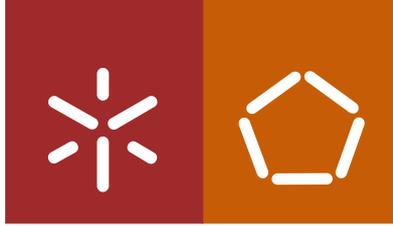


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rafael André Barreto da Silva

**Modelos de Previsão de Acidentes para
Interseções de Três Ramos em Zonas
Urbanas e Periurbanas**



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rafael André Barreto da Silva

**Modelos de Previsão de Acidentes para
Interseções de Três Ramos em Zonas
Urbanas e Periurbanas**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Urbana
Área de Especialização em Infraestruturas Viárias

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Elisabete Fraga Freitas

abril de 2015

DECLARAÇÃO

Nome: Rafael André Barreto da Silva

Endereço eletrónico: rafaelandrebarreto@hotmail.com

Número do Bilhete de Identidade: 12432801

Título dissertação:

Modelos de Previsão de Acidentes para Interseções de Três Ramos em Zonas Urbanas e Periurbanas

Orientadora: Professora Doutora Elisabete Fraga Freitas

Ano de conclusão: 2015

Designação do Mestrado:

Mestrado em Engenharia Urbana
Área de Especialização em Infraestruturas Viárias

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, 30/04/2015

Assinatura: _____

Agradecimentos

Os meus mais sinceros agradecimentos vão para diversas pessoas, pois o seu contributo traduziu-se em apoio, incentivo e persistência que ajudaram na elaboração deste trabalho.

Quero agradecer em especial:

À minha orientadora, Professora Doutora Elisabete Freitas, Professora Auxiliar na Universidade do Minho, pela excelente orientação e empenho que sempre demonstrou ao longo da realização desta dissertação, pelo incentivo, pelas sugestões, por toda a motivação que me incutiu e sobretudo pela disponibilidade demonstrada.

À Jocilene Costa, que por questões burocráticas não pode ser oficialmente orientadora deste estudo, pelo acompanhamento que prestou, ao longo do trabalho e pela disponibilidade que demonstrou para me ajudar.

Ao Técnico do Laboratório de Engenharia Civil, Engenheiro Carlos Palha, por todo o apoio e disponibilidade prestados na realização dos ensaios de campo.

Ao Departamento de Matemática e Aplicações da Universidade do Minho, pela disponibilidade em me ajudar com o programa de estatística, pelo apoio e acompanhamento prestados.

A todos os meus amigos que de uma forma ou de outra me deram força e motivação para a realização deste trabalho.

Finalmente, quero agradecer à minha família, aos meus pais e irmãos, pela compreensão, apoio, incentivo, motivação, amor e carinho imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Resumo

A sinistralidade rodoviária tem apresentado grandes perdas para a humanidade. Por essa razão o estudo das causas de acidentes rodoviários é uma área que está em desenvolvimento, sendo particularmente importante em zonas urbanas dado que atualmente é nessas zonas que ocorrem mais acidentes. No caso de Portugal, em 2012, cerca de 76% dos acidentes com vítimas e 50% das vítimas mortais ocorreram em meio urbano (ANSR, 2012). Tendo em conta que os acidentes rodoviários serão, num futuro próximo, uma das principais causas de morte a nível global, a gestão da segurança será um fator essencial para qualquer país. Neste contexto os Modelos de Previsão de Acidentes são fundamentais nos sistemas de gestão.

O objetivo fulcral do presente estudo foi a identificação dos principais fatores que contribuem para ocorrência de acidentes de viação, através do desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes, totais e apenas colisões envolvendo mortos e feridos, para as interseções de três ramos localizadas em zonas urbanas e periurbanas.

O desenvolvimento do trabalho apoiou-se numa base de dados que contém 68 interseções de três ramos das Estradas Nacionais 14, 101 e 206 localizadas em zonas periurbanas e urbanas. Os dados nela contidos incluem os acidentes de viação, o tráfego e as características geométricas das interseções e segmentos limítrofes no período de 2008 a 2012. Relativamente às variáveis que compõem as características geométricas foram considerados três conjuntos: no primeiro conjunto as variáveis referentes à interseção, num segundo conjunto as variáveis resultantes da média de algumas variáveis geométricas da interseção e dos seus segmentos limítrofes, e por último o terceiro conjunto resultantes a diferença de algumas variáveis geométricas da interseção e dos seus segmentos limítrofes, que traduzem a consistência do traçado. Os modelos de previsão dos acidentes de viação foram desenvolvidos com o auxílio das técnicas de modelação dos Modelos Lineares Generalizados e de Zeros Inflacionados considerando as distribuições Binomial Negativa e Poisson e validados pela técnica da validação cruzada.

Para a previsão de acidentes totais e das colisões, o modelo que apresentou o melhor resultado foi o Modelo Linear Generalizado Binomial Negativo, com variáveis explicativas representativas da consistência do traçado em ambos os casos. Desta forma, fica disponível uma ferramenta importante para fundamentação de intervenções nas infraestruturas com vista à melhoria da segurança rodoviária.

Palavras-chave: Acidentes, colisões, modelos de previsão, modelos lineares generalizados, modelos de zeros inflacionados, consistência de traçado.

Abstract

The road accidents have shown large losses for the humanity. For this reason, the study of the causes of road accidents is an area that is in development, which is particularly important in urban areas because, currently, in these areas occur more accidents. In the case of Portugal, in 2012, approximately 76% of accidents involving injuries and 50% of fatalities occurred in urban areas (ANSR, 2012). Having regard to the fact that road accidents will be, in the near future, one of the main causes of death at the global level, the safety management will be an essential factor for any country. In this context Accident Prediction Models are fundamental in management systems.

The central objective of this study was the identification of the main factors that contribute to accidents occurrence, through the development of accident prediction models, all types and only collisions involving injuries and deaths, for three legs intersections located in urban and periurban areas.

The development of the work was supported by a database that contains 68 three leg intersections of the National Roads 14, 101 and 206 located in peri-urban areas and urban. The data contained therein include traffic accidents, traffic and the geometric characteristics of intersections and adjacent segments in the period of 2008 to 2012. Regarding the variables that constitute the geometrical characteristics, three sets were considered: the first set of variables regarding the intersection, a second set of variables resulting average certain geometric variables of the intersection and its neighboring segments, and finally the third set resulting from the difference of certain geometric variables of the intersection and its neighboring segments, which reflect the design consistency. The accidents prediction models were developed with the assistance of the modeling techniques of Generalized Linear Models and Zero Inflated Models considering Negative Binomial and Poisson distributions and validated by the cross-validation technique.

For the prediction of total accidents and collisions, the model that showed the best result was the generalized linear Models Negative Binomial, with explanatory variables representing the design consistency in both cases. This way it is available an important tool to support infrastructures interventions aiming at improving road safety.

Keywords: Accidents, collisions, prediction models, generalized linear models, zero inflated models, design consistency.

Índice

1	Introdução	1
1.1	A Segurança nas Estradas em Portugal	3
1.2	Medidas de Segurança Rodoviária	4
1.3	Objetivo	5
1.4	Estrutura da Dissertação	5
2	Hierarquia da Rede Viária	7
2.1	Nível Hierárquico das Vias Seleccionadas para o Estudo	8
2.2	Tipologias de Interseções de Nível	8
2.3	Pontos de Conflito	9
2.4	Manobras que Causam Conflito	10
2.4.1	Atravessamento	10
2.4.2	Entroncamento	11
2.4.3	Convergência	11
2.4.4	Divergência	11
3	Modelos de Previsão de Acidentes	13
3.1	Modelos Desenvolvidos em Portugal	14
3.2	Modelos Lineares Generalizados	19
3.2.1	Formulação do Modelo	19
3.2.2	Modelo de Poisson	19
3.2.3	Modelo Binomial Negativo	21
3.3	Modelos para Dados de Contagem com Excesso de Zeros	22
3.3.1	Modelo de Poisson Zeros Inflacionados	22
3.3.2	Modelo Binomial Negativo Zeros Inflacionados	23
4	Modelação de Acidentes em Interseções de Três Ramos	24
4.1	Metodologia Geral da Modelação dos Acidentes	24

4.2	Identificação da Rede em Estudo	25
4.3	Base de Dados para os Modelos de Previsão de Acidentes.....	27
4.3.1	Características Geométricas	27
4.4	Dados de Tráfego.....	31
4.5	Dados de Acidentes	32
4.6	Desenvolvimento dos Modelos de Previsão de Acidentes	32
4.6.1	Avaliação do Modelo	32
4.6.2	Teste Vuong	33
4.6.3	O Critério do Gráfico dos Resíduos Acumulados.....	33
4.6.4	O Critério de Akaike	34
4.7	Validação dos Modelos.....	34
5	Modelos de Previsão dos Acidentes Totais e Colisões para Interseções de Três Ramos	36
5.1	Modelos de Acidentes Totais.....	36
5.1.1	Modelos MLG	36
5.1.2	Modelos de Zeros Inflacionados	37
5.1.3	Comparação dos Modelos de Previsão de Acidentes Totais.....	39
5.1.4	Análise pelo Método de Vuong.....	39
5.1.5	Análise Complementar – Gráfico dos Resíduos Acumulados e Akaike ...	40
5.1.6	Análise dos Resultados da Modelação	43
5.1.7	Discussão dos Resultados.....	44
5.1.8	Validação dos Modelos	45
5.2	Modelos de Previsão de Colisões	46
5.2.1	Modelos MLG	46
5.2.2	Modelos de Zeros Inflacionados	47
5.2.3	Comparação dos Modelos para Colisões	49

5.2.4	Análise pelo Teste de Vuong	49
5.2.5	Análise Complementar – Gráfico dos Resíduos Acumulados e Akaike ...	50
5.2.6	Análise dos Resultados da Modelação	53
5.2.7	Discussão dos Resultados.....	54
5.2.8	Validação dos Modelos	55
6	Conclusão.....	57
6.1	Limitações do Trabalho de Investigação	59
6.2	Trabalhos Futuros	60
7	Obras Citadas	61

Índice de Figuras

Figura 1: Evolução do número de mortos em acidentes rodoviários, em Portugal (Fonte: (ANSR, 2012))	3
Figura 2: Interseções (RSM, 2003).....	12
Figura 3: Esquema funcional para a análise das variáveis.....	26
Figura 4: CURE Plot para o Grupo 1: a) MLGBN; b) MLGP	41
Figura 5: CURE Plot para o Grupo 1: a) ZINB; b) ZIP.....	41
Figura 6: CURE Plot para o Grupo 2: a) MLGBN; b) MLGP	42
Figura 7: CURE Plot para o Grupo 2: a) ZINB; b) ZIP.....	42
Figura 8: CURE Plot para o Grupo 3: a) MLGBN; b) MLGP	43
Figura 9: CURE Plot para o Grupo 3: a) ZINB; b) ZIP.....	43
Figura 10: CURE Plot para o Grupo 1: a) MLGBN; b) MLGP	51
Figura 11: CURE Plot para o Grupo 1: a) ZINB; b) ZIP.....	51
Figura 12: CURE Plot para o Grupo 2: a) MLGBN; b) MLGP	52
Figura 13: CURE Plot para o Grupo 2: a) ZINB; b) ZIP.....	52
Figura 14: CURE Plot para o Grupo 3: a) MLGBN; b) MLGP	53
Figura 15: CURE Plot para o Grupo 3: a) ZINB; b) ZIP.....	53

Índice de Tabelas

Tabela 1: Modelos desenvolvidos no estrangeiro e em Lisboa	15
Tabela 2: Formas funcionais dos modelos finais ajustados para interseções de três ramos.....	17
Tabela 3: Formas funcionais dos modelos de previsão dos acidentes de viação dos segmentos.....	18
Tabela 4: Distribuição das interseções de três ramos nas EN estudadas	27
Tabela 5: Grupo 1, variáveis explicativas.....	28
Tabela 6: Grupo 2, variáveis explicativas mais as médias	29
Tabela 7: Grupo 3, variáveis explicativas mais as diferenças	29
Tabela 8: Estatísticas descritivas das características geométricas das interseções	30
Tabela 9: Estatísticas descritivas das características das variáveis binárias.....	31
Tabela 10: Variáveis de tráfego utilizadas na modelação dos elementos viários.....	31
Tabela 11: Estatísticas descritivas do tráfego nas 68 interseções.....	31
Tabela 12: Fórmulas funcionais testadas	32
Tabela 13: Modelo MLGBN e MLGP do Grupo 1	37
Tabela 14: Modelo MLGBN e MLGP do Grupo 2	37
Tabela 15: Modelo MLGBN e MLGP do Grupo 3	37
Tabela 16: Modelo ZINB e ZIP do Grupo 1	38
Tabela 17: Modelo ZINB e ZIP do Grupo 2.....	38
Tabela 18: Modelo ZINB e ZIP do Grupo 3.....	39
Tabela 19: Teste estatístico de Vuong ZINB <i>versus</i> MLGBN para acidentes totais.	39
Tabela 20: Teste estatístico de Vuong ZIP <i>versus</i> MLGP para acidentes totais	40
Tabela 21: Valores de AIC dos modelos de acidentes totais.....	40
Tabela 22: Parâmetros da validação do Grupo 1 dos acidentes totais	45
Tabela 23: Parâmetros da validação do Grupo 2 dos acidentes totais	45
Tabela 24: Parâmetros de validação do Grupo 3 dos acidentes totais	46
Tabela 25: Modelo MLGBN e MLGP do Grupo 1	46
Tabela 26: Modelo MLGBN e MLGP do Grupo 2	47
Tabela 27: Modelo MLGBN e MLGP do Grupo 3	47
Tabela 28: Modelo ZINB e ZIP do Grupo 1.....	48
Tabela 29: Modelo ZINB e ZIP do Grupo 2.....	48

Tabela 30: Modelo ZINB e ZIP do Grupo 3.....	49
Tabela 31: Teste estatístico de Vuong ZINB versus MLGBN	49
Tabela 32: Teste estatístico de Vuong ZIP versus MLGP	50
Tabela 33: Valores de AIC dos modelos de colisões.....	50
Tabela 34: Parâmetros da Validação do Grupo 1 para as Colisões	55
Tabela 35: Parâmetros da Validação do Grupo 2 para as Colisões	56
Tabela 36: Parâmetros da Validação do Grupo 3 para as Colisões	56

Lista de abreviaturas:

AIC	Critério de Informação de Akaike (<i>Akaike Information Criterion</i>)
ANSR	Autoridade Nacional da Segurança Rodoviária
BEAV	Boletim Estatístico de Acidentes de Viação
BN	Binominal Negativa
CURE Plot	Gráfico de Resíduos Acumulados
CNSR	Conselho Nacional de Segurança Rodoviária
EEG	Equações de Estimação Generalizadas
EN	Estrada Nacional
ENSR	Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária
EP	Estradas de Portugal
UE	União Europeia
ISCTE	Instituto Superior das Ciências do Trabalho e da Empresa, Universitário de Lisboa
MLG	Modelo linear generalizado
MLGBN	Modelo linear generalizado Binominal Negativo
MLGP	Modelo linear generalizado Poisson
MPA	Modelo de previsão de acidentes
PE	Parlamento Europeu
PNPR	Plano Nacional de Prevenção rodoviária
P	Poisson
TMDA	Tráfego Diário Médio Anual
ZINB	Modelo de Zeros Inflacionados Binominal Negativo
ZIP	Modelo de Zeros Inflacionados Poisson

1 Introdução

Os acidentes rodoviários serão, num futuro próximo, uma das principais causas de morte a nível global. Por essa razão a gestão da segurança rodoviária é um fator essencial para qualquer país (Sminkey, 2011). Os modelos de previsão de acidentes são fundamentais nos sistemas de gestão da segurança rodoviária.

A segurança rodoviária é um fato de grande importância no contexto da política de transportes europeus. Tendo em conta a Resolução do Parlamento Europeu de 27 de Setembro de 2011, sobre a política europeia de segurança rodoviária de 2011 a 2020 (Parlamento Europeu, 2011), em 2009 mais de 35 000 pessoas morreram e 1 500 000 sofreram ferimentos em acidentes nas estradas da União Europeia. Segundo as estatísticas, a cada acidente mortal correspondem ainda 4 acidentes que provocam incapacidades permanentes, 10 que dão origem a ferimentos graves e 40 que provocam ferimentos ligeiros (Parlamento Europeu, 2010).

O custo dos acidentes de viação para a sociedade está estimado em cerca de 130 000 milhões de euros anuais. Prevê-se que seja a quinta maior causa de morte em todo o mundo, resultando em cerca de 2,4 milhões de mortes a cada ano, isto é, resultado de aumentos rápidos na motorização sem melhora suficiente nas estratégias de segurança rodoviária. As consequências económicas de acidentes de trânsito têm sido estimadas entre 1% a 3% do respetivo PIB dos países do mundo, atingindo um total de mais de 500 mil milhões de dólares (Sminkey, 2011).

Considera-se que a segurança rodoviária é da responsabilidade da sociedade na sua globalidade. Na União Europeia, ainda continua a existir uma tolerância social relativamente elevada para com os acidentes de viação, e o tráfego rodoviário continua a provocar um elevado número de vítimas todos os anos, com valores equivalentes à queda de 250 aviões comerciais de média dimensão (Parlamento Europeu, 2011).

Devido aos elevados custos que os acidentes de viação acarretam para a sociedade, o conhecimento dos fatores que afetam a probabilidade de ocorrência de um acidente tem sido uma área de investigação de há muitas décadas.

Uma grande parte dos investigadores abordou este problema. Debruçaram-se sobre a compreensão dos fatores que afetam a frequência de acidentes ocorrida em determinados elementos do sistema rodoviário, nomeadamente segmento ou interseção. Sendo essa análise durante um certo período ou vários (semana, mês, ano ou grupo de anos). Estes estudos têm como objetivo produzir e obter relação entre os acidentes de viação e as variáveis explicativas, como por exemplo o tráfego, o comprimento da estrada em análise, a sua largura, o número de interseções. Os modelos obtidos nestes estudos de sinistralidade podem constituir uma ferramenta de utilização generalizada, mas estes também devem ser moldados aos contextos que se vão introduzir e a que tipo de informação se quer retirar na sua implementação (Costa, 2013).

Com a deslocação das populações para as zonas urbanas e periurbanas torna-se crucial proceder a uma boa gestão das vias rodoviárias, derivado ao fato de o volume de tráfego ser cada vez maior e mais intenso. Sendo estas as zonas que apresentam o maior número de acidentes (Silva, Maia Seco, & Gonçalves Macedo, 2008).

Dentro destas zonas, são as interseções que se realçam, pois é aqui que o tráfego se cruza separa ou junta em várias correntes de tráfego, registando o maior número de acidentes em zonas urbanas e periurbanas. As interseções são consideradas as zonas mais perigosas da via rodoviária, tendo em conta, que junta num só ponto vários os elementos críticos, quer sob o prisma da segurança rodoviária da via com o ponto de vista de fluidez do tráfego, devido a sua multiplicidade e complexidade das interações dos condutores (Guerreiro, 2012). Uma boa gestão do tráfego nas interseções é extremamente importante.

Em Portugal foi adotada a seguinte visão:

«ALCANÇAR UM SISTEMA HUMANIZADO DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO»
(Diário da República, 2014)

Consequentemente, a sinistralidade em Portugal deverá tender, a longo prazo, para um número de zero mortos e zero feridos graves e admitir como imperativo ético que «*Ninguém deve morrer ou ficar permanentemente incapacitado na sequência de um acidente rodoviário em Portugal*» (Diário da República, 2014).

O sistema de transporte sendo criado, construído, gerido, operado e utilizado pelo homem é um sistema artificial. Tendo isto como finalidade de servir os cidadãos e a

economia faz todo o sentido que sejam criados e geridos mecanismos que melhorem a seguranças dos seus utilizadores (Diário da República, 2014).

1.1 A Segurança nas Estradas em Portugal

Desde o final dos anos 90, tem-se verificado uma evolução negativa no número de mortos ocorridos em Portugal (Figura 1), o que permite planificar uma estratégia mais ambiciosa e colocar Portugal numa posição confortável entre os países que fazem parte da União Europeia (ANSR, 2012). De facto, nesta última década, foram alcançados resultados encorajadores, particularmente na redução acentuada do número de vítimas mortais (ANSR, 2009).

A revisão da Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária (ENSR), definida para um período de 2008 a 2015 tem este objetivo e esta ambição mas para a sua concretização, precisará do empenho de toda a sociedade, de forma a se poder afirmar a segurança rodoviária como um verdadeiro desígnio nacional.

A evolução destes números tem sido, de uma forma geral, muito favorável no conjunto dos países da EU, principalmente no que respeita ao número de mortos, tal como é possível de observar pela Figura 1.

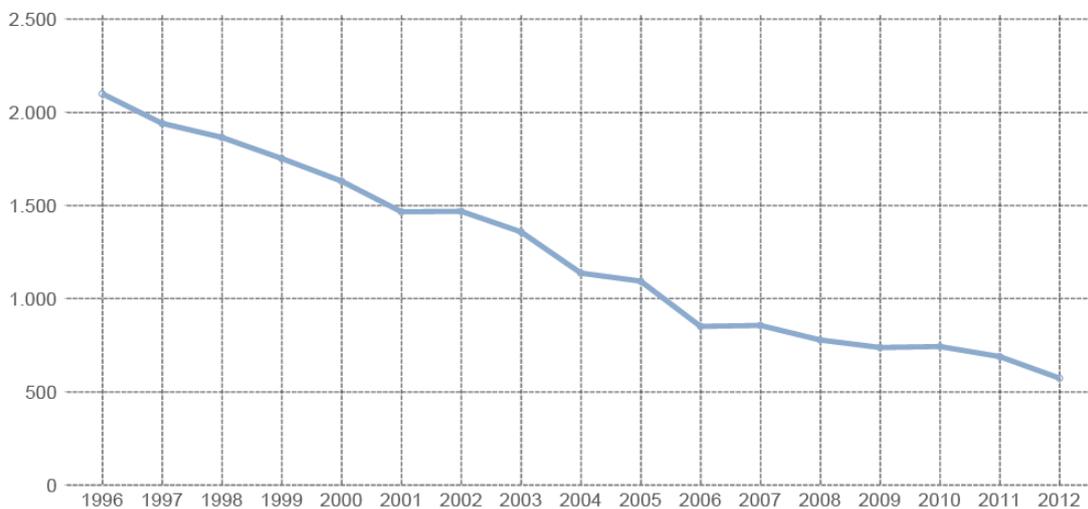


Figura 1: Evolução do número de mortos em acidentes rodoviários, em Portugal
(Fonte: (ANSR, 2012))

1.2 Medidas de Segurança Rodoviária

Para fazer face à elevada sinistralidade rodoviária registada em Portugal nos últimos anos, várias medidas foram tomadas, nomeadamente a alteração ao Código da Estrada.

Em 2001 procede-se ao agravamento das sanções pecuniárias no Código da Estrada. No ano de 2003 é elaborado o Plano Nacional de Prevenção Rodoviária, com o intuito de avaliar a situação da sinistralidade rodoviária e levantar os principais problemas que condicionam a segurança rodoviária em Portugal.

Foi com esta perspetiva que o Conselho Nacional de Segurança Rodoviária (CNSR), sob a égide da Secretaria de Estado da Administração Interna, encetou um processo conducente à elaboração do Plano Nacional de Prevenção Rodoviária (PNPR).

Em 2005 volta a ocorrer nova alteração ao Código da Estrada, com o agravamento das sanções pecuniárias e acessórias.

Foi de acordo com as Grandes Opções do Plano para 2008, no âmbito da Segurança Rodoviária (Lei n.º 31/2007, de 10 de Agosto), que a Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), com o acompanhamento e direção científica do Instituto Superior das Ciências do Trabalho e da Empresa, Universidade de Lisboa (ISCTE), procedeu à elaboração do documento, tendo em vista apresentar a definição da Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária (ENSR) para o período 2008-2015.

Em 2009, a ANSR propõe contribuir para as autarquias através da elaboração do documento guia para a elaboração de Planos de Segurança Rodoviária, reconhecendo desta forma a importância do poder autárquico como agente fundamental para a implementação de políticas locais de aplicação de ENSR.

Recentemente foi feita a revisão da ENSR publicado no Diário da República, 1.^a série - N.º 8 - 13 de janeiro de 2014, Revisão Intercalar 2013 - 2015 da Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária, com uma visão de segurança rodoviária Portuguesa executada através de um Sistema de Transporte Rodoviário Seguro, com políticas públicas de segurança em conformidade com os mais exigentes padrões internacionais, envolvendo todos os organismos da administração pública inerentes a atividade da segurança rodoviária. Considerando que este deve ser tido como um desígnio nacional uma vez que, esta se desenvolve de forma transversal em toda a sociedade.

1.3 Objetivo

Neste contexto, o principal objetivo do trabalho é desenvolver modelos de previsão de acidentes para interseções de 3 ramos inseridas em meio urbano e periurbano. De realçar que para este estudo não estão incluídos os acidentes com peões. Para atingir este objetivo será necessário fazer uma análise das variáveis que interferem diretamente na ocorrência de acidentes e a sua posterior inclusão no modelo com base em técnicas de modelação e seleção de variáveis adequadas.

Com este estudo pretende-se contribuir para a melhoria da segurança rodoviária em meio urbano e periurbano, através de uma melhor compreensão dos fatores que influenciam os acidentes e assim obter medidas mitigadoras.

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está organizada em seis capítulos da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução – Neste capítulo é abordado o enquadramento do tema tratado e a problemática social que representa. E a segurança nas estradas de Portugal, reservado à apresentação da realidade nacional e a demonstração dos resultados obtidos ao longo dos anos.

Capítulo 2 – Medidas de Segurança Rodoviária – Este capítulo faz uma descrição das medidas de segurança. Refere as disposições normativas relativas à sua hierarquização das vias e como as mesmas estão classificadas em Portugal, convergindo para a análise dos pontos de conflito resultantes das interseções.

Capítulo 3 – Modelos de Previsão de Acidentes – Neste capítulo são explicados Modelos de Previsão de Acidentes desenvolvidos assim como a sua finalidade em determinar uma taxa esperada de acidentes, a partir de variáveis que refletem as condições geométricas do local considerado (intersecção) e da operação do tráfego. Além disso, são apresentadas as técnicas de modelação ao longo do trabalho, para avaliar a sinistralidade da rede urbana e periurbana.

Capítulo 4 – Modelação de Acidentes em Interseções de Três Ramos – Neste capítulo pretende-se explicar a metodologia usada para o desenvolvimento dos modelos de acidentes totais e colisões.

Capítulo 5 – Modelos de Previsão dos Acidentes Totais e Colisões para Interseções de Três Ramos – Neste capítulo pretende-se apresentar as hipóteses testadas e os modelos obtidos, bem como as suas variáveis e valores de calibração, assim como analisar os resultados obtidos e a definição do melhor modelo a ser aplicado.

Capítulo 6 – Conclusão – Neste capítulo pretende-se resumir os resultados obtidos e ainda analisar as limitações do estudo assim como as possibilidades de desenvolvimento no futuro.

2 Hierarquia da Rede Viária

Para uma gestão eficaz da rede viária, do tráfego e conseqüentemente da sinistralidade é inevitável definir e ter presente uma hierarquização funcional das vias.

A hierarquia da rede viária corresponde à classificação das vias de acordo com a função que devem desempenhar. O papel de uma via é caracterizado por três parâmetros principais, a função “transporte”, a função “acessibilidade” e a função “social”.

A função “transporte” caracteriza o desempenho de uma via em termos de capacidade e velocidade de escoamento dos fluxos de pessoas e bens, e é máxima quando a infraestrutura é em sítio próprio (autoestrada) (Guerreiro, 2012).

A função “acessibilidade” descreve o grau de ligação/relação com um determinado território assegurado por uma via, e é inversamente proporcional à função “transporte”.

A função “social” representa a intensidade das atividades que se desenvolvem na envolvente das vias e da relação que a via estabelece com essas atividades (IMTT, 2011).

Neste sentido tem-se uma divisão em níveis, a definição da hierarquia viária deverá partir da importância das ligações que se pretendem fornecer e formaliza-se no tipo de perfil e condições de operação que a via deverá oferecer (IMTT, 2011).

No primeiro nível a Rede Supra Concelhia, que está assegurar os principais acessos ao concelho, as deslocações intraconcelhias de maior distância e, sobretudo, garantir o atravessamento entre concelhos (ligações intermunicipais e regionais).

Num segundo nível a Rede Estruturante e de Distribuição Principal, que deve assegurar a distribuição dos maiores fluxos de tráfego do concelho, bem como os percursos de média distância e o acesso à rede de primeiro nível.

Num terceiro nível a Rede de Distribuição Secundária, que deve ser composta por vias internas aos aglomerados urbanos e assegurar a distribuição próxima, bem como o encaminhamento dos fluxos de tráfego para as vias de nível superior.

Num quarto nível a Rede de Distribuição Local (rede de proximidade) deve ser composta por vias estruturantes ao nível do bairro, com alguma capacidade de escoamento, mas onde o elemento principal é já o peão;

Por último o quinto nível, a Rede de Acesso Local, que deve garantir o acesso rodoviário ao edificado, reunindo condições privilegiadas para a circulação pedonal.

2.1 Nível Hierárquico das Vias Seleccionadas para o Estudo

O procedimento proposto para o desenvolvimento de Modelos de Previsão de Acidentes (MPA) refere-se a interseções de três ramos inseridas em estradas nacionais da Região do Minho e em zonas urbanas e periurbanas. As estradas seleccionadas foram a EN 14, EN 101 e EN 206, em que estas se inserem no 3º, 4º e 5º nível.

2.2 Tipologias de Interseções de Nível

As interseções são pontos da rede viária onde várias vias se intersejam, havendo áreas ou zonas comuns a cada uma dessas vias. É nas interseções que o tráfego se interseja, cruza, separa ou junta, gerando na maior parte das vezes conflitos entre os diferentes veículos. Estes conflitos são muitas vezes admitidos, mas resolvidos e regulados de acordo com regras predefinidas e específicas de cada tipo de interseção (Guerreiro, 2012).

A capacidade e o desempenho global de uma rede viária dependem em grande medida do funcionamento das suas interseções, assumindo as interseções por esse facto uma importância muito relevante. Os problemas de funcionamento e de congestionamento em redes viárias geralmente verificam-se por falta de capacidade nas interseções, onde a procura excede a oferta disponível, ocorrendo um elevado número de conflitos entre veículo/veículo e entre veículos/peão (Guerreiro, 2012).

A gestão de tráfego na rede viária assume uma importância especial nas interseções, considerados os elementos críticos de toda a rede viária, quer sob o ponto de vista da segurança rodoviária, quer sob o ponto de vista das condições de escoamento, devido à multiplicidade e complexidade das interações entre todos os seus utilizadores.

Na rede viária urbana é nas interseções que mais se faz sentir o conflito de interesses entre as veículos e peões, uma vez que, como têm que partilhar o mesmo espaço físico, torna-se difícil conciliar o sempre necessário aumento de capacidade para os veículos, com as necessidades de peões.

2.3 Pontos de Conflito

As intersecções prioritárias e com prioridade à direita, nas suas diferentes formas, são o tipo de intersecções com maior aplicabilidade em Portugal, estendendo-se quer às zonas urbanas quer interurbanas.

A sua forma mais simples, pouco exigente, quer em termos geométricos quer em sinalização, permite obter soluções agradáveis e funcionais com baixos custos, desde que o volume de tráfego não seja elevado (Silva, Maia Seco, & Gonçalves Macedo, 2008). As intersecções simples, com 3 ou 4 ramos afluentes, resultam assim da simples concordância entre as bermas das vias intersectadas, sendo, muitas das vezes, isentos de qualquer marcação horizontal e de sinais de trânsito.

Quando providos de sinalização reguladora, onde são claramente definidos os níveis de prioridade dos diferentes utilizadores, denominam-se de intersecções prioritárias e asseguram habitualmente um maior potencial de desempenho, nomeadamente em termos de segurança e capacidade.

A presença de elevados níveis de tráfego e ou de índices de sinistralidade, a necessidade de condicionar o comportamento dos condutores e, conseqüentemente, reduzir as áreas de conflito no interior das intersecções, conduziu à procura de formas de canalizar os diferentes movimentos direcionais, separando-os no espaço. Surgem assim outras formas geométricas com ilhéus e separadores centrais que permitem facilitar o entendimento da intersecção e orientar, de uma forma clara e intuitiva, o condutor sobre a posição de paragem e as trajetórias a adotar em função do destino pretendido. Este tipo de intersecção garante já melhores níveis de serviço, e sobretudo, menores índices de sinistralidade, alargando significativamente o domínio de aplicabilidade das intersecções prioritárias (Silva, Maia Seco, & Gonçalves Macedo, 2008).

Para melhor perceber o risco existente em intersecções tem de ser feita uma abordagem aos pontos de conflito que subsistem nesses locais, bem como as manobras que os proporcionam.

Designa-se por pontos de conflito os pontos resultantes do cruzamento, convergência ou divergência das linhas de movimento dos veículos/peões. Cada tipo de intersecção tem um determinado número de pontos de conflito. O número de pontos de conflito e o

seu tipo indicam o potencial para acidentes de uma intersecção, pelo que a sua minimização é aconselhável.

Nas intersecções de três ramos existem quatro tipos de conflitos rodoviários, nomeadamente, divergência, convergência, atravessamento e entrecruzamento (Silva, Maia Seco, & Gonçalves Macedo, 2008). Sempre que, pelo menos, duas vias se intersetam, são criadas situações particulares de funcionamento que justificam diferentes tipos de manobras, dependendo o número e tipo de pontos de conflito de múltiplos fatores, designadamente: número de vias intersetadas; número de vias em cada ramo afluente; (in) existência de canalização de movimentos; e sentidos de trânsito contemplados. Da mesma forma que as intersecções com prioridade à direita, as intersecções prioritárias, caracterizam-se por um elevado número de pontos de conflito, sendo que existem 9 pontos de conflito em entroncamentos (Bastos Silva, Gonçalves Macedo, & Maia Seco, 2008).

2.4 Manobras que Causam Conflito

De acordo com (Silva, Maia Seco, & Gonçalves Macedo, 2008), as intersecções existem quatro tipos básicos de conflitos rodoviários, associados a quatro tipos de manobras fundamentais, designadamente: atravessamento; entrecruzamento; divergência; convergência. De seguida são apresentadas as quatro manobras fundamentais em intersecções, no sentido decrescente de perigosidade e gravidade dos embates ou colisões entre veículos.

2.4.1 Atravessamento

O movimento de atravessamento a partir da via secundária é uma manobra característica das intersecções em “X” ou em “Cruz” e corresponde à manobra mais perigosa, sendo o embate entre veículos do tipo frente/lateral habitualmente com ângulos próximos dos 100 graus.

Na manobra de atravessamento o condutor deve avaliar os intervalos de tempo disponibilizados pelas correntes principais e avançar quando considerar que o pode fazer em segurança.

Normalmente o atravessamento conflitua com as várias correntes que pretende atravessar, pelo que o condutor terá de compatibilizar os intervalos disponibilizados por

essas correntes, sendo a perigosidade da manobra tanto maior quando mais vias tiverem que atravessar.

2.4.2 Entroncamento

A manobra de entrecruzamento é típica dos nós de ligação, também encontrada com frequência em rotundas. Habitualmente é composta por manobras de convergência e de divergência.

Os embates resultantes deste tipo de manobra são normalmente lateral/lateral, dependendo a sua perigosidade das velocidades praticadas por ambas as correntes de tráfego, tendo aqui os níveis de visibilidade um papel fundamental. O desempenho deste tipo de interseção depende ainda do comprimento disponibilizado pela via onde o tráfego se reúne e divide, já que à medida que este comprimento aumenta, aumenta simultaneamente a separação física entre os pontos de conflito de convergência e de divergência.

2.4.3 Convergência

A manobra de convergência é igualmente simples, mas está associada a um grau de perigosidade normalmente superior à manobra de divergência.

A definição geométrica, e em particular a canalização dos movimentos procura criar inserções com o menor ângulo possível. A adoção de vias de aceleração, associadas às interseções prioritárias, possibilita que o condutor não prioritário acelere e se insira na corrente prioritária a velocidades próximas das praticadas na via prioritária, minimizando a probabilidade de embate e permitindo ao condutor aceitar menores intervalos entre os veículos disponibilizados pela corrente prioritária.

2.4.4 Divergência

A manobra de divergência é considerada a mais simples e de pequena perigosidade, sendo uma manobra caracterizada pela separação de uma corrente de tráfego em duas ou mais correntes que os condutores podem optar.

Este tipo de manobra pode ter uma importância e grau de perigosidade mais elevado nas viragens à esquerda a partir da via principal, quando os veículos sejam, com frequência, obrigados a esperar imobilizados junto ao eixo da via por uma oportunidade de viragem. Este tipo de perturbação poderá ser consideravelmente atenuada pela implantação de vias de desaceleração que permitam ao veículo, que muda de direção

desacelerar e travar depois de abandonar a corrente principal (Bastos Silva, Gonçalves Macedo, & Maia Seco, 2008).

Dependendo do tipo de interseção pode-se ter vários pontos de conflito. Numa interseção de quatro ramos, como apresentada na Figura 2, existem 16 pontos de conflito e 16 pontos de conflito de convergência ou divergência. Se a mesma interseção passar para sentido único, os pontos de conflito diminuem para 7 e 7 pontos para conflitos de convergência ou divergência. Se a interseção de quatro ramos passar a ter apenas três ramos o número de pontos de conflito diminui para 6, enquanto que os pontos de conflito de convergência ou divergência passam para 12 (Figura 2).

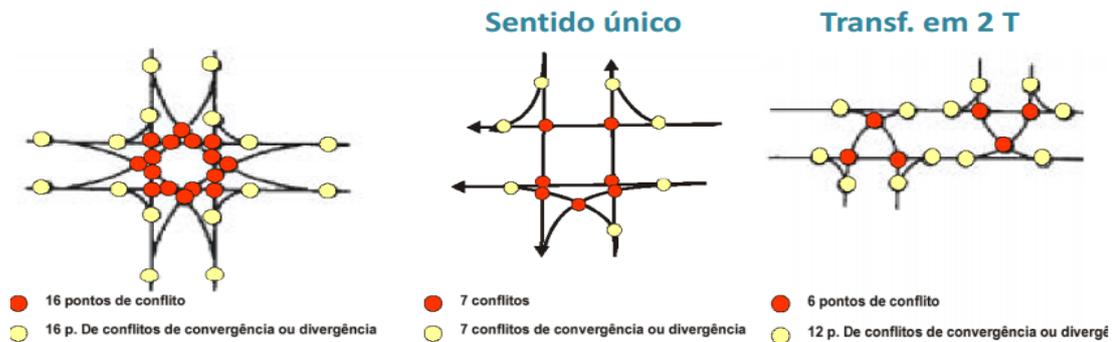


Figura 2: Interseções (RSM, PIARC -, 2003)

3 Modelos de Previsão de Acidentes

Os Modelos de Previsão de Acidentes são modelos estatísticos que têm por finalidade determinar uma taxa esperada de acidentes, a partir de variáveis que refletem as condições geométricas do local considerado (segmento viário ou intersecção) e da operação do tráfego (Claude, 2012).

Um modelo pode ser definido como a apresentação simplificada da realidade que reúne um determinado número de “pontos” considerados importantes para a sua análise (Gomes, 2010). Os modelos de estimativa são elaborados com o fundamento de permitirem estimar, da forma mais realista possível, a frequência esperada de acidentes rodoviários e as vítimas resultantes destes em função do tráfego e da geometria da estrada num determinado segmento. O número esperado de acidentes de um segmento ou intersecção rodoviária pode ser obtida através do número médio de acidentes que esse segmento ou intersecção terá, isto se o período de observação corresponder a um grande intervalo de tempo (Gomes, 2010).

Os modelos estatísticos podem desempenhar um papel fundamental no estudo da sinistralidade rodoviária, na medida em que é pouco viável realizar ensaios controlados para a descrição do mecanismo dos acidentes.

Na maioria dos casos os modelos são desenvolvidos com o intuito de proceder a uma medição dos efeitos parciais resultantes de um ensaio hipotético, em que um determinado diagnóstico é implementado, avaliando-se as alterações da frequência dos acidentes ou de outro indicador de sinistralidade. Normalmente para estratégias ou ações políticas pretendem-se realizar previsões para determinadas condições que constituem um cenário, e assim determinar as diferenças entre um cenário de referência e a solução alternativa que incluiu um conjunto de intervenções. Como ferramenta de apoio à decisão os modelos estatísticos podem ser bastante valiosos (Ferreira, 2010).

O desenvolvimento de modelos de previsão da frequência esperada de acidentes consiste numa componente fundamental nas considerações de segurança associadas ao planeamento, conceção e exploração de estradas. Consiste no estabelecimento de relações entre variáveis explicativas e o número de acidentes ou de vítimas através de funções matemáticas. Este procedimento permite quantificar a variação da sinistralidade associada à alteração de cada variável explicativa considerada (Gomes, 2010).

De vários fatores necessários para o desenvolvimento de Modelos de Previsão de Acidentes (MPA's) são considerados apenas: os dados de acidentes de trânsito; dados referentes ao volume diário médio anual (TDMA) de veículos nas vias/locais onde os acidentes ocorrem; características físicas e de uso /ocupação do solo nas vias /locais considerados (Claude, 2012).

Em função da elevada dispersão dos dados de acidentes, na elaboração dos modelos considera-se uma estrutura de erro, seguindo a distribuição de Poisson ou a Binomial Negativa (Poisson-Gama). As duas distribuições são aplicáveis a eventos aleatórios discretos e assumem valores inteiros positivos. Ao usar a distribuição de Poisson pressupõe-se que existe igualdade entre a média e a variância, no caso em que há dispersão dos dados, esse pressuposto não se verifica sendo aconselhado o uso da distribuição Binomial Negativa (Claude, 2012).

3.1 Modelos Desenvolvidos em Portugal

A elevada especificidade dos modelos de acidentes impede a sua aplicação direta a elementos situados em locais geograficamente distintos, não sendo mesmo possível em muitos casos fazer o ajuste dos mesmos para as condições locais. Na Tabela 1 são apresentados alguns modelos que foram aplicados a Portugal, para a estimativa de frequência de atropelamentos (MEFAT) e para a estimativa de frequência de acidentes com vítimas excluindo atropelamentos (MEFNAT) contrapostos aos desenvolvidos para Lisboa (Gomes, 2010).

Esta tentativa de aplicação e comparação de modelos desenvolvidos para interseções e também para elementos não foi bem-sucedida em Portugal (Gomes, 2010), comprovando a necessidade de elaboração de modelos para cada região ou localidade.

Um modelo desenvolvido para o meio urbano, neste caso para a cidade do Porto, com os dados de acidentes ocorridos entre 2001 e 2005, considerou duas abordagens de análise modelos de resposta quantitativa e qualitativa.

A primeira análise tem sido largamente aplicada no âmbito da sinistralidade, e com isso sendo possível determinar um número esperado de acidentes para uma fase temporal. A segunda análise, menos aplicada à sinistralidade, corresponde à probabilidade de ocorrer determinadas categorias, às quais corresponde um grau/nível de sinistralidade (Ferreira, 2010).

Tabela 1: Modelos desenvolvidos no estrangeiro e em Lisboa

Aplicação	Modelos desenvolvidos no estrangeiro		Modelos desenvolvidos para Lisboa
	Autor	Equação	
MEFAT em intersecções	Brüde e Larson	$A_p = 7.34 \times 10^{-6} \times FT^{0.50} \times PT^{0.72}$ (qualquer tipo)	$Y_i = 4.6776 \times 10^{-8} \times FT^{1.0785} \times PT^{0.5942}$ (intersecções de 3 ramos) $Y_i = 6,3831 \times 10^{-10} \times FVP^{1.9624}$ (intersecções de 4 ramos)
	Turner et al.	$A_p = 1.391 \times 10^{-12} \times FT_{Princ}^{2.0545} \times PT_{Princ}^{0.6670}$ (intersecções semaforizadas de três ramos)	$Y_i = 4.6776 \times 10^{-8} \times FT^{1.0785} \times PT^{0.5942}$
	Turner et al.	$A_p = 1.326^{-3} \times FT^{-0.0853} \times PT^{0.6237}$ (rotundas)	$Y_i = 8.0494 \times 10^{-7} \times (FT + PT)^{1.2289}$
	Gårder	$A_p = 0.028 \times (FT \times PT)^{0.53}$ (rotundas)	
MEFNAT em intersecções	Mountain et al.	$A_{Ti} = 0.141 \times FT_{Princ}^{0.64} \times FT_{Sec}^{0.24}$ (intersecções reguladas pela regra da prioridade)	$Y_i = 2.5333 \times 10^{-5} \times FT^{1.0592}$
		$A_{Ti} = 0.180 \times FT_{Princ}^{0.64} \times FT_{Sec}^{0.24}$ (intersecções semaforizadas)	
		$A_{Ti} = 0.168 \times FT_{Princ}^{0.64} \times FT_{Sec}^{0.24}$ (rotundas)	$Y_i = 1.9488 \times 10^{-7} \times FT^{1.4985}$
MEFNAT em segmentos	Mountain et al.	$A_p = 0.083 \times L \times FT^{0.74} \times e^{1.63 \times DP^{0.15}}$ (segmentos com uma faixa de rodagem)	$Y_i = 1.7411 \times 10^{-6} \times FT^{0.6230} \times L^{1.1979}$ $Y_i = 3.8103 \times 10^{-6} \times FT^{0.4937} \times L^{1.2398} \times e^{0.4934 \times NLANES^4}$

Onde:

A_p – Número esperado de atropelamentos por ano;

A_{Ti} – Número médio de acidentes na intersecção i para um período de três anos;

MEFAT – Modelos de estimativa de frequência de atropelamentos;

MEFNAT – Modelos de estimativa de frequência de acidentes com vítimas excluindo atropelamentos;

Y_i – Numero esperado de acidentes;

FT – TMDA de veículos motorizados;

PT – TMDA de peões;

FVP – Somatório do tráfego de entrada de veículos motorizados com o tráfego de peões por dia para a intersecção i e ano t ;

FTPrinc – TMDA de veículos motorizados na direção principal;

FTSec – TMDA de veículos motorizados na direção secundária;

L – Comprimento da secção;

DP – Tráfego pedonal (milhões de peões que atravessam o segmento/quilómetro/ 12horas);

NLANES4 – Número total de vias igual ou superior a 4;

Os modelos desenvolvidos foram aplicados em arcos e nós, que foram obtidos através do Plano Diretor Municipal, sendo os volumes de tráfego na rede estimados a partir de contagens reais no terreno e da aplicação de um modelo de afetação de tráfego (Ferreira, 2010).

O modelos desenvolvidos por (Ferreira, 2010), não foram conclusivos o que implica que seja necessário validá-los quanto à capacidade de previsão. Isto é, será necessário testar o modelo com uma nova base de dados e aplicar os modelos e verificar a sua veracidade em previsão, sendo ainda necessário aplicar os modelos a outras zonas urbanas para verificar se pode ser transposto para outras realidades urbanas (Ferreira, 2010).

Por outro lado, foram recentemente desenvolvidos modelos para as EN's no norte de Portugal, cuja particularidade é ligarem centros urbanos muito próximos, com base na sinistralidade observada nos trechos: (i) Braga-Famalicão (EN-14); (ii) Braga-Vila Verde (EN-101); (iii) Braga Guimarães (EN-101); (iv) Guimarães-Felgueiras (EN-101); (v) Famalicão-Guimarães (EN-206); (vi) Guimarães-Fafe (EN-206) (Costa, 2013).

Esses modelos foram desenvolvidos com o auxílio das técnicas de modelação dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) e das Equações de Estimação Generalizadas (EEG), considerando a componente de erro uma distribuição binomial negativa, para interseções de três ramos e segmentos homogéneos em ambiente rural; segmentos com 200 e 400 metros; e previsão de acidentes totais e de colisões (Costa, 2013).

Os desenvolvimentos dos modelos de previsão com as desagregações consideradas foram elaborados com duas bases de dados principais. A primeira foi definida para modelação dos acidentes de viação ocorridos nas interseções de três ramos, em que foram observados os dados dos acidentes de viação (acidentes totais e colisões), o tráfego (representado pelo tráfego médio diário anual – TMDA da direção principal e da direção secundária) e as características geométricas para o período de estudo de 2008 a 2010 (Costa, 2013).

Relativamente às variáveis que compõem as características geométricas foram utilizadas diferentes combinações de 3 grupos de variáveis. Estes grupos foram definidos em função das características das interseções e dos segmentos de 200 metros de comprimento que fazem limite com a área de influência de cada interseção, buscando

com a inclusão das variáveis destes grupos, incluir nos modelos de previsão a consistência do traçado da estrada (Costa, 2013).

A segunda base de dados foi definida para modelação dos acidentes de viação nos segmentos homogêneos, sendo composta por 88 segmentos de 200 metros de comprimento, com os seguintes dados: (i) acidentes de viação (acidentes totais e colisões) dos 12 anos estudados (1999-2010); (ii) série histórica do tráfego (representado pelo TMDA) dos 12 anos estudados (1999-2010); (iii) características geométricas dos segmentos. A partir desta base foram formadas bases de dados derivadas em função do tempo e do espaço. No caso do espaço, foram identificados 32 segmentos homogêneos de 400 metros de comprimento, enquanto em relação ao tempo foram consideradas diferentes formas de agregação para os dois comprimentos do estudo, nomeadamente: (i) 2 anos; (ii) 3 anos; (iii) 4 anos; (iv) 6 anos; (v) 12 anos (Costa, 2013).

Nos modelos de previsão dos acidentes de viação obtidos para as interseções de três ramos e para os segmentos homogêneos, verificou-se que a variável de tráfego, representada pelo TMDA dos segmentos e da direção principal e secundária das interseções, produziu um bom ajuste em todos os casos e também com contribuição negativa para a segurança viária, correspondendo a um incremento no número de acidentes com o aumento do tráfego. Para este ponto os modelos obtidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Formas funcionais dos modelos finais ajustados para interseções de três ramos

Variável resposta	Comb.	TM	Equação do Modelo
AT	1	MLG	$AT = e^{-3,8826x} (TMDAPMS)^{0,2165}$
	2	EEG	$AT = e^{-6,3898x} (TMDAT)^{0,4496} x e^{(0,4912xTPVP+0,4782xD2)}$
	3	EEG	$AT = e^{-4,5625x} (TMDAMS)^{0,1639} x e^{(-0,5916xPSVP+0,6002xD2+0,7582xDB+0,0366xDSV)}$
Col	1	MLG	$Col = e^{-5,6901x} (TMDAPMS)^{0,3045}$
	2	MLG	$Col = e^{-5,1448x} (TMDAPMS)^{0,2584} x e^{(0,550xTPVP)}$
	3	MLG	$Col = e^{-6,9147x} (TMDAT)^{0,6165} x e^{(-0,5746xTPVP-0,7929xPSVP+0,6758xDB+0,0402xDSV)}$

Onde:

EEG – Equação de estimação generalizada;

MLG – Modelo linear generalizado;

AT – Acidentes totais;

COL – Colisões;

TM – Técnica de modelação;

TMDAPMS – Multiplicação do tráfego medio anual da via principal pela via secundaria;

TMDAT – Total do tráfego médio anual da via principal com a secundária;

TMDA – Tráfego médio anual;

DSV – diferença absoluta entre MSV (média da sinuosidade em perfil dos segmentos de 200 metros que fazem limite com a área de influência da interseção) e SVI (sinuosidade em perfil da interseção);

D2 – Área envolvente da interseção;

DB – Composta pela diferença absoluta entre BVP (largura média da berma na direção principal) e MB (média da largura da berma nos segmentos de 200 metros que fazem limite com a área de influência da interseção);

L – Largura da via;

SH – Sinuosidade em planta;

PSVP – Presença de sinalização na direção principal;

Na modelação dos acidentes de viação dos segmentos homogéneos de 200 e 400 metros de comprimento, obteve os modelos da Tabela 3.

Tabela 3: Formas funcionais dos modelos de previsão dos acidentes de viação dos segmentos

Nº	Segmento	TM	Equação do Modelo
88	200 metros	EEG	AT $= e^{-5,8591x} (TMDA)^{0,3777} x e^{(-0,6423xL+0,0251xSV+0,0657xDPA)}$
		EEG	Col $= e^{-3,1888x} (TMDA)^{0,3450} x e^{(0,0246xSV+0,0827xDPA)}$
32	400 metros	MLG	AT $= e^{-10,0999x} (TMDA)^{0,7722} x e^{(1,3257xL+0,0190xSV+0,7376xDTP)}$
		EEG	Col $= e^{-12,2052x} (TMDA)^{0,7704} x e^{(1,6382xL-0,0009xSH+0,0286xSV+1,2016xDTP)}$

Onde:

EEG – Equação de estimação generalizada;

MLG – Modelo linear generalizado;

AT – Acidentes totais;

COL – Colisões;

TM – Técnica de modelação;

TMDA – Tráfego médio anual;

L – Largura da via;

SV – Sinuosidade em perfil;

DPA – Densidade de pontos de acesso;

DTP – Densidade de travessias pedonais;

SH – Sinuosidade em planta;

3.2 Modelos Lineares Generalizados

Nos últimos anos, o estudo de acidentes de viação é feito de forma frequente, identificando o comportamento de uma variável resposta em relação a uma ou mais variáveis explicativas. As variáveis explicativas são responsáveis por explicar a variabilidade da variável resposta, ou dependente. Para esses casos existem várias técnicas de modelação, nas quais se incluem os modelos de regressão.

Inicialmente os modelos de regressão foram desenvolvidos considerando a variável dependente com distribuição normal. Os autores (McCullagh e Nelder, 1983) sintetizaram o modelo linear clássico considerando um vetor y de n observações independentes, $y = (y_1, \dots, y_n)'$, que representa a variável dependente e uma matriz X de p variáveis explicativas. Neste modelo, supõe-se que y segue distribuição normal com média $E(y) = \mu = X\beta$ e $V(y) = \sigma^2$, onde μ é um vetor $n \times 1$ de médias, X é uma matriz $n \times p$ de variáveis independentes, β é um vetor $p \times 1$ de parâmetros e σ^2 é uma matriz diagonal $n \times n$ de variâncias.

Algumas distribuições de probabilidade que pertencem à família exponencial são: Normal Gama, Poisson e Binomial Negativa. Uma importante característica dos Modelos Lineares Generalizados – MLG's (*Generalized Linear Models – GLM*) é a suposição de independência, entre observações, ou seja, de não correlação.

3.2.1 Formulação do Modelo

Para formular um MLG é necessário escolher: (i) uma distribuição de probabilidade para a variável dependente, que deve pertencer à família de distribuições exponencial; (ii) as variáveis explicativas, que podem ser quantitativas e/ou qualitativas; e (iii) uma função de ligação que irá relacionar a componente aleatória e a sistemática do modelo (McCullagh e Nelder, 1983).

Algumas características dos dados estudados devem ser analisadas antes da escolha da distribuição de probabilidade. Recomenda-se analisar a assimetria dos dados, a natureza discreta ou contínua e o intervalo de variação (McCullagh e Nelder, 1983).

3.2.2 Modelo de Poisson

Suponhamos que Y_1, \dots, Y_n são variáveis aleatórias independentes tais que $Y \sim P(\mu_i)$, a função de probabilidade de Y_i é dada por,

$$f(y_i | \mu_i) = \frac{\mu_i^{y_i} e^{-\mu_i}}{y_i!}, y_i = 0, 1, \dots \quad (1)$$

onde μ_i representa o número médio de ocorrência de um determinado acontecimento, $\mu_i > 0$. A média e a variância são dadas por,

$$IE(Y) = V(Y) = \mu \quad (2)$$

Considere a variável aleatória de Y que representa o número de ocorrências de um determinado acontecimento num determinado espaço ou período de tempo.

Dado $X = (X_1, \dots, X_p)$ um vetor covariáveis e $x_i^T = (x_{i1}, \dots, x_{ip})$ uma observação do indivíduo i , assume-se

$$Y/X = x_i \sim P(\mu(x_i)) \quad (3)$$

onde $\mu_i = \mu(x_i)$ é o número médio de ocorrências de um dado acontecimento dada a observação x_i .

Para se modelar $IE[Y] | X=x_i$ poderia escrever-se um modelo linear forma

$$\mu_i = z_i^T \beta = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip} \quad (4)$$

onde β é o vetor dos coeficientes de regressão e $z_i = (1, x_i^T)^T$.

No entanto, este modelo não pode ser usado, uma vez que o preditor linear pode assumir qualquer valor real, enquanto que μ_i só assume valores não negativos.

Para ultrapassar este problema, pode usar-se transformação logarítmica como função de ligação do modelo generalizado e tem-se:

$$\text{Ln}(\mu(x_i)) = z_i^T \beta = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip} \quad (5)$$

Assim, o modelo de regressão de Poisson é dado por:

$$Y/X = x_i \sim P(\mu(x_i)) \quad (6)$$

$$\text{Ln}(\mu(x_i)) = \beta = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip} \quad (7)$$

Os coeficientes de regressão β_j , $j = 0, \dots, p$ representam a variação esperada no logaritmo da média por unidade de variação na variável explicativa X_j (Fumes e Corrente, 2010).

3.2.3 Modelo Binomial Negativo

Suponhamos então que Y_1, \dots, Y_n são variáveis aleatórias independentes tais que $Y_i \sim \text{BN}(\mu_i, \alpha)$, a função de probabilidade de Y_i é dada por:

$$f(y_i | x_i \alpha) = \frac{\Gamma(y_i + \frac{1}{\alpha})}{\Gamma(y_i + 1) \Gamma(\frac{1}{\alpha})} \left(1 + \frac{u_i}{\alpha \mu_i}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \left(\frac{\alpha \mu_i}{1 + \alpha \mu_i}\right)^{y_i} = \binom{y_i + \frac{1}{\alpha} - 1}{\frac{1}{\alpha} - 1} \left(\frac{1}{1 + \alpha \mu_i}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \left(\frac{\alpha \mu_i}{1 + \alpha \mu_i}\right)^{y_i}, y_i = 0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

onde α é denominada por parâmetro de heterogeneidade. A média e a variância são dadas por:

$$E(Y) = \mu \quad (9)$$

$$\text{Var}(y) = \mu + \alpha \mu^2 \quad (10)$$

Repare-se que a variância da distribuição Binomial Negativa tem um termo adicional positivo $\alpha \mu^2$, comparativamente com a variância da distribuição de Poisson, que, em muitos casos, ajuda a ajustar melhor um conjunto de dados onde existe sobredispersão.

A distribuição Binomial Negativa aproxima-se à distribuição de Poisson quando α tende para 0 (Fumes e Corrente, 2010).

Seja Y uma variável aleatória, representando o número de ocorrências de um determinado acontecimento com n observações, $X = (X_1, \dots, X_p)$ um vetor de covariáveis e $x_i^T = (x_{i1}, \dots, x_{ip})$ uma observação de individuo i , e assume-se:

$$Y/X = x_i \sim \text{BN}(\mu(x_i), \alpha) \quad (11)$$

onde $\mu_i = \mu(x_i)$ é igual ao número médio de ocorrência de um dado acontecimento dada a observação x_i .

O modelo de regressão Binomial negativa, é então dada por:

$$Y/X = x_i \sim \text{BN}(\mu(x_i), \alpha) \quad (12)$$

$$\ln(\mu(x_i)) = z_i^T \beta = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip} \quad (13)$$

3.3 Modelos para Dados de Contagem com Excesso de Zeros

A família de distribuições para dados inflacionados de zeros é na verdade uma combinação de distribuições já conhecidas. Usualmente estas distribuições são utilizadas para modelar dados resultantes do processamento de inúmeras situações.

A principal motivação para a utilização dos modelos com zeros inflacionados deve-se ao facto dos dados de contagem existentes na vida real serem caracterizados por um número excessivo de zeros e pela presença de sobredispersão.

Estes modelos modelam as contagens como uma mistura de duas distribuições com dois processos subjacentes: (i) um processo que trata do excesso de zeros, modelado por uma massa pontual em zero; e (ii) um processo que trata das contagens (incluindo algumas contagens nulas), modelado por uma distribuição de Poisson ou por uma distribuição Binomial Negativa. Assume-se que o primeiro processo ocorre com uma probabilidade π_i enquanto que o segundo processo ocorre com uma probabilidade $1 - \pi_i$ e gera uma contagem a partir de um modelo de Poisson com média μ_i ou a partir de um modelo Binomial Negativa (μ_i, α) . Em particular, considera-se que as variáveis resposta, $Y = (Y_1, \dots, Y_n)^T$, onde n é o número de observações, são independentes. Para cada variável Y_i , existem dois processos possíveis para cada modelo considerado. Em suma:

$$Y_i \sim \begin{cases} 0 & \text{com probabilidade } \pi_i \\ \text{Poisson}(\mu_i) \text{ ou Binomial Negativa } (\mu_i, \alpha) & \text{com probabilidade } 1 - \pi_i \end{cases}$$

onde π_i corresponde à probabilidade de existir um zero falso. Entende-se por zeros falsos os zeros que não derivam de uma contagem Poisson ou Binomial Negativa e por zeros verdadeiros as contagens nulas que estão sujeitos a uma distribuição de Poisson ou Binomial Negativa (Zaihra, 2014).

3.3.1 Modelo de Poisson Zeros Inflacionados

O modelo de Poisson Inflacionado de Zeros (ZIP) é usado para a contagem de zeros em excesso presentes nos dados. Para a amostra com n observações, a variável resposta é traduzida por Y_i , $i = 1, 2, \dots, n$ e o vetor das covariáveis em estudo é dado por $X = (X_1, \dots, X_p)$. Considerando que y_1, \dots, y_n realizações da variável Y_i , o modelo de zeros inflacionados de Poisson é dado por:

$$P(Y_i = y_i | x_i) = \begin{cases} \pi_i + (1 - \pi_i)e^{-\mu_i}, & y_i = 0 \\ (1 - \pi_i) \frac{e^{-\mu_i} \mu_i^{y_i}}{y_i!}, & y_i > 0 \end{cases} \quad (14)$$

em que $0 < \pi_i < 1$ e $\mu_i > 0$.

a média e a variância da distribuição são dados por,

$$IE(Y_i) = (1 - \pi_i)\mu_i \quad (15)$$

$$Var(Y_i) = \mu_i(1 - \pi_i)(1 + \pi_i\mu_i) \quad (16)$$

O modelo de regressão de Poisson de zeros inflacionados, modela a média de μ de uma variável de Poisson através de uma regressão de Poisson e a probabilidade de π através de uma regressão logística com função de ligação $\eta_i = \text{logit}(\pi_i)$, ou seja,

$$\log(\mu_i) = X_i\beta \quad (17)$$

$$\text{logit}(\pi_i) = \log\left(\frac{\pi_i}{1-\pi_i}\right) = G_i\gamma \quad (18)$$

em que X_i e G_i são as matrizes de covariáveis. Nestas duas equações de regressão, as duas matrizes de covariáveis podem ou não coincidir.

3.3.2 Modelo Binomial Negativo Zeros Inflacionados

O modelo Inflacionado de Zeros Binomial Negativo (ZINB), é utilizado quando os dados apresentam além de excesso de zeros, presença de sobredispersão. Este modelo é análogo ao modelo de regressão de Poisson com zeros inflacionados, à exceção de que neste modelo, a variável Y_i segue uma distribuição binomial Negativa com parâmetros (μ_i, α) com zeros inflacionados que tem como função de probabilidade.

$$P(Y_i = y_i | x_i) = \begin{cases} \pi_i + (1 - \pi_i) \left(\frac{1}{1 + \alpha\mu_i}\right)^{\alpha-1} & \text{para } y_i = 0 \\ (1 - \pi_i) \frac{\Gamma(y_i + \alpha^{-1})}{y_i! \Gamma(\alpha^{-1})} \left(\frac{\alpha\mu_i}{1 + \alpha\mu_i}\right)^{y_i} \left(\frac{1}{1 + \alpha\mu_i}\right)^{\alpha-1} & \text{para } y_i \geq 1 \end{cases} \quad (19)$$

onde a constante não negativa α é o parâmetro de heterogeneidade, que se supõe não depender da covariáveis.

A média e a variância de uma distribuição Binomial Negativa com zeros inflacionados é dada por:

$$E(Y_i) = \mu_i * (1 - \pi_i) \quad (20)$$

$$Var(Y_i) = (1 - \pi_i) * \mu_i * (1 + \pi_i\mu_i + \alpha\mu_i) \quad (21)$$

Como era previsível, quando α tende para zero a distribuição em causa reduz-se para uma distribuição de Poisson com zeros inflacionados (Zaihra, 2014).

4 Modelação de Acidentes em Interseções de Três Ramos

Este capítulo tem como intuito explicar os métodos usados para a análise dos dados e os impactos das características específicas das vias de trânsito, que constituem os fatores das causas para a ocorrência de acidentes em geral e de colisões em particular. A malha rodoviária das Estradas Nacionais (EN's) 14, 101 e 206 são as áreas de estudo, incidindo-se este estudo nas interseções de três ramos.

4.1 Metodologia Geral da Modelação dos Acidentes

A metodologia de modelação apoiou-se no trabalho desenvolvido por (Costa, 2013), neste trabalho foi definida uma base de dados que contém 68 interseções das Estradas Nacionais. Os segmentos de estradas consideradas são uma amostra do sistema rodoviário Português, sendo que estas atravessam zonas periurbanas e urbanas.

As características físicas e não físicas das interseções, assim como a ocorrência de acidente totais e colisões, foram recolhidas ao longo de um período de 5 anos, entre 2008 e 2012. A base de dados foi dividida em três grupos. A separação dos dados é feita para que pudessem ser analisados e trabalhados de uma forma simples, tanto para a análise como para a sua leitura.

Grande parte das variáveis estudadas na segurança rodoviária não é mensurada numericamente, mas indicam certas qualidades, atributos, de tal forma que podem alocar cada elemento numa categoria preestabelecida, resultando em dados categorizados.

O primeiro grupo (G1) de variáveis é constituído por um conjunto de variáveis explicativas das interseções, onde estão também alocadas as variáveis categóricas e não categóricas. Num segundo grupo (G2) de variáveis é anexado ao primeiro grupo um conjunto com a média de algumas variáveis.

O terceiro grupo (G3) de variáveis é constituído pelo conjunto das variáveis explicativas em conjunto com a diferença absoluta das algumas variáveis.

O modelo de previsão de acidentes totais e das colisões foram ajustados para uma forma funcional com nível de significância de 5%. Para este ajuste, foram utilizadas as

técnicas de modelação MLG e Zeros Inflacionados, com a distribuição do erro Binomial Negativo e Poisson.

Considera-se a estimativa de acidentes para um dado elemento rodoviária (segmento e interseção), representada por Y_{mt} (Equação 8), ao longo do período de tempo t , é considerada a seguinte equação (Costa, Pereira, Freitas, & Jacques, 2012):

$$E(y_{mt}) = \alpha_t \left\{ \left[\prod_i (a_{i,mt})^{\gamma_i} \right] e^{\sum_j \beta_j x_{j,mt}} \right\} \quad (22)$$

onde:

$E(Y_{mt})$ = número esperado de acidentes para o elemento m no período de tempo t ;

$a_{i,mt}, x_{j,mt}$ = variáveis explicativas (i e j) observadas no elemento m no tempo t ;

α_t = parâmetro do modelo relacionado com o período de tempo t , e

γ_i, β_j = parâmetros do modelo constante para todo t .

A análise dos modelos será feita separadamente, sendo que cada grupo foi analisado aplicando quatro modelos, pelo Modelo Linear Generalizado Binominal Negativo e Poisson, e pelo Modelo de Zeros Inflacionados Binomial Negativo e Poisson.

Para se compreender de uma melhor forma a estrutura criada para a análise dos modelos, na Figura 1 pode-se ver um esquema funcional.

4.2 Identificação da Rede em Estudo

No estudo de acidentes é fundamental a caracterização da rede rodoviária, uma vez que pode apresentar diferentes funções. Uma das funções dessa caracterização é auxiliar a identificação das variáveis a serem mensuradas na futura modelação de previsão de acidentes, assim como na seleção dos trechos rodoviários para os casos de estudo.

Este trabalho vai-se debruçar sobre os acidentes rodoviários ocorridos na região Norte de Portugal, analisando-se as variáveis que apresentam uma contribuição inicial para modelo de previsão de acidentes – MPA para as estradas nacionais da região Norte de Portugal.

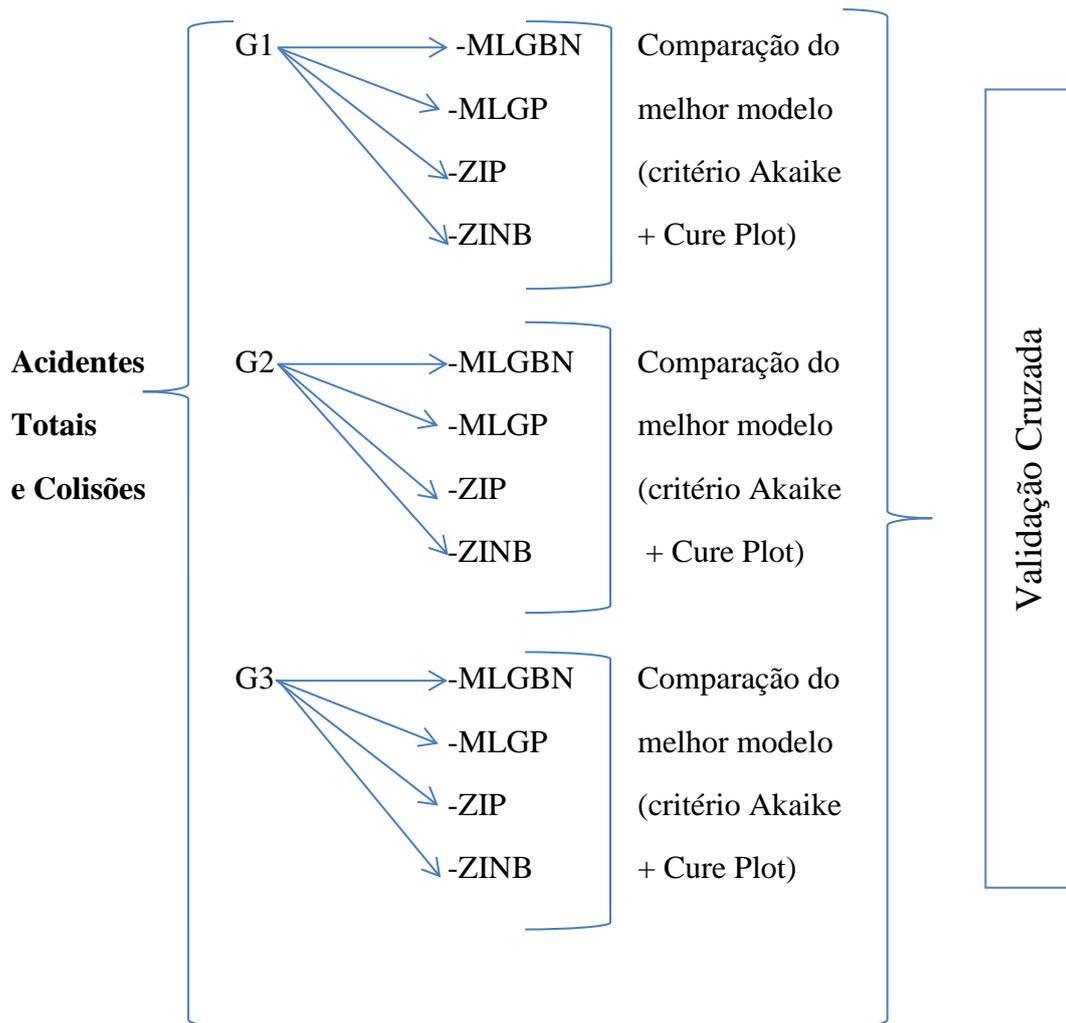


Figura 3: Esquema funcional para a análise das variáveis

As variáveis consideradas incluem a frequência de acidentes, o tráfego médio diário anual (TMDA) e as características geométricas de 68 interseções, inseridas em estradas de duas vias de sentidos opostos. Localizadas em áreas urbanas e periurbanas, nomeadamente: (i) Braga-Famalicão (EN-14); (ii) Braga-Vila Verde (EN-101); (iii) Braga-Guimarães (EN-101); (iv) Guimarães-Felgueiras (EN-101); (v) Famalicão-Guimarães (EN-206); (vi) Guimarães-Fafe (EN-206).

Relativamente às interseções, destaca-se que o tipo de interseção selecionado para o presente estudo foi o de três ramos, também chamada de entroncamento ou interseção em T, por ser o tipo de interseção com maior incidência na rede rodoviária do estudo. Portanto, os critérios estabelecidos para identificação destas interseções de três ramos

são apresentados a seguir, assim como, a distribuição nos trechos das 68 interseções de três ramos (Tabela 4).

Tabela 4: Distribuição das interseções de três ramos nas EN estudadas

Trecho	Estrada	Interseções
Braga-Guimarães	EN-101	14
Braga-Vila Verde	EN-101	6
Guimarães-Felgueiras	EN-101	15
Braga-Famalicão	EN-14	11
Famalicão-Guimarães	EN-206	17
Guimarães-Fafe	EN-206	5
Total		68

4.3 Base de Dados para os Modelos de Previsão de Acidentes

4.3.1 Características Geométricas

Na elaboração da base de dados, essencial para este estudo, foram consideradas as características geométricas/variáveis de cada interseção e segmento contíguo, agregadas em três grupos. No Grupo 1, para além do tráfego foram integradas as variáveis designadas explicativas referentes à área de influência da interseção que se encontram na Tabela 5.

O segundo grupo (G2) de variáveis é constituído pelo primeiro grupo (G1) ao qual foram acrescentadas as variáveis dos segmentos contíguos apresentadas na Tabela 6. Estas variáveis representam a média dos parâmetros dos segmentos de 200 metros contíguos à interseção.

O terceiro grupo (G3) de variáveis é constituído pelo primeiro grupo (G1) ao qual foram acrescentadas as variáveis dos segmentos contíguos apresentadas na Tabela 7. Estas variáveis representam a diferença dos parâmetros dos segmentos de 200 metros contíguos à interseção.

Tabela 5: Grupo 1, variáveis explicativas

Acrônimo	Descrição
LVP	Largura da via principal
LVS	Largura da via secundária
BVP	Largura média da via principal
BVS	Largura média da via secundária
DLVP	Desobstrução lateral média na direção principal
DLVS	Desobstrução lateral média na direção secundária
TPVP	Travessia de peões na direção principal (0-não; 1- sim)
TPVS	Travessia de peões na direção secundária (0-não; 1- sim)
PCVP	Presença de canalização na direção principal (0-não; 1- sim)
PCVS	Presença de canalização na direção secundária (0-não; 1- sim)
PSVP	Presença de sinalização na direção principal (0-não; 1- sim)
PSVS	Presença de sinalização na direção secundária (0-não; 1- sim)
EG	Entrada de garagens (0-não; 1- sim)
S	Semáforos (0-não; 1- sim)
D2	Variável do ambiente envolvente do segmento onde se encontra inserida a interseção (0-não; 1- sim)
PCR	Proporção do comprimento de reta no segmento
IRH	Inverso do raio das curvas horizontais
SHI	Sinuosidade em planta do segmento de 200
PCT	Proporção do comprimento do trainel no trecho
SVI	Sinuosidade em perfil do segmento de 200
DPA	Densidade de pontos de acesso da interseção
TexMaxMin	Diferencial do valor máximo e mínimo da textura de piso
IRIMaxMin	Diferencial do valor máximo e mínimo da irregularidade horizontal do piso;

Os dados geométricos recolhidos no campo, assim como algumas estatísticas descritivas correspondentes são apresentados na Tabela 8. Os dados apresentados correspondem aos valores estatísticos das variáveis, sendo descritos pela unidade correspondente, média, desvio padrão e pelo valor mínimo e máximo.

Na Tabela 9 são apresentadas as variáveis binárias (0-não; 1- sim) e é apresentada a frequência absoluta e relativa de cada uma delas.

Tabela 6: Grupo 2, variáveis explicativas mais as médias

Acrônimo	Descrição
ML	Média da largura da via nos segmentos considerados
MB	Média da largura da berma nos segmentos considerados
MDL	Média da desobstrução lateral dos segmentos considerados
MPCR	Média da proporção do comprimento em reta dos segmentos considerados
MIRH	Média do inverso do raio das curvas horizontais dos segmentos considerados
MSH	Média da sinuosidade em planta dos segmentos considerados
MPCT	Média da proporção do comprimento em trainel dos segmentos considerados
MSV	Média da sinuosidade em perfil dos segmentos considerados
MDPA	Média da densidade de pontos de acesso dos segmentos considerados
MDTP	Média densidade das travessias pedonais do segmento de 200

Tabela 7: Grupo 3, variáveis explicativas mais as diferenças

Acrônimo	Descrição
DBI	Variável composta pela diferença entre SVI (sinuosidade em perfil da interseção) e MSV (média da sinuosidade em perfil dos segmentos de 200 metros que fazem limite com a área de influência da interseção)
DDLI	Diferença absoluta entre MDL e DLVP
DPCRI	Diferença absoluta entre MPCR e PCRI da interseção
DIRHI	Diferença absoluta entre MIRH e IRHI da interseção
DSHI	Diferença absoluta entre MSH e SHI da interseção
DPCTI	Diferença absoluta entre MPCT e PCTI da interseção
DSVI	Diferença absoluta entre MSV e SVI da interseção
DDPAI	Diferença absoluta entre MDPA e DPAI

Importa salientar que essas características foram tratadas como variáveis explicativas iniciais, para a frequência de acidentes totais e colisões observadas para cada segmento/interseção de via, sendo que a maior parte delas não fará parte do modelo por não serem estatisticamente significativas.

As variáveis binárias são consideradas como variáveis “dummy”, em que 1 representa a presença e 0 a ausência. Neste tipo de variáveis considera-se as travessias, entradas de garagem, semáforos, localização e canalizações de tráfego.

Sendo de realçar que foram recolhidos dados sobre a irregularidade longitudinal da via e textura da superfície do pavimento, para se analisar se estas características do pavimento têm impacto na segurança rodoviária. Esta recolha foi elaborada com o equipamento fornecido pelo laboratório de Engenharia Civil da Universidade do Minho, numa extensão de 160 metros, a contar do centro da interseção para cada um dos lados em ambos os sentidos.

Tabela 8: Estatísticas descritivas das características geométricas das interseções

Variáveis	Unidade	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
BVP	m	0.74	0.37	0.25	2.15
BVS	m	0.11	0.42	0	3.2
DBI		0.34	0.41	0	1.83
DDLI		0.71	0.86	0	3.64
DDPAI		15.55	13.05	0	60
DDTPI		3.05	3.32	0	10
DIRHI		0	0	0	0.01
DLVP		2.42	1.24	0.6	6.17
DLVPI		0.2	0.2	0	1.03
DLVS		1.19	1.51	0	8.25
DPA	nº/segment	28.31	14.44	5	75
DPCRI		0.2	0.16	0	0.67
DPCTI		0.12	0.21	0	1
DSHI		120.18	149.24	0	764.28
DSVI		5.23	9.72	0	47.9
IRH		0.01	0.01	0	0.02
IRIMaxMin	m/cm	1.1	1.26	0.091	8.978
LVP	m	3.7	0.3	3.23	4.9
LVS	m	3.71	0.93	2.53	6.4
MB	m	0.86	0.5	0	2.83
MDL		2.46	0.98	0.7	5.08
MDPA		36.36	15.25	10	75
MDTP		1.73	2.02	0	7.5
MIRH		0.01	0.01	0	0.02
ML	m	3.61	0.18	3.12	4.57
MPCR		0.73	0.19	0.31	1
MPCT		0.81	0.31	0	1
MSH		210.13	239.03	0	918.55
MSV		6.79	10.6	0	47.9
PCR		0.76	0.26	0.16	1
PCT		0.75	0.39	0	1
SH	degree/m	128.28	167.63	0	604.5
SV	%/m	7.2	10.92	0	40.5
TexMaxMin	Mm	0.15	0.1	0.02	0.492

Tabela 9: Frequência das variáveis binárias

Variáveis	Frequência absoluta		Frequência relativa	
	0	1	0	1
EG	20	48	29%	71%
S	64	4	94%	6%
D2	16	52	24%	76%
TPVP	50	18	74%	26%
TPVS	60	8	88%	12%
PCVP	63	5	93%	7%
PCVS	28	40	41%	59%
PSVP	8	60	12%	88%
PSVS	2	66	3%	97%

4.4 Dados de Tráfego

As variáveis de tráfego consideradas para o desenvolvimento dos modelos foram as apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10: Variáveis de tráfego utilizadas na modelação dos elementos viários

Acrônimo	Descrição
TMDAP	Tráfego médio diário anual da direção principal
TMDAS	Tráfego médio diário anual na direção secundária
TMDAT	Soma do tráfego médio diário anual da direção principal e da direção secundária
TMDAPMS	Multiplicação do tráfego médio diário anual da direção principal pelo da direção secundária
TMDASDP	Divisão do tráfego médio diário anual da direção secundária pelo da direção principal

Na Tabela 11 são apresentados os valores estatísticos dos dados do tráfego médio diário anual da via principal e da via secundária para o período de 2008 a 2012.

Tabela 11: Estatísticas descritivas do tráfego nas 68 interseções

Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
TMDAP	16704	7462.839	4609	31767
TMDAS	858	1259.932	40	6493

4.5 Dados de Acidentes

Os dados dos acidentes de viação utilizados neste estudo foram fornecidos pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária – ANSR, para o período de 2008 a 2012, sendo aproveitados somente os acidentes com vítimas que ocorreram nas 68 interseções referidas na Tabela 8. A ANSR mantém uma base de dados com informações recolhidas a partir do Boletim Estatístico de Acidentes de Viação – BEAV, que é preenchido no local da ocorrência do acidente de viação.

4.6 Desenvolvimento dos Modelos de Previsão de Acidentes

Nesta seção são apresentados os modelos de previsão ajustados com os dados das 68 interseções de três ramos inseridas nas EN’s 14, 101 e 206, sendo que o estudo partiu da modelação de quatro formas funcionais diferentes para o tráfego da direção principal e da direção secundária. Estas formas funcionais são descritas na Tabela 12.

Tabela 12: Fórmulas funcionais testadas

Nº	Formas funcionais	Observações
1	$\ln y_{mt} = \beta_0 + \beta_1 \times \ln(TMDAT_{mt})$	$TMDAT = (TMDAP + TMDAS)$
2	$\ln y_{mt} = \beta_0 + \beta_1 \times \ln(TMDAP_{mt}) + \beta_2 \times \ln(TMDAS_{mt})$	-
3	$\ln(y_{mt}) = \beta_0 + \beta_1 \times \ln(TMDAPMS_{mt})$	$TMDAPMS = (TMDAP \times TMDAS)$
4	$\ln y_{mt} = \beta_0 + \beta_1 \times \ln(TMDAT_{mt}) + \beta_2 \times \ln(TMDASDP_{mt})$	$TMDASDP = \left(\frac{TMDAS}{TMDAP} \right)$

A seleção da fórmula funcional base consistiu na comparação dos 4 modelos apresentados na Tabela 12. Contudo, neste processo apenas a fórmula funcional de base que integra a multiplicação do tráfego da via principal com o da via secundária se apresentou estatisticamente significativa ao nível de significância de 5%.

Após a determinação da variável de tráfego mais robusta (TMDAPMS) foram inseridas no modelo as variáveis consideradas em cada grupo de variáveis explicativas (Grupo 1 a 3).

4.6.1 Avaliação do Modelo

O procedimento considerado para a análise da qualidade do ajuste para cada MPA gerado foi o seguinte: em primeiro lugar foi aplicado o teste de Vuong entre as técnicas

MLGP versus ZIP e MLGBN versus ZINB, para se verificar se existem modelos mais assertivos; depois elaborou-se o gráfico dos resíduos acumulados (CURE Plot) e comparou-se os valores do critério de informação de Akaike (AIC).

4.6.2 Teste Vuong

O teste de Vuong aplica-se para comparar os modelos Inflacionados de Zeros com os seus homólogos MLG. A razão de verossimilhança não indica se o modelo Inflacionado de Zeros é um aperfeiçoamento do seu modelo de contagem correspondente. Pode-se determinar isso executando o modelo padrão correspondente (NB e P) e, em seguida, realizar um teste de Vuong aos dois modelos. A estatística-teste para o teste de Vuong testa a hipótese nula de que os modelos são indistinguíveis. As estatísticas de teste grandes positivas fornecem evidências da superioridade de um modelo Inflacionado Zeros ao longo de sua contraparte não-inflacionado (Zaihra, 2014).

Neste procedimento, os modelos são testados em comparação com cada um dos outros modelos sob a hipótese nula de que os dois modelos avaliados são igualmente apropriados para explicar o verdadeiro processo de geração de dados em comparação com uma hipótese alternativa de que um deles é o mais preciso. O resultado do teste de Vuong aplica-se a um nível de confiança de 95% ($z = 1,96$).

Quando existe sobredispersão, o teste estatístico Vuong fornece uma base para a seleção entre os modelos Binomial Negativo (NB) e Inflacionado de Zeros Binomial Negativo (ZINB). Se o valor da Estatística Vuong exceder o valor crítico de 1,96, pode-se concluir que o modelo ZINB deve ser usado. Alternativamente, quando a estatística Vuong fica abaixo de -1,96, pode-se concluir que o modelo NB deve ser utilizado. Quando a estatística Vuong apresenta valores entre 1,96 e -1,96 o teste é inconclusivo (Strathman, Duecker, Zhang, & Williams, 2001).

4.6.3 O Critério do Gráfico dos Resíduos Acumulados

O gráfico dos resíduos acumulados (CURE Plot) considera a diferença entre o número de acidentes observados e previstos (o residual) como o elemento de base para julgar o ajuste dos MPA (Costa, Pereira, Freitas, & Jacques, 2012).

O CURE Plot permite a análise dos resíduos acumulados considerando a variável de interesse, que para o presente estudo é o $Volume_{,mt}$ (TMDAPMS observado no segmento m no tempo t). Para este exame, os resíduos N são inicialmente classificados

em ordem crescente da variável de interesse. Eles são, então, numerados de 1, 2, ..., z, ..., N. O resíduo acumulado para cada z é calculado como a soma dos resíduos de 1 a z. Um bom ajuste significa que os resíduos acumulados no CURE Plot oscilam em torno do valor zero.

Além disso, o CURE Plot apresenta duas curvas adicionais formados por limites aceitáveis para os resíduos acumulados, que são obtidos da seguinte forma:

- a) Calcula-se o quadrado do resíduo para cada um dos resíduos ordenados (N);
- b) Calcula-se $\hat{\sigma}^2(z)$ como a soma destes resíduos quadrados de 1 a z;
- c) Calcula-se o valor do resíduo acumulado $\hat{\sigma}(N)$;
- c) Calcula-se

$$\sigma^*(z) = \hat{\sigma}(z) \sqrt{1 - \frac{\hat{\sigma}^2(z)}{\hat{\sigma}^2(N)}}; \quad (23)$$

- d) Adiciona-se $\pm 2\sigma^*(z)$ aos limites no CURE Plot.

4.6.4 O Critério de Akaike

O critério de Akaike (AIC) é uma ferramenta para seleção de modelos, oferecendo uma medida relativa na qualidade do ajuste de um modelo estatístico. O AIC não fornece um teste de um modelo no sentido usual de testar uma hipótese nula, ou seja, ele não pode dizer nada sobre a qualidade do modelo e se este se ajusta aos dados em um sentido absoluto (Provete, Silva, & Souza, 2011).

O critério de Akaike é definido como $AIC = -2\log L + 2p$, em que L é o máximo valor da função de verossimilhança para o modelo estimado e p é o número de parâmetros incluídos no modelo. A metodologia para obtenção deste valor assenta na procura do modelo que melhor explica os dados com o menor número de parâmetros, e como tal penaliza os modelos com elevado número de parâmetros. O melhor modelo é o que apresenta um menor AIC, de entre os modelos testados (Gomes, 2010).

4.7 Validação dos Modelos

Neste item será apresentada a validação dos modelos de previsão de acidentes para as interseções de três ramos para as zonas urbanas e periurbanas inseridas nas EN's 14, 101 e 206, para um período de 5 anos (2008 a 2012).

Num estudo de modelação é preciso garantir que os modelos obtidos representam a população geral e sejam adaptados às situações nas quais serão usados, utilizando a teoria de validação (Costa, 2013). A validação a partir da amostra de dados originais é chamada de validação cruzada.

Para validação dos modelos de previsão dos acidentes de viação das 68 interseções de três ramos foi utilizada a validação cruzada *K-fold* do tipo *leave one out*, visto que o tamanho das amostras dos modelos permite este tipo de validação sem grandes custos computacionais.

Os resultados obtidos na validação dos modelos desenvolvidos no presente estudo são apresentados em termos do erro dos modelos. Os elementos estatísticos usados na análise da validação destes modelos são: (i) erro médio absoluto – EMA; (ii) raiz do erro quadrático médio – EQM.

Neste caso os dados das 68 interseções devem repartidos aleatoriamente em grupos $k=x$, em que, k é o número de grupo e x é número de dados por grupo. A esses grupos criados são aplicados os modelos obtidos para cada grupo, nomeadamente Modelo Linear Generalizado Binomial Negativo, Modelo Linear Generalizado Poisson, Zeros Inflacionados Binomial Negativo e Zeros Inflacionados Poisson. A média dos valores obtidos é comparada com a média dos valores que foram calculados com a aplicação do modelo sobre o conjunto das variáveis das 68 interseções. Desta forma, consegue-se relacionar os valores obtidos das duas formas e em seguida determinar qual o modelo que apresenta um melhor ajuste na aplicação dos dados.

A validação cruzada dos modelos foi inicialmente feita com a divisão dos dados das 68 interseções em 10 grupos ($K=10$). Uma vez que o número de variáveis dos modelos a validar era relativamente elevado, foi necessário reduzir o número de grupos até ser possível calcular os parâmetros dos modelos. Consequentemente o número de grupos de dados para validação foi reduzido para 3 ($K=3$).

5 Modelos de Previsão dos Acidentes Totais e Colisões para Interseções de Três Ramos

Neste capítulo apresenta-se as hipóteses testadas, para os grupos de variáveis definidas, assim como as variáveis obtidas em cada modelo e os valores da sua calibração. Além disso, é feita a seleção dos melhores modelos em função dos resultados da validação.

5.1 Modelos de Acidentes Totais

Nos modelos de previsão dos acidentes ajustados para as interseções de três ramos, foi considerado o período de estudo os anos de 2008 a 2012. Cada modelo de previsão foi ajustado com nível de significância de 5%. Para este ajuste, foram utilizadas as técnicas de modelação Linear Generalizado Binomial Negativo, Modelo Linear Generalizado Poisson, Zeros Inflacionados Binomial Negativo e Zeros Inflacionados Poisson, onde os dados anuais dos acidentes, do tráfego e das características das interseções descritos anteriormente foram considerados.

Os resultados dos modelos de previsão dos acidentes são descritos nas Tabelas 12 a 17. Nestas Tabelas podem-se observar os modelos que podem ser aceites para explicação dos acidentes totais e os valores correspondentes a cada variável aceite estatisticamente. A seguir identifica-se os melhores modelos.

5.1.1 Modelos MLG

Na Tabela 13 são apresentados os modelos MLGBN e MLGP do Grupo 1 para acidentes totais presentes na Tabela 5 (variáveis explicativas), onde se pode analisar as variáveis significativas e os valores dos parâmetros correspondentes de cada uma.

Para os modelos MLGBN e MLGP para acidentes totais do Grupo 2 presente na Tabela 6 (variáveis explicativas mais as médias), são expostos na Tabela 14 os modelos obtidos, onde se pode analisar as variáveis significativas e os valores dos parâmetros correspondentes de cada uma.

Tabela 13: Modelo MLGBN e MLGP do Grupo 1

MLGBN				MLGP			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-12.1749	2.9594	0.001	Intercepto	-12.93256	2.53557	0.001
lnTMDAPMS	0.4552	0.1127	0.001	lnTMDAPMS	0.39937	0.09665	0.001
LVP	1.0541	0.5127	0.039	LVP	1.2700	0.44074	0.004
DLVP	0.3291	0.1302	0.011	DLVP	0.289	0.10692	0.006
				SV	0.0264	0.01037	0.010
				DPA	0.02243	0.0106	0.034

Tabela 14: Modelo MLGBN e MLGP do Grupo 2

MLGBN				MLGP			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-7.6127	1.8989	0.001	Intercepto	-8.81383	1.70901	0.001
lnTMDAPMS	0.3874	0.1119	0.001	lnTMDAPMS	0.42584	0.09361	0.001
MDL	0.4788	0.1737	0.005	DLVP	0.21091	0.10428	0.043
				SV	0.02241	0.01069	0.036
				MDL	0.40654	0.15211	0.007

Na Tabela 15 são apresentados os modelos obtidos da modelação linear generalizada pelo método Binominal Negativo e Poisson do Grupo 3 para acidentes (variáveis explicativas mais as diferenças) apresentada na Tabela 7, onde se pode analisar as variáveis significativas e os valores dos parâmetros correspondentes de cada uma.

Tabela 15: Modelo MLGBN e MLGP do Grupo 3

MLGBN				MLGP			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-4.928322	1.45035	0.001	Intercepto	-4.311336	1.501583	0.004
lnTMDAPMS	0.279163	0.08899	0.001	lnTMDAPMS	0.247275	0.090669	0.006
DBI	0.739156	0.22092	0.001	DBI	0.734964	0.223255	0.001
DIRHI	-90.68361	39.0627	0.020	DSHI	-0.003929	0.001768	0.026
DSVI	0.027504	0.00883	0.001	DSVI	0.030159	0.008697	0.001

5.1.2 Modelos de Zeros Inflacionados

Na Tabela 16 são apresentados os modelos obtidos pelos métodos ZINB e ZIP para acidentes totais e para as variáveis do Grupo 1, onde se pode analisar as variáveis significativas e os valores dos parâmetros correspondentes de cada uma.

Tabela 16: Modelo ZINB e ZIP do Grupo 1

ZINB				ZIP			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-7.77123	1.90557	0.001	Intercepto	-11.6339	2.6375	0.001
lnTMDAPMS	0.42	0.1085	0.001	lnTMDAPMS	0.45412	0.09811	0.001
DLVP	0.31609	0.12575	0.011	LVP	0.87866	0.42498	0.038
SV	0.02566	0.01235	0.037	DLVP	0.34348	0.11257	0.002
				SV	0.02775	0.01067	0.009
Zero Inflacionado				Zero Inflacionado			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-1.938	1.79	0.279	Intercepto	-1.6156	0.7729	0.0366

Em seguida na Tabela 17 para o Grupo 2 para acidentes totais (Tabela 6) são apresentados os modelos obtidos da modelação ZINB e ZIP onde se pode analisar as variáveis significativas e os valores dos parâmetros correspondentes de cada uma.

Tabela 17: Modelo ZINB e ZIP do Grupo 2

ZINB				ZIP			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-12.05797	2.28781	0.001	Intercepto	-7.9872	1.74045	0.001
lnTMDAPMS	0.4820	0.10816	0.001	lnTMDAPMS	0.40227	0.09629	0.001
BVS	-1.2700	0.61833	0.040	SV	0.02576	0.01115	0.020
DLVP	0.30148	0.12152	0.013	MDL	0.50562	0.14202	0.001
SV	0.03835	0.01111	0.001				
MPCR	2.90858	1.02664	0.004				
MPCT	1.48016	0.52756	0.005				
Zero Inflacionado				Zero Inflacionado			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-1.2628	0.5622	0.024	Intercepto	-1.6	0.7386	0.030

Por último apresenta-se na Tabela 18 os modelos obtidos da modelação linear generalizada pelos métodos Binominal Negativa e Poisson do Grupo 3, (Tabela 7), onde se pode analisar as variáveis significativas e os valores dos parâmetros correspondentes de cada uma.

Tabela 18: Modelo ZINB e ZIP do Grupo 3

ZINB				ZIP			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	P	Variável	Estimativa	Erro Padrão	P
Intercepto	-5.368125	1.94774	0.005	Intercepto	-4.133545	1.58973	0.009
lnTMDAPMS	0.349495	0.118804	0.003	lnTMDAPMS	0.275655	0.09387	0.003
DSHI	-0.003846	0.001876	0.040	DSHI	-0.003704	0.00185	0.045
				DPCTI	1.038326	0.47287	0.028
Zero Inflacionado				Zero Inflacionado			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	P	Variável	Estimativa	Erro Padrão	P
Intercepto	-13.51	955.76	0.989	Intercepto	-1.2942	0.6689	0.053

5.1.3 Comparação dos Modelos de Previsão de Acidentes Totais

O procedimento de comparação dos modelos divide-se em várias fases, numa primeira fase procede-se à análise dos valores obtidos pelo teste de Vuong, em seguida procede-se à análise dos CURE Plot em conjunto com os valores de AIC.

5.1.4 Análise pelo Método de Vuong

Foi realizado o teste de seleção de modelos de Vuong para verificar se os modelos ZINB versus MLGBN e ZIP versus MLGP são igualmente adequados ou não (Zaihra, 2014). Neste procedimento, os modelos são testados em comparação com cada um dos modelos homólogos correspondentes.

Na Tabela 18 são apresentados os valores obtidos no teste de Vuong entre os modelos obtidos pela modelação ZINB e Binomial Negativo, para os 3 grupos de variáveis.

Em seguida são apresentados na Tabela 19 os valores obtidos no teste de Vuong entre os modelos obtidos pela modelação ZIP e Poisson.

Tabela 19: Teste estatístico de Vuong ZINB versus MLGBN para acidentes totais

Grupo de Variáveis	Estatística teste	Observações
Grupo 1	-0.0837	São igualmente adequados
Grupo 2	1.0361	São igualmente adequados
Grupo 3	-1.4747	São igualmente adequados

Tabela 20: Teste estatístico de Vuong ZIP versus MLGP para acidentes totais

Grupo de Variáveis	Estatística teste	Observações
Grupo 1	0.396897	São igualmente adequados
Grupo 2	1.285134	São igualmente adequados
Grupo 3	-0.297955	São igualmente adequados

Como se pode verificar nas Tabelas 19 e 20, o teste de Vuong não é conclusivo para a seleção de modelos mais assertivos, uma vez que, os valores obtidos pelo estatística teste de Vuong estão dentro dos limites pré estabelecidos (-1.96; 1.96), o que significa que ambos os modelos são igualmente adequados, desta forma é necessário partir para outra análise.

5.1.5 Análise Complementar – Gráfico dos Resíduos Acumulados e Akaike

Uma segunda análise a efetuar será do comportamento do modelo no CURE Plot em conjunto com o valor de AIC. Desta forma, serão analisados por grupos os modelos testados. Para ser possível comparar os valores de AIC, na Tabela 21, apresenta-se os valores destes parâmetros para todos os modelos calibrados.

Tabela 21: Valores de AIC dos modelos de acidentes totais

Grupo	Zeros Inflacionados			Zeros Inflacionados Binomial Negativo
	Poisson	BN	Poisson	
Grupo 1 (Var. Explicativas)	165.51	168.80	167.35	170.45
Grupo 2 (Var. Médias)	166.45	167.28	164.92	163.40
Grupo 3 (Var. Diferença)	159.26	161.44	170.91	171.46

Com os gráficos dos *CURE Plot* dos modelos apresentados nas Figuras 4 e 5 é possível observar a curva dos resíduos acumulados para o modelo válido do Grupo 1 de variáveis, que oscila em torno de 0 e não cruza os limites superiores e inferiores, portanto, os modelos são considerados aceitáveis. Logo, a seleção do melhor modelo de previsão dos acidentes é baseada no modelo que apresentou um menor valor de AIC, que neste caso é o MLGP com um valor de 165,51.

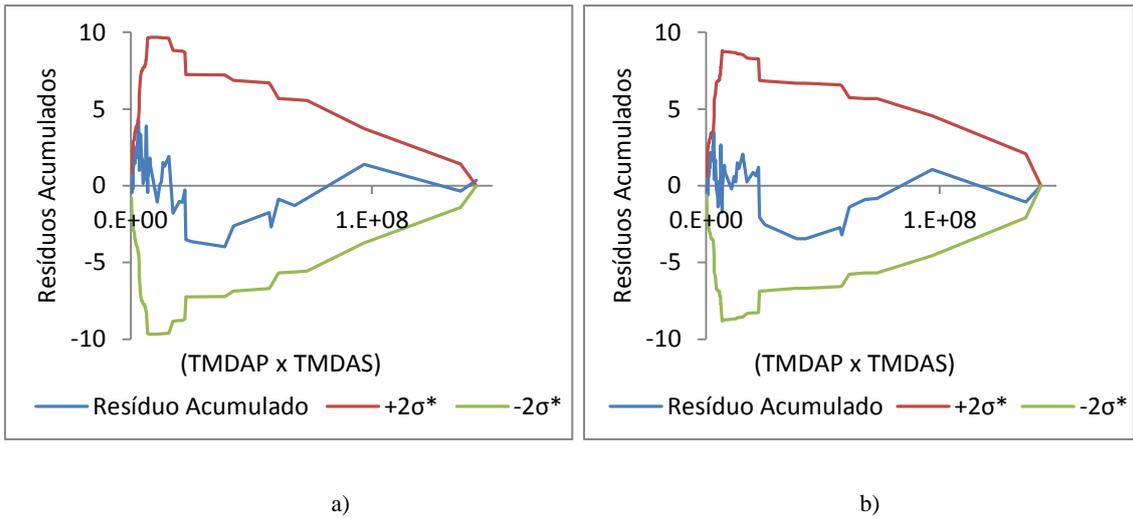


Figura 4: CURE Plot para o Grupo 1: a) MLGBN; b) MLGP

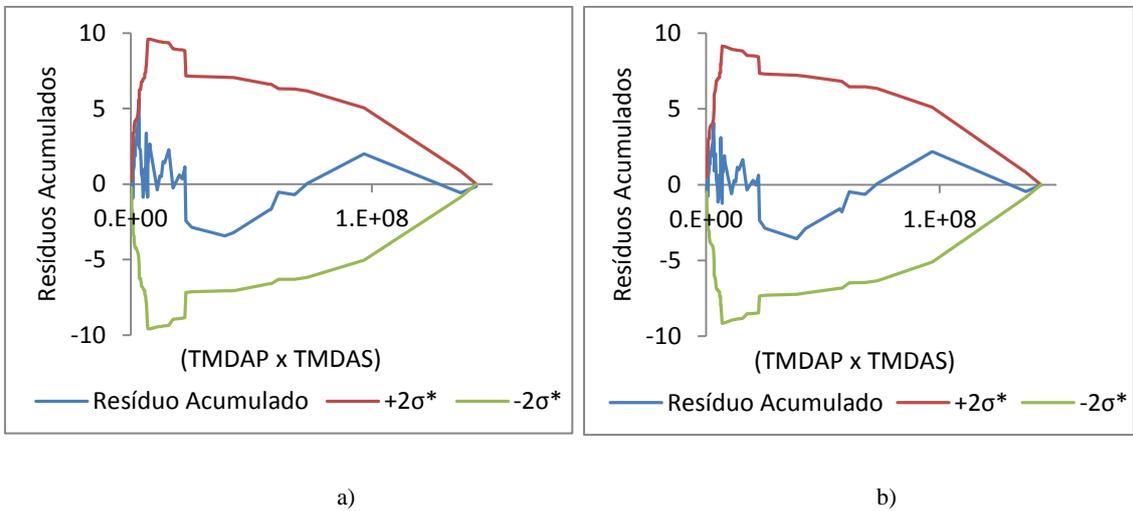
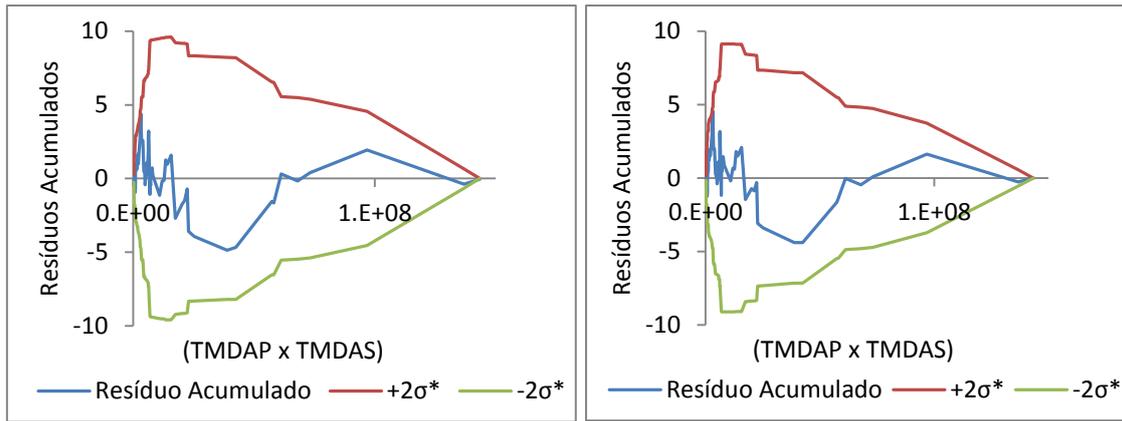


Figura 5: CURE Plot para o Grupo 1: a) ZINB; b) ZIP

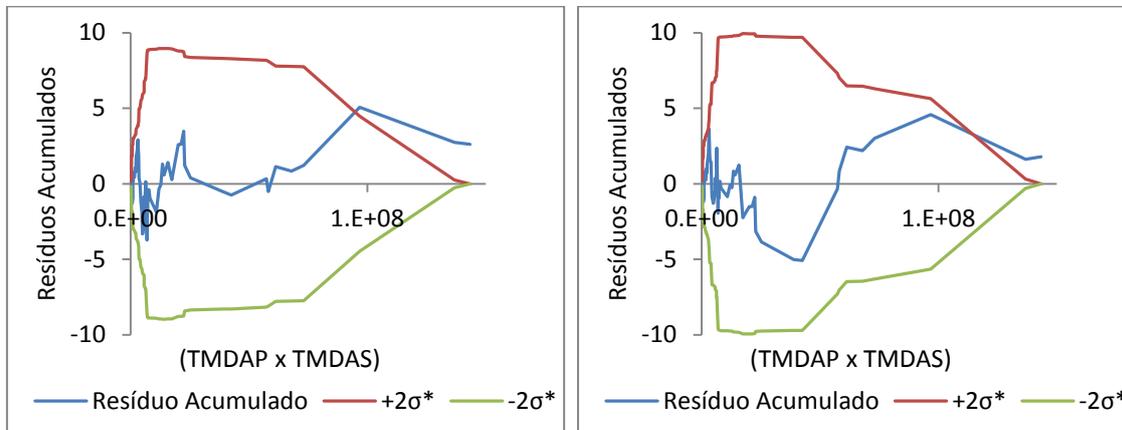
Os gráficos *CURE Plot* dos modelos elaborados para as variáveis do Grupo 2 são apresentados nas Figuras 6 e 7. Nos modelos MLG é possível observar que a curva dos resíduos acumulados oscila em torno de 0 e não cruza os limites superiores e inferiores nos, portanto, eles são considerados aceitáveis. Nos modelos ZINB e ZIP a curva de resíduos acumulados oscila em torno de 0 mas ultrapassa o limite superior. Logo, o melhor modelo de previsão dos acidentes é o MLGP uma vez que apresentou o menor valor de AIC (166,45).



a)

b)

Figura 6: CURE Plot para o Grupo 2: a) MLGBN; b) MLGP



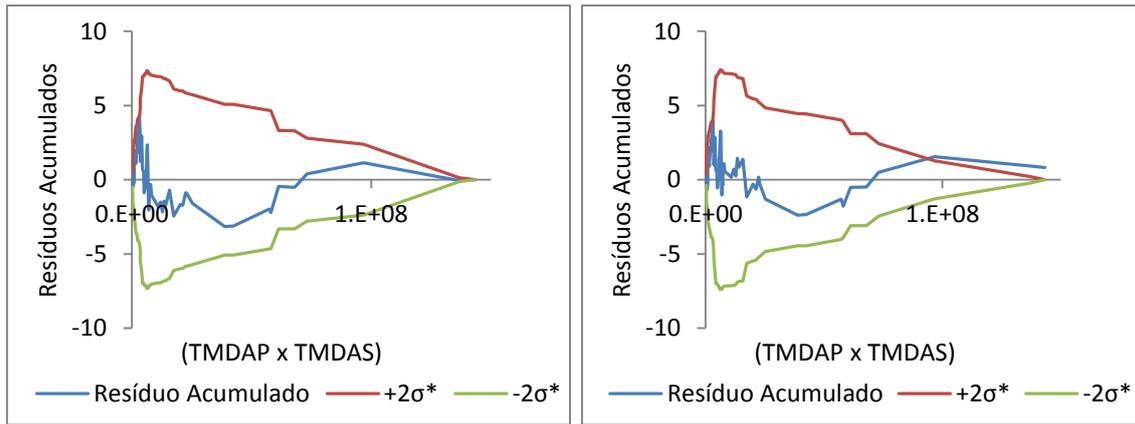
a)

b)

Figura 7: CURE Plot para o Grupo 2: a) ZINB; b) ZIP

Para o Grupo 3 verifica-se que os resíduos acumulados do modelo MLGBN oscilam em torno de 0 e não cruzam os limites superiores e inferiores, enquanto que no modelo MLGP limite superior é ultrapassado, contudo este modelo também vai ser considerado, porque se observou que este comportamento ocorre apenas para valores muito elevados de tráfego. Nos modelos ZINB e ZIP a curva de resíduos acumulados oscila em torno de 0 e não cruza o limite superior e inferior.

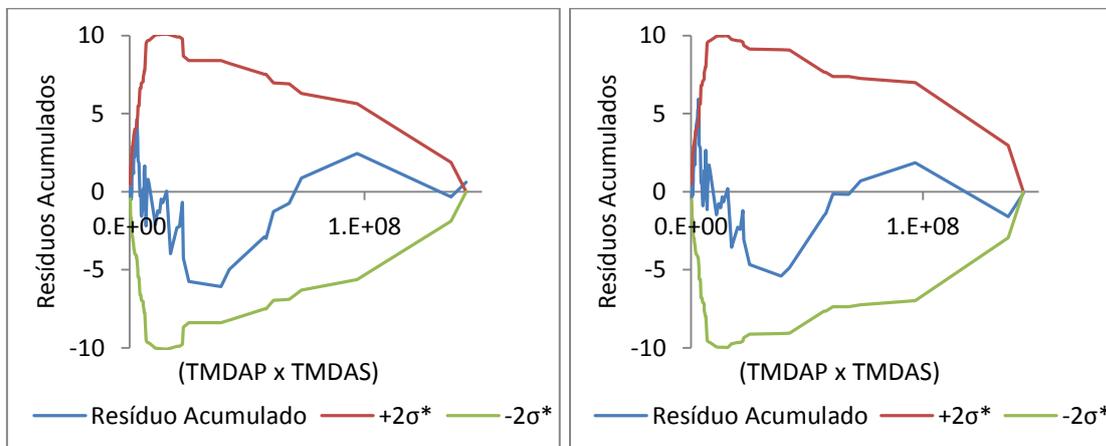
Nestas condições, a seleção do melhor modelo de previsão dos acidentes baseia-se no valor de AIC. Assim, o modelo que apresentou um menor valor de AIC foi o MLGP com um valor de 159,26.



a)

b)

Figura 8: CURE Plot para o Grupo 3: a) MLGBN; b) MLGP



a)

b)

Figura 9: CURE Plot para o Grupo 3: a) ZINB; b) ZIP

5.1.6 Análise dos Resultados da Modelação

Nesta seção faz-se a análise dos resultados obtidos dos modelos de previsão dos acidentes totais de viação para as interseções de três ramos.

Considerando apenas os modelos aceitáveis do ponto de vista da estatística é possível verificar que do conjunto das variáveis estudadas, os principais fatores que contribuem para a frequência dos acidentes totais divergem em conformidade com a agregação dos dados.

Para os modelos do **Grupo 1** os principais fatores são o TMDAPMS, largura de via principal - LVP, desobstrução lateral média na direção principal - DLVP, sinuosidade vertical - SV e densidade de pontos de acesso - DPA. Todas estas variáveis têm um

impacto positivo sobre a variável dependente (coeficientes com sinal positivo) e, portanto, impacto negativo sobre a segurança rodoviária.

Para os modelos do **Grupo 2** os principais fatores são o TMDAPMS, desobstrução lateral média na direção principal - DLVP, média da desobstrução lateral dos segmentos considerados - MDL, sinuosidade vertical - SV, Média da proporção do comprimento em reta dos segmentos considerados - MPCR e Média da proporção do comprimento em trainel dos segmentos considerados - MPCT. Todas estas variáveis têm um impacto positivo sobre a variável dependente (coeficientes com sinal positivo) e, portanto, impacto negativo sobre a segurança rodoviária.

Para os modelos do **Grupo 3** os principais fatores são o TMDAPMS, variável composta pela diferença entre SVI (sinuosidade em perfil da interseção) e MSV (média da sinuosidade em perfil dos segmentos de 200 metros que fazem limite com a área de influência da interseção) - DBI, - Diferença absoluta entre MSH e SHI da interseção-DSHI, diferença absoluta entre MSV e SVI da interseção-DSVI, diferença absoluta entre MIRH e IRHI da interseção - DIRHI e a Diferença absoluta entre MPCT e PCTI da interseção - DPCTI. Todas estas variáveis têm um impacto positivo sobre a variável dependente (coeficientes com sinal positivo) e, portanto, impacto negativo sobre a segurança rodoviária.

5.1.7 Discussão dos Resultados

O modelo resultante da análise do Grupo1 é o MLGP, mediante o gráfico do CURE Plot e o valor da estatística AIC, mas como se verifica que a variância é diferente da média, 1,944 e 0,897 respetivamente, significa que há sobredispersão dos dados, que por sua vez indica que este pode não ser o melhor modelo.

Para o Grupo 2, o modelo considerado como válido segundo a análise do CURE Plot e o valor de Akaike é o MLGP, remetendo para a mesma situação ocorrida no Grupo 1.

No Grupo 3 a análise dos CURE Plot e o valor de Akaike relatam o mesmo dos grupos anteriores.

Os valores de Akaike são muito próximos o que pode induzir em erro na escolha do melhor modelo, portanto os resultados obtidos pela análise dos CURE Plot e valor de Akaike não vão ser considerados com válidos e serão analisados todos os modelos na validação cruzada.

5.1.8 Validação dos Modelos

A fase final da modelação de acidentes tem por intuito garantir que os modelos obtidos na modelação representam a população em geral e que são adequados às situações em que serão usados.

Desta forma os resultados obtidos na validação demonstram que, o melhor modelo para a previsão de acidentes totais representativo do Grupo 1 de variáveis (Tabela 5) é o Modelo Linear Generalizado Binomial Negativo, pois a variação da média do erro médio absoluto (ΔEMA) e da raiz do erro quadrático médio do ajuste do modelo (ΔEMQ) encontram-se mais próximas de zero, com os valores de -0.051 e -0.073 respetivamente (Tabela 22).

Tabela 22: Parâmetros da validação do Grupo 1 dos acidentes totais

	Validação cruzada				Ajuste		ΔEMA	ΔEMQ
	Modelos	Média	EMA	EMQ	EMA	EMQ		
Grupo 1	MLGBN	0.902	0.778	1.101	0.829	1.174	-0.051	-0.073
	MLGP	0.897	0.678	0.968	0.735	1.068	-0.056	-0.100
	ZINB	0.895	0.732	1.052	0.803	1.162	-0.071	-0.110
	ZIP	0.896	0.731	0.997	0.783	1.113	-0.052	-0.116

De seguida é apresentada a Tabela 23 com os valores obtidos na validação do Grupo 2 (Tabela 6). Sendo que o melhor modelo é o Modelo Linear Generalizado Binomial Negativo, com ΔEMA igual a -0.037 e ΔEMQ igual a -0.052.

Tabela 23: Parâmetros da validação do Grupo 2 dos acidentes totais

	Validação cruzada				Ajuste		ΔEMA	ΔEMQ
	Modelos	Média	EMA	EMQ	EMA	EMQ		
Grupo 2	MLGBN	0.896	0.737	1.118	0.774	1.170	-0.037	-0.052
	MLGP	0.897	0.651	0.936	0.743	1.106	-0.091	-0.170
	ZINB	0.922	1.351	2.097	0.752	1.087	0.599	1.009
	ZIP	0.905	0.711	1.078	0.764	1.210	-0.052	-0.132

Por último é apresentada a Tabela 24, que contém os valores obtidos para a validação do Grupo 3 (Tabela 7). Sendo que o modelo que apresenta melhores valores é o de Zeros Inflacionado Binomial Negativo com ΔEMA igual a -0.010 e ΔEMQ igual a -0.040. Como a contagem dos zeros não é significativa nos modelos de zeros

inflacionados, o modelo considerado é o MLGBP com os valores de ΔEMA igual a -0.039 e ΔEMQ igual a -0.071.

Tabela 24: Parâmetros de validação do Grupo 3 dos acidentes totais

	Validação cruzada				Ajuste		ΔEMA	ΔEMQ
	Modelos	Média	EMA	EMQ	EMA	EMQ		
Grupo 3	MLGBN	0.897	0.587	0.851	0.669	0.936	-0.082	-0.085
	MLGP	0.897	0.643	0.876	0.682	0.948	-0.039	-0.071
	ZINB	0.906	0.859	1.195	0.869	1.235	-0.010	-0.040
	ZIP	0.895	0.817	1.159	0.031	1.213	0.786	-0.054

De entre os modelos obtidos na validação dos grupos para acidentes totais, o modelo que apresentou o melhor ajuste foi o Modelo Linear Generalizado Binomial Negativo do Grupo 2.

Portanto o modelo a adotar será o do Grupo 2, que apresenta um bom comportamento no gráfico dos resíduos acumulados embora não apresente o menor valor de AIC.

5.2 Modelos de Previsão de Colisões

Neste ponto são apresentados os modelos obtidos para a determinação para o número de colisões. Para definição da melhor modelo de previsão de colisões, foi seguido o mesmo procedimento dos modelos de previsão de acidentes totais.

5.2.1 Modelos MLG

Na Tabela 25 são apresentados os modelos obtidos para a previsão das colisões (Tabela 5) através da modelação linear generalizada pelos métodos Binomial Negativo e Poisson, para as variáveis do Grupo 1. Nessa Tabela pode-se analisar as variáveis significativas e os valores dos parâmetros correspondentes de cada uma.

Tabela 25: Modelo MLGBN e MLGP do Grupo 1

MLGBN				MLGP			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-14.3631	3.5076	0.001	Intercepto	-14.4342	2.90085	0.001
lnTMDAPMS	0.5381	0.1336	0.001	lnTMDAPMS	0.50102	0.10201	0.001
LVP	1.1934	0.604	0.048	LVP	1.12328	0.50462	0.026
DLVP	0.3841	0.1524	0.011	DLVP	0.39722	0.11435	0.001
				EG	0.83051	0.4208	0.048
				SV	0.02333	0.0114	0.040

Em seguida apresenta-se na Tabela 26 os modelos obtidos da modelação linear generalizada pelos métodos Binominal Negativo e Poisson do Grupo 2 para colisões (Tabela 6), onde se pode analisar as variáveis significativas e os valores dos parâmetros correspondentes de cada uma.

Tabela 26: Modelo MLGBN e MLGP do Grupo 2

MLGBN				MLGP			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-12.7715	2.61708	0.001	Intercepto	-13.0228	2.18144	0.001
lnTMDAPMS	0.48103	0.13097	0.001	lnTMDAPMS	0.47072	0.10473	0.001
DLVP	0.40455	0.14819	0.001	DLVP	0.36015	0.12449	0.003
SV	0.04104	0.01704	0.016	SV	0.04121	0.01362	0.002
MPCR	2.71319	1.21993	0.026	MDL	0.34707	0.16206	0.032
MPCT	1.45968	0.71047	0.039	MPCR	2.12847	1.03196	0.039
				MPCT	1.49152	0.62159	0.016

Por último, na Tabela 27 são apresentados os modelos obtidos, para colisões e variáveis do Grupo 3 (Tabela 7), da modelação linear generalizada pelos métodos Binominal Negativo e Poisson, onde se pode analisar as variáveis significativas e os valores dos parâmetros correspondentes de cada uma.

Tabela 27: Modelo MLGBN e MLGP do Grupo 3

MLGBN				MLGP			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-8.847	2.1016	0.001	Intercepto	-8.50323	1.7745	0.001
lnTMDAPMS	0.4811	0.1194	0.001	lnTMDAPMS	0.4608	0.09873	0.001
DLVP	0.4386	0.1385	0.001	DLVP	0.29438	0.11134	0.008
DPCRI	-3.8264	1.2821	0.002	DBI	0.66379	0.25201	0.008
DPCTI	1.6013	0.6217	0.010	DIRHI	-139.652	47.6135	0.003

5.2.2 Modelos de Zeros Inflacionados

Na Tabela 28 são apresentados os modelos para colisões obtidos da modelação linear generalizada pelos métodos Binominal Negativo e Poisson, que integram variáveis do Grupo 1, onde se pode analisar as variáveis significativas e os valores dos parâmetros correspondentes de cada uma.

Tabela 28: Modelo ZINB e ZIP do Grupo 1

ZINB				ZIP			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-16.6333	4.0389	0.001	Intercepto	-16.3341	3.5092	0.001
lnTMDAPMS	0.5088	0.1232	0.001	lnTMDAPMS	0.4874	0.1049	0.001
LVP	1.9549	0.7929	0.013	LVP	1.9831	0.6559	0.002
DLVP	0.434	0.1448	0.001	DLVP	0.4362	0.1281	0.001
Zeros Inflacionados				Zeros inflacionados			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-1.3907	0.9041	0.124	Intercepto	-1.076	0.6156	0.080

Em seguida para o Grupo 2 são apresentados na Tabela 29 os modelos para colisões obtidos da modelação ZINB e ZIP onde se pode analisar as variáveis significativas e os valores dos parâmetros correspondentes de cada uma.

Tabela 29: Modelo ZINB e ZIP do Grupo 2

ZINB				ZIP			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-12.558	2.6772	0.001	Intercepto	-11.6689	2.22964	0.001
lnTMDAPMS	0.47327	0.12866	0.001	lnTMDAPM	0.43888	0.11054	0.001
DLVP	0.39956	0.14315	0.005	DLVP	0.40155	0.12839	0.001
SV	0.04032	0.01526	0.008	SV	0.03884	0.01281	0.002
MPCR	2.74634	1.17751	0.019	MPCR	2.53644	1.03536	0.014
MPCT	1.48663	0.66362	0.025	MPCT	1.44257	0.58166	0.013
Zeros Inflacionados				Zeros Inflacionados			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-2.117	2.305	0.358	Intercepto	-1.3217	0.7801	0.090

Na Tabela 30 são apresentados os modelos para colisões obtidos da modelação linear generalizada pelos métodos Binominal Negativo e Poisson, onde se pode analisar as variáveis do Grupo 3 (variáveis explicativas mais as diferenças) significativas e os valores dos parâmetros correspondentes de cada uma.

Tabela 30: Modelo ZINB e ZIP do Grupo 3

ZINB				ZIP			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-8.846	2.1522	0.001	Intercepto	-7.93922	1.81989	0.001
lnTMDAPMS	0.481	0.1234	0.001	lnTMDAPMS	0.43683	0.09946	0.001
DLVP	0.4386	0.1425	0.002	DLVP	0.40895	0.1177	0.001
DPCRI	-3.8264	1.2899	0.003	DPCRI	-3.68958	1.17523	0.001
DPCTI	1.6015	0.6119	0.008	DPCTI	1.70961	0.50731	0.001
Zeros Inflacionados				Zeros Inflacionados			
Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>	Variável	Estimativa	Erro Padrão	<i>P</i>
Intercepto	-8.43	277.39	0.976	Intercepto	-1.76	1.036	0.089

5.2.3 Comparação dos Modelos para Colisões

O procedimento de comparação dos modelos divide-se em várias fases, numa primeira fase procede-se à análise dos valores obtidos pelo teste de Vuong, em seguida procede-se a análise dos CURE Plot em conjunto com os valores de AIC.

5.2.4 Análise pelo Teste de Vuong

Foi realizado o teste de seleção de modelos de Vuong para verificar se os modelos ZINB versus MLGBN e ZIP versus MLGP são igualmente adequados ou não, como já foi descrito no ponto 6.2.1. Neste caso deve-se proceder a uma análise complementar.

Na Tabela 31 são apresentados os valores obtidos no teste de Vuong entre os modelos obtidos pela modelação ZINB e MLGBN para colisões para os 3 grupos de variáveis.

Tabela 31: Teste estatístico de Vuong ZINB versus MLGBN

Grupo de Variáveis	Estatística teste	Observações
Grupo 1	-0.15291	São igualmente adequados
Grupo 2	-0.18943	São igualmente adequados
Grupo 3	0.018941	São igualmente adequados

Na Tabela 32 são apresentados os valores obtidos no teste de Vuong entre os modelos obtidos pela modelação ZIP e Poisson para colisões, para os 3 grupos de variáveis.

Tabela 32: Teste estatístico de Vuong ZIP versus MLGP

Grupo de Variáveis	Estatística teste	Observações
Grupo 1	0.27768	São igualmente adequados
Grupo 2	0.266732	São igualmente adequados
Grupo 3	-0.48313	São igualmente adequados

Como se pode verificar os valores obtidos pelo teste de Vuong ambos os modelos são igualmente adequados pois os valores da estatística teste compreendem-se entre -1.96 e 1.96.

5.2.5 Análise Complementar – Gráfico dos Resíduos Acumulados e Akaike

Uma segunda análise a proceder será o comportamento do modelo no CURE Plot em conjunto com o valor de AIC. Desta forma, serão analisados por grupos os modelos testados.

Na Tabela 33 estão apresentados para as colisões os valores de AIC obtidos na modelação com Modelo Linear Generalizado Binomial Negativo (MLGBN), Modelo Linear Generalizado Poisson (MLGP), Zeros Inflacionados Binomial Negativo (ZINB) e Zeros Inflacionados Poisson (ZIP).

Tabela 33: Valores de AIC dos modelos de colisões

Grupo	Poisson	BN	Zeros	Zeros
			Inflacionados Poisson	Inflacionados Binomial Negativo
Grupo 1 (Var. Explicativas)	153.23	152.84	153.0598	154.3721
Grupo 2 (Var. Médias)	148.94	149.64	150.5209	151.4737
Grupo 3 (Var. Diferença)	147.26	144.05	144.4811	146.0455

Com os gráficos dos *CURE Plot* dos modelos elaborados para as variáveis do Grupo 1, apresentados na Figura 10 é possível observar-se que a curva dos resíduos acumulados oscila em torno de 0 e não cruza os limites, embora o MLGBN ultrapasse o limite de forma residual, para valores de tráfego elevado.

Com os gráficos dos *CURE Plot* dos modelos apresentados na Figura 11 é possível observar que para os modelos ZINB e ZIP a curva de resíduos acumulados oscila em torno de 0 mas ultrapassa o limite superior. Logo, estes modelos estão excluídos.

A seleção do melhor modelo de previsão das colisões para o Grupo 1 é o MLGBN, uma vez que apresenta um comportamento normalizado. O valor de AIC é 152,84.

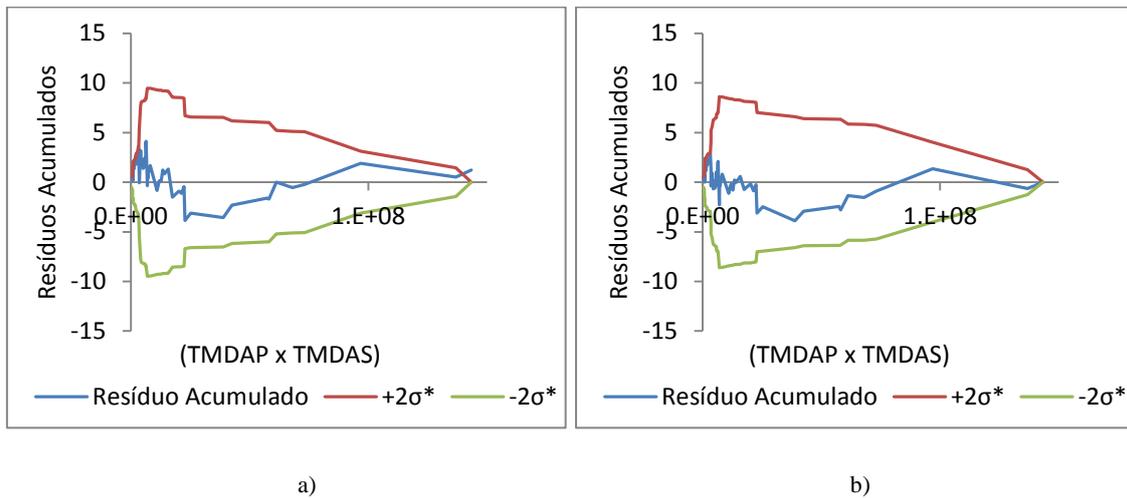


Figura 10: CURE Plot para o Grupo 1: a) MLGBN; b) MLGP

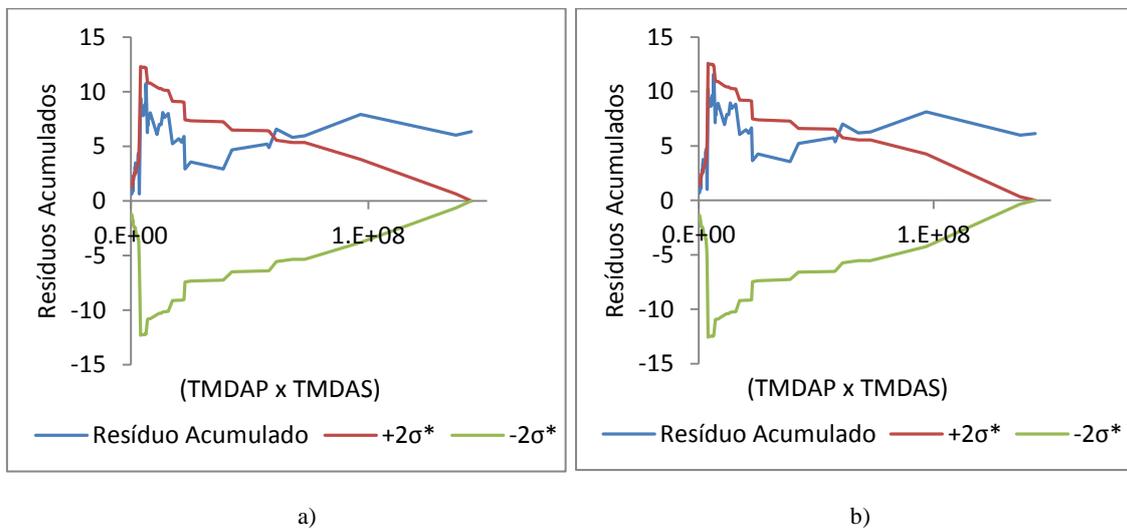


Figura 11: CURE Plot para o Grupo 1: a) ZINB; b) ZIP

Com os gráficos dos *CURE Plot* dos modelos apresentados na Figura 12 é possível observar-se que a curva dos resíduos acumulados obtidos para os modelos válidos do Grupo 2 oscila em torno de 0 e não cruza os limites superiores e inferiores. Portanto, os modelos MLG são considerados aceitáveis.

Por sua vez, com os gráficos dos *CURE Plot* dos modelos apresentados na Figura 13 é possível observar-se para os modelos ZINB e ZIP que a curva de resíduos acumulados

oscila em torno de 0 e não ultrapassa os limites, logo os modelos são considerados aceitáveis.

O melhor modelo de previsão das colisões é o MLG, sendo que o modelo MLGP apresentou um menor valor de AIC (148,94).

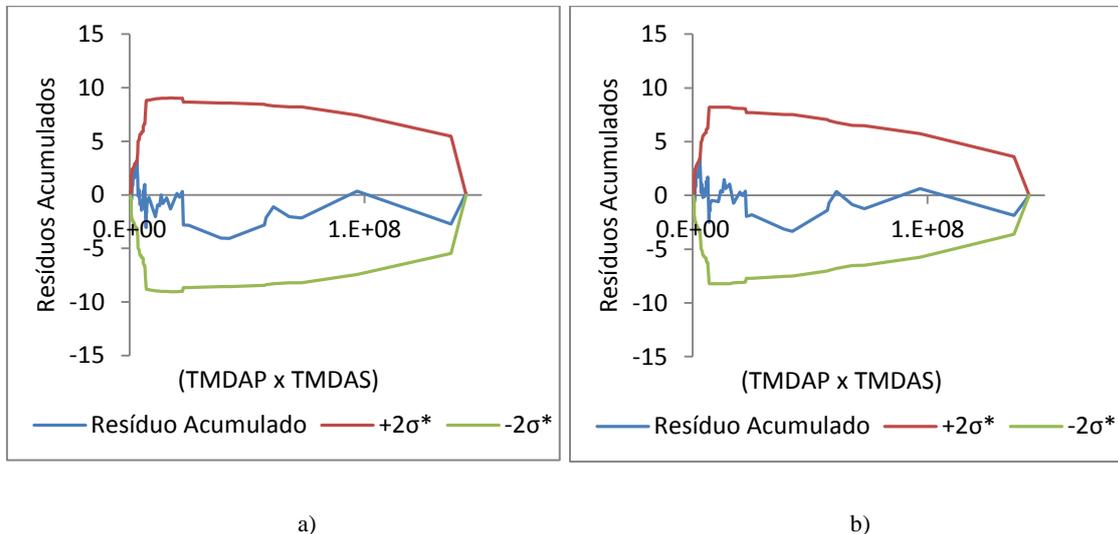


Figura 12: CURE Plot para o Grupo 2: a) MLGBN; b) MLGP

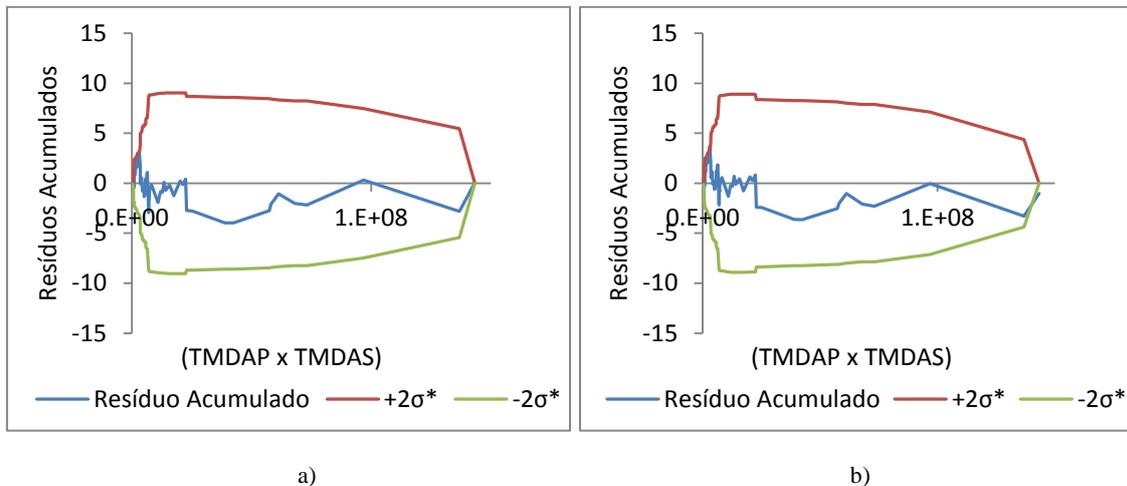


Figura 13: CURE Plot para o Grupo 2: a) ZINB; b) ZIP

Com os gráficos dos *CURE Plot* dos modelos apresentados nas Figuras 14 é possível observar para os modelos ajustados para o Grupo 3 que a curva dos resíduos acumulados oscila em torno de 0 e não cruza os limites superiores e inferiores nos modelos MLG, portanto, os modelos são considerados aceitáveis.

Com os gráficos dos *CURE Plot* dos modelos apresentados nas Figuras 15 é possível observar que as curvas de resíduos acumulados dos modelos ZINB e ZIP oscila em torno de 0 mas ultrapassam os limites, neste caso como a curva de resíduos só

ultrapassa na ponta final vão ser considerados aceitáveis os dois modelos elaborados para o Grupo 3.

Logo, a seleção do melhor modelo de previsão dos acidentes é o MLGBN, sendo que que apresentou um menor valor de AIC (144,05).

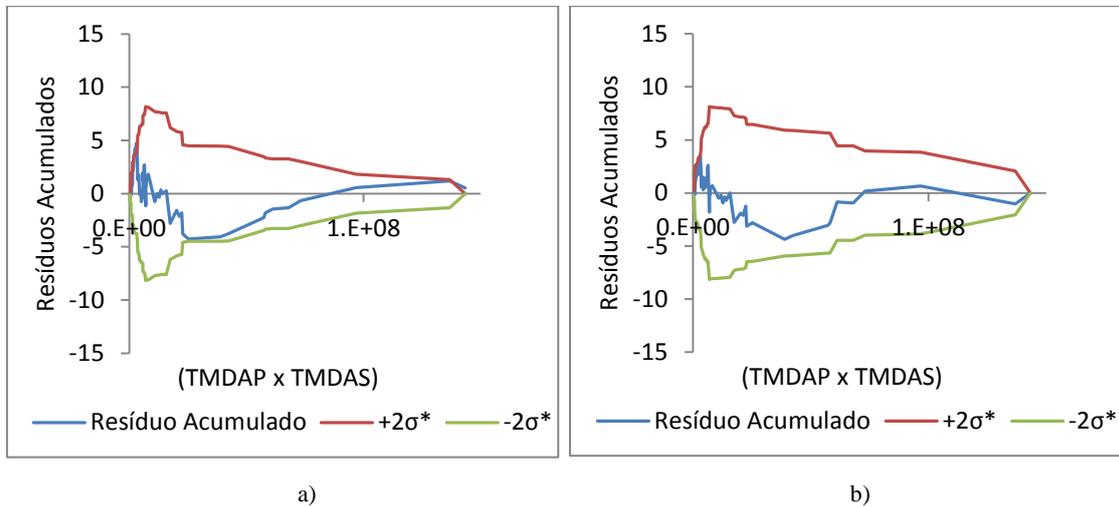


Figura 14: CURE Plot para o Grupo 3: a) MLGBN; b) MLGP

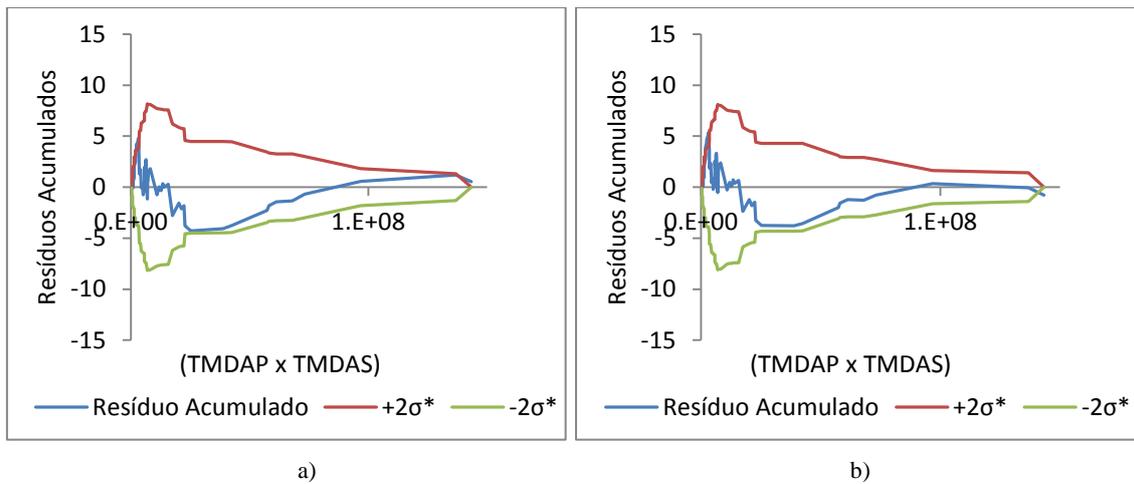


Figura 15: CURE Plot para o Grupo 3: a) ZINB; b) ZIP

5.2.6 Análise dos Resultados da Modelação

Nesta seção faz-se a análise dos modelos de previsão das colisões de viação para as interseções de três ramos.

Considerando apenas os modelos aceitáveis do ponto de vista da estatística é possível verificar que os principais fatores que contribuem para a frequência dos acidentes totais divergem em conformidade com a agregação dos dados.

Para o Grupo 1 os principais fatores são TMDAPMS, largura de via principal - LVP, desobstrução lateral média na direção principal - DLVP, entrada de garagem - EG, sinuosidade vertical-SV. Todas estas variáveis têm um impacto positivo sobre a variável dependente (coeficientes com sinal positivo) e, portanto, impacto negativo sobre a segurança rodoviária.

Para os modelos do Grupo 2 os principais fatores são o TMDAPMS, desobstrução lateral média na direção principal - DLVP, sinuosidade vertical - SV, média da proporção do comprimento em reta dos segmentos considerados - MPCR, média da proporção do comprimento em trainel dos segmentos considerados - MPCT, média da desobstrução lateral dos segmentos considerados - MDL. Todas estas variáveis têm um impacto positivo sobre a variável dependente (coeficientes com sinal positivo) e, portanto, impacto negativo sobre a segurança rodoviária.

Para os modelos do Grupo 3 os principais fatores são o TMDAPMS, desobstrução lateral média na direção principal - DLVP, Proporção do comprimento do trainel no trecho-PCT, Variável composta pela diferença entre SVI (sinuosidade em perfil da interseção) e MSV (média da sinuosidade em perfil dos segmentos de 200 metros que fazem limite com a área de influência da interseção) - DBI, Diferença absoluta entre MPCR e PCRI da interseção - DPCRI, Diferença absoluta entre MIRH e IRHI da interseção-DIRHI, Diferença absoluta entre MPCT e PCTI da interseção - DPCTI. Todas estas variáveis têm um impacto positivo sobre a variável dependente (coeficientes com sinal positivo, exceto a variável DPCRI com sinal negativo, uma vez que nesta variável o sua relação é inversa) e, portanto, impacto negativo sobre a segurança rodoviária.

5.2.7 Discussão dos Resultados

O modelo resultante da análise do Grupo 1 é o MLGBN, mediante o gráfico do CURE Plot e o valor de Akaike, portanto para este grupo este modelo é o considerado válido.

O modelo resultante da análise do Grupo 2 é o MLGP, mediante o gráfico do CURE Plot e o valor de Akaike, contudo uma análise estatística dos dados demonstra que a variância é diferente da média, 1,824 e 0,764 respetivamente, o que significa que há sobredispersão, que por sua indica que este pode não ser o melhor modelo.

O modelo resultante da análise do Grupo 3 é o MLGBN, mediante o gráfico do CURE Plot e o valor de Akaike, portanto para este grupo, este modelo é o considerado válido.

Os valores de Akaike são muito próximos o que pode induzir em erro na escolha do melhor modelo, portanto os resultados obtidos pela análise dos CURE Plot e valor de Akaike vão ser considerados com válidos, contudo todos os modelos serão analisados na validação cruzada.

5.2.8 Validação dos Modelos

A validação dos modelos obtidos para as colisões obedeceu ao mesmo critério utilizado na validação dos modelos obtidos para acidentes totais. Neste caso também foram analisados todos os modelos uma vez que os valores do AIC são muito próximos.

Para o Grupo 1, os valores obtidos são apresentados na Tabela 33, sendo que o melhor modelo é MLGBN, uma vez que a variação dos valores da média do erro médio absoluto (ΔEMA) e da raiz do erro quadrático médio do ajuste do modelo (ΔEMQ) apresentam os valores mais próximos de zero, sendo iguais a -0.059 e -0.110 respectivamente.

Tabela 34: Parâmetros da Validação do Grupo 1 para as Colisões

	Validação cruzada			Ajuste		ΔEMA	ΔEMQ	
	Modelos	Média	EMA	EMQ	EMA			EMQ
Grupo 1	MLGBN	0.783	0.698	1.039	0.757	1.149	-0.059	-0.110
	MLGP	0.765	0.846	1.289	0.713	1.047	0.133	0.242
	ZINB	0.858	3.252	21.399	0.832	1.503	2.420	19.896
	ZIP	0.855	3.249	21.400	0.840	1.544	2.410	19.856

De seguida são apresentados os valores obtidos na validação do Grupo 2, como se pode ver na Tabela 35. Para este grupo, o melhor modelo é MLGBN, porque os parâmetros ΔEMA e ΔEMQ apresentam os valores mais próximos de zero, embora também se pudesse considerar o ZINB uma vez que a diferença de resultados é muito pequena, mas analisando os valores da contagem dos zeros verifica-se que estes não são significativos.

Tabela 35: Parâmetros da Validação do Grupo 2 para as Colisões

	Validação cruzada				Ajuste		Δ EMA	Δ EMQ
	Modelos	Média	EMA	EMQ	EMA	EMQ		
Grupo 2	MLGBN	0.767	0.633	0.979	0.718	1.095	-0.085	-0.116
	MLGP	0.765	0.527	0.819	0.678	0.997	-0.151	-0.178
	ZINB	0.000	0.633	0.979	0.720	1.096	-0.087	-0.118
	ZIP	-0.015	0.618	0.933	1.401	2.441	-0.784	-1.509

Por último, apresenta-se na Tabela 36 os resultados da validação cruzada obtidos para o Grupo 3. Neste caso, os parâmetros do modelo de Zeros Inflacionados Poisson são os mais próximos de zero. Considerando que o desempenho dos modelos MLGBN, ZINB e ZIP é muito semelhante e que existe sobredispersão dos dados e que para os modelos de zeros inflacionados a contagem de zeros não se apresenta significativa, o modelo a adotar será o MLGBN.

Tabela 36: Parâmetros da Validação do Grupo 3 para as Colisões

	Validação cruzada				Ajuste		Δ EMA	Δ EMQ
	Modelos	Média	EMA	EMQ	EMA	EMQ		
Grupo 3	MLGBN	0.772	0.597	0.889	0.649	0.991	-0.052	-0.103
	MLGP	0.765	0.550	0.830	0.655	0.988	-0.104	-0.158
	ZINB	0.772	0.599	0.893	0.649	0.991	-0.050	-0.098
	ZIP	0.753	0.598	0.888	0.644	0.986	-0.046	-0.097

Entre todos os modelos de previsão das colisões validados, aquele que proporcionou um melhor ajuste foi o modelo de Zeros Inflacionados Binomial Negativo ajustado para as variáveis do Grupo 3, uma vez que a contagem dos zeros não foi significativa o modelo a adotar é MLGBN que também apresentou um bom ajuste.

6 Conclusão

O objetivo fulcral do presente estudo foi a identificação dos principais fatores que contribuem para ocorrência dos acidentes de viação através do desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes totais e de colisões para as interseções de três ramos em zonas urbanas e periurbanas.

A elaboração deste trabalho tem como fundamento disponibilizar uma ferramenta fundamental, até agora quase inexistente, para a promoção da segurança no sistema nacional rodoviário do norte de Portugal, que atravessa várias cidades e os seus polos industriais.

Para a sua realização foram utilizados dados de acidentes de viação fornecidos pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária – ANSR, enquanto que os dados de tráfego foram estimados com base em contagens de tráfego disponibilizadas pela empresa Estradas Portuguesas – EP. As restantes variáveis, incluindo características geométricas e de ambiente envolvente da estrada, dos diferentes elementos viários (segmentos e interseções) foram recolhidas diretamente na rede rodoviária do estudo ou calculadas com suporte nos dados recolhidos nos trechos de estudo das EN's selecionadas, sendo estes trechos: (i) Braga-Famalicão (EN-14); (ii) Braga-Vila Verde (EN-101); (iii) Braga-Guimarães (EN-101); (iv) Guimarães-Felgueiras (EN-101); (v) Famalicão-Guimarães (EN-206); (vi) Guimarães-Fafe (EN-206).

Considerando estas condições, os modelos de previsão dos acidentes de viação foram desenvolvidos com o auxílio das técnicas de modelação dos modelos lineares generalizados – MLG e de Zeros Inflacionados considerando as distribuições Binomial Negativa e Poisson.

Para a modelação dos acidentes totais e colisões ocorridos nas interseções de três ramos em que foram observados os dados dos acidentes de viação (acidentes totais e colisões), determinou-se o tráfego (representado pelo tráfego médio diário anual – TMDA da direção principal e da direção secundária) e as características geométricas para o período de estudo (2008 a 2012).

Relativamente às variáveis que compõem as características geométricas foram utilizadas diferentes combinações, tendo sido estabelecidos três grupos (Grupo 1, Grupo

2 e Grupo 3). No primeiro grupo foram incluídas apenas as variáveis explicativas, no segundo grupo as variáveis explicativas e as médias de algumas variáveis geométricas e no terceiro grupo a diferença entre essas variáveis.

Duas das variáveis que foram introduzidas e que inicialmente se esperava que apresentassem alguma significância foram a irregularidade longitudinal e a textura, esse fato não se veio a confirmar, uma vez que nenhuma das duas variáveis apresentou valores dos parâmetros significativos para nenhum dos modelos.

Nos modelos de previsão dos acidentes de viação obtidos para as interseções de três ramos, verificou-se que a variável de tráfego, representada pelo TMDAPMS dos segmentos e da direção principal e secundária das interseções, produziu um bom ajuste em todos os casos e também com contribuição negativa para a segurança viária, correspondendo a um incremento no número de acidentes com o aumento do tráfego.

Relativamente à validação dos modelos obtidos, seguiu-se inicialmente uma abordagem clássica baseada na análise dos resíduos acumulados e no critério de Akaike. Posteriormente procedeu-se à validação cruzada de todos os modelos estatisticamente aceitáveis.

Para o ajuste dos modelos de previsão dos acidentes totais de viação das interseções de três ramos foram consideradas 12 combinações, uma vez que os valores de AIC são muito próximos.

O modelo que apresentou o melhor resultado foi o Modelo Linear Generalizado Binomial Negativo do Grupo 2, tendo como variáveis explicativas a multiplicação do tráfego da via principal pelo da via secundária e MDL – Média da desobstrução lateral dos segmentos considerados. Neste caso conclui-se que a desobstrução lateral influencia o comportamento do condutor, já que a presença de espaços amplos pode suscitar a prática de altas velocidades o que pode possibilitar a ocorrência de acidentes.

Para o ajuste dos modelos de previsão das colisões de viação das interseções de três ramos foram consideradas 12 combinações, uma vez que os valores de AIC também são muito próximos.

O modelo que apresentou o melhor ajuste foi o dos Modelo Linear Generalizado Binomial Negativo do Grupo 3, definido pela multiplicação do tráfego da via principal

pelo da via secundária, desobstrução lateral média na direção principal – DLVP, Diferença absoluta entre MPCR (média da proporção do comprimento em reta dos segmentos considerados) e PCR (proporção do comprimento de reta no segmento) da interseção – DPCRI e Diferença absoluta entre MPCT (média da proporção do comprimento em trainel dos segmentos considerados) e PCT (proporção do comprimento do trainel no trecho) da interseção – DPCTI.

Numa análise às variáveis deste Modelo pode-se concluir que a variável PCR influencia o comportamento do condutor, já que a presença de retas pode suscitar a prática de altas velocidades. Quando se considera a diferença entre as variáveis da área de influência da interseção e a zona limítrofe essa influência assume um fator negativo no número esperado de colisões.

Para a variável PCT o comprimento de um trainel numa estrada determina a distância de visibilidade. A presença de trainéis em declives longos também influencia o desenvolvimento de altas velocidades, contribuindo para a ocorrência de acidentes. Quando é feita a diferença absoluta entre as variáveis da área de influência da interseção e a zona limítrofe assume um fator positivo no número de colisões.

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 servem de base para o estudo da sinistralidade por parte dos responsáveis da gestão da infraestrutura rodoviária no sentido de fundamentar intervenções na mesma, direcionadas para a mitigação desta sinistralidade.

6.1 Limitações do Trabalho de Investigação

A principal limitação do presente estudo foi o reduzido tamanho da amostra, isto é, do número de interseções de três ramos, em parte devido aos altos custos de recolha de dados e escassez de recursos logísticos e equipamentos.

Outra limitação deste estudo é o facto de não se estudar as interseções de quatro ramos. Seria importante verificar se as conclusões retiradas para as interseções de três se repetem para as de quatro ramos.

Em qualquer dos casos, no futuro, é essencial considerar os acidentes que envolvam peões, dada a importância que estes têm na sinistralidade em meio urbano.

6.2 Trabalhos Futuros

Com base nas limitações do presente estudo para a determinação dos modelos, a seguir são apresentadas algumas propostas de investigação futuras.

Investigação mais aprofundada do efeito das variáveis, que não se revelaram estatisticamente significativas no presente trabalho. Isto pode ser feito através do aumento do número de elementos da amostra identificados na área de estudo considerada neste trabalho, nomeadamente das que dizem respeito ao estado da superfície.

Acrescentar as interseções de 4 ramos e os acidentes que envolvam peões.

Analisar a aplicabilidade dos modelos, isto é, aplicar os modelos a outras realidades do país e verificar a qualidade da previsão efetuada.

7 Obras Citadas

- ANSR. (2009). *Estrategia Nacional de Segurança Rodoviária 2008-2015*.
- ANSR. (2009). Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, Planos Municipais de Segurança Rodoviária.
- ANSR. (2012). Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária. *Sinistralidade Rodoviária*.
- Bastos Silva, A. M., Gonçalves Macedo, J. M., & Maia Seco, Á. J. (2008). *Interseções Prioritárias e de Viragem à Direita*.
- Claude, G. F. (2012). *Previsão da ocorrência de acidentes de trânsito em interseções de vias arteriais urbanas : o caso de Taguatinga/DF*. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia e Ambiental.
- Costa, J. (2013). *Desenvolvimento dum modelo de previsão de acidentes*. Universidade do Minho, Escola de Engenharia.
- Costa, J. O., Pereira, P. A., Freitas, E. F., & Jacques, M. A. (2012). Acidentes rodoviários das estradas nacionais de Portugal: Estudo da associação entre as variáveis modelos de previsão de acidentes. *Gestão da velocidade e do ruído rodoviário*. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Guimarães.
- Diário da República, 1. s.-N.-1. (2014). *Revisão Intercalar 2013 – 2015 da Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária*.
- Ferreira, S. M. (2010). *A Segurança Rodoviária no Processo de Planeamento de Redes de Transporte em Meio Urbano*. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil.
- Fumes e Corrente. (2010). Modelos Inflacionados de Zeros: Aplicações na análise de um questionário da frequência alimentar. *Rev. Bras. Biom* 28.1, 24-38.
- Gomes, S. C. (2010). *Avaliação da Influência da Infra-estrutura na Segurança Rodoviária em Meio Urbano*. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil na Especialidade de Urbanismo, Ordenamento do Território e Transportes. Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil.

- Guerreiro, G. C. (2012). *Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil — Especialização em vias de comunicação*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Hosseinpour, M., Yahaya, A. S., & Sadullah, A. F. (2014). Exploring the effects of roadway characteristics on the frequency and severity of head-on crashes: Case studies from Malaysian Federal Roads. *Accident Analysis & Prevention*. pp. 62, 209-222.
- IMTT. (Março de 2011). Rede Viária – Princípios de planeamento e desenho. *COLEÇÃO DE BROCHURAS TÉCNICAS / TEMÁTICAS*. Lisboa: Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, I.P. (IMTT), Gabinete de Planeamento, Inovação e Avaliação (GPIA).
- McCullagh e Nelder. (1983). *Modelos Lineares Generalizado*. Chapman and Hall, Nova Iorque.
- Parlamento Europeu. (2010). Orientações para a política de segurança. *Rumo a um espaço europeu de segurança rodoviária*.
- Parlamento Europeu. (2011). *Resolução do Parlamento Europeu , sobre a política europeia de segurança rodoviária de 2011 a 2020 (2010/2235(INI))*.
- Provete, D. B., Silva, F. R., & Souza, T. G. (2011). *Estatística aplicada à ecologia usando o R*. Universidade Estadual Paulista.
- RSM, PIARC -. (2003). *Road Safety Manual*. World Road Association.
- Silva, A. M., Maia Seco, Á. J., & Gonçalves Macedo, J. (2008). *Manual do Planeamento de acessibilidades e Transporte e Intrseções Prioritárias e de Viragem à Direita*.
http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasconcelos/Documentos/ManualdeAcessibilidades/ManuaisCCDRNmiolo_AF/05IntPriorit_AF.pdf.
- Sminkey, L. (2011). *Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020*. Documento não publicado.
- Strathman, J. G., Duecker, K. J., Zhang, J., & Williams, T. (2001). Analysis of design attributs and crashes on the Oregon highway system.

Zaihra, T. (2014). Modeling the Number of Research Papers Produced by Graduate Students Using Zero-Inflated Models. *Case Studies In Business, Industry And Government Statistics*, 5.1: 44-50.