

# INDICADOR INTEGRADO PARA ANÁLISE DOS CUSTOS EXTERNOS DO TRÁFEGO RODOVIÁRIO

Mariana VILAÇA<sup>1</sup>, Carlos Sampaio<sup>1</sup>, Jorge Bandeira<sup>1</sup>, Paulo Fernandes<sup>1</sup>, Vera Rodrigues<sup>2</sup>, Hélder Relvas<sup>2</sup>, Carlos Borrego<sup>2</sup>, Margarida Coelho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Tecnologia Mecânica e Automação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

<sup>2</sup> Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

*mvilaca@ua.pt, c.sampaio@ua.pt, jorgebandeira@ua.pt, paulo.fernandes@ua.pt, vera.rodrigues@ua.pt, helder.relvas@ua.pt, cborrego@ua.pt, margarida.coelho@ua.pt*

## Resumo

*A mobilidade sustentável é atualmente um desafio amplamente promovido. Neste âmbito, os sistemas inteligentes de transportes apresentam potencial na mitigação das diferentes externalidades do tráfego relacionadas com os impactos no ambiente, sociedade e economia. Em particular, os sistemas inteligentes de identificação de rotas (eco-navegação) fornecem informação para uma escolha de rota adequada e permitem reduzir os níveis de congestionamento, consumo de energia e emissões. O principal objetivo deste artigo consiste em apresentar uma metodologia para um indicador capaz de integrar os impactos do tráfego rodoviário, que possa ser aplicável a um sistema avançado de gestão de tráfego. Assim, são avaliados os custos inerentes às emissões e concentrações de poluentes na atmosfera, o congestionamento, o ruído e a segurança rodoviária, ajustados a contextos locais.*

## Introdução

Mobilidade sustentável é, de acordo com o *World Business Council*, a capacidade de satisfazer as necessidades da sociedade se deslocar livremente, bem como garantir o acesso, a comunicação, o comércio e estabelecer relações sem sacrificar outros valores humanos ou ecológicos essenciais hoje ou no futuro.<sup>1</sup> Em 2016 a emissão de gases com efeito de estufa (GEE) no setor dos transportes foram 25% superior ao registado em 1990.<sup>2</sup> Além disso, o setor dos transportes contribuiu com aproximadamente 24% do total de emissões de GEE na Europa, onde 43,2% dessas emissões estão associadas a veículos particulares.<sup>2</sup> Os transportes são também a principal fonte de ruído ambiental na Europa e de poluição do ar à escala urbana, especialmente em termos da emissão de dióxido de azoto e partículas.<sup>2</sup> Por sua vez, os problemas sociais e económicos neste setor estão intimamente associados à sinistralidade rodoviária. Em termos globais, resultam anualmente cerca de 1,25 milhões de mortes devido a acidentes rodoviários, sendo a maior parte em idades compreendidas entre os 15 e os 29 anos.<sup>3</sup>

Os sistemas inteligentes de transportes (ITS) representam um importante papel no setor dos transportes potenciando a eficiência, segurança e tornando-o mais ecológico e sustentável.<sup>4</sup> Em particular, os sistemas de eco-navegação enquanto sistemas inteligentes de suporte à decisão na escolha de rotas, permitem a redução dos consumos de combustível e emissões bem como a otimização das infraestruturas existentes.<sup>5</sup>

O objetivo deste trabalho consiste em apresentar uma metodologia para um indicador único para integração num sistema de eco-navegação, que permita avaliar diferentes impactes do sistema de transportes. A principal inovação concentra-se na introdução do ruído e da segurança como fatores relevantes na escolha de uma rota, bem com a integração de todas as externalidades num fator único (custos).

## Revisão Bibliográfica

Segundo Jeekel, sustentabilidade social e mobilidade inteligente estão relacionadas com condições de saúde, segurança e proteção e coesão social. Sistemas avançados de gestão de tráfego (ATMS) permitem dar aos condutores toda a informação de tráfego necessária que pode ser útil na escolha de rotas tendo em conta as suas preferências em termos de distância, tempo, preocupações ambientais e segurança.<sup>6</sup>

Estudos recentes têm em vista a escolha de rotas que permitam, do ponto de vista ambiental, reduzir emissões e consumo de combustível. Bandeira et al. apresentaram um estudo que explora como diferentes características das rotas e comportamento dos condutores pode influenciar níveis de emissões e consumo de energia concluindo existência de significativas poupanças de consumo de combustível e emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).<sup>7</sup> Mais tarde, os mesmos autores mostraram que o tipo de veículo e o modelo de emissões apresentam influência na implementação de sistemas eco-navegação.<sup>8</sup> Pereira et al. desenvolveram um protótipo de um sistema de informação para apoio à decisão na melhor rota do ponto de vista ambiental e energético; os resultados mostraram uma possível redução de 15-32% em custos sociais e de saúde.<sup>5</sup> Por sua vez, Yao and Song planearam um algoritmo que propõe rotas mais ecológicas mostrando reduções na emissão de CO<sub>2</sub> e consumo de combustível.<sup>9</sup>

Indicadores de mobilidade urbana estão normalmente relacionados com o planeamento urbano e, desta forma, são utilizados para avaliar o desenvolvimento do sistema de transportes ao longo do tempo. Estes indicadores são normalmente qualitativos e aplicados a uma cidade, avaliando as políticas de transportes aplicadas.<sup>10,11,12</sup> Algumas metodologias para indicadores quantitativos dinâmicos que avaliam a sustentabilidade no setor dos transportes baseiam-se na lógica *fuzzy* que consiste em assumir os valores entre 0 e 1, permitindo uma avaliação mais ponderada. Rajak et al. propõem uma metodologia *fuzzy* para avaliação dos transportes sustentáveis, que permite reconhecer os atributos mais vulneráveis permitindo melhorar as medidas aplicadas.<sup>13</sup> El-Rashidy e Grant-Muller incorporam dois atributos de mobilidade – conectividade e condição do tráfego.<sup>14</sup> Por sua vez, Torrão et al. desenvolveram uma ferramenta integrada que permite aceder ao desempenho do veículo simultaneamente em termos ambientais e de segurança – Indicador SEG (*Safety, Fuel Efficiency and Green Emissions*). Esta metodologia resulta numa combinação de pontos

relativos às três vertentes em estudo, resultando numa classificação de 0 a 1 onde o valor mais baixo representa melhor desempenho do veículo.<sup>15</sup> Smith et al. investigaram a adequação do método de análise de processo para medir a sustentabilidade do sistema de transportes concluindo que este método identifica os impactes e caracteriza as consequências por meio de indicadores.<sup>16</sup> Fontes et al. avaliou impactes nos incidentes de tráfego à escala regional, consumos e níveis de emissões a partir de sistemas avançados de informação de viagens concluindo que o uso destes pode permitir uma redução máxima de emissões e consumo de combustível em cerca de 2%.<sup>17</sup> Num outro estudo, os impactes da escolha de rotas é considerado para desenvolver uma metodologia integrada de desempenho de tráfego e emissões.<sup>18</sup> Analisando 4 rotas distintas Bandeira et al. salientaram que a variação relativa dos custos de escolha de rota variam de um fator de 1,4 enquanto a variação da população potencialmente exposta varia até um fator de 10.<sup>19</sup>

A utilização dos custos externos gerados pelos transportes reflete este impacte num indicador monetário e permite que este faça parte do processo de decisão para um utilizador. Os custos externos são, por definição, custos colaterais provocados por uma determinada atividade à sociedade.<sup>20</sup> Os custos gerados pelos transportes fazem parte de algumas metodologias e procedimentos durante a fase de avaliação de projetos.<sup>21,22,23</sup> Korzhenevych et al. calcularam os custos externos de tráfego com base nas melhores práticas onde o congestionamento está relacionado com a velocidade de circulação, o valor do tempo e a elasticidade da procura; a poluição do ar e ruído estão relacionados com o impacte ou pegada ecológica (custo do dano); a avaliação dos efeitos na saúde com base no custo dos serviços de saúde e, finalmente, os custos marginais de acidentes com base na estimativa de risco e valores estatísticos de vida.<sup>20</sup> Koopmans et al. quantificaram o custo de transportes tendo em conta o custo financeiro da viagem, tempo do percurso e conveniência da viagem.<sup>22</sup> Yeh defende que para internalizar as externalidades de transportes é preciso analisar os custos dos impactes na sociedade e ambiente, mas também a dependência das condições geográficas, modos de transporte, intensidade de tráfego e população exposta.<sup>23</sup>

## **Metodologia**

Esta secção apresenta a metodologia utilizada na análise das diferentes externalidades de tráfego e o custo dos seus impactes.

### **Congestionamento e custo associado**

O congestionamento é calculado com base na razão entre o volume de tráfego ( $V$ ) e a capacidade da via ( $C$ ). O volume é o atual fluxo de tráfego e a capacidade, o volume teórico de tráfego máximo em que a via opera.<sup>20</sup> O volume de tráfego pode ser obtido através de diversas formas tais como contagens classificadas de veículos com recurso a filmagens, sistemas de visão, sensores de deteção, identificação por radio frequência, entre outros. Refira-se que o volume de tráfego compreende um dado segmento entre interseções adjacentes. A capacidade da via é calculada a partir de equações definidas pelo *Highway*

*Capacity Manual* (2015)<sup>24</sup> que variam consoante o tipo de intersecção a jusante, tais como, sinais luminosos ou rotunda. Posteriormente, um nível de congestionamento é obtido com base na razão entre o volume e a capacidade da via ( $V/C$ ) e que por sua vez tem associado um custo marginal de acordo com o tipo de via e o país.<sup>20</sup>

A Tabela 1 apresenta o rácio entre o volume e a capacidade da via ( $V/C$ ), enquanto que os custos associados ao congestionamento identificados segundo Korzhenevych et al. encontram-se na Tabela 2.<sup>20</sup>

**Tabela 1:** Níveis de congestionamento segundo o rácio volume/capacidade<sup>20</sup>

Níveis de congestionamento	Volume/capacidade
1: tráfego livre	$V/C < 0,25$
2	$0,25 < V/C < 0,5$
3	$0,5 < V/C < 0,75$
4: perto da capacidade	$0,75 < V/C < 1$
5: superior à capacidade	$V/C > 1$

**Tabela 2:** Custos associados ao nível de congestionamento para o carro em zona urbana para Portugal<sup>20</sup>

Via	Tráfego livre (€/vkm)	Perto capacidade (€/vkm)	Superior capacidade (€/vkm)
Principal	0,005	0,389	0,606
Outras	0,020	1,114	1,842

Consideram-se zona urbana todas as zonas com população superior a 10 000 habitantes

### Emissões de poluentes

A quantificação das emissões de poluentes é assente em modelação microscópica, segundo a metodologia do *Vehicle Specific Power* (VSP) dada através da expressão 1 para veículos ligeiros a passageiros:

$$VSP = v \times [1,1 \times a + 9,81 \times \sin(\arctan(\text{declive})) + 0,132] + 0,000302v^3 \quad (1)$$

em que, VSP é a potência específica do veículo (kW/ton),  $v$  a velocidade do veículo (m/s),  $a$  é a aceleração/desaceleração do veículo ( $m/s^2$ ) e *declive* refere-se ao declive da via (%).

A partir desta metodologia são estimados valores dos fatores de emissão de CO<sub>2</sub>, óxidos de azoto – NO<sub>x</sub> e hidrocarbonetos – HC.

Para o cálculo dos custos associados às emissões são utilizadas duas metodologias diferentes: uma primeira metodologia estima o custo externo do impacte dos gases de efeito de estufa

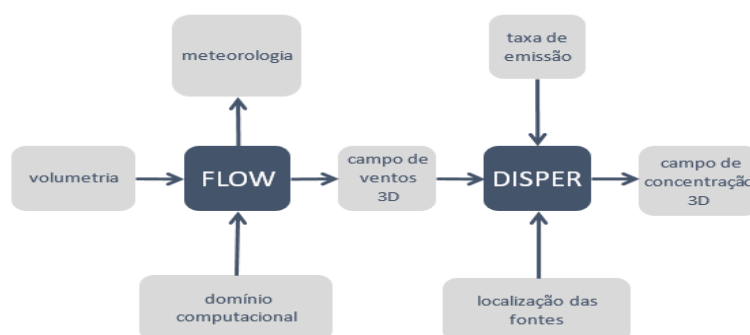
(CO<sub>2</sub> e HC); a segunda metodologia foca-se nos valores de concentração de dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>) e partículas em suspensão de diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm (PM<sub>10</sub>) os quais são avaliados relativamente ao custo do seu impacto na saúde.

### Custo do impacto dos GEE

Para quantificar os custos associados à emissão de GEE consideram-se os valores teóricos de referência ajustados à realidade portuguesa de 90€/ton para o CO<sub>2</sub> e 1048€/ton para os compostos orgânicos voláteis não metano onde estão incluídos os HC.<sup>20</sup>

### Custo da concentração de poluentes na saúde

O modelo CFD VADIS (*pollutants DISpersion in the atmosphere under VARIable wind conditions*) é utilizado para a simulação da dinâmica do escoamento turbulento e consequente padrão de dispersão de poluentes em área urbana.<sup>25</sup> O modelo VADIS é um sistema integrado de modelação composto por dois módulos, o módulo FLOW de simulação da camada limite atmosférica, e o módulo DISPER de dispersão lagrangeana (Figura 1).<sup>25</sup>



**Figura 1:** Esquema representativo do funcionamento bi-módular do modelo VADIS.

O modelo requer como informação de entrada dados meteorológicos, volumetria dos edifícios e domínio de simulação e dados relativos às fontes de emissão. O campo 3D de concentração é calculado pelo VADIS e permite conhecer a concentração de um dado poluente em qualquer ponto do domínio de simulação e a diferentes alturas. As concentrações de poluentes simuladas devem ser comparadas com dados de monitorização em estações de qualidade do ar para efeitos de avaliação do desempenho do modelo.<sup>25, 26</sup>

A quantificação dos efeitos na saúde humana é feita através da avaliação dos impactos resultantes da exposição de curto-termo de NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>. Para a exposição de curto-termo de NO<sub>2</sub> consideram-se os valores de concentração máximos horários diários, enquanto que no caso das PM se consideram os valores de concentração médios diários. Para o cálculo efetivo da exposição utilizam-se funções ERF (*exposure-response functions*) que relacionam a concentração de um poluente específico à qual a população está exposta, quantificando o número de eventos de saúde que ocorrem nesse universo populacional.

A mortalidade e morbilidade são parâmetros utilizados como indicadores de saúde, que consideram a faixa etária e o tempo de exposição. A expressão 2 relaciona a função resposta

( $\Delta R_i$ ) do número de implicações desfavoráveis (por exemplo, número de casos, dias ou episódios) considerando todos os indicadores de saúde ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) ocorridos ou evitados com a taxa anual de referência de morbidade e/ ou mortalidade ( $I_{ref}$ ), o coeficiente  $CRF_{i,p}$  de correlação entre a variação da concentração de um dado poluente  $p$  e a probabilidade de experienciar ou evitar um indicador de saúde específico  $i$  (i.e. o risco relativo associado a uma alteração de concentração de  $1 \mu\text{g.m}^{-3}$ ), a variação  $\Delta C_p$  da concentração do poluente  $p$  ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) e a população ( $pop$ ), agrupada por faixa etária, exposta ao poluente  $p$ .

$$\Delta R_i = I_{ref} \times CRF_{i,p} \times \Delta C_p \times pop \quad (2)$$

Os impactes na saúde traduzidos em valor monetário – custos externos – permitem quantificar as consequências da exposição aos poluentes atmosféricos. A Tabela 3 apresenta o custo associados à exposição de curto termo ao  $\text{NO}_2$  e  $\text{PM}_{10}$ .<sup>27</sup>

**Tabela 3:** Custos associados a indicadores de saúde, dependentes da faixa etária em análise e em função da exposição a  $\text{PM}_{10}$  e  $\text{NO}_2$ .<sup>28, 29</sup>

Poluente atmosférico	Indicador de saúde	Faixa etária	Custo
<b>PM10</b>	Asma	5-19	115€/dia
	Insuficiência cardíaca	>65	18 538€/caso
	Admissão hospitalar por problema respiratório	Todas	8 960€/caso
<b>NO<sub>2</sub></b>	Mortalidade	Todas	1 844€/YOLL

Legenda: YOLL – número de anos de vida perdidos.

### Ruído propagado pelo veículo

A metodologia de Quartieri et al. permite estimar os níveis de ruído produzido pelo tráfego ao longo de um segmento a partir da velocidade média e tendo em consideração as variações da dinâmica do veículo.<sup>30, 31</sup> A expressão 3 representa o nível de ruído na fonte para um veículo ligeiro de passageiros:

$$\begin{cases} 82, & \text{if } v < 11.5 \text{ km.h}^{-1} \\ \alpha + \beta \log v, & \text{if } v > 11.5 \text{ km.h}^{-1} \end{cases} \quad (3)$$

Onde,  $\alpha = 53.6 \pm 0.3$  dBA e  $\beta = 26.8 \pm 0.2$  dBA.<sup>32</sup>

A partir da informação da dinâmica e tráfego, o nível de ruído contínuo equivalente horário(dBA) pode ser obtido através da expressão 4.

$$L_{eq,i} = 10 \log V + \alpha + \beta \log v - 20 \log d - 47.563 \quad (4)$$

Na qual  $V$  é o volume horário (veh/h),  $v$  é a velocidade média (km/h) e  $d$  a distância entre o eixo da via e o recetor (tipicamente igual a 7,5 metros).<sup>30</sup>

A expressão 5 permite estimar os custos associados ao ruído gerado pelo tráfego ao longo do segmento. Neste caso, o custo marginal de um nível de ruído contínuo equivalente é associado a um número de indivíduos expostos durante o ano. A Tabela 4 apresenta esse valor em euros, para Portugal (referência 2010).<sup>20</sup>

$$NC_i = \frac{\text{Custo}(L_i)}{a \times b \times T} \times pop \quad (5)$$

onde,  $NC_i$  é o custo do ruído ao longo do segmento  $i$  (€/dBA.veh.km);  $\text{Custo}(L_i)$  o custo para o nível de ruído  $L_i$  (€/pessoa.ano);  $a$  corresponde aos 365 dias do ano;  $b$  as 24 horas do dia;  $pop$  o número de pessoas expostas ao nível de ruído  $L_i$ ;  $T$  o número de veículos quilómetro (veh.km).

**Tabela 5:** Custos associados ao nível de ruído ajustados a Portugal para um ano e por pessoa exposta<sup>20</sup>

$L_{den}$ dB(A)	=51	=55	=60	=65	=70	=75
<b>Custo (<math>L_i</math>) (€/pessoa.ano)</b>	6	29	56	84	113	187

### Acidentes rodoviários

A análise do custo associado à probabilidade de ocorrer um acidente onde resultem feridos é calculado a partir da probabilidade de risco para cada veículo e o custo social de cada ferido. A Tabela 6 apresenta os custos sociais para cada tipo de ferido.<sup>20</sup> A probabilidade de risco associada a um veículo é dada pela expressão 6.

**Tabela 6:** Custos sociais aplicados aos feridos provocados por acidentes rodoviários – caso específico para Portugal (valores de € - dados de 2010)<sup>20</sup>

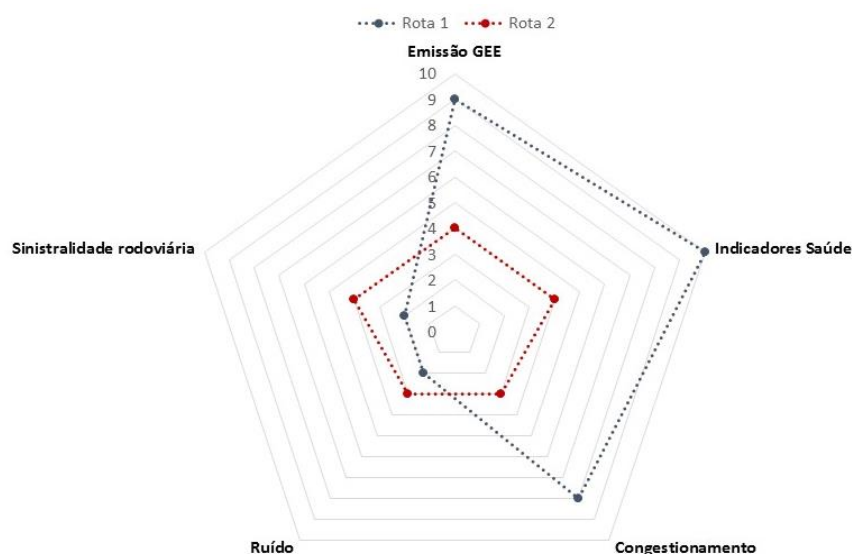
Feridos Fatais	Feridos Graves	Feridos leves
1 505 000	201 100	13 800

$$R_i^j = \frac{X_i^j}{Q_i^j} \quad (6)$$

onde,  $R_i^j$  é a probabilidade de risco de acidente para determinado veículo  $j$  num determinado tipo de via  $i$ ;  $X_i^j$  número de danos pessoais (feridos ou mortos) provocados pelo veículo (base horária);  $Q_i^j$  número de veículo quilómetros (veh.km).<sup>20</sup>

## Integração das externalidades de tráfego num Ecoindicador

A metodologia desenvolvida (inspirada na GreenTool, aplicada à cidade de Antuérpia<sup>33</sup>) para a integração das externalidades de tráfego num único ecoindicador dinâmico com base na escolha de rota, consiste numa ferramenta que integra os custos calculados para cada um dos indicadores de tráfego. A ferramenta apresenta o custo estimado individualmente para cada indicador numa escala de 0 a 10. O valor 0 da escala corresponde a um custo nulo associado ao indicador, enquanto o valor 10 corresponde ao custo máximo associado ao indicador. A Figura 2 apresenta uma representação tipo do ecoindicador integrado para duas situações distintas – rota 1 e rota 2.



**Figura 2:** Eco indicador dinâmico de tráfego com base em duas rotas distintas (1 e 2)

O resultado tipo da ferramenta desenvolvida apresenta duas rotas distintas possíveis. A rota 1 corresponde a um custo elevado associado aos indicadores de Emissão GEE, Indicadores de saúde e Congestionamento, mas a um custo mais reduzido associado à Sinistralidade rodoviária e Ruído. Por outro lado, a rota 2, resulta num impacte inferior nos parâmetros em geral, no entanto apresenta maior impacte em termos de sinistralidade rodoviária e ruído. Neste sentido, o ecoindicador dinâmico permitirá a escolha de rota mais equilibrada considerando, não só a contribuição relativa de cada indicador, individualmente, mas considerando o conjunto de todas as externalidades.

## Conclusões

A avaliação de impactes ambientais e sociais associados ao tráfego rodoviário (emissão de poluentes, indicadores de saúde, congestionamento, ruído e segurança rodoviária) tendo em conta o seu custo externo, fornece ao utilizador uma estimativa do impacte económico das



suas escolhas de rotas e permite a tomada de decisão mais consciente, para além de permitir tomar medidas de gestão (como a taxaço de vias) onde o impacte gerado seja maior. As limitações relativas à normalização de dados (considerando que para cada parâmetro será estipulado o que será o custo máximo e nulo a considerar no indicador) serão analisadas em trabalhos futuros. A sua aplicabilidade em tempo real e a grande escala envolve uma análise constante de cada externalidade de tráfego com base nos dados mais recentes e a sua disponibilidade.

## Agradecimentos

Os autores agradecem aos projetos @CRUISE (PTDC/EMS-TRA/0383/2014, financiado pelo projeto 9471 – Reforçar a Investigação, o Desenvolvimento Tecnológico e a Inovação e apoiado pelo Fundo de Comunidade Europeia FEDER); MobiWise P2020 SAICTPAC/0011/2015 cofinanciado pelo COMPETE2020; CISMOB – PGI01611 financiado pelo Programa Europeu Interreg; Portugal 2020 – Programa Operacional para a competitividade e Internacionalização (POCI), União Europeia ERDF (Fundo de desenvolvimento Regional Europeu); FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia; TEMA UID-EMS-0048-2013 (FCT); Bolsa de Pós Doutoramento (SFRH/BPD/100703/2014); CENTRO-01-0145-FEDER-022083.

## Referências

1. WBCSD, “Mobility 2030: Meeting the challenges to sustainability”, The sustainable mobility project, Full Report, World Business Council for Sustainable Development, 2004.
2. EEA, “TERM 2017: mixed progress for Europe’s transport sector in meeting environment, climate goals”, European Environment Agency, Copenhaga, Dinamarca, 2017.
3. WHO, “Violence, injury prevention and world health organization – Global status report on road safety 2015”, World Health Organization, Genebra, Suíça, 2015.
4. United Nations - Economic Commission for Europe, “Intelligent Transport Systems (ITS) for sustainable mobility”, Genebra, February, 2012
5. S. Pereira, T. Fontes, J. Bandeira, P. Fernandes, M. Coelho “SMARTDECISION: A route choice app based on eco-friendly criteria”, 9<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, 11-15 January, Washington D.C., 2015.
6. H. Jeekel, “Social Sustainability and Smart Mobility: Exploring the relationship”. World Conference on Transport Research – WCTR, Shanghai, Edited by Transportation Research Procedia, 25, 4296-4310, 2017.
7. J. Bandeira, T. Almeida, A. Khattak, N. Rouphail, M. Coelho “Generating emissions information for route selection: Experimental monitoring and routes characterization”, Journal of Intelligent Transportation Systems, 17(1), 3-17, 2013
8. J. Bandeira, T. Fontes, S. Pereira, P. Fernandes, A Khattak, M. Coelho, “Assessing the importance of vehicle type for the implementation of eco-routing systems”, 17<sup>th</sup> Meeting of the EURO Working Group on Transportation, Sevilla, Spain, Transportation Research Procedia, 3, 800-809, 2014.
9. E. Yao, Y. Song, “Study on Eco-Route Planning Algorithm and Environmental Impact Assessment”, Journal of Intelligent Transportation Systems, 17:1, 42-53, 2013.
10. P. Tafidis, A. Sdoukopoulos, M. Latinopoulou, “Sustainable urban mobility indicators: policy versus practice in the case of Greek cities”. 3<sup>rd</sup> Conference on Sustainable Urban Mobility, Volos, Greece, Transportation Research Procedia, 24, 304-312, 2017.
11. C. Cavalcanti, M. Limont, M. Dziedzic, V. Fernandes, “Sustainability assessment methodology of urban mobility projects”, Land use policy, 60, 334-342, 2017.
12. K. Gyorgy, A. Attila, F. Tamás, “New Framework for monitoring urban mobility in European cities”, 3<sup>rd</sup> Conference on Sustainable Urban Mobility, Volos, Greece. Transportation Research Procedia, 24, 155-162.

13. S. Rajak, P. Parthiban, R. Dhanalakshmi, "Sustainable transportation systems performance evaluation using fuzzy logic", *Ecological Indicators*, 71, 503-513, 2016.
14. R. El-Rashidy and S. Grant-Muller, "An operational indicator for network mobility using fuzzy logic", *Expert systems with Application*, 42, 4582-4594, 2015.
15. G. Torrão, T. Fontes, M. Coelho, N. Roupail, "Integrated indicator to evaluate vehicle performance across: Safety, fuel efficiency and green domains", *Accident analysis and Prevention*, 92, 153-167, 2016.
16. T. Smith, C. Axon, R. Darton, "A methodology for measuring the sustainability of car transport systems", *Transport Policy*, 30, 308-317, 2013.
17. T. Fontes, A. Lemos, P. Fernandes, S. Pereira, J. Bandeira, M. Coelho, "Emissions impact of road traffic incidents using Advanced Traveller Information Systems in a regional scale", *Transportation Research Procedia*, 3, 41-50, 2014.
18. K. Ahn, H. Rakha, "The effects of route choice decisions on vehicle energy consumption and emissions", *Transportation Research part D: Transport and Environment*, 25, 119-130, 2008.
19. J. Bandeira, C. Guarnaccia, P. Fernandes, M. Coelho, "Advanced Impact Integration Platform for Cooperative Road Use". *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 1-15, 2016.
20. A. Korzhenevych, J. Bröcker, H. Holtkamp, G. Gibson, A. Varma, V. Cox, "Update of the Handbook on External Costs of Transport", European Commission, RICARDO-AEA, Reino Unido, 2014.
21. U. Petrucelli, "Assessment of external costs for transport project evaluation: Guidelines in some European countries", *Environmental Impact Assessment Review*, 54, 61-71, 2015.
22. C. Koopmans, W. Groot, P. Warffemius, J. Annema, S. Lanser, "Measuring generalized transport costs as an indicator of accessibility changes over time", *Transport Policy*, 29, 154-159, 2013.
23. C. Yeh, "Evaluation methods for external costs for road traffic based on objective territorialization in the metropolis", *Cities*, 31, 76-84, 2013.
24. HCM *Highway Capacity Manual* – Production of a Major Update to the Highway Capacity Manual 2010, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, 2015.
25. C. Borrego, O. Tchepel, A. M. Costa, J. H. Amorim, A. I. Miranda, "Emission and dispersion modelling of Lisbon air quality at local scale", *Atmospheric Environment*, Vol 37, 5197-5205, 2003.
26. J. H. Amorim, V. Rodrigues, R. Tavares, J. Valente, C. Borrego, "CFD modelling of the aerodynamic effect of trees on urban air pollution dispersion", *Science of the Total Environment*, Vol 461-462, 541-551, 2013.
27. C. Silveira, P. Roebeling, M. Lopes, J. Ferreira, S. Costa, J.P. Teixeira, C. Borrego and A.I. Miranda, "Assessment of health benefits related to air quality improvement strategies in urban areas: an impact Pathway Approach", *Journal of Environmental Management* 183: 694-702. 2016.
28. A. I. Miranda, J. Ferreira, C. Silveira, H. Relvas, L. Duque, P. Roebeling, M. Lopes, S. Costa, A. Monteiro, C. Gama, E. Sá, C. Borrego, J. P. Teixeira, "A cost-efficiency and health benefit approach to improve urban air quality", *Science of the Total Environment*, Vol.569-570, 342-351, 2016.
29. World Health Organization, Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project, "Recommendations for concentration – response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide", WHO Regional Office Europe, Copenhagen, Dinamarca, 2013.
30. Quartieri, J., G. Iannone, and C. Guarnaccia. (2010). *On the improvement of statistical traffic noise prediction tools*. 11<sup>th</sup> WSEAS Int. Conf. on Acoustics & Music: Theory & Applications, Iasi, Romania, 13-15 junho, pp. 201-207.
31. Guarnaccia C. (2013). *Advanced tools for traffic noise modelling and prediction*. WSEAS Transactions on Systems, Volume 12, pp. 121-130.
32. Fernandes, P., Teixeira, J., Guarnaccia, C., Bandeira, J., Macedo, E., Coelho, M. (2018). *The potential of metering roundabouts: influence in transportation Externalities*, 97<sup>a</sup> Conferência Anual do Transportation Research Board, Washington, DC.
33. GreenTool disponível em: <https://groentool.antwerpen.be/>