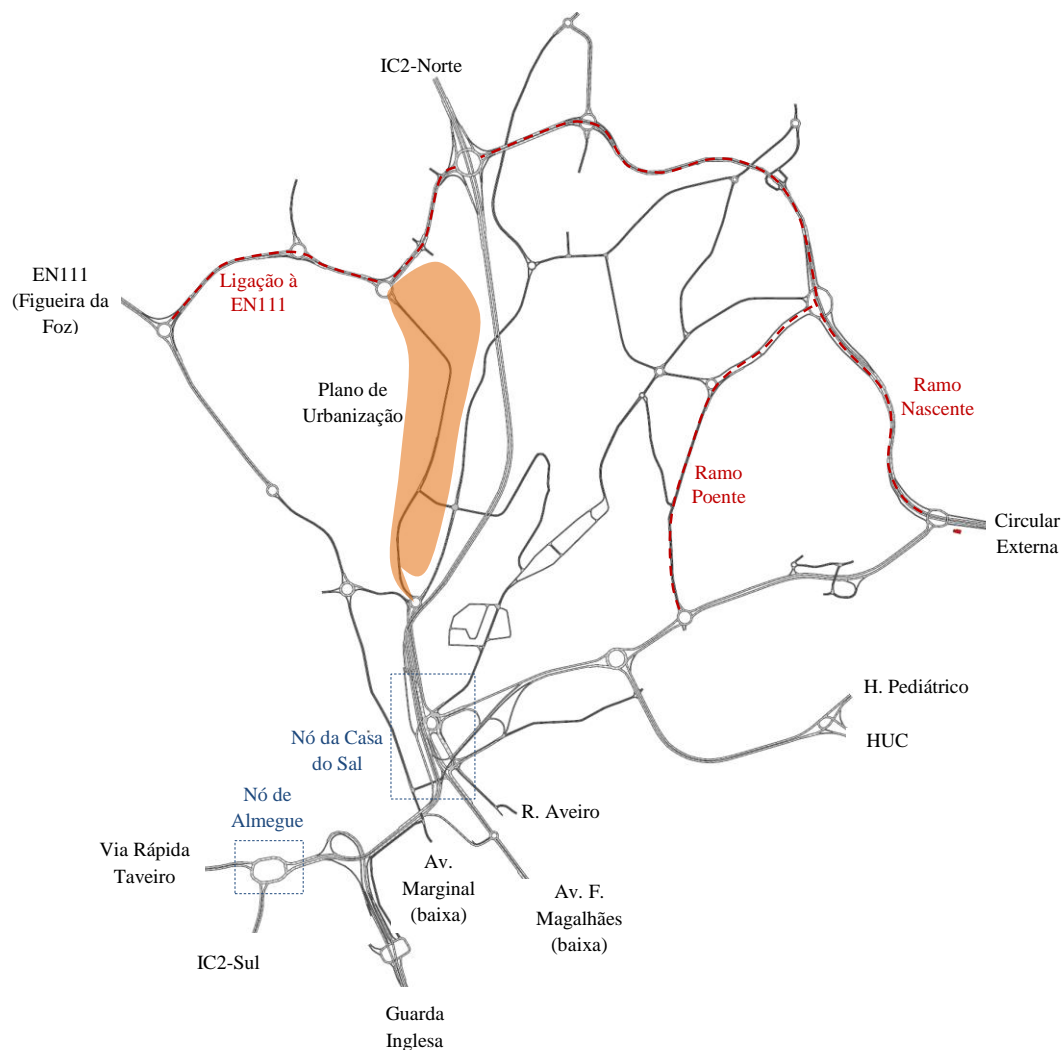


Fig.6. Zona de estudo e principais pares O/D

É assim possível verificar que no global dos veículos afetados à rede, são percorridos 84871 km, num tempo global de 107.703 minutos. A velocidade média harmónica cifra-se nos 45 km/h. Complementarmente foram obtidas as matrizes de tempos médios de deslocação global e individual por veículo, por cada par O/D, de modo a identificar os pares O/D mais relevantes e onde importa salvaguardar condições adequadas de circulação para minimizar os tempos totais de percurso. Tal como seria expectável destacam-se os pares entre a zona norte e a zona central da cidade, designadamente IC2N-HUC, Circular Externa-IC2N e IC2N - Baixa, o que se deve à conjugação de um elevado volume de tráfego associado a tempos de percurso igualmente elevados em cada um destes dois circuitos.

A análise permitiu ainda identificar os principais pontos críticos de funcionamento da rede, os quais tenderão a condicionar a escolha de trajetos. Confirmou-se que a rede já apresenta atualmente alguns problemas de funcionamento, destacando-se os problemas associados aos nós da Casa do Sal (Fig.7_b) e do Almegue.

A identificação dos trajetos alternativos entre cada par O/D permitiu ainda entender os hábitos de mobilidade local ao mesmo tempo que permitiram validar os resultados (Fig.7_a). A tentativa de fuga aos pontos críticos traduz-se na procura de circuitos alternativos, os quais apesar de mais extensos e, por vezes, imprevisíveis, tendem nos períodos críticos a revelarem-se mais rápidos e por inerência mais atrativos. A fuga ao nó da Casa do Sal traduz-se numa sobrecarga no nó de Almegue e, em particular, da R. de Vale Figueiras, apesar desta última

atravessar zonas residenciais. Foi ainda curioso constatar que o circuito adotado numa direção não constitui necessariamente o selecionado na direção oposta, particularmente quando este atravessa uma zona crítica.

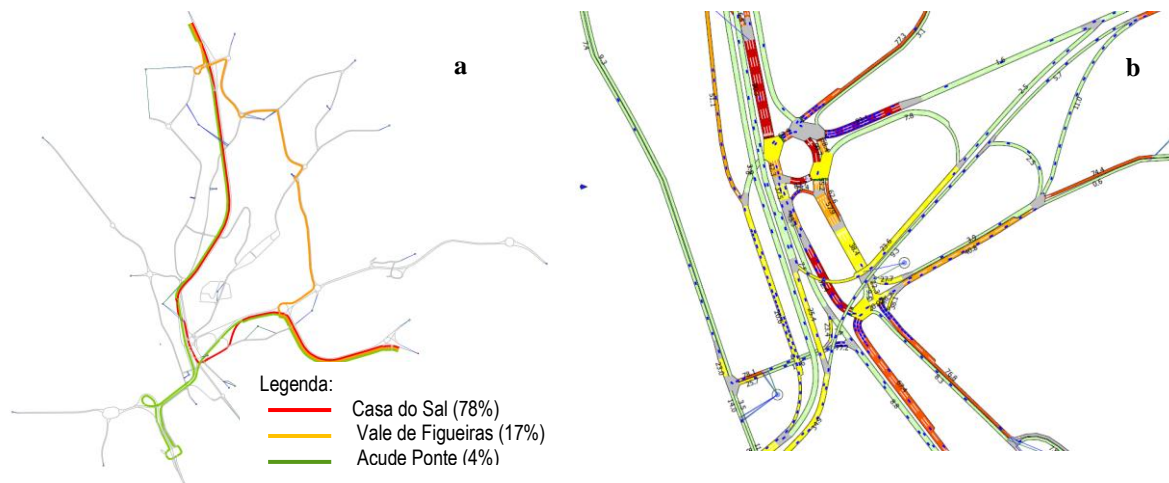


Fig.7. a) Escolha de trajetos para os pares O/D IC2-HUC; b) ponto crítico de funcionamento

4.3 Avaliação do impacto associado à entrada ao serviço do novo eixo estruturante

A fase seguinte do trabalho centrou-se na avaliação dos eventuais benefícios associados à entrada ao serviço de uma nova via estruturante - Anel à Pedrulha - em fase de projeto de execução e, em particular, na avaliação do efeito que a sua concretização poderá assumir em termos de redistribuição do tráfego na rede viária envolvente.

A análise teve em consideração a possível entrada ao serviço de trechos sequenciais de modo a sustentar eventuais investimentos faseados. Foram consideradas duas opções complementares: *i*) com ou sem ligação à N111; *ii*) com ou sem ramo nascente (ver Fig.6).

De modo a permitir avaliar os benefícios diretos da solução, a análise foi suportada pela afetação da matriz atual, à rede viária atual acrescida da nova ligação, nas suas várias combinações de trechos. O Quadro 2 apresenta os indicadores gerais de desempenho obtidos.

Quadro 2. Inclusão do Anel à Pedrulha - Indicadores gerais de desempenho [07h30-09h30]

Indicador	Cenário base (atual)	Cenário c/ anel à Pedrulha			Un.
		Anel completo	S/ligação N111	S/Ramo Nascente e s/lig. N111	
Tempo total gasto	107703	98716	99058	106394	min.×veíc.
Distância total percorrida	84871	86623	85704	88316	km×veíc.
Vel. média harmónica	45,0	49,0	48,5	46,6	km/h

Com a construção do anel completo, é evidente um ganho global significativo em termos de tempos de trajeto integrados na área de simulação, comparativamente à situação atual. A análise dos indicadores globais resultantes permite realçar a importância assumida pela construção do Anel à Pedrulha quer em termos do aumento da velocidade média harmónica (em cerca de 4 km/h), quer em termos de redução do tempo global gasto pelas viagens sobre o conjunto dos veículos que procuram a rede em estudo. De facto é possível constatar que ao longo de todo o período de simulação, foi possível reduzir o tempo de viagem, apesar da distância total percorrida aumentar consideravelmente, o que se repercute em benefícios diretos quer no sector económico quer ambiental.

A análise da matriz dos tempos, identifica novamente o par O/D IC2-HUC (ver Fig.8_a) como o movimento que mais contribui para o tempo global gasto (4386 min.), assim como o IC2- Baixa e IC2 - Pediátrico, com 3184 min. e 2601 min., respetivamente. Comparativamente aos resultados obtidos no cenário de referência, verifica-se que todos os pares O/D relevantes sofrem um decréscimo considerável do tempo gasto nas viagens.

A análise dos pontos críticos permitiu constatar que de forma geral estes se mantêm, embora o nível de serviço oferecido tenha melhorado ligeiramente (ver Fig.8_b). Ou seja, embora do ponto de vista global haja lugar a uma descida ligeira das demoras, estas não são, em geral, significativas, já que os movimentos atualmente congestionados tenderão a manter-se congestionados. Tais resultados indiciam que a abertura ao tráfego do Anel à Pedrulha e a potencial transferência do tráfego para o novo eixo resultam num aumento da atratividade do nó da Casa do Sal, face a deslocações que anteriormente não o utilizavam, com a conseqüente reafecção de viagens para este nó. Embora os ganhos de tempos nos pontos críticos não sejam significativos, os benefícios gerais em termos de tempo de percurso traduzem-se em benefícios económicos e ambientais muito significativos.

A análise da escolha dos trajetos mostra, no entanto, alterações muito significativas relativamente à situação atual. No caso do par IC2N- Circular Externa 100% das viagens optam pela nova alternativa viária, já que se traduz numa diminuição significativa do tempo de viagem. Os mesmos resultados foram obtidos quando avaliado o sentido contrário de circulação. Já na análise dos trajetos associados ao par IC2N- HUC, a repartição continua a revelar-se favorável ao trajeto através do nó Casa do Sal com 71% do tráfego (ver Fig.8_a). O Anel à Pedrulha apresenta-se como uma alternativa direta à Estrada de Vale de Figueiras. Esta gera alguma atratividade (18%), contudo o aumento da extensão do trajeto acaba por tornar esta alternativa menos atrativa relativamente à mais direta.

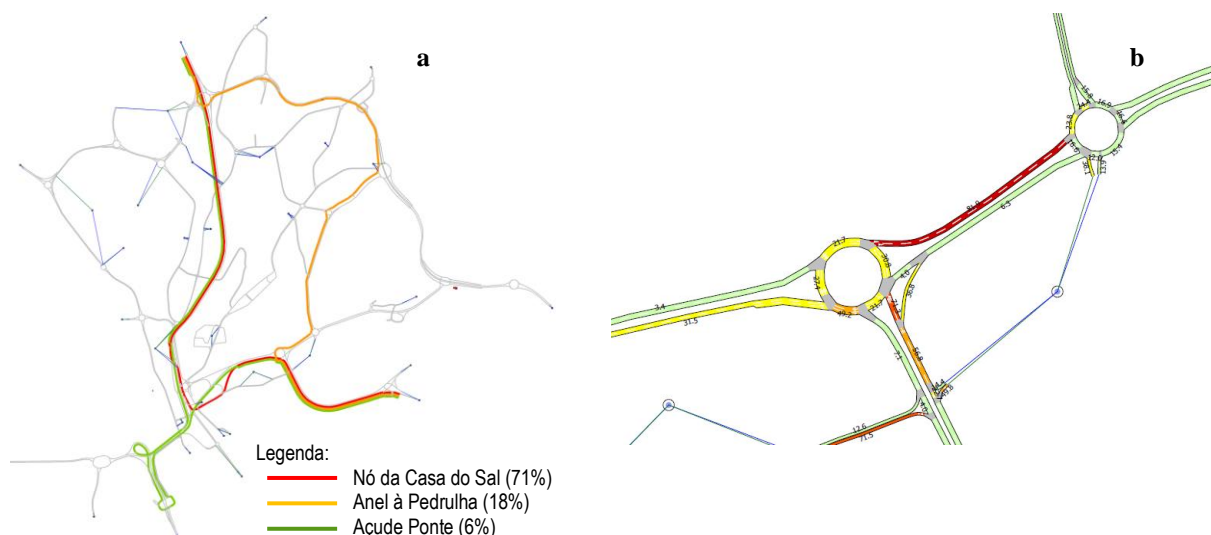


Fig.8. a) Escolha de trajetos para o par IC2 - HUC; b) novos pontos críticos

Por sua vez, a eliminação do trecho de ligação à N111 na rede codificada não se traduz em agravamentos muito evidentes mantendo-se de forma geral os valores associados aos diversos indicadores. A procura de tráfego potencial desse ramo tende a ser praticamente negligenciável na fase atual, assumindo apenas significado com a entrada ao serviço do PU. Parece assim justificar-se remeter esta parcela de investimento para uma fase posterior, designadamente associada à entrada em funcionamento da Nova Estação Central de Coimbra e, por conseqüência, o desenvolvimento da sua área envolvente integrada no PU.

Já a eliminação adicional do Ramo Nascente traduz-se, tal como seria expectável, no aumento do tempo total gasto relativamente à solução baseada na existência dos dois ramos Nascente e Poente (cerca de 7335 min). Contudo, continua a revelar-se favorável em relação à situação atual com uma diminuição de 1310 minutos, no conjunto das viagens simuladas. A análise da matriz dos tempos globais de viagem evidencia que o par IC2- Circular Externa sofre um aumento substancial do tempo total de percurso, passando de 727 para 1236 minutos, como reflexo do aumento da distância global do percurso.

A análise dos pontos críticos e dos trajetos permitiu concluir que o facto de se eliminar o ramo Nascente não se traduz numa alteração significativa quer nos fluxos de tráfego que procuram a Circular Externa, quer nas escolhas de trajetos, pelo que parece ser defensável remeter o ramo Nascente para uma fase posterior de investimento.

4.4 Cenário de dimensionamento (implementação do PU e da Estação Intermodal)

Foram avaliados dois cenários de dimensionamento: 2017 e 2035. A abertura ao serviço da Estação Intermodal foi remetida para 2017, tendo por base a derrapagem temporal recentemente apontada para vários dos projetos estruturantes para a cidade de Coimbra e, em particular, com influência direta sobre a área do PU. Dentro desse conjunto de projetos incluiu-se naturalmente não só a entrada ao serviço da Nova Estação Central de Coimbra, como a evolução da rede viária, nos termos previstos no PU.

Os resultados aqui apresentados resultam da afetação da matriz de evolução da procura referente a 2017 a um conjunto significativo de alterações viárias, particularmente centradas na zona da Casa do Sal e zona do PU.

4.4.1 Estimação da procura de tráfego do PU

A diversidade de usos previstos para o local leva a que, em muitas das situações, os picos de procura de tráfego correspondentes a cada um desses usos nem sempre coincidam entre si. Optou-se assim por analisar o período de ponta dos transportes da cidade (ocorridos durante os dias úteis), tendo-se optado por analisar a ponta da manhã, considerada, de forma geral, como mais exigente em qualquer sistema viário.

Face à inexistência de referências nacionais, sejam recomendativas ou normativas, que estabeleçam índices de geração/atração de tráfego, aliada à falta de estudos nacionais ligados à aferição deste tipo de índices, recorreu-se aos indicadores sugeridos pelo ITE [5], ajustados à realidade nacional sempre que se considerou adequado, assim como às respetivas repartições direcionais para os fluxos de entrada e saída na área de estudo.

A área de abrangência do PU apresenta-se como uma área servida por excelência por parte do transporte coletivo (TC), pelo que os índices foram ajustados tendo em consideração a potencial transferência de uma percentagem, mais ou menos significativa, de viagens do transporte individual (TI) para o sistema TC. Nessa aferição foram tidas em consideração a localização das futuras estações do Sistema do Metro do Mondego (SMM) e as isócronas de acessibilidade pedonal. No global foi estimado que a zona de intervenção do PU, no seu estádio completo, gere uma procura de cerca de 1720 viagens em automóvel em hora de ponta da manhã, com uma repartição média de 60% a entrarem na zona do PU e 40% a saírem.

Para a estimação da procura relativa à Estação Intermodal, foi tida em conta a integração de diferentes modos de transporte, como sendo a Alta Velocidade, o comboio convencional, terminal de autocarros (diversos operadores), transportes públicos urbanos (autocarro e metro ligeiro de superfície), táxis e transporte individual. A estimação revelou-se particularmente complexa, designadamente pela escassez de estudos de mobilidade especializados, que permitam aferir esses valores com elevado grau de rigor. Foi no entanto possível contar com o Relatório do consórcio Terraforma, Lda e VTM consultores [6] para estimativa dos fluxos de procura associada à Alta velocidade. Os restantes indicadores foram aferidos com base em observações diretas num dia normal de funcionamento. É assim previsível que para a hora de ponta da manhã, a Nova Estação venha a gerar, no ano de 2017, cerca de 2029 veículos e de 3007 veículos em 2035.

A distribuição do tráfego gerado/atraído pelo PU e Estação Intermodal pelas diferentes zonas integrantes do modelo, foi considerada como proporcional às viagens geradas pelas diversas zonas integradas no estudo (adotando uma perspetiva de distribuição do tipo gravitacional).

4.4.2 Alteração à rede

No cenário de dimensionamento admitiu-se que o Anel à Pedrulha já se encontrará aberto ao serviço, na sua forma final. Complementarmente foram integradas, em cada um dos cenários, as alterações à rede viária previstas para a zona do PU em cada um dos dois estádios de desenvolvimento.

As alterações previstas apostam na requalificação urbana e paisagística da zona do nó da Casa do Sal, procurando dar continuidade e qualidade a cortinas de verde passíveis de expansão e alargamento. Todo o plano é norteado por princípios nobres da arquitetura procurando requalificar uma das zonas mais asfíxiadas pelo tráfego da cidade de Coimbra. As soluções previstas são maioritariamente de nível e a solução global impõe uma redução assumida na capacidade instalada do sistema, servindo de instrumento de incentivo à transferência modal para o TC.

4.4.3 Avaliação das condições de funcionamento

As análises comparativas foram desenvolvidas com base num cenário de referência virtual, constituído pela aplicação da matriz extrapolada para o ano de 2017 à rede atual, complementada pelo Anel à Pedrulha. Este cenário virtual permitiu avaliar os benefícios ou perda de eficácia das alterações previstas na rede viária no âmbito do PU. A aplicação do modelo microscópico ao cenário para 2017 evidencia uma série de deficiências no funcionamento da rede global. De facto verifica-se que a entrada ao serviço da Estação Intermodal e de uma parte parcial do PU, tenderá a agravar significativamente as condições de funcionamento traduzida numa diminuição substancial da velocidade média harmónica.

Tal como expectável, também a alteração da rede viária, prevista no âmbito do PU se traduz (ver Quadro 3), numa degradação significativa das condições de circulação, independentemente do indicador de desempenho considerado.

Quadro 3. Cenário futuro - Indicadores gerais de desempenho [07h30-09h30]

Indicador	Cenário de ref. ^a . (matriz atual) c/Anel Pedrulha	Cenário virtual de ref. ^a . (matriz 2017) c/ Anel Pedrulha	Solução PU (2017)	Un.
Tempo total gasto	98716	140343	291333	min. × veíc.
Distância total percorrida	86623	107602	129494	km × veíc.
Vel. média harmónica	49,0	43,5	26,3	km/h

O tempo total de trajeto passa para mais do dobro, assumindo mesmo valores de bloqueio geral da rede. Refira-se que os indicadores de desempenho se apresentam por defeito na medida em que os veículos integrados em bloqueios, por não entrarem no sistema, não são contabilizados na análise. Isso é particularmente visível na análise da distância global percorrida. Também a comparação da velocidade média harmónica denuncia o bloqueio geral do sistema.

A escolha de trajetos pouco naturais ou expectáveis associados a diversos pares O/D, é também um indício do mau funcionamento da rede. De facto, a análise dos trajetos alternativos entre os pares O/D mais relevantes evidencia a adoção de circuitos antinaturais e sujeitos a extensões globais significativamente mais elevadas comparativamente ao cenário de referência. É possível constatar que a maioria dos circuitos se baseia na inversão de marcha em locais que potenciam essa manobra contribuindo para a degradação da qualidade do serviço oferecido por esses elementos infraestruturais. Os pontos críticos passam a expandir-se a toda a rede envolvente, levando assim ao seu colapso geral. Por essa razão a análise do cenário relativo a 2035 deixou de se justificar.

Estas constatações levaram a que fosse desenvolvida uma solução alternativa que, baseada na solução de base e sem desvirtuar o conceito e as linhas gerais da solução, permitisse otimizar o seu modo de funcionamento, numa ótica de diminuição significativa das demoras globais e individuais. A solução final baseada em soluções ambiciosas complementadas por medidas de baixo custo permitiu viabilizar o funcionamento do sistema no ano horizonte 2035, embora sem reserva de capacidade.

Importa no entanto ter presente que a definição dos cenários futuros assumem um elevado grau de incerteza, seja em relação à evolução da procura em TI, seja nos níveis de transferência modal, designadamente para o SMM. Na ótica das mais recentes políticas de transportes, a imposição de uma redução da capacidade instalada pode constituir uma medida extremamente eficaz à promoção dessa transferência modal, contrariando o famoso ciclo vicioso de *aumento da oferta-aumento da procura*.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo centrou-se na avaliação do potencial da aplicação das técnicas de microsimulação a estudos de tráfego, tendo-se selecionado um estudo real aplicado à cidade de Coimbra para demonstração dos conceitos.

Um modelo de microsimulação potencia um número alargado de análises, contudo ficou claro que a sua construção exige recursos humanos e económicos avultados. Para além da construção da matriz O/D também os trabalhos de calibração e de validação exigem um esforço suplementar baseada em sessões complementares de recolha de dados e na aplicação de técnicas complexas de ajuste, complementadas pelo elevado conhecimento do funcionamento real do sistema viário por parte dos autores do estudo.

Importa ainda ter presente que as exigências de detalhe neste tipo de modelação são extremamente elevadas (planos semaforizados, número de vias, raios das curvas, sinalização reguladora, etc.) o que habitualmente se traduz numa necessidade de limitar a área a estudar.

Tendo por base o modelo validado para a situação atual, foi possível, por recurso a análises comparativas, inferir o efeito resultante da imposição de variações quer à matriz de procura de tráfego quer da introdução/eliminação ou alteração de elementos infraestruturais.

Os resultados obtidos relativos à implementação do Anel à Pedrulha evidenciaram um ganho global significativo em termos de tempos de trajeto integrados na área de simulação, relativamente à situação atual. Embora os ganhos de tempos de atravessamento do nó da Casa do Sal não sejam significativos (já que a procura latente tende a compensar rapidamente o número de viagens transferidas), os ganhos em termos de tempo de percurso, das origens aos destinos, constituem benefícios económicos e ambientais muito significativos.

Ficou devidamente clarificado que o prolongamento do Anel à Pedrulha até à N111 não se traduz em benefícios muito evidentes no curto prazo, já que a potencial procura do ramo tende a ser praticamente negligenciável, pelo que se justifica remeter este trecho para uma fase posterior de investimento. Também a construção do ramo nascente pode ser remetida para fase posterior, já que a sua inexistência não se traduz numa alteração significativa nem do fluxo de tráfego que procura a Circular Externa, nem nas escolhas de trajetos, embora se reflita no aumento significativo das distâncias percorridas e, por sua vez do tempo global gasto.

A afetação dos fluxos gerados à rede viária futura, numa base temporal de 2017, resultou na saturação geral da rede envolvente. Considerou-se no entanto que grande parte destas deficiências possam ser minimizadas ou mesmo resolvidas pela adoção de um conjunto de medidas mitigadoras de baixo custo complementadas por medidas mais avultadas de modo a responder às exigências da procura em 2035.

Importa ainda notar que estes cenários e as consequentes propostas mitigadoras são extremamente dependentes dos níveis de procura em transporte individual, cujas previsões assentaram em perspetivas de transferência modal a favor do transporte coletivo relativamente conservadoras. As soluções propostas serão assim tanto mais viáveis quanto maior for o incentivo para a utilização do transporte coletivo, quer através da melhoria progressiva da oferta, quer através de medidas restritivas à circulação e estacionamento no centro da cidade.

6 AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Câmara Municipal de Coimbra a oportunidade de desenvolvimento deste trabalho, através da Associação para o Desenvolvimento da Engenharia Civil (ACIV).

7 REFERÊNCIAS

1. M. McNally, *Handbook of Transport Modelling*, 2nd Edition, Hensher, David A. & Button, Kenneth J. (Ed.), 2008.
2. A. M. C. Bastos Silva, A. L. Vasconcelos, G. Correia e S. Santos, *Estudo de Tráfego aplicado à Nova Estação Intermodal de Coimbra*, Relatório final, ACIV, Coimbra, Outubro, 2010.
3. P. G. Gipps, “A behavioural car-following model for computer simulation”, *Transportation Research – B*, vol. 15, no. B, pp. 105–111, 1981.
4. H. Rakha and W. Wang, “Procedure for Calibrating the Gipps Car-following Model”, *TRB 2009 Annual Meeting*, Washington DC, USA, 2009.
5. ITE, *Trip Generation, User’s Guide*, 6th Edition, vol. 1, 2 e 3, Institute of Transportation Engineers, 1998.
6. Terraforma e VTM, *Estudo de Mercado Relativo à Futura Estação Ferroviária de Alta Velocidade entre Lisboa e Porto*” do consórcio Terraforma, Lda e VTM consultores, Lisboa, Junho de 2004