

A modelação de tráfego a partir de contagens para avaliar o nível de eficiência da mobilidade

Luís Gonçalves, MEng

Universidade do Minho
id7227@alunos.uminho.pt

Paulo Ribeiro, PhD

Universidade do Minho

RESUMO

Os modelos de tráfego são uma importante ferramenta de planeamento de redes viárias, com o objetivo de melhorar o seu desempenho em termos de circulação e segurança de todos os seus utilizadores, ou seja, para encontrar soluções de mobilidade cada vez mais eficiente e devidamente planeada. Este aspeto reveste-se de maior importância quando é necessário entender a forma como se processa a circulação de algumas áreas urbanas que apresentam problemas de congestionamento, ou se pretende, simplesmente, avaliar o fecho ou abertura de novos eixos rodoviários. Neste artigo pretende-se estudar e caracterizar a circulação automóvel de uma área urbana tendo por base apenas dados de contagens de tráfego rodoviário estratificadas, isto é, sem o conhecimento da matriz Origem-Destino entre as diferentes zonas da área em análise e discutir as dificuldades, fragilidades, bem as vantagens da utilização dessa informação para a modelação de cenários hipotéticos de mobilidade. Deste modo será apresentado um modelo de tráfego assente nos quatro passos do clássico processo de modelação de transportes, sendo utilizado para esse efeito o software PTV Visum 15, que permitirá avaliar o desempenho da rede viária em estudo. Neste âmbito será apresentado e caracterizado o procedimento de cálculo, calibração e validação do modelo de afetação de tráfego encontrado para rede e discutidos os respetivos resultados referentes a um estudo de caso para a rede viária distribuidora da cidade de Guimarães, com o objetivo de desenvolver, avaliar e discutir os resultados do modelo dessa rede associada ao modo de transporte individual. Por último, serão alvo de análise os resultados da matriz Origem-Destino gerada pelo software utilizando o processo de equilíbrio dinâmico no processo de afetação e geração e convergência dos valores dessas matrizes, para a hora de ponta da manhã.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, verificou-se um elevado crescimento do número de viagens (Banister, 2011b), sendo este crescimento intolerável, tendo em conta a escassez de recursos energéticos, bem como a alteração das condições climáticas (Nakamura and Hayashi, 2013). Desta forma, este crescimento desorganizado precisa de ser reavaliado, tendo por base a redução dos consumos de energia no setor dos transportes (Banister, 2011b). Porém, os combustíveis fósseis são os maiores impulsionadores da economia mundial que, associado a infraestruturas de qualidade, permitem viagens mais rápidas e de baixo custo. No entanto, esta mobilidade, alimentada pelo carbono, afeta diretamente o planeta,

conduzindo assim, a consequências irreversíveis em diversos ecossistemas (Banister, 2011a).

Associado a este crescimento de viagens e ao consumo de energia, está também o congestionamento. Ora, este, devido ao desenvolvimento económico e social, relacionado com falhas de anteriores construções de infraestruturas, assim como do planeamento urbano, tem vindo a aumentar significativamente (da Silva et al., 2008), tornando-se um grave problema dos meios urbanos atualmente (Zhang et al., 2015, Alam and Ahmed, 2013, Quintero González and Quintero González, 2016). Estes níveis de congestionamento são a principal fonte de ruído e de poluição nos centros urbanos.

Os níveis de ruído provenientes do tráfego rodoviário afetam diretamente a qualidade de sono dos residentes (Sygna et al., 2014, Frei et al., 2014), contribuindo para o aumento de acidentes vasculares cerebrais (Sørensen et al., 2014) e de doenças cardiovasculares, levando a um aumento dos níveis de aborrecimento e sonolência diurna (Basner et al., 2014). Como principal fonte de poluição atmosférica, o tráfego rodoviário contribui para o aumento de doenças respiratórias e alérgicas dos condutores e residentes (Laumbach and Kipen, 2012, Zhang and Batterman, 2013, Cepeda et al., 2017), ameaçando então a qualidade de vida das populações, a competitividade das áreas urbanas, e o seu nível de sustentabilidade (Silva, 2013). Ora, assim sendo, deve-se caminhar no sentido oposto, reestruturando o processo de planeamento e sustentabilidade nos transportes, de forma a evoluir para uma sociedade com baixas emissões de carbono. Para tal, é necessário, não só haver mudanças de atitudes das populações, mas também de normas sociais fundamentais no apoio da implementação de novas soluções técnicas, novos comportamentos e novos estilos de vida (Litman and Burwell, 2006, Hiselius and Rosqvist, 2016, Figueroa et al., 2013). Neste âmbito, esta encontra-se de igual forma dependente de um desenvolvimento financeiro e da implementação de estratégia a longo prazo bem-sucedidas (Hickman et al., 2013).

Porém, o setor dos transportes, apresenta problemas referentes ao desenvolvimento sustentável, principalmente em relação ao uso do transporte privado em áreas urbanas (Redman et al., 2013). Assim, uma política de transportes desempenha um papel importante na execução desta mudança de comportamento. Contudo, a implementação destas políticas economicamente eficientes, são uma questão politicamente desafiadora (Faherty and Morrissey, 2014). Alternativas políticas eficientes e viáveis podem, portanto, dar um valioso contributo na resolução dos desafios dos transportes (Tørnblad et al., 2014), sendo o dimensionamento de sistemas de transporte urbano com baixas emissões de carbono, um elemento-chave para a criação de cidades com baixas emissões de carbono (Nakamura and Hayashi, 2013). Mas, com os fluxos de viagens a sofrerem alterações significativas nas últimas décadas, os padrões tornam-se cada vez mais complexos e difíceis de prever e gerir (Silva et al., 2014), sendo um obstáculo na implementação destas políticas.

Deste modo, os estudos de tráfego representam uma importante ferramenta de apoio (Board et al., 2016) à implementação sustentada de certas soluções. Grande parte destas soluções é avaliada recorrendo à simulação, uma vez que as abordagens experimentais e analíticas são muitas vezes impraticáveis e intratáveis, sendo a confiabilidade da avaliação simulada primordial para a análise do desempenho das redes (Board et al., 2016). Por conseguinte, tendo em conta os fatores enunciados, torna-se importante que as entidades que gerem a rede rodoviária procedam ao desenvolvimento de modelos de transportes para resolver certos problemas de tráfego, particularmente em zonas de grande procura das cidades – os centros urbanos, áreas históricas e outras áreas nobres dos tecidos urbanos.

Deste modo, pretende-se apresentar neste artigo a modelação da rede viária tendo por base contagens de tráfego relativa a um estudo de caso realizado na cidade de Guimarães, recorrendo ao programa *PTV Visum*, de modo a demonstrar a aplicabilidade deste tipo de ferramenta em planeamento da mobilidade urbana, analisando o desempenho da rede em termos dos fluxos que derivam do encerramento das ruas envolventes do Centro Histórico da cidade. O presente artigo é composto por 5 secções. A secção 1 diz respeito à introdução com a descrição dos objetivos e a respetivo enquadramento do tema focado na necessidade de reestruturar os centros urbanos, de modo a torná-los mais sustentáveis. Na secção 2 é apresentado o procedimento metodológico utilizado para realizar um modelo de tráfego devidamente calibrado para uma área urbana. Na secção 3 é apresentado o estudo de caso e é feita uma análise de resultados. Por fim, na secção 4 são apresentadas as principais conclusões.

CONSTRUÇÃO DO MODELO

Nesta secção será apresentada a metodologia utilizada neste estudo, desde a criação do modelo até à estimação da matriz OD, recorrendo ao software de modelação PTV Visum.

Características Físicas da Rede

Para a construção do modelo foram desenhados e caracterizados tendo por base as características físicas reais das vias e interseções, os seguintes elementos:

- Os Nós (Nodes), que representam os cruzamentos entre os movimentos definidos na rede;
- Os Arcos (Links), que definem as estradas, ligando os nós da rede;
- As Viragens (Turns), que representam os movimentos possíveis em cada nó da rede;
- As Zonas (Zones), que são pontos de origem e/ou destino de viagens.

A construção e desenho dos elementos seguiu o seguinte processo metodológico:

- Criação dos nós necessários nos pontos singulares (interseções, mudanças de características da via, etc.);
- Construção dos arcos da rede, atribuindo-lhe o tipo e as suas características;
- Construção dos conectores de ligação das zonas à rede viária (em número ajustado e que não impeça a calibração da rede, ou parte da rede que se pretende modelar);
- Eliminação das viragens não permitidas, nó a nó, para não permitir movimentos que não existem.

Assim, para a modelação da rede viária foi necessário definir e caracterizar diferentes tipos de arcos como se apresenta na Tabela 1.

Tabela 1. Tipos de arcos utilizados na modelação (Ramos, 2008)

Tipo	Descrição	Velocidade base (Km/h)	Capacidade (Veh/h/por sentido)
0	IC – duas Vias por sentido	80	3500
10	Variante – duas vias por sentido	70	3000
20	Rampa de acesso – uma via	50	900
30	Via estruturante – duas vias por sentido	50	1200
31	Via estruturante – uma via por sentido	40	600
32	Via estruturante – três vias em sentido único	50	1700
33	Via estruturante – duas vias em sentido único	40	1300
40	Outras vias urbanas – duas vias por sentido	50	1000
41	Outras vias urbanas – uma via por sentido	40	400
42	Outras vias urbanas – uma via por sentido	30	500

Afetação do modelo

Para afetar o tráfego aos elementos da rede viária, tendo por base um modelo mesoscópico, é necessário definir a Matriz Origem – Destino (OD), pois a informação contida nessa matriz define o número de viagens entre diferentes zonas da área em análise. Assim, é necessário para o período em análise definir:

- Zonamento – definição de zonas que descrevam áreas com características e usos do solo, homogéneos e semelhantes, descrevendo, a posição dos utilizadores na rede viária, correspondendo aos pontos de Origem e Destino das viagens, cujo seu centro se denomina “centróide”);
- Matriz OD inicial – no caso de esta não ser conhecida, torna-se necessário definir uma matriz inicial que permita aplicar modelos de convergência dos métodos de construção e estimação de uma hipotética matriz tendo por base contagens de tráfego numa vasto grupo de elementos da rede viária.

Existem vários modelos para executar a afetação das viagens da Matriz OD ao modelo. Desde modelos dinâmicos a modelos estáticos, que se distinguem pela integração da variável “tempo” no processo de convergência. Os mais utilizados são os modelos estáticos, em concreto o modelo de equilíbrio e o modelo estocástico. O modelo de equilíbrio efetua a distribuição da procura de tráfego baseando-se no primeiro princípio de John Wardrop, segundo o qual cada condutor escolhe o caminho de forma que a sua viagem tenha a menor duração/custo possível. Este princípio foi bem-recebido por ser uma descrição simples, mas suficientemente realista da distribuição de percursos sujeitos a determinadas condições de tráfego. Este método baseia-se, inicialmente, num modelo incremental de afetação dos dados de viagens, que leva o condutor a selecionar um de dois caminhos com a mesma impedância (duração/custo), ou seja, está-se numa situação regida por um modelo de equilíbrio quando não é possível ao condutor diminuir o seu tempo de percurso sem intervenções exteriores sobre as quais não tem poder de decisão (Willumsen, 2011). Este modelo é principalmente utilizado em redes congestionadas, com um elevado grau de saturação pois é mais eficiente (Ramos, 2008, Tavares, 2003).

Para que os resultados das contagens de tráfego estimadas pelos modelos de afetação se aproximem o mais possível dos valores reais das contagens. O PTV Visum permite a utilização do algoritmo *TFlowFuzzy* que possibilita a utilização de contagens de tráfego para corrigir e/ou estimar os fluxos da matriz OD, de modo que os resultados das afetações gerem fluxos nos arcos, ou viagens selecionadas. O *TFlowFuzzy* corrige a matriz OD inicial, comparando os fluxos de tráfego nos arcos e viagens resultantes da afetação com as contagens de tráfego carregadas. Tendo como objetivo, validar essas contagens através do ajustamento da matriz OD, para aproximar o melhor possível os volumes de tráfego modelados aos reais. Para a atualização, os valores (reais) de certas contagens são comparados com os volumes de tráfego modelados, resultantes da afetação pré-calculada da matriz OD (Figura 1). A diferença entre os valores das contagens e os valores modelados são equilibradas pelo ajuste da matriz OD. Este é um processo iterativo, pois começa com a diminuição na margem de erro. O processo termina quando não for possível minimizar mais o volume de tráfego dos arcos ou viagens. Durante a implementação do algoritmo deve-se considerar a calibração dos elementos da rede possuam fluxos e contagens de tráfego (Group, 2017).

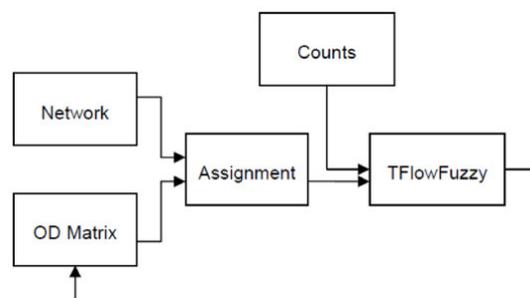


Figura 1. Processo TFlowFuzzy

Calibração do modelo

A calibração dos modelos envolve o ajuste das matrizes OD, de forma que os valores modelados coincidam, ou se aproximem, dos valores das contagens de tráfego dentro de uma margem de erro pequena e aceitável. Esta comparação deve ser feita em diferentes elementos da rede viária (pontos de contagem). Os parâmetros correntemente utilizados para a calibração do modelo são o GEH, RMSE e o gráfico de dispersão (Government, 2013). O GEH compara dois conjuntos de volumes de tráfego (contado e modelado) semelhante ao teste do chi-quadrado (X^2), podendo ser calculado individualmente para cada arco ou como uma medida global para toda a rede, que é dado pela equação 1 (Government, 2013):

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \times (V_m - V_0)^2}{V_m + V_0}} \quad (1)$$

Onde:

- V_m - Volume de tráfego modelado numa hora;
- V_0 - Volume de tráfego observado numa hora.

O Erro Quadrático Médio, RMSE (Root Mean Squares Error) e o R-square, R2 são medidas estatísticas da correlação entre a totalidade dos dados de contagem definidos e a totalidade dos volumes modelados. O RMSE aplica-se a todo o conjunto de dados de comparação e expressa-se como um valor único, equação 2 (Government, 2013):

$$RMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum (V_0 - V_m)^2}{C - 1}}}{\frac{\sum V_0}{C}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- V_m – Volume de tráfego modelado numa hora;
- V_0 - Volume de tráfego observado numa hora;
- C – Número de locais de contagem.

Para uma melhor interpretação dos resultados associa-se um gráfico (Gráfico de Dispersão), onde se representa os valores das variáveis observadas e modelados, que permite realizar uma análise visual, tendo por base que a sua representação consiste na introdução de uma reta de regressão linear, com declive igual a 1 e quanto mais próximos os pontos estiverem dessa reta, ou seja, quanto maior o coeficiente de R2, melhor é a qualidade da simulação (Vilarinho, 2008).

Para a validação dos resultados, devem ser respeitados os seguintes critérios (Government, 2013):

- 95 % dos arcos devem ter um $GEH \leq 5,0$;
- 85 % das viragens devem ter $GEH \leq 5,0$;
- Todos os arcos e viragens devem ter um $GEH \leq 10$;
- Comparação dos valores modelados vs Valores das contagens observados;
- Valor de $R2 > 0,9$;
- No gráfico de dispersão devem estar todos os valores (modelados e observados);
- $RMSE < 30,0 \%$.

APLICAÇÃO A UM ESTUDO DE CASO

O estudo de caso é referente à modelação da rede distribuidora da cidade de Guimarães, Portugal. Esta rede incide sobre a rede de vias distribuidoras principais, cobrindo a área do centro histórico e sua envolvente, delimitada por uma via arterial (a Variante) e pelo Monte da Penha. A área de estudo foi dividida em 27 zonas, na Figura 2 apresentam-se 14 zonas internas (“coloridas”) que visam representar o funcionamento e os principais fluxos gerados no interior da cidade com base nos seus usos do solo, e 13 zonas externas (“a branco”) que pretendem caracterizar os pontos de entrada e saída da cidade. Porém, em detrimento da não existência de uma matriz OD inicial, a afetação será efetuada com base na estimação da matriz OD inicial, sobretudo a partir das contagens de tráfego realizadas em várias interseções.

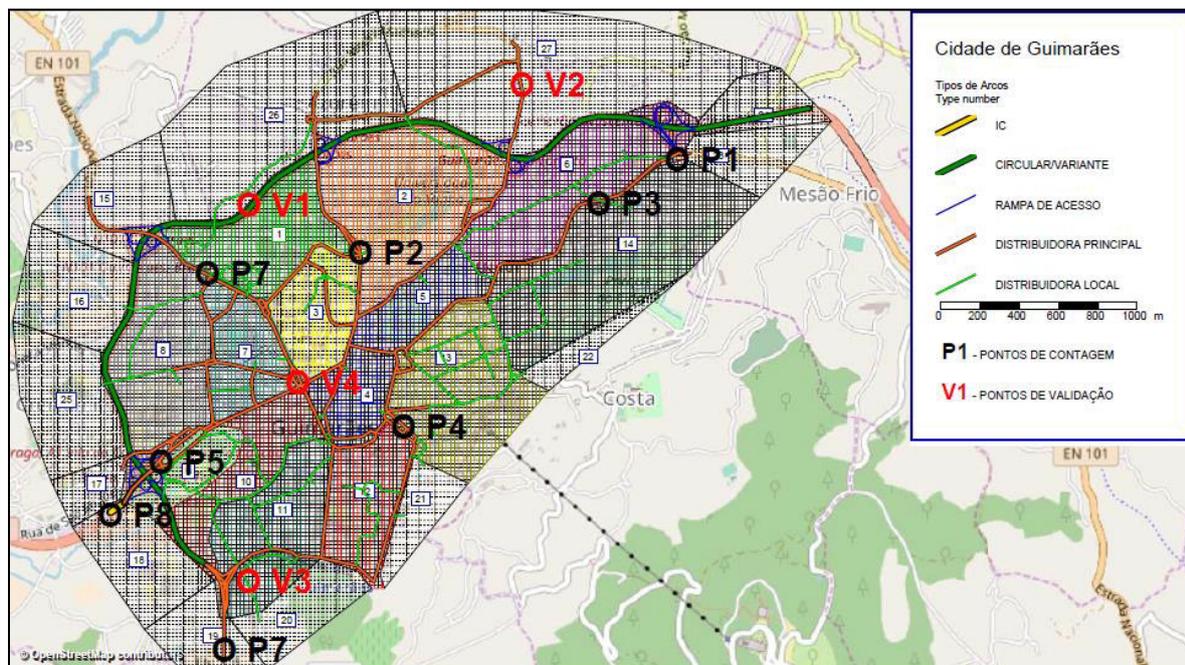


Figura 2. Rede da Cidade de Guimarães

Dados de entrada

Os dados de entrada utilizados neste estudo foram as contagens de tráfego em vários cruzamentos da área de estudo. Para a rede da cidade de Guimarães não foi possível obter uma matriz OD, visto que os estudos de tráfego e transportes existentes abrangem uma área de estudo muito maior, tendo-se adotado uma matriz OD inicial de valor 10, com diagonal nula e dimensão (27x27).

As contagens de tráfego utilizadas são referentes ao estudo de mobilidade do Quadrilátero Urbano de Barcelos, Braga, Famalicão e Guimarães, em 2013, selecionando-se os dados correspondentes à área de estudo: hora de ponta da manhã (8h15 – 9h15), subdivididos em 4 subclasses (motociclos, ligeiros, pesados e autocarros). Estes foram posteriormente tratados e inseridos no modelo. Utilizaram-se 8 pontos de contagem (PC), Figura 2, totalizando 57 movimentos direcionais (Turns) e 4 Links. No processo de modelação, o tráfego foi homogeneizado para unidade de veículo ligeiro equivalente (u.v.e), com base nos fatores de equivalência de 1,0; 2,0 e 1,5 para motociclos, pesados e autocarros, respetivamente (Martins et al., 2006).

Resultados da calibração do modelo

Aplicando a metodologia de calibração apresentada é possível extrair um vasto conjunto de informação, nomeadamente os volumes de tráfego que se apresentam no mapa da Figura 3. Com base na comparação entre os volumes observados e modelados traduzidos no cálculo dos parâmetros GEH, RSME (Tabela 2) e da análise do gráfico de dispersão (Figura 4) é possível concluir que o modelo está calibrado.

Posteriormente validou-se o modelo efetuando-se contagens de tráfego em alguns pontos relevantes da rede – V (Figura 2) aplicando o critério de validação GEH, cujo resultado se apresenta na Tabela 4. É de salientar que, ao contrário do que se sucedeu com as outras contagens, estas não entraram no processo de calibração. Apenas foram utilizados para validar o modelo.

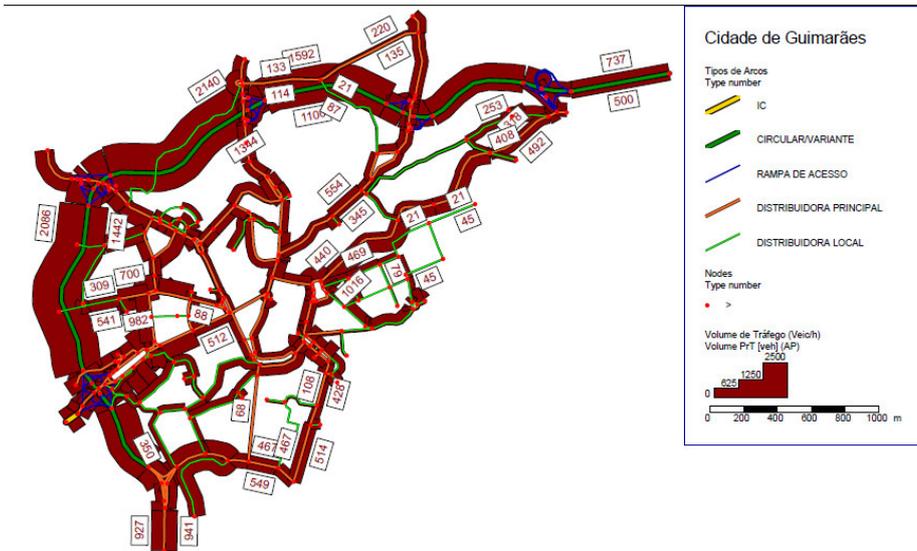


Figura 3. Rede da Cidade de Guimarães

Tabela 2. Validação das contagens pelos Parâmetros GEH e RMSE

	GEH		RMSE (%)
	Nº de contagens	Percentagem (%)	
GEH ≤ 5	59	97%	7,98 %
5 < GEH ≤ 10	2	3%	<30%
GEH > 10	0	0	OK!!!

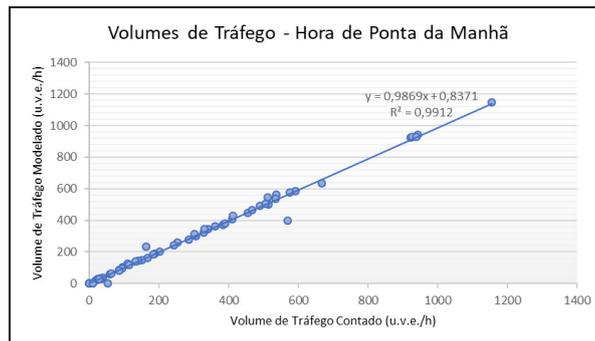


Figura 4. Gráfico de Dispersão entre valores medidos e modelados

Tabela 3. Validação do Modelo

DESENVOLVIMENTO DO CENÁRIO SOBRE O POSSÍVEL ENCERRAMENTO DA ENVOLVENTE DO CENTRO HISTÓRICO

Nesta secção é apresentado o cenário e análise referente ao hipotético encerramento das ruas envolventes do centro histórico, com o objetivo de reduzir o nível de poluição no centro histórico e melhorar a circulação dos peões nesta área. Para a criação deste cenário encerraram-se as seguintes ruas na zona norte, a Rua Serpa Pinto, a Rua Agostinho Barbosa e o Largo Martins Sarmento, com o objetivo de unificar o Centro Histórico à zona norte do Castelo de Guimarães e Praça Passos dos Duques de Bragança. Na zona sul encerraram-se as seguintes ruas envolventes da Praça do Toural e do Jardim Público da Alameda, nomeadamente o Largo do Toural, Alameda de S. Dâmaso e Rua de Santo António, com o objetivo de ligar pedonalmente a Praça do Toural e o Jardim Público da Alameda ao Centro Histórico da cidade, bem como ao convento de São Francisco (Figura 5).

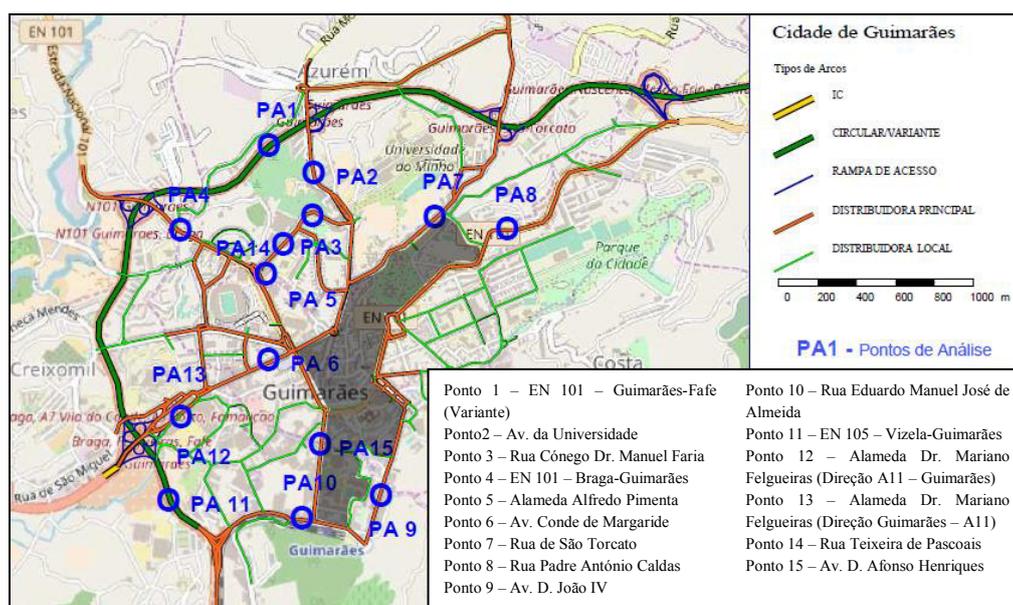


Figura 5. Rede do cenário de fecho das ruas envolventes ao centro histórico

Para efetuar a análise dos resultados obtidos procedeu-se à comparação dos volumes de tráfego entre o cenário base e o alternativo, tendo sido selecionados um conjunto de 15 pontos de contagem assinalados na Figura 4 como PA. Na Tabela 4 permitem observar as variações sofridas nos volumes de tráfego para a hora de ponta da manhã

Tabela 4 - Comparação dos volumes de tráfego para a ponta da manhã, nos 2 cenários

Pontos	Cenário Base Tráfego (u.v.e./h)	Cenário Alternativo Tráfego (u.v.e./h)	Varição Tráfego (u.v.e./h)	Taxa de crescimento (%)
1	3484	3870	386	+11%
2	1123	1032	-91	-8%
3	864	940	76	+9%
4	1451	1555	104	+7%
5	513	525	12	+2%
6	512	765	253	+49%
7	899	1112	213	+24%
8	1220	1213	-7	-1%
9	981	1611	630	+64%
10	1084	1178	94	+9%
11	2783	3041	258	+9%
12	2131	1980	-151	-7%
13	963	978	15	+2%
14	533	1074	541	+102%
15	68	508	440	+647%

Cenário Base (situação atual)



Cenário Alternativo (encerrar ruas da envolvente do CH)

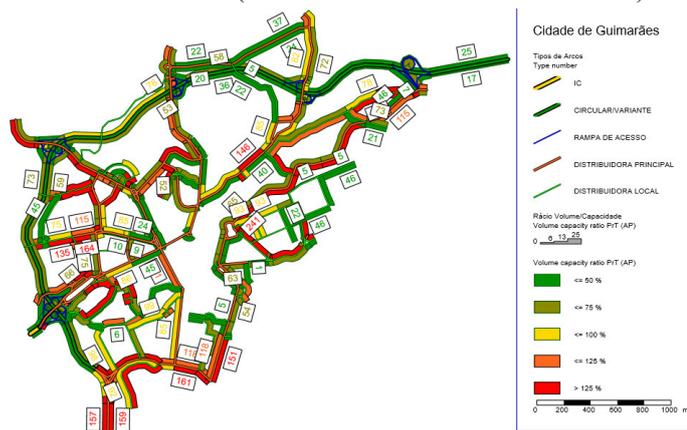


Figura 6. Nível de saturação (rácio Volume/Capacidade)

Com o cenário correspondente ao encerramento de um conjunto de 6 ruas da envolvente do centro histórico de Guimarães, é possível prever que o volume de tráfego nas ruas envolventes aumente, verificando-se que o maior crescimento do tráfego ocorra nas seguintes ruas: Av. Conde de Margaride – PA6, Rua de S. Torcato – PA7, Av. D. João IV – PA9, Rua Teixeira de Pascoais – PA14 e Av. D. Afonso Henriques – PA15. Deste modo, com o hipotético encerramento é previsível que os níveis de mobilidade e acessibilidade em praticamente toda a cidade se venha a tornar mais complicado. No sentido inverso prevê-se uma descida, ou mesmo uma manutenção dos volumes nas seguintes ruas: Alameda Dr. Mariano Felgueiras (A11 > Guimarães) – PA12 e Av. da Universidade – PA2. Para além disso, é possível antecipar que poderá ocorrer um desvio do tráfego com destino ao centro da cidade da zona Oeste e Norte para a Zona Sul, que passarão a ser vias de acesso mais direto ao centro, sobrecarregando a Av. D. João IV, que de certo modo poderá vir a assumir uma maior importância na mobilidade e acessibilidade ao centro da cidade.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi aplicada uma metodologia de modelação e estimação da matriz OD para a cidade de Guimarães com base em contagens de tráfego para a hora de ponta da manhã, com a respetiva calibração e posterior validação do modelo, sendo possível fazer alguns testes e desenvolver cenários evolutivos, nomeadamente para testar o impacto de algumas alterações no funcionamento da rede que poderão permitir identificar o nível de impacto de algumas propostas. Dessa forma, neste artigo foi apresentado um cenário de encerramento de uma série de arruamentos, cujo tráfego atravessava e dividia completamente a área do centro histórico e da sua futura expansão. Assim, é possível prever de aumento do tráfego nas restantes ruas da cidade, especialmente as da envolvente à zona definida pelo “novo” centro histórico, aumentando os problemas de congestionamento, com vários arruamentos a apresentarem sentidos com níveis de saturação superiores a 100%. Assim, apesar de algumas limitações e incertezas que o modelo possa possuir, nomeadamente, devido a não existência de uma matriz OD inicial, este pode ser usado para avaliar algumas alterações do funcionamento da rede viária e configurar uma boa ferramenta e auxílio no planeamento de transportes na cidade.

REFERÊNCIAS

- Alam, M. & Ahmed, F. 2013. Urban transport systems and congestion: a case study of indian cities. *Transport and Communications Bulletin for Asia and the Pacific*, 82, 33-43.
- Banister, D. 2011a. Cities, mobility and climate change. *Journal of Transport Geography*, 19, 1538-1546.
- Banister, D. 2011b. The trilogy of distance, speed and time. *Journal of Transport Geography*, 19, 950-959.
- Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S. & Stansfeld, S. 2014. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383, 1325-1332.

- Board, T. R., National Academies Of Sciences, E. & Medicine 2016. *Shared Mobility and the Transformation of Public Transit*, Washington, DC, The National Academies Press.
- Cepeda, M., Schoufour, J., Freak-Poli, R., Koolhaas, C. M., Dhana, K., Bramer, W. M. & Franco, O. H. 2017. Levels of ambient air pollution according to mode of transport: a systematic review. *The Lancet Public Health*, 2, e23-e34.
- Da Silva, A. N. R., Da Silva Costa, M. & Macedo, M. H. 2008. Multiple views of sustainable urban mobility: The case of Brazil. *Transport Policy*, 15, 350-360.
- Faherty, T. R. & Morrissey, J. E. 2014. Challenges to active transport in a car-dependent urban environment: a case study of Auckland, New Zealand. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11, 2369-2386.
- Figuerola, M. J., Fulton, L. & Tiwari, G. 2013. Avoiding, transforming, transitioning: pathways to sustainable low carbon passenger transport in developing countries. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5, 184-190.
- Frei, P., Mohler, E. & Röösli, M. 2014. Effect of nocturnal road traffic noise exposure and annoyance on objective and subjective sleep quality. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 217, 188-195.
- Government, N. 2013. *Traffic Modelling Guidelines*, Australia.
- Group, P. 2017. *PTV Visum 16 Manual*, Karlsruhe, Germany.
- Hickman, R., Hall, P. & Banister, D. 2013. Planning more for sustainable mobility. *Journal of Transport Geography*, 33, 210-219.
- Hiselius, L. W. & Rosqvist, L. S. 2016. Mobility Management campaigns as part of the transition towards changing social norms on sustainable travel behavior. *Journal of Cleaner Production*, 123, 34-41.
- Laumbach, R. J. & Kipen, H. M. 2012. Respiratory health effects of air pollution: Update on biomass smoke and traffic pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 129, 3-11.
- Litman, T. & Burwell, D. 2006. Issues in sustainable transportation. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6, 331-347.
- Martins, A. P., Barros, F. R., Pereira, J. L. M. B., Trinta, Z. A., Oliveira, A. C., Coelho, A. E. R., Ramos, A. M., Rosa, C. L. M., Martins, F. O., Stuckert, G. L., Silva, M. D., Barbosa, J. C. M., Nigri, E. S., Filho, A. M. S., Costa, E. S. & Pereira, D. A. 2006. *Manual de Estudos do Tráfego*.
- Nakamura, K. & Hayashi, Y. 2013. Strategies and instruments for low-carbon urban transport: An international review on trends and effects. *Transport Policy*, 29, 264-274.
- Quintero González, J. R. & Quintero González, L. E. 2016. El transporte sostenible y su papel en el desarrollo del medio ambiente urbano. *2016*, 14, 11.
- Ramos, A. F. F. 2008. *Proposta de medidas para melhoria da mobilidade em transporte rodoviário urbano - o caso do Barreiro*. Master Dissertation, Universidade Nova de Lisboa.
- Redman, L., Friman, M., Gärling, T. & Hartig, T. 2013. Quality attributes of public transport that attract car users: A research review. *Transport Policy*, 25, 119-127.
- Silva, C. 2013. Structural accessibility for mobility management. *Progress in Planning*, 81, 1-49.
- Silva, C., Reis, J. P. & Pinho, P. 2014. How Urban Structure Constrains Sustainable Mobility Choices: Comparison of Copenhagen and Oporto. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 41, 211-228.
- Sørensen, M., Lühdorf, P., Ketzler, M., Andersen, Z. J., Tjønneland, A., Overvad, K. & Raaschou-Nielsen, O. 2014. Combined effects of road traffic noise and ambient air pollution in relation to risk for stroke? *Environmental Research*, 133, 49-55.
- Sygná, K., Aasvang, G. M., Aamodt, G., Oftedal, B. & Krog, N. H. 2014. Road traffic noise, sleep and mental health. *Environmental Research*, 131, 17-24.
- Tavares, J. P. 2003. *Aplicabilidade e robustez de modelos de afetação de tráfego em redes urbanas*. PhD Thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Tørnblad, S. H., Kallbekken, S., Korneliusen, K. & Mideksa, T. K. 2014. Using mobility management to reduce private car use: Results from a natural field experiment in Norway. *Transport Policy*, 32, 9-15.
- Vilarinho, C. A. T. 2008. *Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas*. Master Dissertation, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Willumsen, L. G. 2011. *Modelling transport*, John Wiley & Sons.
- Zhang, C., Bai, H., Wang, S. & Xie, C. 2015. Review of Urban Traffic Congestion Formation and Diffusion Mechanism. *CICTP 2015*.
- Zhang, K. & Batterman, S. 2013. Air pollution and health risks due to vehicle traffic. *Science of The Total Environment*, 450, 307-316.