

MODELOS EXPLICATIVOS DA GRAVIDADE DOS ATROPELAMENTOS EM LISBOA

Sandra Vieira Gomes (autor correspondente)¹, Carlos Roque², João Lourenço Cardoso²

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Transportes. Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança, Av. do Brasil 10, 1700-066 Lisboa, Portugal. email: sandravieira@lnec.pt, <http://www.lnec.pt>

² Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Transportes. Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

Sumário

A segurança dos peões pode ser melhorada através do conhecimento dos fatores influentes na ocorrência de acidentes e vítimas. Neste domínio é comum a consideração de variáveis relacionadas com o ambiente rodoviário para explicar o fenómeno e a gravidade das suas consequências.

Nesta comunicação apresenta-se um estudo que visou aumentar o conhecimento nesta matéria, através da análise da influência de vários fatores nos níveis de gravidade das lesões por atropelamento, como sejam características selecionadas da infraestrutura, usos do solo, população e outros fatores de exposição. Foi utilizada para este fim uma base de dados georreferenciada de acidentes rodoviários e vítimas ocorridos em Lisboa entre 2008 e 2011.

Palavras-chave: Segurança pedonal / gravidade das lesões / ambiente construído / Modelo de regressão multinomial logística / SIG

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de acidentes em ambiente urbano representa uma questão de segurança importante para todos os países do mundo, já que a presença de utentes vulneráveis tende a aumentar a gravidade das lesões sofridas em acidentes. Segundo a base de dados CARE (a base de dados europeia sobre acidentes rodoviários com vítimas), em 2015, a percentagem de peões mortos atingiu 69% nas áreas urbanas e 31% nas zonas interurbanas [1].

Em Portugal, as mortes de peões representaram em 2015 cerca de 24% de todas as mortes nas estradas, o que é superior à média europeia (21%). No entanto, quando se analisam em pormenor as lesões de peões de acordo com o seu local de ocorrência, constata-se que 76% ocorreram em áreas urbanas, o que reflete a magnitude do problema português da sinistralidade urbana [2].

A segurança dos peões pode ser melhorada através do conhecimento dos fatores subjacentes à ocorrência de acidentes e à produção das lesões resultantes. A consideração de variáveis relacionadas com o ambiente construído na explicação de acidentes e lesões resultantes é frequente e necessária para saber que aspetos carecem de melhoria. Diversos estudos examinaram a relação entre fatores do ambiente construído e a frequência ou o risco de atropelamentos.

Peng e Zhou [3] exploraram a relação entre a frequência de atropelamentos e vários fatores relacionados com o ambiente construído, como a rede rodoviária e os usos do solo, utilizando modelos bayesianos hierárquicos autorregressivos condicionais intrínsecos. Miranda-Moreno *et al.* [4] analisaram a influência do ambiente construído (tipos de uso do solo, conectividade de rede rodoviária, oferta de transporte público e características demográficas) em interseções sinalizadas na atividade pedonal e na ocorrência de atropelamentos, usando uma estrutura de modelação de duas equações. Pulugurtha e Sambhara [5] estudaram uma relação não linear entre atropelamentos em interseções e variáveis como características demográficas (população e unidades habitacionais), características socioeconómicas (rendimento médio e nível de emprego), características do uso do solo, características da rede viária (por exemplo, número de vias, limite de velocidade, presença de separador central, volume pedonal) e a acessibilidade aos sistemas de transporte público. Este estudo foi realizado utilizando um modelo linear generalizado de estimativa de frequências de atropelamentos.

O trabalho realizado no âmbito da análise de lesões em peões ocorridas nas estradas portuguesas é bastante limitado e centrado principalmente na reconstituição computacional de acidentes. Francisco *et al.* [6] utilizaram técnicas computacionais de reconstituição de acidentes com modelos biomecânicos para avaliar algumas condições de ocorrência de acidentes que originaram as lesões, como a velocidade e a localização do impacto. O modelo estatístico revelou vários indicadores que influenciaram significativamente a gravidade das lesões nos peões, como a idade e o

sexo do peão, a forma ou tipo de veículo ou o sexo do condutor. Teixeira [7] realizou uma análise de 100 atropelamentos ocorridos entre 2009 e 2011 em Portugal, com o objetivo de identificar fatores que possam influenciar certos tipos de lesões e o seu nível de gravidade por grupo etário. Foi utilizada uma análise da dinâmica dos acidentes e das lesões resultantes. Foram identificados alguns fatores de risco, como idade e sexo do condutor, localização dos atropelamentos, condições de iluminação e idade e sexo dos peões.

A análise da segurança pedonal em Portugal também foi realizada por Vieira Gomes [8] mas incidindo apenas na frequência de atropelamentos e não na gravidade dos ferimentos. Foram desenvolvidos vários modelos para estimar a frequência de acidentes em redes urbanas, utilizando a abordagem dos modelos lineares generalizados com distribuições Poisson-gamma. Especificamente no que se refere a atropelamentos, foram consideradas as seguintes desagregações: de acordo com o elemento rodoviário - nas intersecções (três ramos, quatro ramos e rotundas) e nos segmentos; e de acordo com a inclusão de variáveis explicativas relacionadas com o ambiente rodoviário - simplificado (apenas com as variáveis de exposição) e global (com todas as possíveis variáveis explicativas).

Foram identificadas diversas características do ambiente rodoviário influentes na ocorrência de atropelamentos:

- Nas intersecções de 3 ou 4 ramos, com aumento na frequência de acidentes: equilíbrio do número de vias de entrada, presença de 3 ou mais vias de entrada na direção principal, largura média de via na direção secundária, presença de vias exclusivas de viragem à direita na direção secundária; e com diminuição na frequência de acidentes: número de ramos só de um sentido;
- Nas rotundas, com aumento na frequência de acidentes: número de ramos da intersecção;
- Nos segmentos, com aumento na frequência de acidentes: existência de quatro ou mais vias em ambas as direções.

Os modelos de regressão Binomial Negativa e Poisson podem ser considerados os métodos estatísticos mais comuns nas estimativas da frequência de acidentes [9]. No entanto, os fatores que influenciam essa frequência podem diferir daqueles que afetam a gravidade dos mesmos, como verificaram Savolainen et al. [10].

Quando se pretende efetuar uma análise da gravidade de acidentes, podem ser aplicados vários modelos [10,11], frequentemente agrupados em modelos ordenados e não ordenados.

Sob condições apropriadas, os modelos ordenados são mais adequados para analisar variáveis discretas que têm natureza ordinal, enquanto os modelos não ordenados são aplicáveis a variáveis discretas. Alguns exemplos de modelos ordenados: Logit ordenados, Logit ordenado generalizado e probit ordenado [12]. Dentre os modelos não ordenados, podem encontrar-se vários tipos, como modelos Multinomial Logit (regressão multinomial logística), nested logit, probit e mixed logit, entre outros.

2 METODOLOGIA

A análise da gravidade das lesões por atropelamento apresentada nesta comunicação foi efetuada com recurso aos modelos de regressão multinomial logística (MNL). Estes modelos são não ordenados de resultados discretos que não consideram explicitamente a ordenação que pode estar presente nesses resultados, o que, no caso de haver variabilidade na taxa de registo dos acidentes em função da sua gravidade, pode constituir uma vantagem. Nestes modelos considera-se que os termos não observados são independentes do nível de gravidade da lesão. Se alguns níveis de gravidade da lesão partilham termos não observados (sendo assim correlacionados), os coeficientes e as probabilidades de gravidade serão estimados de forma enviesada [13].

Além de não contabilizar a ordem da variável de resposta da gravidade da lesão, o modelo de regressão multinomial logística é particularmente sensível à correlação dos efeitos não observados entre os vários níveis de gravidade. Se ocorrer, tal correlação causa uma violação da propriedade de independência de alternativas irrelevantes (IIA) do modelo [14]. Por fim, importa realçar que muitos acidentes ocorridos não são registados em bases de dados. Este fenómeno gera uma distorção na amostra face à distribuição real por nível de gravidade, que pode introduzir enviesamentos na calibração dos parâmetros dos modelos e, em consequência, produzir inferências erradas. Considerando que cumprem a propriedade de IIA, os modelos de regressão multinomial logística têm a vantagem adicional de, mesmo nestes casos, estimarem corretamente os parâmetros, com exceção da constante específica de cada nível de gravidade [15].

A estrutura geral usada para modelar a gravidade das lesões envolve a definição de uma função linear S que determina o resultado da lesão i para a observação n [10,14]:

$$S_{in} = \beta_i \times X_{in} + \varepsilon_{in} \quad (1)$$

Onde β_i é um vetor dos coeficientes a serem estimados, X_{in} é um vetor de variáveis explicativas que influenciam a gravidade da lesão na observação n , e ε_{in} é um termo de erro associado a efeitos não observados. Assim, a probabilidade (P_{in}) de um condutor (ou o ocupante com os ferimentos de maior gravidade) i estar associado a um nível específico de gravidade de lesão n é expressa da seguinte forma:

$$P_{in} = \frac{e^{\beta_n \times X_{in}}}{\sum_n e^{\beta_n \times X_{in}}} \quad (1)$$

3 DESCRIÇÃO DOS DADOS

Todos os dados recolhidos para efeitos deste estudo estão geograficamente localizados no concelho de Lisboa. Foram utilizados quatro tipos de dados: dados sobre acidentes, sobre usos do solo, sobre os *census* e sobre a exposição pedonal.

3.1 Dados sobre acidentes

Os dados sobre atropelamentos usados na modelação correspondem a ocorrências no período de 2008 a 2011 (ver Figura 1). Esses dados encontram-se na base de dados georreferenciados desenvolvida pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil [8, 16] e foram organizados da seguinte forma:

- Atributos ambientais: condições de iluminação, condições atmosféricas, estação do ano, hora de ponta, dia da semana.
- Atributos da infraestrutura: separador central, tipo de via, condição da superfície do pavimento, qualidade do pavimento, número de sentidos, alinhamento vertical e horizontal, localização.
- Informação sobre o acidente: tipo de acidente, ações do peão, ações do condutor, nível de gravidade do condutor, características do peão, características do condutor.

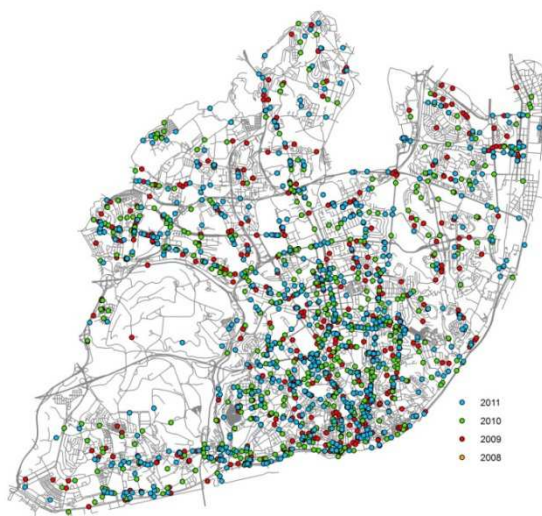


Figura 1 - Atropelamentos ocorridos em Lisboa entre 2008 e 2011

No Quadro 1 apresentam-se estatísticas selecionadas sobre a gravidade dos atropelamentos ocorridos em Lisboa, entre 2008 e 2011. Os resultados mais graves (morte e ferimentos graves) representam 8.3% de todos os atropelamentos.

Quadro 1. Estatísticas descritivas da gravidade das lesões por atropelamento

Variável de resposta	Morte	Ferimentos graves	Ferimentos leves	Total
Número de ocorrências	14	152	1836	2002
Percentagem	0.7%	7.6%	91.7%	100.0%

3.2 Informações sobre usos do solo

A informação sobre os usos do solo foi proveniente da Câmara Municipal de Lisboa e foi utilizada com a seguinte desagregação: áreas industriais, áreas verdes, áreas habitacionais, áreas históricas, áreas de serviços, áreas de usos especiais, áreas de uso misto, caminhos-de-ferro, arruamentos e edifícios (ver Figura 2).

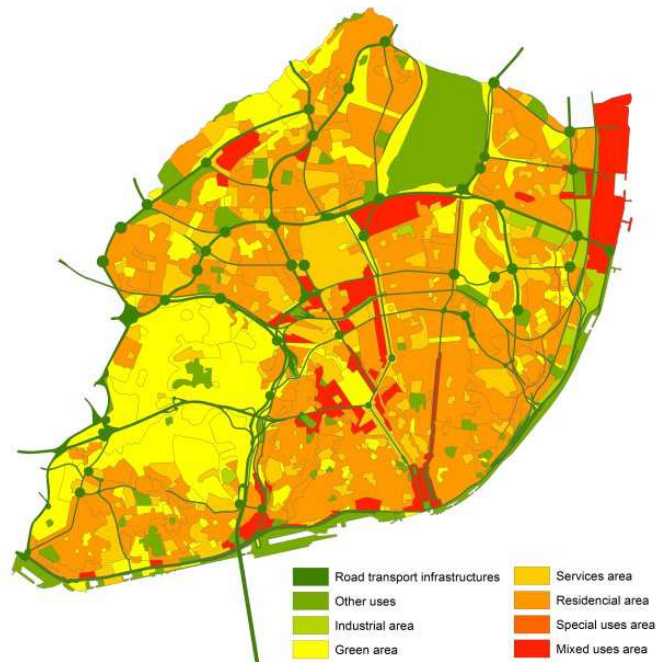


Figura 2 - Informações sobre uso do solo

3.3 Informação proveniente dos *Census*

A informação sobre os *Census* foi obtida no *site* do Instituto Nacional de Estatística (INE). Foram considerados os seguintes dados para a modelação: número de unidades habitacionais, número de famílias e número de habitantes por género, grupo etário e atividade principal (ver Figura 3).

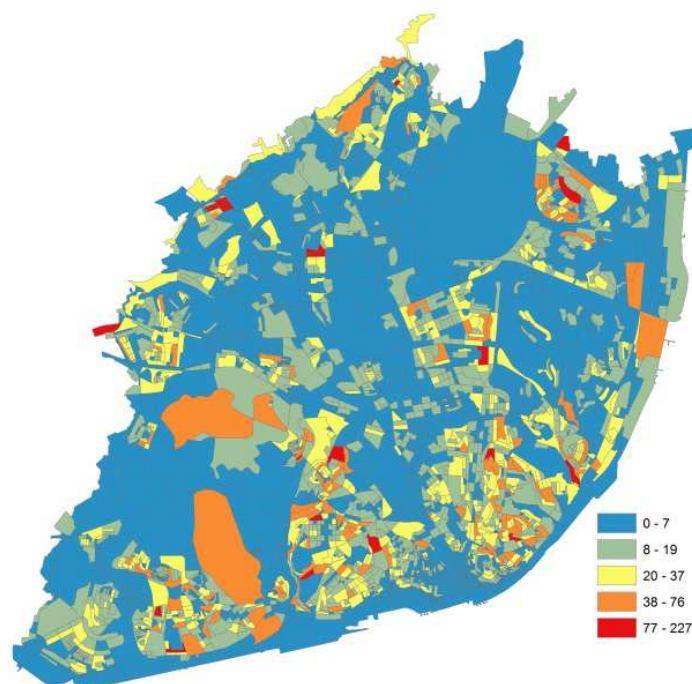


Figura 3 - Número de unidades habitacionais por setor censitário

3.4 Dados de exposição pedonal

No âmbito do Plano de Acessibilidade Pedonal de Lisboa, foi desenvolvido um mapa representando uma variável suscetível de ser usada para representar a quantidade de percursos de peões no tráfego, designada como potencial pedonal (MAPPe). A função do MAPPe não é indicar o volume de tráfego de peões da forma tradicional ou seja, quantas pessoas viajam numa rua por dia ou por hora, porque somente um sistema de contagens permanentes poderia fazê-lo, mas tão só apresentar as seções da rede rodoviária onde são mais prováveis as concentrações de fluxos peões (ver Figura 4).

O cálculo do MAPPe foi efetuado com base em três tipos de variáveis: a densidade populacional residente (que representa a dinâmica dos fluxos de peões nos percursos de casa-trabalho ou noutras atividades); a rede rodoviária, como infraestrutura de apoio à mobilidade pedonal (considerando também a rede ciclável, já que esta promove o uso do espaço por peões); e os principais atratores ou geradores do tráfego pedonal na cidade de Lisboa (como sejam centros comerciais ou interfaces de transporte) [17].

Dentro do escopo deste estudo, a escala gráfica original foi convertida numa escala numérica que variou de 0 a 100 de acordo com a intensidade. Para cada local de acidente, o valor correspondente do potencial pedonal foi identificado e incluído no conjunto de dados a modelar, como potencial variável explicativa.

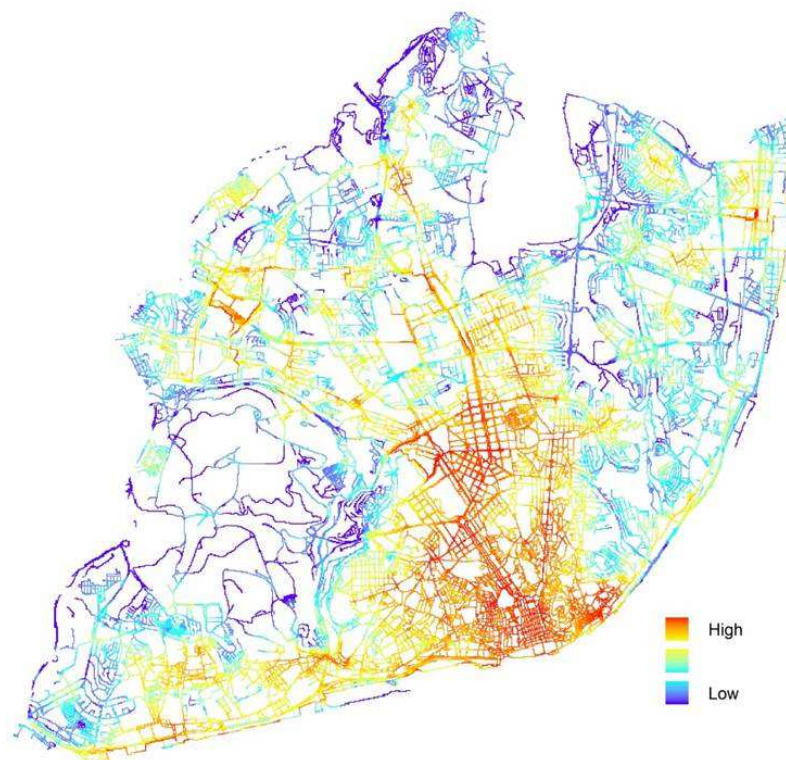


Figura 4 - Mapa do potencial pedonal (MAPPe), para Lisboa [16]

4 5. RESULTADOS

Nesta seção são descritos os resultados da modelação no que se refere à identificação das variáveis que afetam significativamente a gravidade das lesões causadas por atropelamentos, usando os modelos de regressão multinomial logística. A Figura 5 apresenta a estrutura considerada.

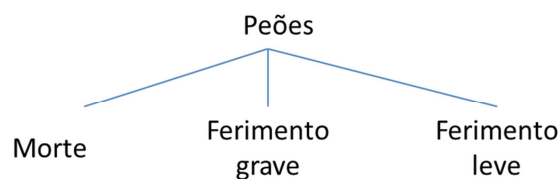


Figura 5 - Estrutura do modelo MNL de gravidade de lesões em peões

4.1 Variáveis significativas

Nesta análise, a seleção das variáveis foi feita para uma significância estatística de 5% (ou seja, níveis de confiança acima de 95%). Foram identificadas variáveis significativas de cinco categorias de variáveis: atributos sazonais, atributos da Infraestrutura, informação sobre o acidente, informação sobre o peão e informação sobre o condutor, como apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Estatísticas descritivas das variáveis categóricas

Categoria da variável	Variável	Descrição das variáveis categóricas	% Sim	% Não
Atributos sazonais	Anoitecer	Anoitecer	2.7	97.3
	Noite	Noite fora da hora de ponta (22.00 até 6.00)	4.7	95.3
Atributos da infraestrutura (espaço urbano)	Escritórios	Zonas de escritórios	7.8	92.2
	Em passagem para peões	Atravessamento em passagem para peões	6.3	93.7
	Rua	Arruamento urbano	98.3	1.7
	2 sentidos	Via de dois sentidos de circulação	74.5	25.5
Informação sobre o acidente	Multimodal	Nó multimodal	19.1	80.9
	Manobra brusca	Guinada brusca	0.5	99.5
	Marcha normal	Condução normal	63.2	36.8
	Travagem brusca	Travagem brusca	0.3	99.7
Informação sobre o peão	Viragem à esquerda	Mudança de direção para a esquerda	0.8	99.2
	Peão do sexo feminino	Sexo do peão (mulher=1)	53.4	46.6
Informação sobre o condutor	Condutor ferido	Ferimentos graves no condutor	0.1	99.9
	Condutor do sexo feminino	Sexo do condutor (mulher=1)	19.9	80.1

* Horário variável, mas aproximadamente correspondente ao período de uma hora após o pôr-do-sol, até à noite escura.

No que diz respeito às variáveis contínuas, foram selecionadas as relacionadas com a infraestrutura – número de unidades habitacionais e o potencial pedonal – e a idade dos peões (ver também Quadro 3).

Quadro 3 - Estatísticas descritivas das variáveis contínuas

Categoria da variável	Variável	Descrição	Média	Desvio Padrão	Min	Max
Atributos da Infraestrutura	Habitacões	Número de unidades habitacionais	106.763	119.310	0	815
	Potencial pedonal	Potencial pedonal	18.524	12.764	0	97
Informação sobre o peão	Idade	Idade do peão (anos)	47.880	24.544	0	111

4.2 Modelos e interpretação

Foram ao todo calibradas 19 variáveis, cujos coeficientes estimados são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Coeficientes estimados pelo modelo

Nível de gravidade	Variável	Coeficiente	t-test	p-value
Morte	Constante	-3.560	-3.45	<0.001
	Condutor ferido	5.190	3.53	<0.001
	Manobra abrupta	3.050	2.64	0.01
	Escritórios	2.190	3.37	<0.001
	Potencial Pedonal	-0.044	-1.75	0.08
Ferimento grave	Constante	-2.760	-2.77	0.01

	Passagem para peões	0.437	1.52	0.13
	Idade	0.018	4.56	<0.001
	Marcha normal	0.822	3.55	<0.001
	Condutor do sexo feminino	-0.621	-2.32	0.02
	Travagem brusca	2.300	2.3	0.02
Ferimento leve	Constante	0.002	2.11	0.03
	Habitações	1.510	1.57	0.12
	Rua	-1.230	-3.26	<0.001
	Anoitecer	-0.705	-2.87	<0.001
	2 sentidos	-0.591	-3.07	<0.001
	Multimodal	1.420	1.91	0.06
	Viragem à esquerda	-0.919	-3.69	<0.001
	Noite	0.738	4.17	<0.001
	Peão do sexo feminino	0.002	2.11	0.03
Número de observações		2002		
Log Likelihood at zero		-2199.422		
Log Likelihood at convergence		-542.052		
<i>Graus de liberdade (dof)</i>		20		
<i>Adjusted-ρ²</i>		0.745		
<i>Bayesian Information Criteria (BIC)</i>		932.065		

No que diz respeito à interpretação do modelo, é sabido que os coeficientes estimados não são suficientes para avaliar a forma como alterações nas variáveis explicativas afetam as probabilidades dos resultados. Tal fica a dever-se ao facto de o efeito marginal de uma variável depender de todos os coeficientes do modelo, pelo que o seu efeito real não pode ser determinado diretamente a partir do valor ou sinal de qualquer coeficiente isoladamente [18].

Para avaliar o vetor de coeficientes estimados (β_j), são calculadas elasticidades, que medem a magnitude do impacto das variáveis específicas sobre as probabilidades dos diferentes níveis de gravidade. A elasticidade da estimativa dos parâmetros para variáveis contínuas é calculada para cada condutor i como [14]:

$$E_{x_{ik}}^{P_{ij}} = [1 - P_{ij}] \beta_j X_{kj}, \quad (4)$$

onde P_{ij} corresponde à probabilidade do nível de gravidade j e X_{kj} é o valor da variável k para o nível de gravidade específico j .

Contudo, as elasticidades não são aplicáveis a variáveis *dummy*. Nestes casos, a pseudo-elasticidade, $E_{x_{ik}}^{P_{ij}}$, da variável de ordem k do vetor X_i , designada X_{ik} , relativamente à probabilidade, P_{ij} , de uma pessoa (i) sofrer o nível de gravidade j pode ser calculada pela seguinte equação [19]:

$$E_{x_{ik}}^{P_{ij}} = \left[e^{\beta_{jk}} \frac{\sum_{j=1}^J e^{\beta_j' X_i}}{\sum_{j=1}^J e^{\Delta(\beta_j' X_i)}} - 1 \right] \times 100, \quad (5)$$

onde J corresponde ao número de níveis de gravidade possíveis, $\Delta(\beta_j' X_i)$ é o valor da função que determina o nível de gravidade, T_{ij} , após X_{ik} ter sido alterado de zero para um; enquanto $\beta_j' X_i$ corresponde ao valor quando $X_{ik} = 0$; X_i é um vetor de k variáveis explicativas partilhadas por todos os níveis de gravidade; β_j é um vetor dos coeficientes estimados das k variáveis para o nível de gravidade j ; e β_{jk} é o coeficiente de X_{ik} no nível de gravidade j .

Com o objetivo de avaliar corretamente o vetor dos coeficientes estimados dos parâmetros (β_j), são apresentadas no Quadro 5 as elasticidades específicas dos parâmetros (para variáveis contínuas) e as pseudo-elasticidades (no caso das variáveis categóricas). Estas permitem medir o impacto dos parâmetros individuais sobre a probabilidade dos quatro níveis de gravidade da lesão possíveis. Ao analisar os efeitos das variáveis contínuas, a variação percentual dos níveis de gravidade resultantes do atropelamento é comparada com uma variação de 10% da variável de estímulo (neste caso, os fatores a analisar). No caso de variáveis categóricas, uma vez que a variação dos fatores (isto é, das variáveis *dummy*) é necessariamente de 0 (condição base) para 1, a variação percentual dos resultados nos níveis de gravidade das lesões refere-se a uma variação de 100% nos regressores.

Quadro 5 – Elasticidades e pseudo-elasticidades das variáveis significativas, por nível de gravidade

Variável	Morte	Ferimento grave	Ferimento leve
Condutor ferido	160.61		
Manobra abrupta	19.66		
Escritórios	-0.35		
Potencial pedonal	160.61		
Passagem para peões		0.51	
Idade		0.01	
Marcha normal		1.19	
Condutor do sexo feminino		-0.45	
Travagem brusca		9.59	
Habitações			0.002
Rua			0.91
Anoitecer			0.01
2 sentidos			-0.14
Multimodal			-0.28
Viragem à esquerda			0.29
Noite			-0.25
Peão do sexo feminino			0.22

Do Quadro 5 destacam-se alguns resultados.

Relativamente à probabilidade de ocorrência de ferimentos leves, o modelo mostra que a um aumento de 10% do número de unidades habitacionais corresponde um aumento modesto (0.2%) na probabilidade de lesões menores em peões.

Adicionalmente, constatou-se que quando os acidentes ocorrem em arruamentos de dois sentidos, é 14% menos provável de haver ferimentos leves nos peões do que nos outros arruamentos. Apurou-se ainda o seguinte: as lesões menores em peões são 25% menos prováveis em acidentes ocorridos em período noturno, quando comparados com os outros períodos do dia; os ferimentos leves em peões são 28% menos prováveis em acidentes próximo de interfaces multimodais; e que um peão do sexo feminino tem mais 22% de probabilidades de ter ferimentos leves do que um peão do sexo masculino.

Em segundo lugar, no que se refere aos ferimentos graves, o modelo mostra que nos atropelamentos em passagem para peões a probabilidade de lesões graves é 51% maior do que noutros locais das ruas. Mostra também que, quando atropelados por um veículo: os peões mais velhos têm mais 0.1% de risco de ferimentos graves; e as mulheres condutoras estão associadas a menos 45% de probabilidade de lesão grave do peão do que os condutores do sexo masculino.

Finalmente, para o caso mais grave, nas variáveis que mais influenciam a probabilidade de morte destacam-se os ferimentos do condutor, com uma probabilidade de morte para os peões 160 vezes maior do que nos acidentes sem este tipo de ferimentos; as manobras abruptas, com um risco de morte do peão 1966% superior ao dos acidentes sem manobras bruscas. Constatou-se também que as zonas de escritórios têm uma probabilidade de morte do peão de 785% do valor da probabilidade de morte noutras áreas da cidade de Lisboa.

No sentido de explorar com maior profundidade os resultados do processo de modelação, é possível analisar a localização espacial dos atropelamentos onde é mais provável que tenham maiores danos. Tal é particularmente útil quando o objetivo final é usar os resultados do modelo como base para a elaboração de políticas de segurança rodoviária ou a aplicação de intervenções de segurança rodoviária na infraestrutura. A Figura 6 apresenta um exemplo da localização de atropelamentos, destacando-se os que estão dentro das áreas de escritórios, os quais, de acordo com o resultado do modelo, a probabilidade de morte é 6.4 vezes a das restantes zonas da cidade.

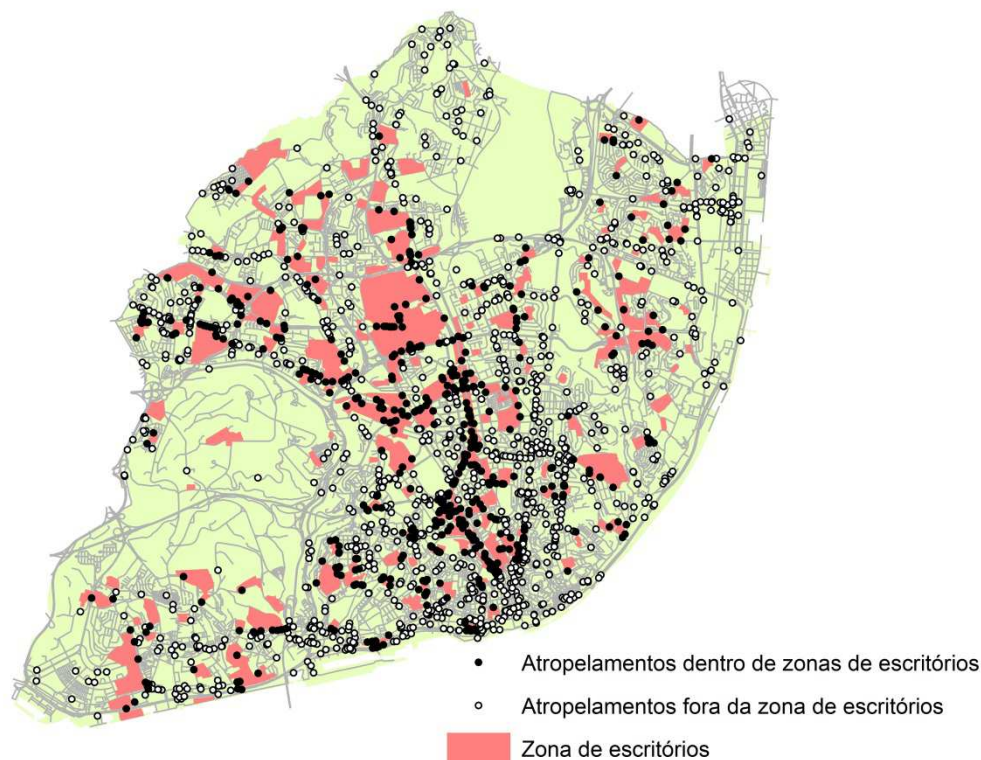


Figura 6 - Atropelamentos com maior probabilidade de morte em zonas de escritórios

5 CONCLUSÃO

O estudo descrito na presente comunicação demonstra a importância dos modelos de regressão logística para o conhecimento dos fatores influentes na ocorrência de acidentes e vítimas que podem ser utilizados como base para a formulação de políticas e para a implementação de medidas corretivas no sentido de mitigar a gravidade das lesões associadas aos atropelamentos.

Para realizar a análise, foram recolhidos dados relativos a atropelamentos ocorridos entre 2008 e 2011 na cidade de Lisboa. O modelo de regressão multinomial logística aqui apresentado tem como variável de resposta a gravidade das lesões do peão. Foram ainda calculadas as elasticidades para completar a análise.

Os resultados empíricos do modelo desenvolvido permitem identificar as zonas com maior probabilidade de acidentes graves, das quais se salientam as zonas residenciais, que estão associadas com a um modesto aumento da probabilidade de lesões apenas leves nos peões e, por contraste, as zonas de escritórios, que estão associadas a uma importante probabilidade de morte nos peões.

6 AGRADECIMENTOS

Carlos Roque agradece o apoio financeiro fornecido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através da Bolsa de Pós-doutoramento com a referência SFRH/BPD/118499/2016.

7 REFERÊNCIAS

- 1 ERSO (2017) - Annual Accident Report 2017. European Road Safety Observatory. (https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2017.pdf)
- 2 ANSR, 2015 - Relatório Anual de Sinistralidade de 2015 – Vítimas a 30 dias.
- 3 Peng, C.; Zhou, J. (2016) - Effects of the built environment on automobile-involved pedestrian crash frequency and risk. *Journal of Transport & Health*, no. 3, pp. 448–456.

- 4 Miranda-Moreno, L.; Morency, P., El-Geneidy, A. M. (2011) - The link between built environment, pedestrian activity and pedestrian-vehicle collision occurrence at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, no. 43, pp. 1624–1634
- 5 Pulugurtha, S.; Sambhara, V. R. (2011) - Pedestrian crash estimation models for signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, no. 43, pp. 439–446.
- 6 Francisco, P.; Ferreira, A.; Portal, R.; Dias, J. (2015) - A methodology to evaluate injury risk and accident conditions from injuries in vehicle-to-pedestrian accidents. 6th International Conference on ESAR - Expert Symposium on Accident Research, 20th/21th June 2014, Hannover.
- 7 Teixeira P. (2012) - Risk factors for pedestrian injuries in Portugal. Master of Science Thesis. Lisbon, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa
- 8 Vieira Gomes, S. (2013) - The influence of the infrastructure characteristics in urban road accidents occurrence. *Accident Analysis & Prevention*, Volume 60, Pag. 289 297.
- 9 Lord, D.; Washington, S.; Ivan, J. (2005) - Poisson, Poisson-gamma and zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: balancing statistical fit and theory. *Accident Analysis and Prevention* no. 37, pp. 35–46.
- 10 Savolainen, P. ; Mannering, F. ; Lord, D. ; Quddus, M. (2011) - The statistical analysis of highway crash-injury severities: a review and assessment of methodological alternatives. *Accid. Anal. Prev.* 43 (5), 1666–1676.
- 11 Mannering, F.L., Bhat, C.R., 2014. Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. *Analytic Methods in Accident Research* 1, 1–22.
- 12 Eluru, N. (2013) - Evaluating alternate discrete choice frameworks for modeling ordinal discrete variables. *Accident Analysis & Prevention*, 55, 1–11.
- 13 Shankar, V.N., Mannering, F.L., Barfield, W., 1996. Statistical analysis of accident severity on rural freeways. *Accident Analysis and Prevention* 28, 391–401.
- 14 Washington, S., Karlaftis, M., Mannering, F.L., 2011. *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. Second Edition. Chapman and Hall/CRC. ISBN: 978-1-4200-8285-2.0.
- 15 C. Roque, F. Moura, J.L. Cardoso, Investigating the relationship between run-off-the-road crash frequency and traffic flow through different functional forms, *Accid. Anal. Prev.* 80, Pages 262-273, 2015.
- 16 Vieira Gomes, S., Geedipally, S. R., Lord, D. (2012) - Estimating the safety performance of urban intersections in Lisbon, Portugal. *Safety Science*, Vol. 50, No. 9, pp. 1732-1739.
- 17 Morais, P. (2013). Os SIG no processo de criação de instrumentos de apoio à decisão - O Mapa de Potencial Pedonal de Lisboa. M.Sc. dissertation, Lisbon University.
- 18 Khorashadi, A., Niemerier, D., Shankar, V., Mannering, F.L., 2005. Differences in rural and urban driver-injury severities in accidents involving large-trucks: an exploratory analysis. *Accid. Anal. Prev.* 37 (5), 910–921.
- 19 Ulfarsson, G.F., Mannering, F.L., 2004. Differences in male and female injury severities in sport-utility vehicle, minivan, pickup and passenger car accidents. *Accident Analysis and Prevention* 36 (2), 135–147.