

# UTILIZAÇÃO DE FONTES ALTERNATIVAS DE DADOS DE ATIVIDADE URBANA PARA APOIO À GESTÃO SUSTENTÁVEL DE TRÁFEGO

J. M. Bandeira<sup>1</sup>, C. Borrego<sup>2</sup>, B. Friderich<sup>3</sup>, M.C. Coelho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Tecnologia Mecânica e Automação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, [jorgebandeira@ua.pt](mailto:jorgebandeira@ua.pt)

<sup>2</sup>Cento de Estudos do Ambiente e do Mar, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, [cborrego@ua.pt](mailto:cborrego@ua.pt)

<sup>3</sup>Institute of Transportation and urban engineering, Technical University of Braunschweig, Braunschweig, Alemanha, [friedrich@tu-braunschweig.de](mailto:friedrich@tu-braunschweig.de)

[jorgebandeira@ua.pt](mailto:jorgebandeira@ua.pt), [cborrego@ua.pt](mailto:cborrego@ua.pt), [friedrich@tu-braunschweig.de](mailto:friedrich@tu-braunschweig.de),  
[margarida.coelho@ua.pt](mailto:margarida.coelho@ua.pt)

## Resumo

*No âmbito do desenvolvimento de uma plataforma integrada de gestão de tráfego cooperativa, o presente trabalho explora o potencial de fontes alternativas de dados de atividade urbana, para prever condições de tráfego e auxiliar a estimativa dos impactes decorrentes do tráfego rodoviário. Para dois casos de estudo, em Aveiro e Badajoz, os sistemas de informação cooperativa mostraram ser ferramentas eficazes para a estimativa custos de ambientais relacionados com ruído, gases com efeito de estufa (CO<sub>2</sub>) e poluentes atmosféricos (NO<sub>x</sub>, HC, PM). Tendo em consideração os fatores de custo sugeridos na literatura e adaptados ao contexto geográfico do caso de estudo português, os impactos de emissões de CO<sub>2</sub> tendem a assumir uma relevância significativa, seguidos da matéria particulada e ruído.*

## Introdução

Tanto os avanços tecnológicos como as restrições legislativas europeias têm contribuído nas últimas décadas para uma redução substancial das emissões associadas ao transporte rodoviário. No entanto, tendo em conta o aumento do transporte de mercadorias e de passageiros e a dispersão populacional nas zonas limítrofes urbanas, o risco de congestionamento e poluição associada está a aumentar. Neste contexto, um objetivo estratégico da União Europeia<sup>1</sup> passa por promover a mobilidade sustentável, eficiente em termos energéticos, hipocarbónica e com baixas emissões de poluentes. Neste contexto, as possibilidades decorrentes dos recentes avanços nas tecnologias de informação e comunicação (TIC) assumem particular importância como fontes alternativas de informação sobre o estado de tráfego e identificação de impactes. O presente artigo focaliza-se na análise do

potencial de sistemas cooperativos de dados como as horas populares (HP) da ferramenta *Google Maps*, para prever os custos referentes às externalidades do sector rodoviário e a variação relativa desses impactos sob diferentes níveis de procura.

## Revisão Bibliográfica

Nos últimos anos, numerosos estudos têm explorado o potencial de usar fontes de dados baseadas na *web* para o planeamento e apoio à gestão do sistema de transportes<sup>2</sup>. Tostes et al. tentou estimar a ocorrência de congestionamento usando informações do Bing Maps<sup>3</sup>, enquanto Ni et al. desenvolveu um modelo de previsão de fluxo de tráfego de curto prazo baseado na atividade do Twitter e focado em condições de tráfego que antecederam eventos desportivos<sup>4</sup>. Sob o mesmo contexto, Chaniotakis et al. examinou dados de diferentes redes sociais e comparou-os com pesquisas convencionais, nomeadamente inquéritos de mobilidade da cidade grega de Salónica.<sup>4</sup> Também na comunidade científica lusófona se verifica uma crescente atividade no campo de investigação focado em explorar potenciais correlações entre impactos de trânsito e dados das redes sociais/internet. Por exemplo, na cidade de Belo Horizonte estimaram-se correlações entre as condições reais de tráfego, e os dados do Twitter<sup>5</sup>, enquanto Pereira et al. desenvolveram um modelo probabilístico de análise de dados de redes sociais com o objetivo de explicar a sobrelocação em sistemas de transporte público.<sup>6</sup> Finalmente, Teixeira et al. exploraram correlações entre congestionamento de tráfego, velocidades e emissões, com dados de tráfego do Google Maps *traffic*<sup>7</sup>. Tafidis et. al (2017), adicionou a componente ambiental (emissões de NO<sub>x</sub> e CO<sub>2</sub>), relacionando-as com a ferramenta horas populares (HP) patente no Google Maps em Aveiro, Portugal. Os autores concluíram que em certas artérias analisadas as HP podem explicar mais de 90% da variabilidade do tráfego, bem como das emissões de CO<sub>2</sub> (67%) e de NO<sub>x</sub> (55%).

O presente trabalho estende a análise de trabalhos anteriores<sup>8</sup> consistindo um avanço na literatura nos seguintes aspetos: i) avaliação do potencial dos sistemas de informação baseados em dados cooperativos para estimar o impacto económico de algumas das principais externalidades de tráfego, ii) ajuste dos impactes às características demográficas locais, iii) análise da contribuição relativa dos vários tipos de externalidades ambientais considerados (emissões de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC e de ruído), sob diferentes níveis de procura.

## Metodologia

A metodologia do presente trabalho divide-se em 4 etapas fundamentais: 1) Trabalho empírico, 2) Modelação de poluentes e ruído, 3) Estimativa de custos associados às externalidades, 4) Tratamento estatístico (Figura 1a).

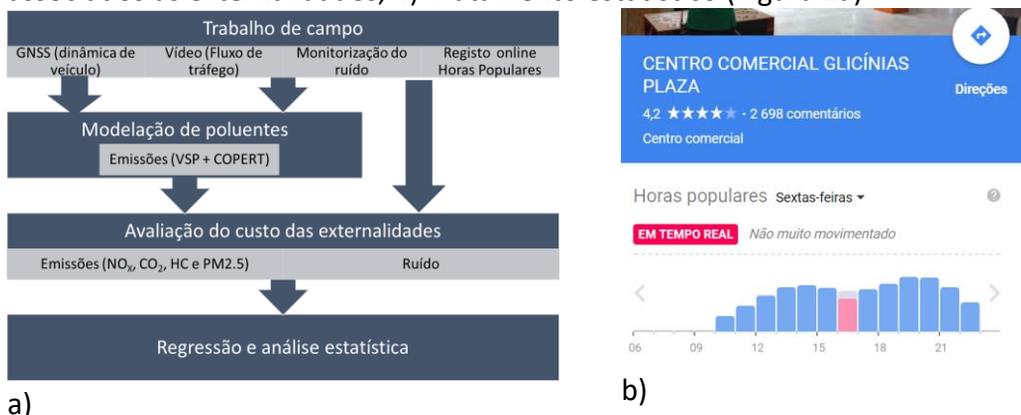


Figura 1: a) Diagrama da metodologia, b) exemplo de apresentação das HP (Google maps)

## Enquadramento – Fonte de informação *crowdsourcing*

As horas populares (HP) são um recurso disponível no Google Maps, disponibilizando informação sobre os períodos de atividade e níveis de ocupação de uma determinada infraestrutura ou zona comercial. A informação apresentada inclui um gráfico de barras semanal e horário demonstrando os níveis de afluência com base em dados históricos (barra azul), bem com os dados de atividade em tempo real (barra vermelha). Um exemplo deste tipo de informação disponibilizada é apresentado na figura 1b.

### Trabalho de campo

Os dados de campo considerados foram recolhidos durante os dias de domingo (Aveiro) entre as 10h-17h00 e sexta-feira (Badajoz) entre as 10h e 18h a fim de alcançar uma gama diversificada de procura condições de tráfego. Para efeitos, da presente análise, foram recolhidos quatro conjuntos de dados. O procedimento experimental encontra-se esquematizado no figura 2.

**Dados de HP em tempo real** sobre a afluência das áreas comerciais estudadas (A - Centro Comercial Glicínias em Aveiro e B - Carrefour Badajoz). A informação disponibilizada na ferramenta HP baseia-se no número de dispositivos *android* conectados num determinado espaço. Contudo, a informação disponibilizada não permite conhecer valores absolutos de procura. Para o propósito da análise estatística e seguindo a metodologia descrita em <sup>8</sup>, assumiu-se que o valor mínimo da barra é zero e o máximo é um, dividindo-se o gráfico em dez segmentos iguais. O

respetivo valor (0; 0,1; 0,2...0,9; 1) associado à afluência em tempo real foi registado com a frequência de quinze minutos.

- **Dinâmica do tráfego** (tempo de viagem, velocidade e aceleração instantânea (1Hz) através de um veículo equipado com um dispositivo de recolha de dados GNSS (sistemas globais de navegação por satélite), realizando-se 10 viagens por hora em cada segmento da rede.<sup>8</sup> Para aumentar a heterogeneidade do comportamento de condução, utilizaram-se diferentes condutores, sendo solicitados para conduzirem de acordo com a perceção da velocidade do fluxo de tráfego predominante <sup>9</sup>.

- **Volumes de tráfego** - Contagens de tráfego em intervalos consecutivos de 15 minutos recorrendo a câmaras de vídeo.

- **Dados de ruído** - Através de sonómetro integrado RION-NL52 17 instalado em locais perto dos casos de estudo e seguindo o padrão ISO 11819-1: 1997.

Os testes foram conduzidos com velocidades de vento inferiores a 4 km / h. A figura 2 esquematiza o desenho experimental nos dois casos de estudo.



**Figura 2:** Vista aérea dos segmentos estudados e esquematização do desenho experimental. Topo Aveiro, Portugal; Badajoz, Espanha (FONTE: Google earth).

A estimativa de emissões foi baseada no conceito da potência específica do veículo (VSP). Esta metodologia permite a estimativa das emissões instantâneas com uma frequência de 1 Hz, permitindo refletir de forma detalhada a variabilidade dos ciclos de condução sob diferentes condições de congestionamento e consequentes emissões <sup>10-12</sup>.

A Potência específica do veículo varia em função da aceleração, velocidade instantânea e declive, podendo ser expressa da seguinte expressão (1). <sup>13</sup>

$$VSP = v[1.1a + 9.81(a \tan(\sin(\text{declive}))) + 0.123] + 0.000302 v^3 \quad (1)$$

$v$  diz respeito à velocidade instantânea (m/s);  $a$ , é aceleração (m/s<sup>2</sup>) e o *declive* é variação (%) de altitude em função da distância percorrida.

Os valores da VSP são por sua vez categorizados em 14 modos sendo que cada modo tem um fator de emissão específico para NO<sub>x</sub>, HC, CO<sub>2</sub>.<sup>14</sup> Este estudo foca-se na estimativa de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC e PM, considerando-se para o efeito um veículo ligeiro representativo da composição da frota local (38% gasolina e 62% a diesel). Dada a indisponibilidade de fatores de emissão de PM<sub>2.5</sub> na metodologia VSP, o modelo COPERT <sup>15</sup>, baseado na velocidade média, foi utilizado para obter as emissões deste poluente.

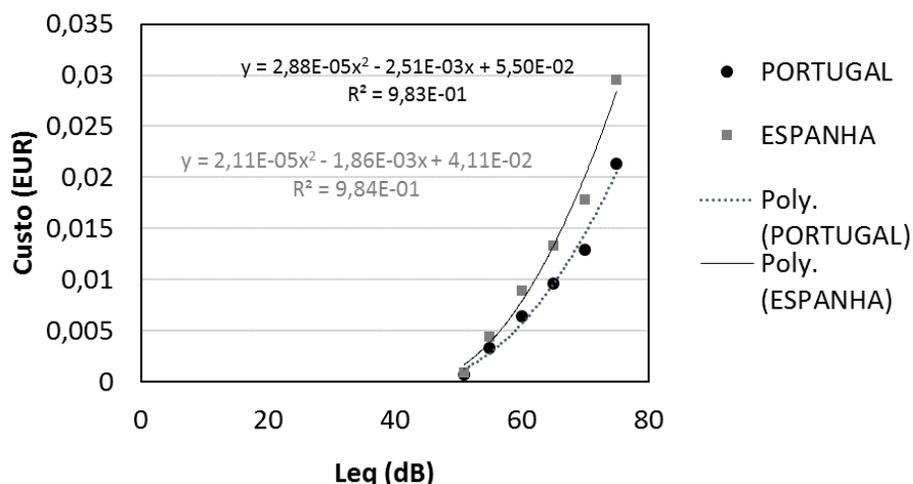
## Custo dos impactos ambientais

O método usado para o cálculo dos custos baseou-se no relatório da Comissão Europeia<sup>16</sup> que fornece valores à escala nacional, referentes aos custos das externalidades ambientais CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub> e ruído. No entanto, dado o contexto, específico das áreas de estudo procurou-se afinar os dados disponíveis através da população potencial eventualmente exposta ao ruído, de acordo com os dados estatísticos de demografia disponíveis com a maior resolução possível, i.e. ao nível da “subsecção” de freguesia <sup>17</sup>. Saliente-se que a estratégia seguida não invalida, a relevância de desenvolver estudos mais aprofundados, através da modelação de qualidade do ar e exposição da população para avaliar as externalidades do sector rodoviário com o máximo de rigor. A tabela 1 descreve os custos anuais relacionados com a exposição ao ruído.<sup>16</sup>

**Tabela 1:** Fatores de custo (EUR 2010/habitante.ano) referentes à exposição a diferentes níveis de ruído para Portugal e Espanha <sup>16</sup>

Lden, (dB)	51	55	60	65	70	75
Portugal	6	29	56	84	113	187
Espanha	8	39	78	117	156	259

Com o objetivo de processar sistematicamente os custos associados com os diversos níveis de ruído gerados pelo tráfego, foi desenvolvido um modelo baseado na interpolação polinomial de segundo grau, apresentada na figura 3.



**Figura 3:** Modelos de regressão polinomial para cálculo dos custos de ruído

Os valores anuais foram ajustados para períodos de exposição de 15 minutos e 132 cidadãos expostos<sup>17</sup>. Desta forma os custos do ruído produzidos, pelo tráfego automóvel podem ser estimados através das expressões apresentada na Figura 3. Na tabela 2 apresenta-se os fatores de custo relacionados com as emissões de tráfego rodoviário, ajustadas à densidade populacional local.

**Tabela 2** Fatores de custo disponíveis na literatura<sup>16</sup> ajustados de acordo com a densidade populacional ajustada<sup>17</sup>

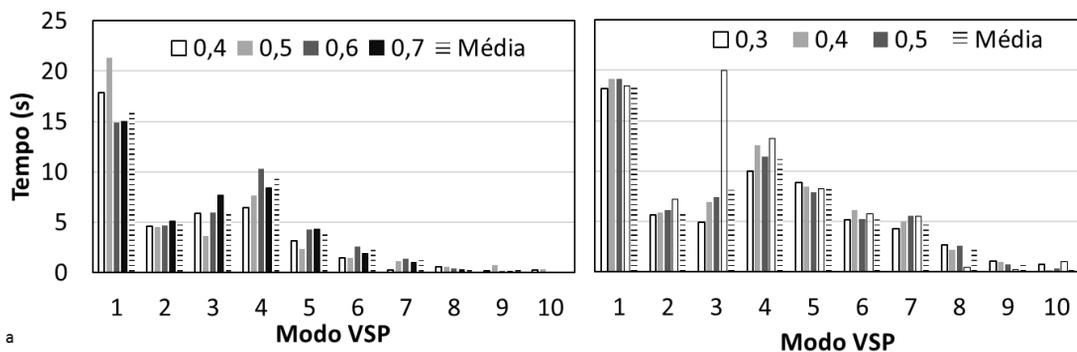
Emissões	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HC	PM
Fator de custo Portugal (EUR/TON)	90	1957	1048	196335
Fator de custo Espanha (EUR/TON)	90	4964	1135	195252
Fator de Custo ajustado (PT) (EUR/TON)	90	6654	3563	667539

O fator de ajuste considerado consiste no valor do quociente entre a densidade populacional estimada para a subsecção da freguesia (5102 hab/km<sup>2</sup>) e a do fator densidade populacional (1500 hab/km<sup>2</sup>)<sup>16</sup>. Como as emissões de CO<sub>2</sub> acarretam sobretudo impactes a nível global (efeito de estufa), o fator de custo permanece constante.

## Resultados

### Volumes observados, dinâmica e horas populares

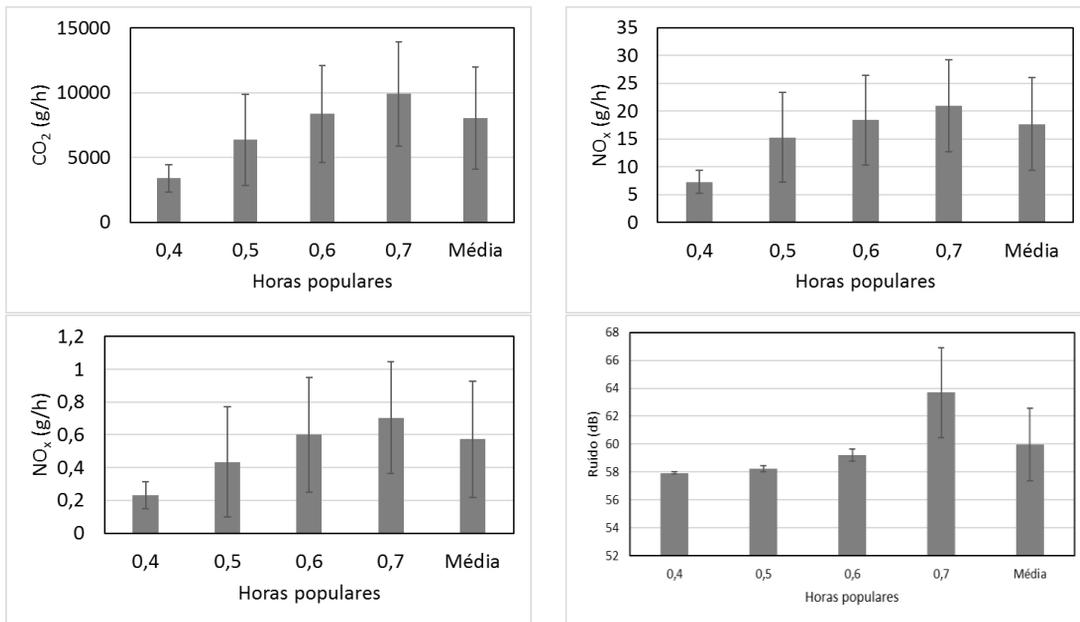
Estudos prévios<sup>8</sup> descreveram a capacidade da informação descrita nas HP para explicar a variabilidade no volume de tráfego das artérias adjacentes. Interessa, contudo, averiguar também, se as HP podem explicar a variabilidade a nível microscópico dos ciclos de condução e consequente distribuição modal dos modos de VSP. Na figura 4 apresenta-se a distribuição média dos modos VSP para os 2 casos de estudo. Sem prejuízo da necessidade do desenvolvimento de uma análise estatística robusta e suportada numa base de dados de dimensão superior, a Figura 4 sugere que em ambos os casos de estudo, verifica-se uma ligeira tendência para que o tempo despendido nos modos 3 e 4 (correspondente a situações de pára-arranca e velocidades reduzidas) é superior à média total, refletindo a existência de maiores níveis de congestionamento. O contrário ocorre com os níveis de VSP mais elevados 6 e 7 (velocidades mais elevadas) em situações de menor procura.



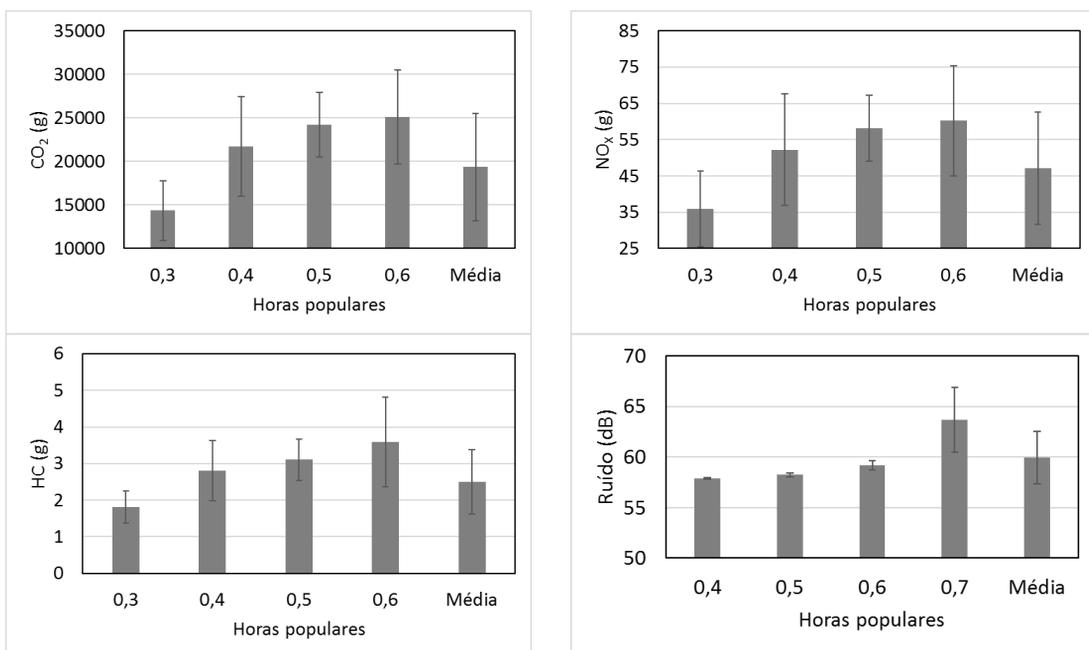
**Figura 4:** Distribuição de modos VSP observados por períodos de afluência para os casos de estudo: a) Aveiro; b) Badajoz

### Impactes médios por popularidade

As figuras 4 e 5 apresentam os níveis de emissões de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC e Ruído, para diferentes níveis de HP registados em Aveiro e Badajoz respetivamente. Verifica-se que os impactos ambientais avaliados são crescentes em ambos os casos de estudo à medida que os valores de HP também aumentam. Uma análise mais detalhada dos resultados mostra que os impactes da emissão de poluentes atmosféricos crescem de forma relativamente linear e proporcional ao volume<sup>8</sup>. Tal facto evidencia que, apesar do aumento da procura na rede, a saturação da via não é atingida e as condições globais de fluidez e nível de serviço não são alteradas significativamente.

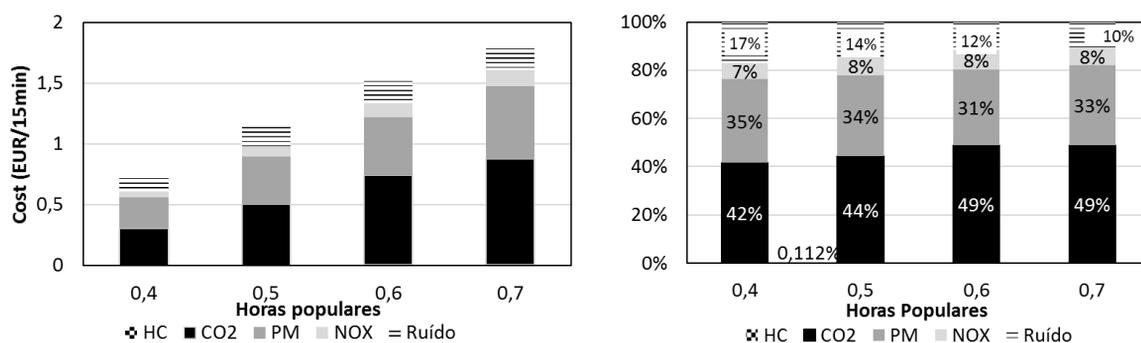


**Figura 5:** Impactos médios (e desvio padrão) de acordo com vários níveis de afluência observados na área comercial adjacente (Aveiro Glicínias).



**Figura 6.** Impactos médios (e desvio padrão) de acordo com vários níveis de afluência observados na área comercial adjacente (Badajoz-Carrefour).

Com o intuito de avaliar a importância relativa do custo ambiental sob diferentes níveis de HP, a figura 7 exemplifica a contribuição relativa dos vários custos ambientais estudados para diferentes níveis de procura associados às HP.



**Figura 7:** Contribuição média absoluta e cumulativa (esquerda) do custo dos vários parâmetros ambientais analisados e contribuição média relativa de cada parâmetro (direita).

Verifica-se que em termos de custos, e de acordo com a metodologia seguida, os impactos de referentes às emissões de CO<sub>2</sub> são prevalentes para todos os níveis de procura (42% a 49%). Os impactos das PM<sub>2.5</sub> representam o segundo fator mais relevante em termos de custo ambiental, seguido do NO<sub>x</sub>. Tendo em conta as emissões totais produzidas de HC e o seu fator de custo associado, verifica-se que o impacto económico das emissões de HC é negligenciável (<0.1%). Relativamente ao ruído verifica-se uma menor preponderância do seu custo em função do aumento do nível de tráfego. Este facto explica-se pela não linearidade dos níveis de ruído em função do fluxo de tráfego; com efeito, a contribuição marginal dos níveis de ruído por veículo alocado à rede é menos perceptível e diluída à medida que o volume de tráfego aumenta.<sup>18</sup>

## Conclusões

O presente trabalho confirmou o potencial dos dados cooperativos como as HP, para prever (ou pelo menos diminuir) o grau de incerteza na estimativa diversos parâmetros ambientais. O conhecimento de informação em tempo real ao nível dos segmentos de rede baseado nas HP pode constituir uma importante ferramenta de auxílio à implementação de medidas avançadas de gestão de tráfego (ex. gestão da procura, coordenação inteligente de semáforos ou sistemas de Eco navegação) em tempo real. Deve ser ainda salientado o potencial desta ferramenta para apoiar a construção de matrizes origem-destino e auxiliar o planeamento de sistemas de transporte público e partilhado.

## Agradecimentos

Os autores agradecem aos projetos @CRUISE (PTDC/EMS-TRA/0383/2014, fundado pelo projeto 9471 – Reforçar a Investigação, o Desenvolvimento Tecnológico e a Inovação (Projeto 9471 – RIDTI) e MobiWise (P2020 SAICTPAC/0011/2015) ambos apoiados pelo Fundo de Comunidade Europeia FEDER; Portugal 2020 – Programa

Operacional para a competitividade e Internacionalização (POCI) e FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia; Projeto Estratégico TEMA UID-EMS-0048-2013 (FCT), CENTRO-01-0145-FEDER-022083, Projeto INTERREG EUROPE CISMOB, e Bolsa (SFRH/BPD/100703/2014). J. Bandeira agradece a B. Bahmankhah, J. Teixeira, P. Tafidis, M. Vilaça, P. Fernandes, C. Sampaio, e E. Macedo pelo apoio na recolha de dados experimentais.

## Referências

1. EC. A European Strategy for Low-Emission Mobility [Internet]. Brussels; 2016. Available from: <https://ec.europa.eu/transport/>
2. Rashidi TH, Abbasi A, Maghrebi M, Hasan S, Waller TS. Exploring the capacity of social media data for modelling travel behaviour: Opportunities and challenges. *Transp. Res Part C Emerg Technol.* 2017 Feb; 75:197–211.
3. Tostes AIJ, de L. P. Duarte-Figueiredo F, Assunção R, Salles J, Loureiro AAF. From data to knowledge. In: *Proceedings of the 2nd ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing - UrbComp '13.* New York, New York, USA: ACM Press; 2013. p. 1.
4. Ni M, He Q, Gao J. Using Social Media to Predict Traffic Flow under Special Event Conditions. 2014;
5. Ribeiro AS, Este RA, Kauffman SA. A Measure of Efficiency of Orientation Systems in Building Structures. *Proceedings 1st Iber Conf Inf Syst Technol Vol II.* 2006; 943–957962.
6. Pereira FC, Rodrigues F, Polisciuc E, Ben-Akiva M. Why so many people? Explaining Nonhabitual Transport Overcrowding With Internet Data. *IEEE Trans Intell Transp Syst.* 2015 Jun;16(3):1370–9.
7. Teixeira J, Fernandes P, Bandeira JM, Coelho MC. Information Management for Smart and Sustainable Mobility. In: *Transportation Research Board 96th Annual.* Washington DC; 2017.
8. Tafidis P, Teixeira J, Bahmankhah B, Macedo E, Coelho MC, Bandeira J. Exploring crowdsourcing information to predict traffic-related impacts. In: *2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE (EEEIC / I&CPS Europe)* Milan: IEEE; 2017. p. 1–6.
9. Turner SM, Eisele WL, Benz RJ, Douglas J. *Travel time data collection handbook.* Washington DC; 1998.
10. Coelho MC, Fontes T, Bandeira JM, Pereira SR, Tchepel O, Dias D, et al. Assessment of potential improvements on regional air quality modelling related with implementation of a detailed methodology for traffic emission estimation. *Sci Total Environ.* 2014 11 470–471:127–37.
11. Fernandes P, Fontes T, Neves M, Pereira SR, Bandeira JM, Roupail NM, et al. Assessment of Corridors with Different Types of Intersections. *Transp Res Rec J Transp Res Board.* 2015;2503:39–50.
12. Bandeira JM, Fernandes P, Fontes T, Pereira SR, Khattak AJ, Coelho MC. Exploring multiple eco-routing guidance strategies in a commuting corridor. *Int J Sustain Transp.* 2018 ;12(1):53–65.
13. US Environmental Protection Agency - EPA. *Methodology for Developing Modal Emission Rates for EPA's Multi-Scale Motor Vehicle & Equipment Emission System.* Prepared by North Carolina State University for US Environmental Protection Agency, Ann Arbor.- United States EPA 2002
14. Bandeira JM, Almeida TG, Khattak AJ, Roupail NM, Coelho MC. Generating Emissions Information for Route Selection: Experimental Monitoring and Routes Characterization. *J Intell Transp Syst.* 2013;17(1):3–17.
15. European Environmental Agency - EEA. *European Environment Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook.* 2013.
16. Korzhenevych A, Dehnen N, Bröcker J, Holtkamp M, Meier H, Gibson G, et al. *Update of the Handbook on External Costs of Transport.* Final Rep. 2014.
17. Instituto Nacional de Estatística - Censos 2011. ([www.ine.pt](http://www.ine.pt))
18. Link H, Nash C, Ricci A, Shires J. A generalized approach for measuring the marginal social costs of road transport in Europe. *Int J Sustain Transp [Internet].* 2016;10(2):105–19.