

# MODELOS DE PREVISÃO DA GRAVIDADE DOS ACIDENTES VIÁRIOS EM ESTRADAS NACIONAIS DE PORTUGAL

Eduardo Sampaio<sup>1</sup>, Jocilene Costa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Núcleo de Tecnologia – Engenharia Civil, BR-104, 55014-900, Nova Caruaru, Caruaru, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Núcleo de Tecnologia – Engenharia Civil, BR-104, 55014-900, Nova Caruaru, Caruaru, Brasil

email: [jocilene.mt@gmail.com](mailto:jocilene.mt@gmail.com) <http://www.ufpe.br>

---

## Sumário

*Este artigo apresenta um estudo sobre a gravidade dos acidentes ocorridos em interseções de três ramos inseridas em estradas nacionais da região norte portuguesa (1999-2010), sendo feito através do desenvolvimento de modelos de previsão que permitem a avaliação do impacto características geométricas sobre a gravidade de acidentes. Foram analisados os parâmetros: gravidade de acidentes e características geométricas de 177 interseções (2124 observações). O processo foi baseado em equações de estimação generalizadas, especificamente modelos logit e probit. O estudo confirma a crescente necessidade de ser incorporado na modelação da gravidade dos acidentes o efeito das condições gerais do traçado das estradas.*

---

**Palavras-chave:** Gravidade dos acidentes / Modelos probit / Modelos logit / Equações de estimação generalizadas / Estradas nacionais.

## 1 INTRODUÇÃO

O conceito de segurança rodoviária diz respeito à prevenção de acidentes de viação, com o objetivo de proteger a vida das pessoas. Ela pode dividir-se em primária, secundária e terciária. Segurança primária é a assistência com que o condutor pode contar para evitar possíveis acidentes (luzes de frenagem, luzes de pisca). A segurança secundária visa minimizar as consequências de um acidente no momento em que este ocorre (airbag, cinto de segurança). A segurança terciária tem como objetivo minimizar as consequências postumamente ao acidente (corte de fornecimento de combustível para evitar focos de incêndio).

Paralelamente, o número crescente de acidentes de trânsito, entre diversos problemas relativos à área de transportes tem sido destaque e motivo de ações para redução destes acidentes. Em 2016 a OMS (Organização Mundial de Saúde) registrou cerca de 1,2 milhões de mortes e aproximadamente 50 milhões de feridos, por acidente de trânsito em 178 países, e se nenhuma ação for posta em prática, este número poderá chegar a 1,9 milhões de mortes em 2020 [1]. Baseada nesses dados, a OMS estabeleceu o período de 2011 a 2020 como Década Mundial de Ação de Segurança no Trânsito, convocando os países participantes do acordo para desenvolver ações que visam reduzir estes números de vítimas fatais em 50% nos acidentes automobilísticos num prazo de 10 anos.

Em Portugal, em 2016, a ANSR (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária) registrou um número total de 445 mortos e 41.223 feridos, ou seja, diariamente ocorreram cerca de 1,2 mortes e aproximadamente 6 feridos graves devido a acidentes nas estradas portuguesas. A ANSR menciona também a distribuição das vítimas fatais e dos feridos graves, com cerca de 35% e 30%, respetivamente, das ocorrências sendo em estradas nacionais, realçando ainda que, apesar de não ser objeto do presente estudo, há uma forte sinistralidade dentro das localidades, sendo 76% do total de acidentes com feridos graves e 50% do total de mortos [2].

Dentre as causas que afetam a segurança rodoviária, vemos que esta depende da contribuição isolada e conjunta de diversos fatores como condutor, rodovia, meio ambiente e veículo. Portanto, além do fator humano, as características da estrada e as condições do automóvel que está sendo conduzido também podem elevar os

números que envolvem os acidentes. A análise de acidentes aponta o papel preponderante dos fatores humanos, caracterizados por um comportamento inadequado do ser humano, como por exemplo, erro de reconhecimento e identificação (sinais, distâncias e obstáculos), erro de processamento, erro de tomada de decisão, ou erro na execução da manobra. Também são importantes os componentes envolvendo a via e o meio ambiente e estes se referem diretamente às características da rodovia, bem como o projeto da estrada, da sinalização e do clima (chuva, neblina e luminosidade). Finalmente, têm-se os fatores relacionados ao veículo, que também contribuem para os acidentes, e referem-se às inadequações no estado operacional do mesmo, tais como os freios, pneus, entre outros.

Os indicadores mostram que as principais causas da sinistralidade rodoviária em Portugal estão associadas ao excesso de velocidade, uso do telemóvel e consumo de álcool e substâncias psicotrópicas. Em 2016, morreram em Portugal, 445 pessoas em consequência de 32.299 acidentes rodoviários com vítimas. Destes acidentes resultaram, ainda, 2.102 feridos graves e 39.121 feridos leves, num total de 41.223 vítimas, o que significou a existência, em média, de cerca de 1,3 vítimas por acidente [2]. Portugal assinalou uma evolução muito relevante quando comparada com os restantes estados membros da união europeia, registrando em 1995, mais do que o dobro do número de vítimas mortais por milhão de habitantes em relação à média da União Europeia. Passados cerca de 20 anos, Portugal reduziu nesse indicador em 77%, apesar de ainda estar 19% acima da média da união europeia. Mesmo com os progressos efetuados ao longo destes anos e da aproximação que Portugal conseguiu à média europeia quanto aos “Mortos por Milhão de habitantes” (sendo superior em 50,0% a essa média em 2010 e 25,5% em 2013), neste indicador Portugal ainda ocupa o 19º lugar entre os 28 países da UE [3]. Se faz necessário então um estudo visando a prevenção destes acidentes e a sua gravidade.

Sabe-se que os acidentes de viação são eventos complexos que não envolvem apenas questões relativas ao ambiente rodoviário, mas também questões relativas ao comportamento humano e ao desempenho do veículo. O tratamento das questões de engenharia da via é capaz de produzir bons resultados na melhoria da segurança uma vez que influenciam significativamente o comportamento dos condutores. Dessa forma, o tratamento das características viárias se caracteriza numa fonte de melhoria na provisão de ambientes viários mais seguros.

Vale levantar alguns fatos sobre as causas destes acidentes. Em Portugal, no que diz respeito ao fator condutor, em 2016, os condutores representavam cerca de 78% e os passageiros cerca de 21% do total de vítimas. No grupo vítimas, 92% dos condutores e 48% dos passageiros eram do sexo masculino. Em relação ao fator infraestrutura rodoviária, destaca-se que no ano de 2016 a maioria dos acidentes ocorreram em vias consideradas em bom estado de conservação e o fato do piso da via se encontrar molhado, em geral, não agrava as consequências do acidente. Relativamente ao fator veículo, em 66% dos acidentes com vítimas mortais só estiveram envolvidos veículos leves de passeio. Recorde-se que segundo os dados do ISP (Instituto de Seguros de Portugal) os veículos leves representavam cerca de 80% [2].

Segundo [4], é importante notar que a redução da frequência de acidentes e redução da gravidade da lesão de um acidente pode exigir diferentes abordagens estratégicas. Por exemplo, as limitações nas taxas de curvatura ou superelevação são políticas destinadas a reduzir o potencial de acidentes enquanto barreiras medianas de resistência à colisão e sinalização rodoviária são projetadas para reduzir o nível de prejuízo sofrido em caso de tais objetos serem atingidos durante um acidente. Além das características viárias, os avanços no projeto dos veículos também têm o potencial de reduzir a frequência de acidente (controlo eletrônico de estabilidade e freios anti-lock) ou gravidade (cintos de segurança e airbags), enquanto programas de treinamento dos condutores e pontos nas cartas de condução têm potencial para reduzir, tanto frequência como gravidade dos acidentes.

Quando se diz respeito às contribuições aos acidentes, as causas podem ser de tipos imediatas ou indiretas. As causas imediatas limitam-se ao contexto do acidente e referem-se ao (i) fator humano, no que diz respeito ao condutor, peões e passageiros. (ii) Ao fator infraestrutura, que se refere à estrada em si e todo o seu ambiente viário. E por último, ao (iii) fator veículo, condições de uso, bem como as condições mecânica do veículo. As causas indiretas são aquelas de ordem ambiental, tecnológica ou institucional, que criam situações propícias aos acidentes ou agravam as suas consequências ([5]; [6]; [7]; [8]; [9]; [10]).

Os fatores contribuintes de um acidente viário são as principais ações, falhas ou condições que levaram diretamente ao acidente. Eles mostram quais circunstâncias dão origem ao acidente e dão pistas de como este acidente poderia ter sido evitado. O ato de conduzir um veículo é uma tarefa difícil e complexa. Por esta razão é consensual a responsabilidade do comportamento do condutor na maioria dos acidentes de viação ([5]; [11]). De acordo com [12], os resultados dum estudo realizado no estado de Indiana (EUA) indicaram que o fator humano

representa 79,2% das causas dos acidentes, o fator estrada e ambiente é responsável por 25% e o fator veículo 7,5%. A soma dessas percentagens é maior que 100% porque muitos acidentes são causados pela combinação de fatores.

Diante do que foi exposto, este trabalho tem como principal objetivo apresentar um modelo estatístico que visa quantificar a gravidade dos acidentes automobilísticos, desde feridos leves a vítimas fatais, em interseções de três ramos em rodovias rurais e semiurbanas, pavimentadas de pista simples, no norte de Portugal, precisamente nas cidades de Braga, Famalicão, Felgueiras, Guimarães, Fafe e Vila Verde. A elaboração de um método de avaliação de segurança rodoviária para interseções em segmentos rurais pavimentados de pista simples, visa auxiliar na identificação organizada de locais potencialmente perigosos do ponto de vista da segurança viária, possibilitando que operadores rodoviários atuem preventivamente na melhoria da segurança das rodovias. Nesta modelação foram incluídas todas as variáveis significativas que tentam explicar o acidente, como fatores que possam afetar o condutor, bem como as características da rodovia.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Técnica de modelação EEG

As EEG (equações de estimação generalizadas) devem ser utilizadas quando o objetivo da análise estatística é descrever a média da variável dependente em função dum conjunto de co-variáveis considerando a correlação entre as observações [10], visto que, com as EEG se estima os coeficientes e os desvios padrão com distribuições amostrais assintoticamente normais [13]. Além disso, são testados os efeitos principais e interações das variáveis independentes, categóricas ou contínuas.

Os modelos de saída binária são aqueles que analisam a gravidade da lesão em, basicamente, sim ou não. No caso em estudo, o exemplo para saída binária é separar acidentes com vítimas fatais versus vítimas não-fatais. Além disso, para a modelação de dados longitudinais, diferentes abordagens podem ser empregadas ([14]; [15]). Em todos os casos, é preciso definir a distribuição dos dados disponíveis. Portanto, as distribuições *logit* e *probit* foram adotadas para o presente estudo. O quadro geral usado para modelar o grau de gravidade da lesão sofrida por um indivíduo envolvido num acidente começa pela definição de uma função linear  $S$  que determina o resultado da lesão  $i$  para a observação  $n$  como:

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

em que:  $\beta_i$  é um vetor de parâmetros estimáveis,  $X_{in}$  é um vetor de características observáveis (condutor, veículo, estrada, e fatores ambientais) que a gravidade do impacto da lesão sofrida pela observação  $n$ , e  $\varepsilon_{in}$  é um termo de perturbação que é responsável por efeitos não observados.

Para a escolha dum modelo de previsão que possa ser reconhecido como útil para a previsão da gravidade de acidentes de viação, aliou-se a validade do modelo sob o ponto de vista da engenharia de tráfego com o nível de significância desejável e possível, dadas as diversas limitações das bases de dados disponíveis, sendo considerado um nível de significância em torno de 10%. O algoritmo de exclusão sequencial foi utilizado na escolha das variáveis. Além disso, foi utilizada a estrutura de correlação autorregressiva, como base no estudo de [16].

### 2.2 Avaliação da qualidade do ajuste dos modelos

Para definição do melhor modelo foi utilizado o elemento estatístico raiz do REQM (erro quadrático médio), comumente utilizado neste tipo de modelação, em que quanto menor o valor deste elemento melhor o modelo.

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

em que:  $REQM$  é a raiz do erro quadrático médio;  $\hat{y}_i$  é a variável resposta estimada para a interseção  $i$ ;  $y_i$  é variável resposta observada para a interseção  $i$ ;  $n$  é o número de interseções consideradas; e  $i$  é 1, 2, ...,  $n$ .

### 3 DESCRIÇÃO DOS DADOS

Para seleção das 177 interseções de três ramos considerou-se: (i) via principal pertencente a uma EN com uma faixa de rodagem e duas vias de sentidos opostos; (ii) via secundária também com duas vias de sentidos opostos; (iii) via principal com e sem canalização; (iv) via secundária com e sem canalização; (v) centro das interseções afastados, no mínimo, 76 metros. Diante disso, os dados de gravidade dos acidentes e das variáveis estudadas são definidas a seguir.

#### 3.1 Dados de acidentes

A primeira parte da recolha dos dados consistiu no levantamento das informações dadas pela ANSR (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária), entre os anos de 1999 e 2010, por meio do BEAV (Boletim Estatístico de Acidentes de Viação), que é preenchido pelos agentes no local da ocorrência. Com estas informações foi possível fazer o levantamento da quantidade de acidentes que ocorreram nas interseções presentes neste estudo, trabalho realizado e apresentado por [16]. Tanto no estudo feito por [16] como no presente estudo foram excluídos os atropelamentos por não ser possível uma identificação das características dos peões que utilizam a rede de estudo. Na contabilização dos acidentes ocorridos nas 177 interseções de três ramos, foi considerada uma área de influência de 76 metros anterior e posterior ao centro da interseção na direção principal.

A segunda parte da recolha de dados dos acidentes, realizada pelo autor deste trabalho, foi a classificação da gravidade das vítimas destes acidentes. A seguir é apresentado um estudo da gravidade dos acidentes através de gráficos que mostram a quantidade de acidentes, de feridos leves, feridos graves e vítimas fatais no intervalo de tempo observado em cada trecho do estudo. No Quadro 1 é apresentada um resumo com todos os dados dos acidentes, nas 177 interseções.

Quadro 1. Quantificação dos acidentes e da gravidade por interseção de 1999 a 2010

Trecho	Estrada	Interseções	Nº de acidentes	Feridos leve	Feridos grave	Vítimas fatais
Braga-Vila Verde	EN-101	30	61	66	3	1
Braga-Guimarães	EN-101	17	149	166	15	3
Famalicão-Guimarães	EN-206	39	180	218	13	3
Guimarães-Felgueiras	EN-101	36	56	61	4	2
Guimarães-Fafe	EN-206	20	59	56	2	0
Total		177	674	770	53	9

#### 3.2 Tratamentos dos dados geométricos das interseções

Para o estudo das interseções de três ramos foram recolhidas informações das características geométricas, da ocupação marginal do ambiente envolvente da interseção, do sistema de controlo de tráfego e da sinalização. Estas características foram tratadas como variáveis explicativas iniciais na modelação. As estatísticas descritivas das variáveis são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2: Estatísticas descritivas das variáveis das 177 interseções

Variável	Unidade	Média	D. P.	Mín	Máx
Largura média das vias nos 152 m da área de influência da direção principal – LVP	m	3,67	0,31	3,03	5,17
Largura média das vias nos 76 m da área de influência da direção secundária – LVS	m	3,62	0,97	2,20	7,76
Largura média da berma nos 152 m da área de influência da direção principal – BVP	m	0,70	0,38	0,00	2,15
Largura média da berma nos 76 m da área de influência da direção secundária – BVS	m	0,10	0,36	0,00	3,20
Desobstrução lateral média nos 152 m da área de influência da direção principal – DLVP	m	2,55	1,29	0,40	8,24
Desobstrução lateral média nos 76 m na área de influência da direção secundária – DLVS	m	1,02	1,29	0,00	8,25
Presença de travessias pedonais na da direção principal – TPVP	“dummy”	0,26	0,44	0,00	1,00
Presença de travessias pedonais na direção secundária – TPVS	“dummy”	0,09	0,29	0,00	1,00
Presença de canalização na direção principal – PCVP	“dummy”	0,12	0,32	0,00	1,00
Presença de canalização na direção secundária – PCVS	“dummy”	0,51	0,50	0,00	1,00
Placas de sinalização na direção principal – PSVP	“dummy”	0,87	0,34	0,00	1,00
Placas de sinalização na direção secundária – PSVS	“dummy”	0,97	0,18	0,00	1,00
Semáforos na direção principal – S	“dummy”	0,04	0,20	0,00	1,00
Classificação da área envolvente do segmento onde a interseção está inserida (1 – rural ou periurbana e 0 – urbana) – D1	“dummy”	0,62	0,49	0,00	1,00
Classificação da área envolvente do segmento onde a interseção está inserida (1 – urbana ou periurbana e 0 – rural) – D2	“dummy”	0,91	0,29	0,00	1,00
Proporção do comprimento da reta nos 152 metros de área influente da interseção – PCRI	-	0,71	0,27	0,00	1,00
Inverso do raio médio das curvas nos 152 metros de área influente da interseção – IRHI	1/m	0,01	0,01	0,00	0,03
Sinuosidade em planta dos 152 metros de área influente da interseção – SHI	grau/m	132,84	158,76	0,00	635,75
Proporção do comprimento do trainel nos 152 metros de área influente da interseção – PCTI	-	0,71	0,42	0,00	1,00
Sinuosidade em perfil dos 152 metros de área influente da interseção – SVI	%/m	7,27	10,12	0,00	40,50
Densidade de pontos de acesso nos 152 metros de área influente da interseção – DPAI	nº/km	27,40	14,63	0,00	75,00

#### 4 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS DE PREVISÃO DA GRAVIDADE DOS ACIDENTES

Para a modelação da gravidade dos acidentes nas interseções selecionadas foi definida uma base de dados em que foram consideradas duas variáveis dependentes, uma variável “dummy” descrevendo a ocorrência ou não de feridos leves e outra variável “dummy” descrevendo a ocorrência ou não de feridos graves ou vítimas fatais. Além disso, foi considerada as variáveis que estão relacionadas com as características geométricas da área de influência de cada via principal das interseções (152 metros) para o período de estudo, que compreende os anos de 1999 a 2010. Um ponto a destacar é que não foi considerada a série histórica do tráfego, visto que a literatura sugere que não é uma variável explicativa da gravidade do acidente.

Nos modelos de previsão da gravidade dos acidentes de viação ocorridos nas EN's (Estradas Nacionais), 14, 101, 206 foram utilizadas as EEG (equações de estimação generalizadas) e as funções de ligação foram as *Probit* e *Logit*. Os dados foram recolhidos com ajuda da ANSR (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária), entre os anos de 1999 e 2010.

No processo de modelação foi utilizado o algoritmo de exclusão sequencial, partindo de todas as variáveis selecionadas, testando as variáveis uma a uma para a significância estatística através da técnica de modelação EEG. O modelo final apresenta apenas as variáveis explicativas que são estaticamente significativas ao nível de significância 10%. O *software* utilizado no ajuste dos modelos de gravidade dos acidentes totais foi o SAS (versão 9.3®).

#### 4.1 Resultados

Nesta seção serão apresentados os modelos finais de previsão da gravidade dos acidentes ajustados para as interseções de três ramos. Para a modelação foram consideradas duas variáveis dependentes, uma variável “dummy” considerando “1” para presença de ferido leve e “0” para ausência de ferido leve e a outra variável, também “dummy”, sendo considerado “1” para presença de ferido grave ou vítima fatal e “0” para ausência de ferido grave ou vítima fatal. Também foram utilizadas variáveis explicativas, definidas em função da geometria e características do ambiente onde estão presente as interseções. No Quadro 4 são apresentados detalhes dos quatro modelos ajustados.

Quadro 4 – Combinações dos modelos de previsão da gravidade dos acidentes

Nº	Função	Variável dependente
1	<i>Logit</i>	MFL
2	<i>Logit</i>	MFGF
3	<i>Probit</i>	MFL
4	<i>Probit</i>	MFGF

As combinações foram nomeadas de acordo com a variável dependente. Para as combinações 1 e 3 (variáveis estudadas + “dummy” do ferido leve) o modelo foi nomeado de MFL (Modelo ferido leve) e para as combinações 2 e 4 (variáveis estudadas + “dummy” do ferido grave ou vítimas fatais) foi representado por MFGF (Modelo ferido grave e fatal).

Em cada uma das combinações do Quadro 4 o modelo de previsão final foi ajustado com nível de significância de 5%, admitindo-se um nível máximo de 10%. Para os estes ajustes foi considerada a técnica das EEG. Os modelos finais são apresentados A seguir.

De acordo com o Quadro 5, no modelo da Combinação 1 observa-se que variável LVS (Largura média das vias nos 76 m da área de influência da direção secundária) contribui negativamente para a probabilidade da ocorrência de feridos leves nos acidentes. De forma contrária, os outros três parâmetros PCVP (Presença de canalização na direção principal), PCRI (Proporção do comprimento da reta nos 152 metros de área influente da interseção) e IRHI (Inverso do raio médio das curvas nos 152 metros de área influente da interseção), apresentam sinal positivo nos coeficientes, gerando uma contribuição negativa para a probabilidade da ocorrência dos feridos leves.

Quadro 5. Modelos de previsão da gravidade dos acidentes para a Combinação 1

Quadro 37. Modelos de previsão da gravidade dos acidentes para a Condição 1					
Nº	Variável dependente	Parâmetros	Estimativa	Desvio Padrão	P
1	MFL	Intercepto	-5,8047	0,5353	<0,001
		LVS	-0,4379	0,1349	0,0012
		PCVP	0,6661	0,3741	0,0750
		PCRI	1,2790	0,6724	0,0572
		IRHI	54,5219	25,3933	0,0318
Número de observações: 2124				QIC: 2163,4041	

Na combinação 2, onde o modelo é apresentado no Quadro 6, verifica-se que ambos os parâmetros BVP (Largura média da berma nos 152 m da área de influência da direção principal) e PCTI (Proporção do comprimento do trainel nos 152 metros de área influente da interseção) apresentam coeficientes com sinais positivos, o que permite concluir que eles contribuem negativamente para a probabilidade da ocorrência dos feridos graves e vítimas fatais.

Quadro 6. Modelos de previsão da gravidade dos acidentes para a Combinação 2

Quadro 3: Modelos de previsão da gravidade dos acidentes para a Condição 2					
Nº	Variável dependente	Parâmetros	Estimativa	Desvio Padrão	P
2	MFGF	Intercepto	-5,8047	0,5353	<0,001
		BVP	1,1617	0,2321	<0,001
		PCTI	1,3438	0,4420	0,0024
Número de observações: 2124				OIC: 2126.1908	

Assim como no modelo da Combinação 1, no modelo Combinação 3, apresentado no Quadro 7, apenas o LVS contribui de forma positiva na ocorrência dos feridos leves. As outras variáveis PCVP, PCRI e IRHI apresentam sinal positivo de seus coeficientes, logo, contribuem de forma negativa na ocorrência dos feridos leves.

Quadro 7. Modelos de previsão da gravidade dos acidentes para a Combinação 3

Quadro 7: Modelos de previsão da gravidade dos acidentes para a combinação 3					
Nº	Variável dependente	Parâmetros	Estimativa	Desvio Padrão	P
3	MFL	Intercepto	-0,9062	0,4558	0,0468
		LVS	-0,2458	0,0704	0,005
		PCVP	0,3663	0,2173	0,0919
		PCRI	0,7192	0,3689	0,0512
		IRHI	31,2517	14,3682	0,0296
Número de observações: 2124			OIC: 2161,8711		

No Quadro 8 é possível observar a semelhança da Combinação 4 com a Combinação 2. Ambos parâmetros, BVP e PCTI, contribuem de forma negativa na ocorrência de feridos graves e vítimas fatais.

Quadro 8. Modelos de previsão da gravidade dos acidentes para a Combinação 4

y	Variável dependente	Parâmetros	Estimativa	Desvio Padrão	P
4	MFGF	Intercepto	-2,8067	0,2443	<0,001
		BVP	0,4992	0,1224	<0,001
		PCTI	0,5659	0,1882	0,0026
Número de observações: 2124				OIC: 2126,7035	

## 4.2 Análise dos resultados

Nesta seção são apresentados os resultados, bem como uma análise sobre eles, das modelações para interseções de três ramos apresentadas no tópico anterior. O resumo dos resultados dos modelos de previsão da gravidade dos acidentes de viação desenvolvidos e selecionados como os mais adequados para cada caso é apresentado a seguir. No Quadro 9 apresentam-se a função de ligação, a variável dependente, tamanho da amostra e a raiz do erro quadrático médio – REQM.

Quadro 9. Elementos estatísticos dos modelos finais ajustados

Combinação	Tipo de modelo	Variável dependente	Tamanho da amostra	REQM
1	<i>Logit</i>	MFL	2124	0,36
2	<i>Logit</i>	MFGF	2124	0,39
3	<i>Probit</i>	MFL	2124	0,39
4	<i>Probit</i>	MFGF	2124	0,18

O REQM foi o método estatístico que definiu o melhor modelo a ser empregado, já que este elemento pode ser usado como uma medida do erro de previsão, medindo o desvio médio das variações das cotas do fundo em relação as variações de seu indicador de referência. Quanto menor o REQM, mais o modelo se aproxima dos dados observados.

Logo, no Quadro 9, pode ser observado que dentre as 4 combinações, as duas variáveis dependentes e os dois tipos de modelos, observam-se uma alternância no modelo escolhido para a previsão da gravidade dos acidentes. Para a primeira variável dependente, Feridos leves – MFL, o modelo *Logit* apresenta um valor de REQM (0,36) menor que o modelo *Probit* (0,39). Então, para a variável dependente MFL, o modelo escolhido foi o da Combinação 1. Já para a segunda variável dependente, Feridos graves + Vítimas fatais – MFGF, é o modelo *Probit* que fornece o menor valor do REQM (0,18) em relação ao modelo *Logit* (0,39). Logo, para a variável dependente MFGF, o modelo escolhido foi o da combinação 4. No Quadro 10 são apresentados um resumo dos modelos escolhidos.

Quadro 10. Resumo das combinações selecionadas para os modelos

Combinação	Função	Variável dependente
1	<i>Logit</i>	MFL
4	<i>Probit</i>	MFGF

## 5 CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou uma análise do impacto das variáveis relacionadas ao momento do acidente e a gravidade do acidente nas Estradas Nacionais (EN-14, EN-101, EN-206), situadas na região Norte de Portugal, mais precisamente nas cidades de Braga, Famalicão, Vila Verde, Guimarães, Felgueiras e Fafe.

O foco do presente estudo foi a identificação dos principais fatores que contribuem na gravidade da lesão dos envolvidos em acidentes de viação, através do desenvolvimento de modelos de previsão para as interseções de três ramos inseridas em EN's de uma faixa de rodagem com uma via em cada sentido e localizados na região norte de Portugal. A contribuição deste trabalho para a sociedade em geral é disponibilizar uma ferramenta fundamental para a promoção da segurança no sistema nacional rodoviário do norte de Portugal, que liga muitas cidades e zonas industriais. Para a sua realização foram utilizados dados de acidentes, de tráfego e das características geométricas e de ambiente envolvente das interseções. Assim, os modelos de gravidade de acidentes de viação foram desenvolvidos com o auxílio das EEG (equações de estimação generalizadas), considerando função de ligação *logit* e *probit*. A amostra utilizada foi composta por 2124 observações recolhidas com o auxílio da ANSR (Agência Nacional de Segurança Rodoviária) entre os anos de 1999 e 2010.

Para o desenvolvimento dos modelos de gravidade foi elaborada uma base de dados em que foram observados os dados dos acidentes e as características geométricas para o período de estudo (1999 a 2010).

As variáveis explicativas do estudo foram limitadas à geometria da área de influência das interseções de três ramos, tendo sido utilizadas as variáveis selecionadas nos modelos, nomeadamente: i) LVS (Largura média das vias nos 76 m da área de influência da direção secundária); i) PCVP (presença de canalização na direção principal); iii) PCRI (Proporção do comprimento da reta nos 152 metros de área influente da interseção); iv)

IRHI (Inverso do raio médio das curvas nos 152 metros de área influente da interseção); BVP (Largura média da berma nos 152 m da área de influência da direção principal); PCTI (Proporção do comprimento do trainel nos 152 metros de área influente da interseção). Dentre estas variáveis apenas LVS contribui para redução da gravidade dos acidentes de viação. De forma contrária, os outros parâmetros BVP, PCTI, PCVP, PCRI e IRHI, apresentam sinal positivo nos coeficientes, gerando uma contribuição negativa na gravidade dos acidentes.

Os modelos de previsão da gravidade dos acidentes de viação foram desenvolvidos com o auxílio da técnica de modelação das EEG e o resultado foi analisado através da REQM (raiz erro quadrático médio). Portanto, para os modelos envolvendo os feridos leves o modelo *logit* apresentou melhor desempenho do que o modelo *probit*, enquanto que o contrário para os modelos envolvendo feridos graves e vítimas fatais, onde o modelo *probit* apresentou melhor desempenho que o modelo *logit*.

Portanto, considera-se que o presente trabalho estabelece uma contribuição importante para a melhoria da segurança rodoviária nas EN's da região do Minho no norte de Portugal, visto que os modelos de previsão desenvolvidos podem ser utilizados diretamente pelos responsáveis da gestão da infraestrutura rodoviária no sentido de fundamentar intervenções na mesma, direcionadas para a mitigação da sinistralidade. No entanto, destaca-se que a principal limitação do presente estudo foi a ausência da localização dos acidentes na direção secundária das interseções.

## 6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro concedido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Portugal, através do financiamento da bolsa de doutoramento SFRH/BD/62458/2009.

## 7 REFERÊNCIAS

1. Organização Mundial de Saúde – OMS. Global Status Report on road safety: time for action. Geneva, 2016.
2. Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária – ANSR, Sinistralidade Rodoviária, *Observatório de Segurança Rodoviária*, Lisboa, 2016.
3. Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária – ANSR, Sinistralidade Rodoviária, *Observatório de Segurança Rodoviária*, Lisboa, 2013.
4. Savolainen, P. *The statistical analysis of highway crash-injury severities: A review and assessment of methodological alternatives*. Departamento de Engenharia Civil e Engenharia Ambiental. Detroit, 2011.
5. Sabey, B. E., & Sraughton, G. C. *Interacting roles and road environment, Vehicle and road user in accidents*. 5ª Conferência Internacional da Associação Internacional de Medicina do Tráfego de Acidentes, Londres, 1975.
6. Nogueira, A.A., *Análise da relação da geometria de rodovias e acidentes envolvendo veículos de carga*. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1995.
7. Vogt, A., & Bared, J. (1997). Accident models for two-lane rural segments and intersections. *Transportation Research Record*, 1635, 18-29.
8. Gold. P.A., *Segurança Rodoviária*. Simpósio sobre obras rodoviárias, São Paulo, 2002.
9. D. Kim, S. Washington, The significance of endogeneity problems in crash models: An examination of left-turn lanes in intersection crash models. *Accident Analysis and Prevention*, 38(1) 1094-1100, 2006.
10. D. Lord, F. Mannering, The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A*, 44(1) 291-305, 2010.
11. Ferreira, S.A. *Segurança Rodoviária no Processo de Planeamento de Redes de Transporte em Meio Urbano*. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.
12. Shinar, D. *Psychology on the road: the human factor in traffic safety*. New York: J. Wiley, 1978.
13. K. Liang, S. Zeger. Longitudinal data analysis using generalized linear models. *Biometrika*, 73 13-22, 1986.
14. W. Greene, *Econometric Analysis*. Prentice Hall, New York. 2007.

15. J. Hilbe, *Negative Binomial Regression*. Cambridge University Press, New York. 2011.
16. Costa, J.O. *Desenvolvimento dum modelo de previsão de acidentes*. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho. Escola de Engenharia, Braga, Portugal, 2013.