

GESTÃO DO TRÁFEGO URBANO – CONSTRUÇÃO DE UM MODELO DE MICROSSIMULAÇÃO

António Luis Vasconcelos

CITTA & Instituto Politécnico de Viseu
Departamento de Engenharia Civil

Ana Bastos Silva

CITTA & Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Civil

RESUMO

O presente artigo apresenta a construção de um modelo de microssimulação aplicado a uma rede urbana. A rede da cidade de Vila Real foi considerada como estudo de caso. É apresentada a metodologia empregue na construção do modelo de microssimulação, dando-se particular relevo aos trabalhos de calibração e validação. Tendo por base o modelo validado para a situação atual e recorrendo a análises comparativas, foi possível inferir o efeito resultante da aplicação de diferentes políticas, estratégias ou medidas mitigadoras, recorrendo a um conjunto de indicadores de desempenho. Especificamente, constatou-se a eficácia de um conjunto de estratégias defendidas pelo município que visam reduzir a utilização do automóvel no centro da cidade e identificaram-se pontos críticos da rede viária que deverão ser objeto de medidas mitigadoras.

1. INTRODUÇÃO

Os modelos de microssimulação afirmam-se cada vez mais como instrumentos de avaliação dos impactos resultantes da alteração de políticas de mobilidade, apoiando e facilitando os processos de tomada de decisão. O recurso a modelos convencionais de estimação dos níveis de serviço aplicados a elementos rodoviários isolados revela-se cada vez mais limitado, uma vez que não permitem dar resposta integrada a diferentes preocupações e desafios inerentes à gestão do domínio urbano. Fatores como os efeitos estocásticos, a variabilidade da demanda do tráfego no tempo, a distribuição modal, assim como a redistribuição do tráfego na rede em função dos níveis de congestionamento, apenas poderão ser integrados na equação quando inseridos em modelos globais de transporte. Nessa linha de ação, os modelos de simulação vieram abrir novas perspectivas de análise, afirmando-se como instrumentos relevantes no apoio à decisão.

Por conseguinte, este artigo procura evidenciar as potencialidades do uso da microssimulação, aplicada aos estudos de tráfego em meio urbano, comparativamente aos modelos convencionais. Recorrendo ao software AIMSUN, de origem espanhola, o artigo centra-se na apresentação de um estudo de caso real, que envolve a zona urbana da cidade de Vila Real, Portugal, procurando-se evidenciar a metodologia de trabalho adotada, o desenvolvimento do modelo, o processo de calibração e validação, assim como a apresentação de alguns dos principais resultados. Tendo por base o modelo validado para a situação atual, foi possível, por recurso a análises comparativas, inferir o efeito resultante da aplicação de um conjunto de políticas e de medidas mitigadoras, tendo por base um conjunto de indicadores de desempenho.

2. CONSTRUÇÃO DO MODELO DE MICROSSIMULAÇÃO

A avaliação das condições de circulação oferecidas pela rede viária da área urbana de Vila Real foi suportada pela construção de um modelo microscópico baseado na aplicação Aimsun (v. 8.1.3). Este capítulo apresenta, de forma sumária, o processo de construção e de validação do modelo de simulação microscópica aplicado à rede viária na sua forma atual, permitindo o desenvolvimento posterior, por parte do Município, de análises sustentadas sobre diversas estratégias de otimização do sistema viário, tais como a entrada em funcionamento de novas vias estruturantes, alterações de esquemas de circulação ou correção geométrica e funcional de

interseções. Nessa linha de ação, os próximos pontos centram-se na descrição sumária do processo de modelagem da procura (transporte individual e transportes coletivos), na caracterização da rede viária e na descrição das principais opções respeitantes aos parâmetros que descrevem as unidades condutor/veículo. É ainda descrito o processo de calibração e de validação do modelo e são identificados os indicadores de desempenho considerados como os mais relevantes na avaliação dos diferentes cenários alternativos.

2.1 Modelagem da rede viária

A modelagem de uma rede viária a nível microscópico é um processo complexo já que obriga à quantificação de um número elevado de parâmetros associados à geometria e às condições de funcionamento das vias e das interseções. Especificamente, numa primeira fase, foram codificados os seguintes elementos:

Vias (secções)

- Geometria geral, com base em cartografia e em imagens Google Maps;
- Número de faixas de circulação em cada sentido (variável em alguns segmentos);
- Afetação de vias (limitações a veículos pesados, vias exclusivas BUS, etc.);
- Localização de paradas de autocarro (na via ou em baía);
- Velocidade máxima de circulação;
- Inclinação longitudinal.

Interseções (nós)

- Tipologia (prioritário / rotunda / semaforizado);
- Topologia (ligações entre segmentos convergentes no nó);
- Afetação de vias (identificação das vias atribuídas a cada uma das viragens);
- Regras de prioridade (tipo de controle – STOP ou cedência de passagem);
- Programação semafórica.

Com o objetivo de simplificar o modelo e diminuir o tempo de simulação, foram omitidos alguns arruamentos locais, sendo que esta medida não condiciona a avaliação das estratégias na rede estruturante. Da mesma forma, o sistema pedonal não foi explicitamente modelado; em casos pontuais simulou-se o efeito das passadeiras sobre os fluxos motorizados através de interrupções aleatórias das vias nos locais correspondentes.

2.2 Caracterização da procura

A caracterização da procura em transporte consistiu em associar a matriz origem-destino (39x39) construída previamente no âmbito deste estudo (Vasconcelos et.al., 2018), à correspondente rede viária. Para o efeito foram introduzidas matrizes correspondentes à ponta da manhã, relativas a veículos individuais e BUS. Para cada zona foi definido um centróide e as respetivas ligações (conectores) à rede. No caso dos centróides com múltiplos conectores, a respectiva proporção de viagens geradas / atraídas foi preenchida manualmente em função da real capacidade de indução de viagens (por oposição à predefinição do software, que distribui equitativamente as viagens por todos os conectores).

Por sua vez a modelagem do serviço de transportes coletivos da cidade (Urbanos de Vila Real) teve por base a informação disponibilizada pelo operador e compreendeu os seguintes passos:

- a) Criação das linhas – o serviço constituído por 5 linhas principais;
- b) Criação das paradas – as paradas foram caracterizadas pela sua extensão e tipologia (na

via ou em baía). No caso das paradas em via única assumiu-se que não existiam condições para que os veículos ligeiros ultrapassassem o autocarro;

- c) Criação de horários – para cada serviço foram indicadas as horas de saída, a linha (base ou variante) e as paradas. Atendendo à variabilidade associada aos eventos de acesso/egresso de passageiros, considerou-se que, em termos médios, em todas as paradas os autocarros ficam imobilizados durante 5 segundos. Este valor, aparentemente baixo, reflete o facto de em algumas paradas não haver entrada ou saída de passageiros.

2.3 Calibração e validação

2.3.1 Velocidades em condições livres

O modelo de condução utilizado pelo Aimsun pressupõe que os condutores não restringidos por outros veículos ou por elementos de controle (sinalização semafórica, linhas de STOP, etc.) tendem a acelerar até atingir a velocidade desejada. Em meio urbano, esta velocidade é condicionada pelo limite legal e também por outros fatores, como a proximidade a interseções, estado do pavimento, atrito lateral (e.g. estacionamento, fachadas), inclinação das vias, etc.

Com o objetivo de determinar estas velocidades, recorreu-se ao “método do observador móvel”: durante o período noturno, com volumes de tráfego muito reduzidos, foram seguidos veículos aleatórios em diversas zonas da cidade, procurando manter a mesma velocidade desses veículos e ultrapassando o mesmo número de veículos que ultrapassaram o veículo de prova. As trajetórias foram registadas com um equipamento GPS e analisadas posteriormente com uma aplicação específica (software associado ao equipamento da empresa Race Technology Ltd). Finalmente, as velocidades reveladas foram associadas em intervalos discretos a vias de características similares, de que resultou a distribuição de velocidades desejadas.

2.3.2 Escolha de trajetos

O submodelo de escolha de trajetos tem como objetivo fracionar o número total de viagens entre cada par OD pelos diversos trajetos alternativos. Assume-se que todos os condutores procuram minimizar o custo “percebido” individual da viagem, o qual depende explicitamente do tempo de deslocamento e implicitamente de outros fatores não quantificados (extensão do percurso, número de paradas, estado do pavimento, etc.). Assim, adotou-se o modelo Logit, o qual reconhece que a população de condutores é heterogénea e que o custo percebido para cada alternativa varia entre condutores. Nestas condições, a proporção de viagens atribuída a cada trajeto depende da utilidade relativa de cada um, isto é, da diferença de tempo para os trajetos alternativos, e de um parâmetro de calibração θ que controla a dispersão das viagens pelas diferentes alternativas. Quando o parâmetro tende para infinito os condutores escolhem o trajeto mais rápido e quando θ tende para 0 os condutores repartem-se equitativamente pelos diversos percursos considerados.

Pode assim afirmar-se que deve ser adotado um valor θ muito alto quando todos os condutores decidem o percurso essencialmente em função do tempo de trajeto e quando a maioria dos condutores consegue estimar corretamente o tempo de percurso; por outro lado, um valor de θ muito baixo deve ser adotado quando uma parte significativa dos condutores não são utilizadores frequentes da rede e/ou quando existem outros fatores relevantes, que não a duração dos trajetos, a condicionar as decisões dos condutores. A calibração do parâmetro θ no presente modelo foi efetuada através de um processo iterativo manual, em que se procurou identificar o valor ótimo que conduz à minimização das diferenças entre os volumes de tráfego observados e previstos num conjunto selecionado de trajetos e pares O/D. Verificou-se que essas diferenças,

medidas pelo coeficiente de determinação r^2 , diminuem à medida que θ aumenta, atingindo-se o valor ótimo para $\theta = 10$. Note-se que este parâmetro é condicionado pela diferença absoluta dos tempos de deslocamento entre trajetos alternativos e, como tal, o seu valor varia muito com as características da rede. Por exemplo, num estudo recente em Viseu, baseado em inquéritos de tendência declarada, obteve-se o valor $\theta = 100$ (Chaves et al., 2018).

Como referido, o tempo de deslocamento é um *input* para este mecanismo de repartição de viagens. Como a duração das viagens tende a aumentar com os níveis de tráfego na rede, o modelo permite a atribuição sequencial de viagens à rede, sendo a escolha de trajetos decidida em função dos tempos de deslocamento atualizados. Neste modelo considerou-se que os tempos de deslocamento são atualizados com uma frequência de 15 minutos.

2.3.3 Parâmetros comportamentais dos condutores

É reconhecida a importância que os parâmetros que descrevem o comportamento das unidades veículo-condutor (tempo de reação, aceleração máxima, etc.) têm nos resultados da simulação (Vasconcelos et al., 2014). Contudo, neste estudo é especialmente importante garantir que o modelo possui capacidade para avaliar o desempenho relativo dos cenários alternativos, não sendo essencial a precisão das estimativas em termos absolutos. Optou-se assim, numa primeira fase, por manter os valores dos parâmetros predefinidos pela aplicação para cada tipo de veículo.

2.3.4 Ajustamento da matriz OD

Os resultados das primeiras simulações com o modelo resultante revelaram várias imprecisões de representação da situação existente, motivadas por incorreções pontuais a nível da geometria e da topologia, entretanto corrigidas, bem como por inconsistências na matriz OD. Estas inconsistências devem-se a dois fatores principais: (a) os postos de inquérito não permitem quantificar as viagens entre todos os pares OD; (b) a natureza aleatória do tráfego, associada ao processo de amostragem, resulta em sobrestimação ou subestimação das viagens entre vários pares OD. Assim, procedeu-se ao ajustamento da matriz através da seguinte metodologia:

1. Criação de uma versão simplificada da rede (nível macroscópico) para viabilizar o processo de ajustamento automático;
2. Associação dos fluxos reais observados de tráfego às correspondentes secções do modelo Aimsun (103 secções);
3. Criação de uma matriz de ajustamento que indica a variação percentual máxima admissível em cada célula da matriz OD, tendo por referência uma estatística GEH máxima de 6.0 entre o valor inicial e o final;
4. Procedimento iterativo automático de minimização de diferenças entre os fluxos observados e os fluxos simulados;
5. Conversão da matriz resultante (3h) num conjunto de 12 matrizes de 15 minutos, de acordo com o perfil de procura observado no período 7h30 – 10h30.

O processo de ajustamento sobre o modelo simplificado (macroscópico) conduz a um muito bom ajustamento dos volumes simulados aos observados (Figura 1, painel esquerdo). A qualidade do ajuste diminui ligeiramente quando a matriz do período 7h30 – 10h30 é desagregada em matrizes de 15 minutos e associada ao modelo microscópico, já que este contém inúmeras restrições não contempladas no modelo simplificado (Figura 1, painel direito).

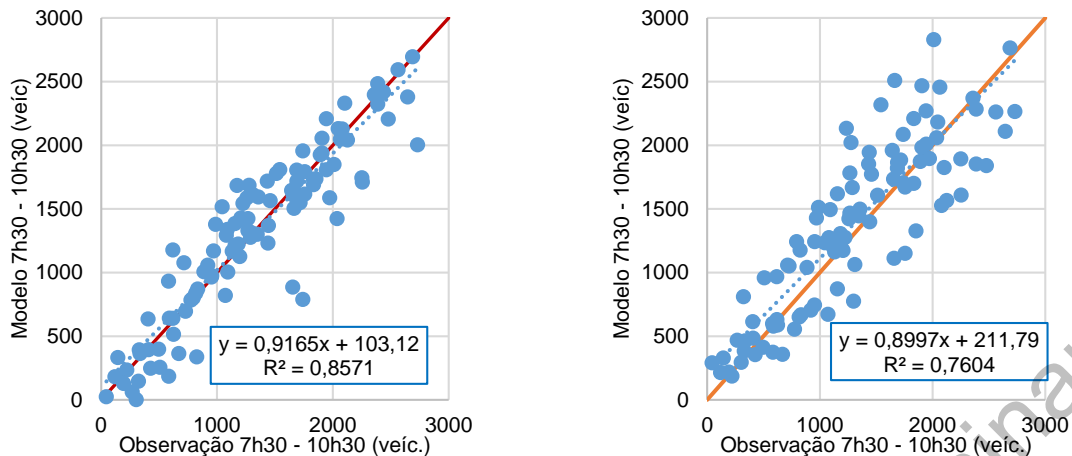


Figura 1: Comparação entre contagens reais (observadas) e simuladas. Esquerda: modelo macroscópico; Direita: modelo microscópico

2.3.5 Validação

Os trabalhos de validação assentaram nos critérios especificados pelo Departamento de Transportes do Reino Unido (Highways Agency, 1996). Estas normas preconizam um valor máximo GEH=5 médio em pelo menos 85% dos registos. Na rede de Vila Real este critério não foi respeitado, não obstante ter sido obtido um valor GEH=4,8 para o conjunto de observações. Colocando-se a questão de continuar o processo de calibração para melhorar o ajuste e eventualmente satisfazer os critérios de validação, ponderaram-se os seguintes pontos:

- As metas definidas pela Departamento de Transportes do Reino Unido foram estabelecidas para redes interurbanas, com um número muito limitado de vias, onde os atrasos nas interseções são praticamente constantes e onde o número de percursos alternativos é muito reduzido; como tal, são critérios excessivamente exigentes para aplicação em meio urbano;
- Nos processos convencionais de calibração é permitida a variação das células individuais da matriz, apenas se restringindo a variação nos totais das linhas e das colunas.

Complementarmente, importa referir que foram respeitados os critérios de validação específicos de modelos microscópicos relacionais com os padrões de tráfego (verificação visual de filas nos locais esperados, utilização consistente de trajetos, replicação satisfatória dos processos de inserção nas correntes de tráfego, etc.) (Dowling et al., 2004). Assim, considerou-se não se justificar continuar a ajustar a matriz OD com o único objetivo de satisfazer os critérios. Tal resultaria em alterações profundas dos valores das células individuais com sérios riscos de perda de aderência à realidade. O modelo garante uma elevada capacidade preditiva (situações futuras) à custa de alguma capacidade descritiva (representação precisa da situação existente). Em síntese, considerou-se que o modelo, embora não replicando com precisão as condições de circulação de um dia específico, é plenamente representativo das condições de circulação típicas atuais, constituindo-se uma ferramenta de trabalho extremamente fiável para comparar situações futuras.

2.4 Indicadores de desempenho

A natureza microscópica do modelo permite dispor de um grande número de indicadores de desempenho com diferentes níveis de detalhe, permitindo, por exemplo, obter a trajetória de

um veículo específico ou calcular o tempo total de trajeto na rede para a totalidade dos condutores. Considerando o tipo de aplicações que se preveem para este modelo, foram selecionados os indicadores relativos à avaliação do sistema. Estes resultam da operação da totalidade dos utilizadores (transporte individual e transporte coletivo) e permitem quantificar os impactos globais associados a um conjunto de intervenções. São exemplos destes indicadores, o tempo total de deslocamento, a distância total percorrida, o número total de paradas, etc.

3. AVALIAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA REDE RODOVIÁRIA EM VILA REAL

3.1 Modelagem da situação atual

O modo de organização atual da rede urbana de Vila Real é extremamente simples. A rede municipal é suportada pela rede coletora formada pelas estradas de âmbito nacional (IP4, A4 e A24) as quais no seu conjunto funcionam como uma circular externa, protegendo o espaço urbano do tráfego de âmbito nacional e regional. A nível interno, a acessibilidade ao centro é assegurada através de um conjunto de vias dispostas radialmente em relação ao centro, garantindo a sua ligação aos principais nós com a rede primária nacional. Essa estrutura é complementada por um conjunto de vias estruturantes que constituem uma “circular interna” incompleta.

A aplicação do modelo de microssimulação à rede atual e à hora de pico da manhã permitiu concluir que a rede apresenta um modo de funcionamento satisfatório, embora evidencie um conjunto de pontos críticos, cujo funcionamento se aproxima do limiar de capacidade, com geração de períodos pontuais de bloqueio e conseqüente aumento dos atrasos.

3.2. Cenários de evolução potencial da procura

Tendo por base a infraestrutura rodoviária atual, foram testados 3 cenários de possível evolução da procura, de modo a avaliar quais os impactos previsíveis no normal funcionamento da rede viária, em função das diferentes políticas de mobilidade e de acessibilidade adotadas.

O cenário “passivo” (C1) correspondente a uma situação em que não são adotadas medidas que promovam a transferência modal das viagens em transporte individual para modos de transporte mais sustentáveis (transporte público e pedonal), sendo portanto representativo do funcionamento previsível da rede, num futuro próximo, numa situação de “se nada for feito”. Os outros dois cenários, “minimalista” (C2) e “pró-ativo” (C3) refletem uma atuação no sentido de manutenção e redução dos níveis atuais de procura de transporte individual na zona central da cidade, assumindo diferentes níveis de desenvolvimento das zonas envolventes e periféricas. A análise efetuada procura assim e, de forma genérica, avaliar o impacto sobre a rede viária atual destes diferentes cenários de evolução da procura. Para o efeito, considerou-se que a procura poderá variar não uniformemente em toda a rede, em função da distância ao centro urbano e do nível de consolidação das zonas.

Tabela 1: Definição dos cenários avaliados relativos à evolução da procura

Tipo de Zona	Cenário 1 (C1)			Cenário 2 (C2)			Cenário 3 (C3)		
	Central	Envolv.	Perif.	Central	Envolv.	Perif.	Central	Envolv.	Perif.
Central	+10%	+10%	+10%	0%	0%	0%	-10%	-10%	-10%
Envolvente	+10%	+15%	+15%	0%	+15%	+15%	-10%	+15%	+15%
Periférica	+10%	+15%	+20%	0%	+15%	+20%	-10%	+15%	+20%

Os cenários de evolução da procura foram estabelecidos tendo por base o agrupamento de zonas (em central, envolvente e periférica) onde se considerou que as zonas “centrais” estão consolidadas, enquanto as zonas “envolventes” ao centro e as “periféricas” mantêm um potencial limitado de desenvolvimento. A Tabela 1 apresenta as variações de tráfego admitidas para os vários cenários, considerando as diferentes combinações de origens e destinos. Analisando os resultados da simulação obtidos para os diferentes cenários comparativamente com o cenário “atual”, salientam-se os seguintes pontos:

Cenário 1: A aplicação das variações indicadas na tabela aos vários pares OD da matriz resulta numa variação global de 12,0% (28338 → 31731 veículos no período 7h30 – 10h30). A análise da simulação demonstra que a rede não tem capacidade para suportar este aumento de tráfego, com a formação de bloqueios do tipo *gridlock* em vários locais. A simulação foi interrompida pelo que não é possível apresentar os respetivos *outputs*.

Cenário 2: Neste cenário admite-se que o crescimento do tráfego se restringe às zonas envolventes e periféricas e resulta num crescimento global de 5,3% (28338 → 29838 veículos no período 7h30 – 10h30). Em termos globais e considerando indicadores independentes do volume total de veículos simulados, pode confirmar-se que este cenário conduz a um agravamento das condições de circulação, e.g. velocidade de circulação: 37,0 km/h → 36.5 km/h e número total de paradas: 20521 → 22626. É assim dedutível, que mesmo na assunção de que o crescimento do tráfego se concentra nas zonas com maior potencial de desenvolvimento, a rede viária urbana tende a ultrapassar o limiar de capacidade e a gerar atrasos significativos, nomeadamente nos nós e arruamentos de acesso ao espaço central.

Cenário 3: Este cenário admite que será possível criar incentivos à utilização dos transportes públicos e/ou restrições à circulação do transporte individual nas zonas centrais da cidade, permitindo diminuir em 10% os volumes de tráfego dos pares OD com origem ou destino no centro. Estas variações representam uma diminuição global de 1,4% no tráfego total da matriz (28338 → 27944 veículos no período 7h30 – 10h30). Esta diminuição, apesar de pouco significativa, revela-se suficiente para melhorar visivelmente as condições de circulação. Os pontos críticos são genericamente os mesmos identificados no cenário C2, mas verifica-se um desagramento visível das condições de circulação. Tendo por referência os mesmos indicadores referidos no ponto anterior, a velocidade média aumenta de 37,0 km/h para 37,7 km/h e o número total de paradas diminui de 20521 para 19187.

Síntese comparativa: A Tabela 2 apresenta de forma comparativa os indicadores globais de desempenho obtidos para cada um dos cenários estudados. A rede viária atual está a funcionar muito próxima da sua capacidade, sendo que o previsível crescimento do tráfego, mesmo que reduzido, tenderá a resultar no seu bloqueio geral em menos de 10 anos (Cenário 1). Mesmo a assunção de que os espaços centrais já se encontram consolidados e, portanto, não apresentam potencial adicional quer de geração quer de atração de tráfego, não permitirão mitigar as previsões, as quais tenderão igualmente para o congestionamento geral a médio prazo. Apenas a adoção de uma política ativa, capaz de fomentar a transferência modal e a inerente redução dos fluxos automóveis no espaço central consolidado, designadamente através de uma política forte de gestão do sistema de estacionamento, permitirá manter a estrutura atual e preservar o carácter histórico e patrimonial do centro.

Os resultados obtidos confirmam a necessidade de implementação de medidas ativas ao nível da política de mobilidade e acessibilidade para a cidade de Vila Real no sentido de uma alteração efetiva da matriz da mobilidade, reflexo da transferência modal das deslocações em Transporte Individual para modos de transporte sustentáveis.

Tabela 2: Análise comparativa de indicadores de desempenho para os vários cenários estudados

Indicador	CENÁRIOS			
	Atual	Cenário 1 ^(*)	Cenário 2	Cenário 3
Vel. média harmónica (km/h)	37.0	--	36.5	37.7
Distância total percorrida (km)	81336	--	86411	80880
Atraso total (s/km)	18.3	--	19.9	17.0
Número total de paradas	20521	--	22626	19187
TTD: tempo total de deslocamento (h)	2109	--	2270	2068

(*) Bloqueio da rede – não foi possível calcular indicadores

4. CONCLUSÕES

Os modelos de microsimulação de tráfego simulam o comportamento individual de veículos e condutores dentro de uma rede viária, afirmando-se como instrumentos capazes de prever os impactos previsíveis resultantes da imposição de alterações aos padrões de mobilidade, na infraestrutura física ou modos de regulação. A microsimulação de tráfego centra-se na criação de um modelo virtual da infraestrutura de transporte de uma área de intervenção o qual procura representar uma realidade de forma fidedigna. Este artigo apresentou a construção de um modelo de simulação aplicado à cidade de Vila Real. Através deste estudo foi possível identificar que as principais potencialidades destes modelos se consubstanciam na flexibilidade da sua utilização e na capacidade de previsão relativamente a tomadas de decisão relacionadas com a alteração de políticas, estratégias ou medidas de gestão da rede viária urbana, dada a rapidez da obtenção de resultados e a elevada precisão dos mesmos. Por outro lado, importa notar que a capacidade explicativa do modelo depende em grande medida dos dados que descrevem a demanda, as características dinâmicas dos veículos e as características comportamentais dos condutores. A atualização deste tipo de dados é morosa e dispendiosa, o que pode constituir um entrave à utilização dos modelos de microsimulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chaves, C., Vasconcelos, A.L.P., Bastos Silva, A., Almeida, R. (2018). Microsimulation-based evaluation of a 30 km/h zone. *Proceedings of the 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure*. Zadar, Croatia, 17-19 May
- Dowling, R., Alexander S., and Vassili A. (2004), *Traffic analysis toolbox volume III: guidelines for applying traffic microsimulation modeling software*. FHWA-HRT-04-040
- Highways Agency, (1996). Design Manual for Roads and Bridges (DMRB) Volume 12 - Traffic Appraisal Road Schemes, Section 2 - Traffic Appraisal Advice, 12. HMSO, England, United Kingdom.
- Vasconcelos, A.L.P.; Bastos Silva A.M.C; Almeida R.; Seco A.J.M., (2018) Definição de uma Política e de Princípios de Organização da Rede Rodoviária em Vila Real – Caracterização da Mobilidade e Construção do Modelo, Relatório Técnico
- Vasconcelos, Bastos Silva A.M.C; Seco A.J.M. (2014) Calibration of the Gipps car-following model using trajectory data. *Transportation Research Procedia* 3: 952-961

Ana Bastos Silva (abastos@dec.uc.pt)

Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Polo II, Coimbra, Portugal

Luís Vasconcelos (vasconcelos@estgv.ipv.pt)

Departamento de Engenharia Civil do Instituto Politécnico de Viseu, Campus Politécnico, Viseu, Portugal