

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA INFRAESTRUTURA NA SEGURANÇA RODOVIÁRIA EM MEIO URBANO

Sandra Vieira Gomes¹

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Transportes, Av. Brasil, 101, 1700-066, Lisboa, Portugal

email: sandravieira@lnec.pt

<http://www.lnec.pt>

Sumário

Neste artigo são apresentadas ferramentas destinadas ao planeamento e gestão das redes viárias que consideram explicitamente a segurança dos utentes vulneráveis. Essas ferramentas referem-se à criação de uma base de dados georreferenciada dos acidentes rodoviários ocorridos em Lisboa entre 2004 e 2007, que permitiu a definição de mapas digitais, com possibilidade de uma grande diversidade de consultas; e ao desenvolvimento de modelos de estimativa de frequência de acidentes para redes urbanas, em função de características do elemento rodoviário, que incorporam dados de exposição de utentes vulneráveis de forma a melhorar a capacidade de estimativa da sinistralidade em redes urbanas.

Palavras-chave: SIG; modelos de estimativa de frequência de acidentes; acidentes rodoviários; intersecções urbanas; segmentos urbanos.

1 INTRODUÇÃO

Segundo as estatísticas oficiais, uma grande percentagem de acidentes são registados em áreas urbanas portuguesas. De 2004 a 2010, cerca de 70% dos acidentes com vítimas e 45% das mortes ocorreram dentro das localidades [1]. Tendo em vista a mitigação da ocorrência de acidentes rodoviários, revela-se de extrema importância a integração de aspectos de segurança no processo de planeamento e gestão da rede viária urbana. A evolução futura dos volumes de tráfego bem como dos valores de outras variáveis, que derivam do desenvolvimento de novas infra-estruturas, é poucas vezes analisada com o objectivo de avaliar as respectivas consequências sobre os níveis de segurança (por exemplo sobre o número de acidentes corporais que envolvem peões); o mesmo acontece com a avaliação integrada dos impactes das políticas de segurança sobre outros aspectos do funcionamento do sistema de transportes, a qual raramente é efectuada uma vez que são ainda escassos os instrumentos para a realizar. A avaliação integrada de impactes na segurança constitui actualmente um dos principais desafios para a investigação no domínio.

A presente comunicação destina-se a divulgar o trabalho realizado no âmbito de uma tese de doutoramento realizada no LNEC [2, 3]. Com este trabalho pretendeu contribuir-se para a melhoria da segurança rodoviária em meio urbano, através da criação de ferramentas que podem ser utilizadas em métodos de intervenção em que a segurança dos utentes vulneráveis seja considerada explicitamente nas fases de planeamento e gestão das redes viárias.

A primeira ferramenta correspondeu à criação de uma base de dados georreferenciada dos acidentes rodoviários ocorridos na cidade de Lisboa entre 2004 e 2007, que permitiu a definição de mapas digitais, com possibilidade de uma grande diversidade de consultas e de cruzamentos de informação.

A segunda ferramenta refere-se à elaboração de modelos de estimativa de frequência de acidentes (MEFA) para redes urbanas, segundo diversas desagregações: segundo o elemento rodoviário: em intersecções (intersecção de três ramos, intersecção de quatro ramos e rotundas) e em segmentos; segundo o tipo de acidente: atropelamentos e restantes acidentes com vítimas; e segundo a inclusão de variáveis explicativas relacionadas com o ambiente rodoviário: simplificado (apenas com as variáveis de exposição) e global (com todas as potenciais variáveis explicativas). Foi considerada a incorporação de dados de exposição relativos aos utentes vulneráveis por forma a melhorar a capacidade de estimativa da sinistralidade em redes urbanas.

A comunicação está organizada da seguinte forma: o primeiro capítulo fornece um breve histórico sobre os modelos estatísticos desenvolvidos em Portugal e no resto da Europa, o segundo capítulo descreve a metodologia

utilizada para a construção da base de dados de acidentes em SIG; o terceiro capítulo apresenta as características dos dados utilizados, o quarto capítulo centra-se na estimativa dos MEFA, o quinto capítulo resume os resultados da modelação, e o último capítulo apresenta um resumo do trabalho desenvolvido e das vantagens da utilização destes MEFA em métodos de intervenção no planeamento e na gestão de redes viárias.

2 ESTADO-DA-ARTE EM MODELOS DE ESTIMATIVA DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES

O desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes não é novo na investigação sobre segurança rodoviária. Diversos autores internacionais têm publicado o seu trabalho nesta matéria. Uma vez que os padrões de concepção e operação (por exemplo, o tamanho do veículo, etc) são, obviamente, muito diferentes na Europa e noutros lugares do mundo, especialmente na América do Norte, esta seção centra-se nos modelos de estimativa de frequência de acidentes desenvolvidos aplicados em países europeus.

Mountain e Fawaz [4] desenvolveram MEFA para intersecções urbanas e interurbanas do Reino Unido que incluem como variáveis explicativas algumas das suas características geométricas, nomeadamente: tipo de controlo de tráfego, classe de estrada, número de faixas de rodagem, número de ramos intersectantes e limite de velocidade. Os autores concluíram que apenas o tipo de controlo de tráfego teve um efeito significativo sobre a ocorrência de acidentes, embora os modelos com melhor ajuste tenham sido aqueles em que o fluxo de tráfego foi a única variável explicativa.

Greibe [5] desenvolveu MEFA para segmentos e intersecções urbanas com três ou quatro ramos, com ou sem sinais luminosos, na Dinamarca. Os modelos aplicáveis a segmentos foram capazes de descrever mais de 60% da variação sistemática (percentagem explicada pelo modelo), enquanto os modelos aplicáveis a intersecções apresentaram valores mais baixos. As variáveis significativas utilizadas foram: limite de velocidade, largura da estrada, número de saídas por quilómetro, número de estradas laterais por km, estacionamento e usos do solo.

Turner et al. [6] desenvolveram modelos de estimativa de frequência de acidentes para segmentos de estrada da Nova Zelândia. Foram seleccionados 533 trechos, dos quais 165 de nível II, 149 de nível III e 119 de nível IV (ver Cardoso e Andrade [7]). Os modelos podem ser utilizados para estimar o número de acidentes com vítimas por quilómetro para cada tipo de acidente (mudança de direcção, despiste, em manobras de estacionamento, entre outros) e para todos os tipos de acidentes agrupados. Foi ainda considerada uma desagregação por usos do solo: comercial e residencial.

Turner et al. [8] desenvolveram modelos de estimativa de frequência de atropelamentos em passagens de peões semaforizadas localizadas em intersecções (3 e 4 ramos e rotundas). Foi considerada uma desagregação por tipo de movimento: atravessamento, viragem à esquerda e viragem à direita, utilizando variáveis tradicionais (volume de tráfego motorizado pedonal), e variáveis específicas, associadas a movimentos conflituantes: proporção de peões que atravessam com sinal verde, distância média de atravessamento e número de vias que os veículos que viram à esquerda têm de atravessar.

Os atropelamentos em intersecções foram também modelados por Maher e Summersgill [9] e Garder [10] (especificamente para rotundas). Ambos usaram modelos multiplicativos que incluíram apenas como variáveis explicativas o tráfego de veículos motorizados e o tráfego pedonal.

O desenvolvimento e a aplicação de MEFA em vários tipos de análises de segurança rodoviária em Portugal é muito recente, mas altamente justificável, como discutido por Vieira Gomes e Cardoso [11]. Neste estudo, os MEFA internacionais foram aplicados a algumas intersecções da cidade de Lisboa, para avaliar o seu ajustamento. A comparação entre as frequências de acidentes observadas e as estimadas, evidenciada a inadequação desses modelos para o contexto rodoviário urbano português, uma vez que os valores estimados foram maiores do que os observados.

Para atender a esta necessidade, Vieira Gomes [2] desenvolveu diversos MEFA para redes urbanas, de acordo com diferentes desagregações: segundo o elemento rodoviário: em intersecções (intersecção de três ramos, intersecção de quatro ramos e rotundas) e em segmentos; segundo o tipo de acidente: atropelamentos e restantes acidentes com vítimas; e segundo a inclusão de variáveis explicativas relacionadas com o ambiente rodoviário: simplificado (apenas com as variáveis de exposição) e global (com todas as potenciais variáveis explicativas). O esquema das desagregações consideradas é apresentado na Figura 1.

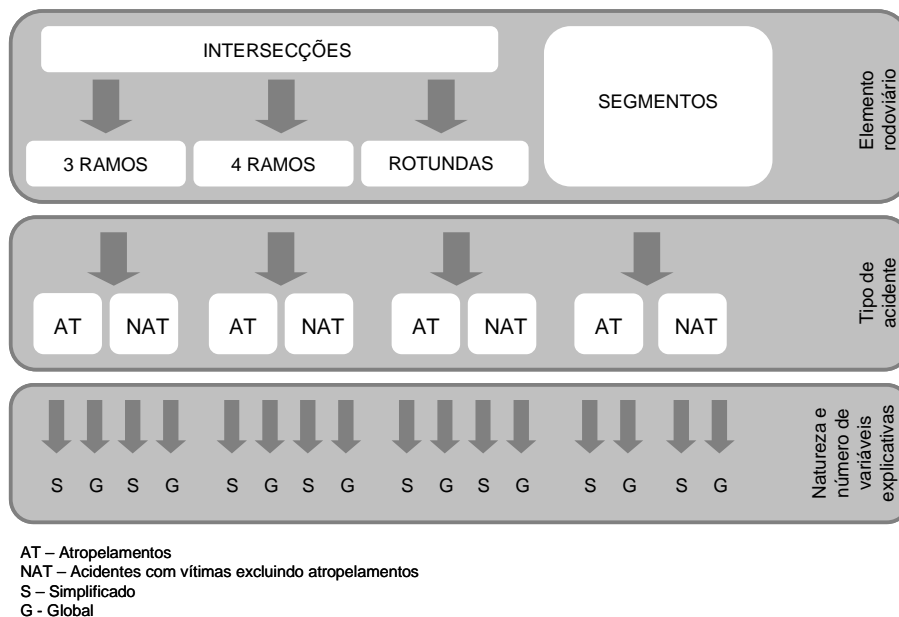


Figura 1 - Esquema das desagregações consideradas nos modelos desenvolvidos

3 BASE DE DADOS DE ACIDENTES GEORREFERENCIADOS

A georreferenciação de acidentes em redes viárias digitais reveste-se de enormes vantagens, quer no que diz respeito à facilidade de visualização da distribuição dos mesmos, quer quanto à extracção de informação relevante segundo critérios de base geográfica. A forma mais directa de o fazer é carregar as coordenadas cartesianas dos locais de ocorrência dos acidentes directamente para um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

No entanto, uma vez que à data de realização deste trabalho, as entidades de fiscalização que efectuam o registo dos acidentes na cidade de Lisboa não possuíam equipamentos que permitissem a recolha destas coordenadas, houve que recorrer a uma solução alternativa.

Quando um acidente é participado às forças policiais é preenchida uma Participação de Acidentes de Viação (PAV), com informação necessária à eventual intervenção do Procurador-Geral da Republica. No caso dos acidentes corporais é também preenchido o BEAV – Boletim Estatístico de Acidentes de Viação, que é enviado à Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, nomeadamente ao Observatório de Segurança Rodoviária, responsável pela organização da base de dados de acidentes rodoviários portugueses.

A identificação do local de ocorrência dos acidentes é conseguida através da consulta dos campos “Designação de via”, “Arruamento” e “Número de polícia”. Estando previsto no BEAV o preenchimento dos campos que permitem a identificação do local de ocorrência dos acidentes, tal não acontece na maioria dos casos quanto ao campo “Número de polícia”. Este facto inviabilizou a georreferenciação de acidentes unicamente através desta base de dados, uma vez que não é possível identificar o local exacto da sua ocorrência.

Para localizar geograficamente os acidentes ocorridos entre 2004 e 2007, foram, assim, consultadas as PAV, elaboradas pela Polícia de Segurança Pública. Este tipo de documento possui um esboço da cena do acidente, bem como uma descrição do mesmo, elementos que permitem, na maioria dos casos, a identificação do local exacto da ocorrência do acidente a que se referem. Uma vez que o suporte desta informação é o papel, a obtenção da informação necessária obrigou à consulta de cada uma das PAV, tendo-se criado uma base de dados auxiliar, com a informação assim obtida. No total foi recolhida informação de 62438 participações.

Com a identificação do local de ocorrência dos acidentes foi então possível proceder à georreferenciação dos acidentes através da identificação do mesmo na rede rodoviária digital em SIG.

4 DESCRIÇÃO DOS DADOS

Foram recolhidos dados de diversas naturezas - acidentes rodoviários, características do ambiente rodoviário e tráfego de veículos e de peões, necessários à concretização de duas tarefas distintas: a criação de uma base de dados de acidentes georreferenciados, ocorridos na cidade de Lisboa, e o desenvolvimento de MEFA para cálculo de frequências esperadas de acidentes.

Os dados sobre tráfego necessários para o desenvolvimento dos modelos de estimativa da frequência de acidentes referem-se a dados de Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) de veículos motorizados e de peões nas intersecções e segmentos considerados para análise. Em ambos os casos as contagens foram efectuadas em dias de semana. Admitiu-se que os valores obtidos representam o TMDA, uma vez que a evolução de TMDA ao longo do tempo é pouco significativa. Foi adoptado o mesmo valor de TMDA para os quatro anos.

Os dados de tráfego pedonal foram obtidos exclusivamente mediante contagens. A onerosidade deste tipo de recolha limitou a quantidade de locais caracterizados com este tipo de dados.

No que diz respeito à recolha de dados de tráfego de veículos motorizados utilizados neste trabalho, foram adoptados dois métodos: contagens (manuais ou automáticas) e estimativas obtidas a partir de um modelo de afectação de tráfego.

A amostra de dados a modelar incluiu 22 intersecções de três ramos no caso dos atropelamentos e 44 nos restantes acidentes com vítimas. No que diz respeito às intersecções de quatro ramos, a amostra de dados incluiu 18 e 50 locais, respectivamente. A dimensão da amostra de dados para os modelos em rotundas foi de 15 locais, igual para os dois tipos de acidentes considerados e, finalmente, a amostra de dados de segmentos de estrada incluiu 25 locais para o caso dos atropelamentos e 121 para os restantes acidentes com vítimas.

A quantificação do número de acidentes ocorridos em cada local foi realizada através da consulta da base de dados de acidentes em SIG, anteriormente referida. A obtenção do número de acidentes ocorridos em intersecções foi efectuada considerando um raio de 40 m a partir do centro das mesmas. Nas Tabelas 1 e 2 é apresentado um conjunto seleccionado de estatísticas dos acidentes ocorridos nos quatro elementos considerados.

Tabela 1 - Estatísticas seleccionadas dos dados sobre atropelamentos

Elemento rodoviário	Ano	Atropelamentos (min - max - total)	Tráfego de veículos motorizados		Tráfego de peões	
			Principal (min - max)	Secundário (min - max)	Principal (min - max)	Secundário (min - max)
Intersecções de 3 ramos	2004	0 - 2 - 8				
	2005	0 - 3 - 8				
	2006	0 - 3 - 8	7831 - 77082	474 - 20956	58 - 7949	49 - 2814
	2007	0 - 2 - 11				
Intersecções de 4 ramos	2004	0 - 3 - 9				
	2005	0 - 7 - 15				
	2006	0 - 3 - 14	5038 - 56066	1691 - 20290	572 - 10258	162 - 5731
	2007	0 - 2 - 10				
Rotundas	2004	0 - 1 - 2				
	2005	0 - 3 - 6				
	2006	0 - 2 - 10	8344 - 80077		138 - 37531	
	2007	0 - 2 - 5				
Segmentos de estrada	2004	0 - 1 - 4				
	2005	0 - 3 - 9				
	2006	0 - 1 - 2	4503 - 33781		92 - 3488	
	2007	0 - 2 - 5				

Tabela 2 - Estatísticas seleccionadas dos dados sobre os restantes acidentes com vítimas

Elemento rodoviário	Ano	Acidentes com vítimas excluindo atropelamentos (min - max - total)	Tráfego de veículos motorizados	
			Principal (min - max)	Secundário (min - max)
Intersecções de 3 ramos	2004	0 - 8 - 47	4963 - 77082	469 - 14166
	2005	0 - 5 - 31		
	2006	0 - 9 - 34		
	2007	0 - 5 - 35		
Intersecções de 4 ramos	2004	0 - 11 - 94	5038 - 56066	299 - 31627
	2005	0 - 13 - 89		
	2006	0 - 13 - 92		
	2007	0 - 7 - 68		
Rotundas	2004	0 - 8 - 22	8344 - 80077	
	2005	0 - 10 - 32		
	2006	0 - 10 - 29		
	2007	0 - 3 - 21		
Segmentos de estrada	2004	0 - 8 - 58	544 - 78504	
	2005	0 - 5 - 64		
	2006	0 - 8 - 66		
	2007	0 - 12 - 84		

As variáveis explicativas (para além do tráfego) incluídas nos modelos globais foram diferentes de acordo com o tipo de acidente e elemento rodoviário. Na Tabela 3 é apresentado um resumo dessas variáveis.

Tabela 3 – Sumário das variáveis usadas nas diversas amostras de dados

Variável	Atropelamentos				Outros acidentes com vítimas			
	Int 3R	Int 4R	R	S	Int 3R	Int 4R	R	S
Comprimento				x				x
Número de vias maior que 4 (0-não; 1-sim)								x
Largura de via								x
Largura média do separador central				x				x
Número de sentidos de circulação (1-um; 2-dois)								x
Comprimento de atravessamento			x	x			x	
Largura de estacionamento				x				
Número separadores centrais / ilhas				x				
Presença de passagem de peões (1-sim; 0-não)				x				
Número de vias do anel maior ou igual a 3			x					x
Número de ramos da intersecção			x					x
Comprimento médio de atravessamento			x					x
Equilíbrio de vias (1-equilibrado; 0-não equilibrado)					x	x		
Número total de vias de entrada na direcção principal maior ou igual a 3 (1-sim; 0-não)					x	x		
Número total de vias de entrada na direcção secundária maior ou igual a 2 (1-sim; 0-não)					x	x		
Largura média das vias na direcção principal (m)					x	x		
Largura média das vias na direcção secundária (m)					x	x		
Presença de separador central num dos ramos da direcção principal (1-sim; 0-não)					x	x		
Presença de separador central nos dois ramos da direcção principal (1-sim; 0-não)					x	x		
Presença de separador central num dos ramos da direcção secundária (1-sim; 0-não)					x	x		
Presença de via exclusiva para viragem à esquerda na direcção principal (1-sim; 0-não)					x	x		

Presença de via exclusiva para viragem à esquerda na direcção secundária (1-sim; 0-não)			x	x
Presença de via exclusiva para viragem à direita na direcção principal (1-sim; 0-não)			x	x
Presença de via exclusiva para viragem à direita na direcção secundária (1-sim; 0-não)			x	x
Dispositivos de controlo de tráfego (1-semáforos; 0-todos os outros)	x	x	x	x
Número de ramos de sentido único			x	x
Comprimento médio de atravessamento na direcção principal	x	x		
Comprimento médio de atravessamento na direcção secundária	x	x		
Número médio de separadores centrais / ilhas na direcção principal	x	x		
Número médio de separadores centrais / ilhas na direcção secundária	x	x		
Número de passagens de peões na direcção principal	x	x		
Número de passagens de peões na direcção secundária	x	x		

5 METODOLOGIA

Nesta secção é apresentada uma breve descrição do modelo generalizado de binomial negativa usado para estimar os modelos de estimativa de frequência de acidentes.

5.1 Modelo generalizado de Binomial Negativa

A distribuição Binomial Negativa (ou NB ou Poisson-gama) tem a seguinte estrutura [12]: o número de acidentes ‘ Y_{it} ’ para um determinado local i^{th} , período de tempo t e média μ_{it} segue uma distribuição de Poisson, sendo independente de todos os restantes locais e períodos de tempo.

$$Y_{it} | \mu_{it} \sim Po(\mu_{it}) \quad i = 1, 2, \dots, I \text{ e } t = 1, 2, \dots, T \quad (\text{Eq. 1})$$

A média de Poisson pode ser expressa por:

$$\mu_{it} = f(X; \beta) \exp(e_{it}) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

$f(\cdot)$ é uma função das covariáveis (X);

β é um vector de coeficientes desconhecidos

e_{it} é o erro do modelo que é independente de todas as covariáveis.

Pelas suas características pode ser demonstrado que Y_{it} , condicionado por μ_{it} e α (habitualmente definido como o “parâmetro de dispersão” do modelo generalizado de Binomial Negativa¹), tem uma distribuição Binomial Negativa com média μ_{it} e variância $\mu_{it} + \alpha\mu_{it}^2$ (ver [13]). A Função Densidade de Probabilidade desta distribuição é dada pela seguinte equação:

$$f(y_{it}; \alpha, \mu_{it}) = \frac{\Gamma(y_{it} + \alpha^{-1})}{\Gamma(\alpha^{-1}) y_{it}!} \left(\frac{\alpha^{-1}}{\mu_{it} + \alpha^{-1}} \right)^{\alpha^{-1}} \left(\frac{\mu_{it}}{\mu_{it} + \alpha^{-1}} \right)^{y_{it}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

y_{it} - variável de resposta para a observação i e período de tempo t ;

μ_{it} - variável de resposta média i e período de tempo t ;

α - parâmetro de dispersão da distribuição Binomial Negativa.

¹ Nalguns casos também definido como o parâmetro de sobre-dispersão.

De salientar que se $\alpha \rightarrow 0$, a variância fica igual à média, convergindo o modelo para um modelo generalizado de Poisson.

5.2 Qualidade do ajuste dos modelos

Foram utilizados diversos métodos para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos desenvolvidos:

- *Critério de Informação de Akaike - Akaike Information Criterion (AIC)*, que mede a qualidade do ajuste de um modelo estatístico [14];
- *Somatório dos desvios do modelo – Sum of model deviance (G^2)*, sendo o modelo com o menor G^2 , aquele com o melhor ajuste. Se G^2 é igual a zero, o modelo tem um ajuste perfeito [15].
- *Desvio médio do modelo - Mean Absolute Deviance (MAD)*, que fornece um valor médio do desvio do modelo. Os valores mais pequenos são preferíveis a valores maiores.
- R^2 ajustado, que é uma medida equivalente ao R^2 na regressão linear pelo método dos mínimos quadrados, que não está disponível para modelos de regressão com distribuições de Poisson ou de Binomial Negativa devido à não-linearidade da média condicional e à heterocedasticidade na regressão [15]. Valores próximos de um estão associados a modelos melhores.
- Índice de Elvik (R^2_E), que permite quantificar a percentagem de variação sistemática explicada pelo modelo. Existe variação sistemática no número de acidentes sempre que a variância excede a média, o que significa que existe sobredispersão. O Índice de Elvik é calculado através de uma comparação do parâmetro de dispersão obtido no conjunto de dados original, com o parâmetro de dispersão obtido após o ajuste do modelo [16 e 17]. Modelos bem ajustados apresentam índices de Elvik mais próximos um.

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados da modelação matemática de acidentes, organizados por tipo de acidente: atropelamentos e outros acidentes com vítimas, elemento rodoviário e número de variáveis explicativas.

6.1 Atropelamentos

No processo de modelação de atropelamentos foram encontrados alguns problemas, nomeadamente a impossibilidade de ajuste de MEFA para segmentos, e a baixa qualidade de ajuste dos modelos obtidos. A pequena dimensão da amostra utilizada pode estar na origem destes problemas, aliado ao facto de que os acidentes rodoviários terem múltiplas causas, e as únicas variáveis explicativas usadas estarem relacionadas com a infra-estrutura. No que diz respeito aos modelos globais, não foi possível incluir as variáveis relacionadas com o ambiente rodoviário, uma vez que estas não foram identificadas como significativas.

As formas funcionais utilizadas nos modelos simplificados para estimar atropelamentos são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Sumário dos modelos simplificados de estimativa de frequência de atropelamentos

Elemento rodoviário	Número de variáveis*	Equação	Medida de ajuste	α^c
Intersecções de 3 ramos	S	$Y_i = 4,6776 \times 10^{-8} \times FT^{1,0785} \times PT^{0,594}$	0,484 ^a	0,00027
	G	<i>Não ajustado</i>	-	-
Intersecções de 4 ramos	S	$Y_i = 6,3831 \times 10^{-10} \times FVP^{1,9624}$	0,559 ^b	0,43300
	G	<i>Não ajustado</i>	-	-
Rotundas	S	$Y_i = 8,0494 \times 10^{-7} \times FVP^{1,2289}$	0,397 ^a	0,000053
	G	<i>Não ajustado</i>	-	-

(*) – S: Modelo simplificado; G: Modelo global

a – R^2 ajustado; b – Índice de Elvik; c – Parâmetro de dispersão

Onde,

- Y_i = Número estimado de acidentes por ano;
 FT = Tráfego rodoviário que entra na intersecção em veículos por dia (TMDA);
 PT = Tráfego pedonal que entra na intersecção em peões por dia (TMDA);
 FVP = FT+PT.

Os coeficientes associados à variável FT foram sempre superiores à unidade e no caso da variável PT, sempre inferiores. Quando a variável FVP foi usada, o seu coeficiente também foi superior à unidade. Esta gama de valores é consistente com os registos de baixo risco de acidente em zonas com elevado tráfego pedonal.

6.2 Acidentes com vítimas excluindo atropelamentos

As formas funcionais utilizadas nos modelos aplicáveis aos restantes acidentes com vítimas são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Sumário dos modelos de estimativa de frequência de acidentes com vítimas excluindo atropelamentos

Elemento rodoviário	Número de variáveis*	Equação	Medida de ajuste	α^c
Intersecções de 3 ramos	S	$Y_i = 4.7078 \times 10^{-6} \times FT^{1.1884}$	0.549 ^b	0.779
	G	$Y_i = 6,1021 \times 10^{-5} \times FT^{0.6346} \times e^{0.7820 \times LB + 1.0614 \times LMAJT7 + 0.4847 \times LWMIN + 0.4616 \times RTPMIN - 0.6775 \times LOW}$	0.790 ^b	0.364
Insterecções de 4 ramos	S	$Y_i = 3.8765 \times 10^{-5} \times FT^{1.167}$	0.641 ^b	0.390
	G	$Y_i = 4,6355 \times 10^{-4} \times FT^{0.5106} \times e^{0.7820 \times LB + 1.0614 \times LMAJT7 + 0.4847 \times LWMIN + 0.4616 \times RTPMIN - 0.6775 \times LOW}$	0.704 ^b	0.307
Rotundas	S	$Y_i = 1,9488 \times 10^{-7} \times FT^{1.4985}$	0.636 ^b	0.424
	G	$Y_i = 2,3845 \times 10^{-8} \times FT^{1.5084} \times e^{0.5248 \times LEG}$	0.870 ^a	0.0000 3
Segmentos	S	$Y_i = 1,7411 \times 10^{-6} \times FT^{0.6230} \times L^{1.1979}$	0.903 ^b	0.207
	G	$Y_i = 3,8103 \times 10^{-6} \times FT^{0.4937} \times L^{1.2398} \times e^{0.4934 \times NLANES4}$	0.912 ^b	0.187

(*) – S: Modelo simplificado; G: Modelo global
a – R² ajustado; b – Índice de Elvik; c – Parâmetro de dispersão

Onde,

Y_i = número estimado de acidentes por ano; FT = TMDA de veículos motorizados; LB = equilíbrio de vias; LWMAJ = largura média das vias na direcção principal (m); LWMIN = largura média das vias na direcção secundária (m); RTPMAJ = presença de via exclusiva de viragem à direita na direcção principal; RTPMIN = presença de via exclusiva de viragem à direita na direcção secundária; TCD = dispositivos de controlo de tráfego; LMAJT7 = número total de vias de entrada na direcção principal igual ou maior que 3; NLANES4 = número de vias em ambas as direcções igual ou maior que 4; LOW = número de ramos de sentido único; MMAJ = presença de separador central na direcção principal; LEG = número de ramos da intersecção.

Para os modelos simplificados apresentados na Tabela 5, a variável FT foi aquela que produziu o melhor ajuste em todos os casos. Nos modelos simplificados aplicáveis a intersecções, os coeficientes obtidos para esta

variável foram semelhantes, todos com sinal positivo, o que corresponde a um aumento no número de acidentes com TMDA crescente.

Como mencionado anteriormente, nos modelos aplicáveis aos acidentes com vítimas excluindo atropelamentos foi possível utilizar um modelo de afectação de tráfego, o que permitiu aumentar a amostra de dados. Uma vantagem imediata deste facto foi o ajuste de modelos simplificados e globais para todos os elementos da estrada. Outra vantagem diz respeito à melhoria da qualidade do ajuste dos modelos desenvolvidos. Das diversas variáveis significativas apresentadas na Tabela 5, apenas o número de ramos de sentido único (LOW) e a presença de separador central na direcção principal (MMAJ) foram associadas a uma diminuição do número esperado de acidentes. Todas as outras variáveis apresentaram sinal positivo, ou seja associadas a um aumento no número esperado de acidentes.

7 SÍNTESE E CONCLUSÕES

Nesta comunicação são apresentados modelos de estimativa de frequência de acidentes para zona urbana em função de uma série de variáveis explicativas, nomeadamente: tráfego de veículos e peões e características da infraestrutura rodoviária, desenvolvidos no âmbito de uma tese de doutoramento realizada no LNEC [2 e 3].

As tarefas necessárias à concretização deste trabalho incluíram a construção de uma base de dados de acidentes rodoviários ocorridos em Lisboa entre 2004 e 2007. Esta base de dados contém 48.650 acidentes, 10.495 dos quais com vítimas, todos integrados num Sistema de Informação Geográfica, que inclui também informações sobre a geometria da rede, características de uso do solo e dados de tráfego. Foram confirmadas as enormes vantagens desta ferramenta, tanto no diagnóstico de acidentes pela facilidade de visualização da distribuição geográfica dos acidentes, como na consulta de informações relevantes com base geográfica.

No que diz respeito a tarefa de modelação, os coeficientes foram calculados utilizando as técnicas de modelação linear generalizada, com uma distribuição Binomial negativa. Foram desenvolvidos modelos para diferentes tipos de desagregações: segundo o elemento rodoviário: em intersecções (intersecção de três ramos, intersecção de quatro ramos e rotundas) e em segmentos; segundo o tipo de acidente: atropelamentos e restantes acidentes com vítimas; e segundo a inclusão de variáveis explicativas relacionadas com o ambiente rodoviário: simplificado (apenas com as variáveis de exposição) e global (com todas as potenciais variáveis explicativas).

No foi conseguido ajuste nos modelos globais para estimativa de frequência de atropelamentos, pelo que estes não foram apresentados. Os modelos simplificados apresentaram uma qualidade de ajuste relativamente baixa, cuja causa se ficou a dever ao reduzido tamanho da amostra. Este facto pode também justificar a impossibilidade de ajuste dos modelos aplicável aos segmentos. As variáveis significativas identificadas foram, portanto, apenas as que estão relacionadas com a exposição: TMDA de peões e veículos.

No que diz respeito aos modelos para estimar a frequência dos restantes acidentes com vítimas, dada a maior dimensão da amostra, foi possível ajustar modelos para todos os elementos rodoviários e cenários (simplificado e global). Os modelos simplificados só incluíram variáveis relacionadas com o TMDA veículos; no caso das intersecções foi conseguido um melhor ajuste com uma soma do fluxo de tráfego nas duas direcções (principal e secundária). Quanto aos modelos globais, as variáveis explicativas significantes associadas a um aumento da frequência de acidentes foram: o equilíbrio de vias, a largura média das vias na direcção principal, a largura média das vias na direcção secundária, a presença de vias exclusivas de viragem à direita na direcção principal, a presença vias exclusivas de viragem à direita na direcção secundária, a presença de dispositivos de controlo de tráfego, o número total de vias de entrada na direcção principal ser igual ou maior do que três, o número de vias em ambas as direcções ser igual ou maior do que quatro e o número de ramos da intersecção. As variáveis cujo sinal está associado a uma diminuição da frequência de acidentes são o número de ramos de sentido único e a presença de separador central na direcção principal.

Este trabalho constitui um importante contributo para a melhoria da segurança rodoviária em áreas urbanas, uma vez que no seu âmbito foram criadas ferramentas que podem ser usadas pelos gestores da via na fundamentação de intervenções rodoviárias orientadas para a mitigação da sinistralidade, nomeadamente:

1. Recolha de informações sobre os acidentes em áreas urbanas e sobre os factores relacionados com a segurança rodoviária da infraestrutura, que podem ser usados para aumentar o conhecimento sobre o fenómeno; esta informação foi organizada num sistema de informação geográfica.

2. Amplo conhecimento das relação entre a frequência de acidentes em áreas urbanas e as variáveis explicativas relacionadas com o ambiente rodoviário, através de modelos de estimativa de frequência de acidentes desagregados por tipo de utente, incluindo explicitamente o tráfego de veículos motorizado e de peões.

8 REFERÊNCIAS

- [1] ANSR, 2010 – Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária. Ano de 2010 - Sinistralidade rodoviária. Observatório de Segurança Rodoviária.
- [2] Vieira Gomes, S., 2010 – Avaliação da Influência da Infra-estrutura na Segurança Rodoviária em Meio Urbano. Ph.D. dissertation. Coimbra University, Coimbra.
- [3] 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, 2012.
- [4] Mountain, L., and Fawaz, B., 1996 – Estimating accidents at junctions using routinely-available input data. *Traffic Engineering & Control*, Vol. 37, No. 11, pp. 624–628.
- [5] Greibe, P., 2003 – Accident prediction models for urban roads. In: *Accident analysis and prevention*, Vol 35, p. 273-285.
- [6] Turner, S.; Durdin, P.; Bone, I.; Jackett, M., 2003 – New Zealand accident prediction models and their applications. Em: *Transport: our highway to a sustainable future: proceedings of the 21st ARRB and 11th REAAA Conference*, Cairns, Queensland, Australia.
- [7] Cardoso, J. L.; Andrade, P.S., 2000 – Velocidades praticadas pelos condutores nas estradas portuguesas – Relatório 131/00 – NTSR, LNEC, Lisboa.
- [8] Turner, S. A.; Roozenburg, A. P.; Francis, T., 2006 – Predicting Accident Rates for Cyclists and Pedestrians – Land Transport New Zealand Research Report 289, Christchurch, Nova Zelândia.
- [9] Maher, M. J.; Summersgill, I., 1996 – A comprehensive methodology for the fitting of predictive accident models – *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 28, no. 3, p. 281-296.
- [10] Gårder, P.E., 2004 – The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine – *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 36, p. 533-542.
- [11] Vieira Gomes, S. and Cardoso, J. L., 2008 – Estimativa de frequências de acidentes em meio urbano considerando volumes de tráfego de peões. Report 404/2008. Núcleo de Planeamento Tráfego e Segurança – Departamento de Transportes – Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- [12] Lord, D. e Persaud, B.N., 2000 – Accident prediction models with and without trend. Application of the generalized estimating equations procedure – Em: *Transportation Research Record* 1717, p. 102-108.
- [13] Lord, D., 2006 – Modeling motor vehicle crashes using Poisson-gamma models: Examining the effects of low sample mean values and small sample size on the estimation of the fixed dispersion parameter. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 38, No. 4, pp. 751-766.
- [14] Akaike, 1974 – A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Automat. Control*. vAC-19. 716-723.
- [15] Washington, S., Karlaftis, M., Mannering, F., 2003 – *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, FL.
- [16] Elvik, R., 2007 – State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks. TØI report 883/2007. Institute of Transport Economics. Noruega.
- [17] Fridstrøm, L.; Ifver, J.; Ingebrigtsen, S.; Kulmala, R. and Thomsen, L.K., 1995 – Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts, *Accident Analysis and Prevention* 27 (1995), pp. 1–20.