



Filipa Pereira dos Santos

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA EM TERMOS DE SEGURANÇA RECORRENDO A MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES

EVALUATING ROAD INFRASTRUCTURE SAFETY PERFORMANCE USING ACCIDENT
PREDICTION MODELS

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação,
orientada pela Professora Doutora Ana Maria César Bastos Silva

Coimbra, 7 de Fevereiro de 2018



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Filipa Pereira dos Santos

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA EM TERMOS DE SEGURANÇA RECORRENDO A MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES

EVALUATING ROAD INFRASTRUCTURE SAFETY PERFORMANCE USING ACCIDENT PREDICTION MODELS

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação,
orientada pela Professora Doutora Ana Maria César Bastos Silva

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer
responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões
que possa conter.

Coimbra, 7 de Fevereiro de 2018

AGRADECIMENTOS

Quero deixar um especial agradecimento à minha orientadora, Professora Doutora Ana Bastos Silva, Professora do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, por toda a disponibilidade, orientação e força de incentivo que sempre me deu ao longo desta etapa do curso.

Aos meus amigos e colegas, Aníbal Lousa, Rute Santo e Sara Videira, que fizeram o sacrifício por mim de ir comigo de madrugada, contar tráfego na cidade de Coimbra, em pleno Inverno.

À minha querida e especial amiga Ana Lia Martins, por todo o apoio e força que me deu nesta última fase do meu percurso académico e pela disponibilidade em ir comigo a Coimbra apoiar-me na recolha de dados para a concretização desta dissertação. Obrigada por me teres ouvido vezes sem conta a falar de acidentes rodoviários!

À minha querida amiga Edna Ferreira pelo apoio ao longo do curso, pela força e incentivo e por todos os chocolates e gomas que deu para ir repondo as energias.

Às minhas amigas e colegas de casa, Cláudia Ferreira, Eduarda Barbosa, Véronique Gomes e Flávia Andrade, pelos bons momentos que me proporcionaram ao longo deste curso. Por sempre terem aturado os meus lamentos e por terem partilhado cada vitória como se fosse a vossa.

Ao Miguel Cardoso, por todo o amor, carinho e paciência que partilhou comigo ao longo do curso. Obrigada pela força, pelas palavras de incentivo e por sempre ter acreditado que sou capaz de tudo.

À minha família, em especial aos meus pais e ao meu irmão, por tudo! São o meu apoio, a minha motivação e a maior razão para ter sido capaz de cumprir este sonho.

RESUMO

A sinistralidade rodoviária é uma temática que tem vindo a justificar o desenvolvimento de investigação ao longo das últimas décadas, devido ao impacto que tem na sociedade. A Organização Mundial de Saúde refere que 1,25 milhões de pessoas morrem, todos os anos, em acidentes rodoviários, considerando este fenómeno um problema de saúde pública.

Vários fatores influenciam a segurança das estradas, sendo um deles o fator humano, o qual rege-se por leis aleatórias difíceis de controlar. Contudo, também a rede rodoviária assume um papel significativo. Atualmente é possível contar com várias ferramentas, como os modelos de estimativa de frequência de acidentes (MEFA), utilizáveis a título preventivo para o controlo da sinistralidade rodoviária. A partir destes modelos é possível prever e verificar fatores que influenciam a segurança, bem como prever o grau de segurança associado a cada elemento infraestrutural. Também as técnicas de análise de conflitos de tráfego permitem verificar o nível de segurança dos elementos rodoviários.

Esta dissertação apresenta uma análise comparativa dos resultados associados a diferentes MEFA e uma avaliação do efeito associado a um conjunto limitado de variáveis explicativas. A partir daqueles, concluiu-se que os modelos de 4 ramos apresentam menor segurança face a outros tipos de interseções e que, por oposição, as rotundas apresentam maiores níveis de segurança. Recorrendo a um conjunto pré-selecionado de modelos desenvolvidos na Europa, foi avaliada a sua aplicabilidade a interseções urbanas na cidade de Coimbra, tendo-se por base os acidentes reais da base de dados oficial da Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária. Esta análise revelou-se inconclusiva, embora se confirme a tendência de aumento da sinistralidade com o aumento do TMDa. Os modelos nacionais foram os que se associaram a maior nível de dispersão, justificando o desenvolvimento de investigação complementar no desenvolvimento/calibração de novos modelos. Por fim, tendo por base duas interseções reais, é apresentada uma análise comparativa entre os resultados dos MEFA, para diferentes valores de TMDa e o número de conflitos observados. Mesmo não tendo sido observada uma relação direta entre estes indicadores, constatou-se uma maior sensibilidade do número de conflitos em relação ao TMDa, comparativamente aos MEFA.

Palavras Chave: Segurança Rodoviária, Modelos de Estimativa de Frequência de Acidentes Rodoviários, Sinistralidade, Rotundas, Interseções Prioritárias, Conflitos de Tráfego.

ABSTRACT

In the past few decades, road accidents have been a recurrent topic discussed by society in general, justifying the growing existence of scientific literature studying this phenomenon. The World Health Organization states that every year 1.25 million people die due to road accidents, which leads them to consider this as a public health problem.

There are several factors that influence road safety. Human factors are considered to be one of those, mainly affected by the fact that driver characteristics are influenced by random laws that are hard to manage. Nevertheless, the road network is considered to have a great impact as well.

Nowadays, there are several tools available to help prevent road accidents, including frequency models that allows us to predict the number of accidents (accident prediction models). By using such models it is possible to predict and analyze which are the main factors that influence safety, as well as to predict the safety level in different road segments. Likewise, by technically analyzing road conflicts, it is possible to verify the level of safety of various elements of the road.

This thesis comparatively analyses the results associated with different accident prediction models and evaluates the effect related to a limited set of explanatory variables. By doing so, we concluded that the 4-way models show the lowest safety results when compared to other intersection types, and that, by counter position, roundabouts show higher levels of safety. By applying a predefined set of European accident prediction models, we've analyzed their applicability to urban intersections in the city of Coimbra, using the data provided by the ANSR. Even though it was possible to confirm a trend of higher accidents when the annual average daily traffic is bigger, this analysis showed inconclusive results. The Portuguese models showed greater dispersion level, further justifying the need to develop similar investigations to develop new models. Finally, a comparative analysis between different accident prediction models, regarding different annual average daily traffic values and the number of observed conflicts, was made using two existing intersections. Even though it was not possible to view a direct link between this indicators, a relationship between the number of conflicts and the annual average daily traffic was found, when compared to the accident prediction models.

Keywords: Road Safety, Accident Prediction Models, Road Accident, Accidents, Roundabouts, Intersections, Main Intersections, Traffic Conflicts

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE DE QUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ABREVIATURAS	7
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento do Tema e Objetivos do Trabalho	1
1.2 Metodologia de Abordagem	2
1.3 Estrutura da Dissertação	2
2 MODELOS DE ESTIMATIVA DE PREVISÃO DE ACIDENTES	4
2.1 Introdução	4
2.2 Objetivos dos MEFA	5
2.3 Segurança Rodoviária e Fatores que Contribuem para a Sinistralidade Rodoviária	6
2.3.1 Enquadramento	6
2.3.2 Fatores que Influenciam a Segurança Rodoviária	7
2.3.3 Fatores que Influenciam a Gravidade dos Acidentes	9
2.4 Medidas e Ações de Prevenção dos Acidentes	11
2.4.1 Hierarquia da Rede Rodoviária	11
2.4.2 Tipologias de Interseções	12
2.4.2.1 Conflitos Rodoviários em Interseções	12
2.4.2.2 Interseções Prioritárias	13
2.4.2.3 Rotundas	14
2.4.2.4 Cruzamentos com Sinalização Luminosa	15
2.4.3 Avaliação do Impacto de Medidas Corretivas	16
2.5 Modelos de Estimativa de Frequência de Acidentes	19
2.5.1 Estrutura dos Modelos e Técnicas de Modelação	19
2.5.2 Modelos Transversais e Modelos de Séries Temporais	21
2.5.3 Modelos Agregados e Modelos Desagregados	21
2.5.4 Modelos Estatísticos Face às Técnicas de Modelação	22
2.5.5 Exemplos de Modelos Europeus de Estimativa de Frequência de Acidentes	23
2.5.5.1 Modelos Aplicáveis a Rotundas	24

2.5.5.2 Modelos Aplicáveis a Interseções Prioritárias	27
2.5.5.3 Modelos Aplicáveis a Interseções Reguladas por Sinais Luminosos	31
2.6 Outras Técnicas para Avaliação dos Níveis de Segurança.....	32
2.6.1 Técnicas de Análise de Conflitos de Tráfego.....	32
2.6.2 Metodologia de Aplicação da Técnica de Análise de Conflitos de Tráfego	34
2.6.3 Estudos Antes-Depois	37
3 METODOLOGIA DE ABORDAGEM	39
3.1 Metodologia Geral.....	39
3.2 Seleção e Caracterização das Interseções Seleccionadas.....	40
3.3 Levantamento de Dados de Tráfego Automóvel e Pedonal	41
3.3.1 Sessões de Contagem	41
3.3.2 Estimativa do TMDa de Veículo e Peões.....	43
3.4 Características Geométricas	44
3.5 Estimativa de Conflitos por Observação Local.....	44
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	48
4.1 Análise Comparativa de MEFA	48
4.1.1 Interseções de 3 Ramos	50
4.1.2 Interseções de 4 Ramos	52
4.1.3 Modelos de Rotundas	53
4.1.4 Modelos que Incluem Peões.....	56
4.2 Avaliação da Adequação dos Modelos Face a Valores Reais de Sinistralidade	59
4.3. Validação dos Resultados com base em técnicas de análise de conflitos	63
4.3.1 Número de Acidentes Previstos nas Interseções em Estudo	64
4.3.2. Comparação do Número de Acidentes Previstos com o Número de Conflitos de Tráfego.....	65
5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	68
5.1 Conclusões.....	68
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Alteração da percentagem do número de acidentes como resultado de várias medidas de segurança rodoviária (Adaptado em Vieira Gomes e Cardoso, 2012).....	17
Quadro 2.2 – Coeficientes obtidos por Maycock e Hall nos MEFA simplificados aplicados a rotundas (Vieira Gomes, 2010).....	25
Quadro 2.3 – Coeficientes obtidos por Maycock e Hall nos MEFA sectoriais aplicados a rotundas (Vieira Gomes, 2010).....	26
Quadro 3.1 – Fatores de conversão.....	43
Quadro 3.2 – Fluxos de tráfego registados	43
Quadro 3.3 – Número de peões registados.....	44
Quadro 3.4 – Características geométricas da rotunda Fernão Magalhães.....	44
Quadro 3.5 – Conflitos de tráfego registados na interseção Bissaya Barreto com a Rua São Teotónio.....	46
Quadro 3.6 – Conflitos de tráfego registados na rotunda da Avenida Fernão Magalhães.....	47
Quadro 4.1 – Resumo dos MEFA que excluem atropelamentos seccionados para análise.....	49
Quadro 4.2 – Resumo dos MEFA com atropelamentos seleccionados para análise.....	56
Quadro 4.3 – TMDa registados nas rotundas da Avenida Elísio de Moura, Boavista e Fucoli.....	60
Quadro 4.4 – Características geométricas das rotundas da Avenida Elísio de Moura, Boavista e Fucoli.....	60
Quadro 4.5 – Resultados dos MEFA aplicados às rotundas da Avenida Elísio de Moura, Boavista e Fucoli.....	61
Quadro 4.6 – TMDa registados nos entroncamentos da Avenida Conimbriga e da Avenida Emídio Navarro.....	62
Quadro 4.7 – Resultados dos MEFA aplicados ao entroncamento da Avenida Conimbriga e da Avenida Emídio Navarro.....	62
Quadro 4.8 – Resultados dos MEFA aplicados à rotunda da Avenida Fernão Magalhães.....	64
Quadro 4.9 – Resultados dos MEFA aplicados à interseção da Avenida Bissaya Barreto.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Esquema de ângulos de colisão, estimativa de vetor resultante e velocidade relativa obtida	11
Figura 2.2 – a) Manobra de Divergência; b) Manobra de Convergência; c) Manobra de Atravessamento; d) Manobra de Entrecruzamento (Bastos Silva et al., 2008).....	13
Figura 2.3 – Pontos de conflito numa interseção de 4 ramos (Bastos Silva et al., 2008).....	14
Figura 2.4 – Pontos de conflito numa rotunda (Seco et al., 2008).....	15
Figura 2.5 – Tipologias de conflitos em interseções (Adaptado em Costa et al., 2008).....	16
Figura 3.1 – Rotunda da Avenida Fernão de Magalhães.....	42
Figura 3.2 – Entroncamento da Avenida Bissaya Barreto.....	42
Figura 4.1 – Resultados dos MEFA aplicados a interseções de 3 ramos.....	50
Figura 4.2 – Resultados dos MEFA aplicados a interseções de 4 ramos.....	52
Figura 4.3 – Resultados dos MEFA aplicados a rotundas.....	53
Figura 4.4 – Comparação dos modelos simplificados de Maycock e Hall.....	55
Figura 4.5 – Resultados dos MEFA com atropelamentos aplicados a rotundas.....	57
Figura 4.6 – Resultados dos MEFA com atropelamentos aplicados a interseções de 3 ramos.	58
Figura 4.7 – Resultados dos MEFA com atropelamentos aplicados a interseções de 4 ramos...	58
Figura 4.8 – Comparação do número esperado de acidentes por ano com o número de conflitos de tráfego na rotunda da Avenida Fernão Magalhães.....	66
Figura 4.9 – Comparação do número esperado de acidentes por ano com o número de conflitos de tráfego na interseção da Avenida Bissaya Barreto.....	67

ABREVIATURAS

ANSR - Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária
MEFA - Modelos de Estimativa de Frequência de Acidentes
OMS - Organização Mundial de Saúde
RTM - Regression-to-The-Mean
STCT - Swedish Traffic Conflict Technique
TMDa - Tráfego Médio Diário Anual

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do Tema e Objetivos do Trabalho

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (2015), 1,25 milhões de pessoas morrem anualmente em acidentes de viação. Em Portugal, a ANSR registou no ano de 2010, 35 426 acidentes com vítimas, nos quais ocorreram 937 vítimas mortais. Este número diminuiu até 2016, ano em que se verificaram 32 299 acidentes com vítimas, nos quais ocorreram 563 com vítimas mortais. Apesar da tendência que se tem registado em Portugal para a diminuição do número de acidentes e do número de mortes, estes números continuam a ser alarmantes, constituindo um problema de saúde pública. Uma grande percentagem de acidentes são registados dentro das localidades, 77,7% dos quais com vítimas e 53,6% com vítimas mortais (ANSR, 2016). O número de atropelamentos têm vindo a crescer desde 2014 – 5 354 nesse ano e 5 537 em 2016 -, muito embora o número de vítimas mortais tenha vindo a decair desde 2011.

Torna-se imperativo conhecer os fatores que afetam a probabilidade de ocorrência de acidentes para um correto planeamento do sistema de transportes e, conseqüentemente, a mitigação da sinistralidade rodoviária. Ao longo de várias décadas vários investigadores (Vieira Gomes e Cardoso, 2013; Ferreira, 2010; Fernandes e Neves, 2013; Greibe, 2003; Hauer, 1997, Mountain et al., 1996) têm-se debruçado sobre esta matéria e, apesar do grande avanço que a investigação conseguiu alcançar, ainda não foi possível obter todo o conhecimento e desenvolver as ferramentas necessárias para resolver esta problemática.

A evolução dos volumes de tráfego e dos valores de outras variáveis relacionadas com o desenvolvimento de novas infraestruturas nem sempre é analisada em vista a avaliar as conseqüências ao nível da segurança rodoviária (Vieira Gomes, 2010), e as ferramentas que existem de previsão de acidentes em Portugal são limitadas.

Assim, num contexto de gestão de segurança, a modelação de acidentes revela-se de extrema importância, pois permite identificar locais com potencial para um elevado número de acidentes, identificar fatores que contribuem para os acidentes, apoiar investimentos e avaliar o impacto de medidas corretivas.

Nesta linha de ação, a presente dissertação tem como principal objetivo contribuir para um melhor conhecimento sobre os fatores que influenciam a sinistralidade e, tendo por base um

conjunto de modelos de estimativa de acidentes (MEFA), desenvolvidos por vários autores, identificar, quais os que apresentam maior potencial para serem aplicados ao território nacional.

Face ao número alargado de MEFAs que é possível encontrar na bibliografia da especialidade, optou-se por limitar a análise aos modelos de âmbito urbano, tendo-se ainda optado pelos aplicados a interseções, dado ser aí que se concentra a maioria dos acidentes rodoviários.

1.2 Metodologia de Abordagem

O presente trabalho desenvolveu-se em 4 fases fundamentais.

Numa primeira fase, procedeu-se a uma pesquisa e análise bibliográfica sobre o estado da arte dos modelos de segurança rodoviária e de previsão de acidentes, bem como sobre as técnicas alternativas para avaliação dos níveis de segurança.

A partir desta pesquisa, selecionaram-se alguns modelos europeus, possíveis de ser aplicados ao contexto nacional, e procedeu-se à análise comparativa dos resultados associados aos diferentes modelos e à avaliação do efeito associado a um conjunto limitado de variáveis explicativas.

Foi efetuada uma análise comparativa do número de acidentes estimados e dos reais observados para um conjunto de 5 interseções situadas na cidade de Coimbra, em concreto 3 rotundas e 2 entroncamentos, a partir da base de dados oficial disponibilizada pela ANSR para o distrito de Coimbra, no período de 2007 a 2011. Nesta análise, procurou-se perceber se os MEFA selecionados se revelam capazes de estimar, com um nível de erro aceitável, o número de acidentes reais registados. Paralelamente é apresentada uma comparação entre o número de acidentes estimados com base nos MEFA e o número de conflitos de tráfego observados, tendo por base a técnica sueca de análise de conflitos.

Finalmente, selecionaram-se 2 interseções na cidade de Coimbra - 1 rotunda e 1 cruzamento de 3 ramos que pode ser analisado como 4 ramos - onde se realizaram contagens de tráfego pedonal e automóvel e a observação dos conflitos de tráfego. Para estas interseções, pretendeu-se validar os resultados com base em técnicas de análise de conflitos.

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em 5 capítulos.

No primeiro é apresentado o enquadramento geral do tema, os objetivos principais da dissertação e a metodologia adotada na mesma.

No segundo capítulo é apresentada a revisão de literatura da especialidade relativamente aos principais conceitos relacionados com os modelos de estimativa de frequência de acidentes (MEFA) rodoviários. Apresentam-se os principais objetivos dos MEFA, os principais fatores que contribuem para a sinistralidade rodoviária e as medidas e ações de prevenção de acidentes. São ainda apresentadas as diferentes metodologias de modelação adotadas e as limitações associadas a cada um. São apresentados alguns exemplos de MEFA aplicáveis a diferentes tipologias de interseções urbanas e indicam-se outras técnicas que permitem a avaliação dos níveis de segurança das estradas.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia de abordagem adotada. São abordadas as técnicas utilizadas para a realização do estudo, assim como os dados recolhidos para suporte das análises comparativas.

No quarto capítulo apresenta-se a análise comparativa entre os MEFA analisados, faz-se a avaliação da adequação dos modelos face aos valores reais de sinistralidade registados na base de dados real da ANSR e procura-se validar os resultados dos mesmos com base em técnicas de análise de conflitos.

Finalmente, no último capítulo, são apresentadas as conclusões consideradas mais relevantes para o estudo elaborado e são definidas as perspetivas de trabalhos futuros.

2 MODELOS DE ESTIMATIVA DE PREVISÃO DE ACIDENTES

2.1 Introdução

De acordo com a Diretiva 2008/96/CE do Parlamento e do Conselho, de 19 de novembro, ao nível estratégico, seja nacional ou local, as intervenções em segurança rodoviária devem ser integradas em programas de segurança rodoviária devidamente articulados com outras políticas de intervenção pública, não só no âmbito dos transportes mas também de outros setores, como, por exemplo, do ordenamento do território, segurança pública, saúde e educação. As intervenções vocacionadas para a melhoria do desempenho da segurança do sistema de transporte rodoviário, podem incidir individualmente sobre qualquer um dos elementos do sistema de tráfego, nomeadamente utilizadores, infraestruturas ou veículos ou as suas interações serem destinadas a mitigar um dos fatores contributivos para o fenómeno da sinistralidade (exposição, risco, gravidade dos ferimentos e incapacidade permanente) ou abranger qualquer uma das fases do acidente.

A primeira fase do processo de aplicação de medidas corretivas refere-se à análise da situação da sinistralidade. A sua caracterização é feita definindo o nível de segurança de uma determinada entidade rodoviária através de um procedimento que passa inicialmente pela estimativa da frequência esperada de acidentes que lhe está associada, sendo obtida através de ferramentas apriorísticas ou, na falta destas, pelo tratamento estatístico dos dados sobre as frequências de acidentes existentes (Vieira Gomes e Cardoso, 2013).

A componente mais crítica dos sistemas de gestão da segurança rodoviária na Europa é a avaliação das medidas corretivas que devem ser tomadas para mitigar os problemas de segurança rodoviária. Assim, as autoridades rodoviárias, os projetistas e os profissionais de segurança rodoviária necessitam de ferramentas de previsão para apoiar a tomada de decisões em termos de segurança rodoviária. Estas ferramentas são normalmente identificadas pelo acrónimo MEFA – Modelos de Estimativa de Frequência de Acidentes - e permitem identificar potenciais problemas associados à infraestrutura e sua utilização, identificando igualmente medidas corretivas capazes de mitigar esses efeitos previsíveis (Yannis et al., 2016).

Em termos estratégicos e ao nível macro, a adequada gestão da rede viária, do tráfego que nela flui e da possibilidade de ocorrência de sinistralidade na mesma, passa em grande medida pela salvaguarda de uma adequada hierarquização viária. A rede rodoviária deve ser concebida e

projetada para que os seus utilizadores sejam levados e obrigados a uma condução prudente e segura, respeitando as funções que as vias possuem.

A geração de acidentes depende, de forma individual ou combinada, de múltiplos fatores, relacionados designadamente com a infraestrutura, utilizadores, veículo, condições climatéricas, etc.

Cada um destes fatores assume uma influência e um peso diferenciado em termos de geração de acidentes, sendo frequentemente integrados nos modelos de estimativa de acidentes ou da sua gravidade. É possível identificar diferentes tipos de modelos, aplicáveis a diferentes ambientes rodoviários e elementos infraestruturais, sejam reta, curva, cruzamentos prioritários, rotundas ou cruzamentos com sinais luminosos.

Neste sentido, este capítulo centra-se na apresentação dos diferentes tipos de MEFA, bem como dos diferentes fatores mais relevantes à sua estimativa. É dada particular relevância aos modelos aplicados a interseções urbanas, já que é aí que tende a concentrar-se a maioria dos acidentes. São apresentados alguns dos mais conceituados modelos de estimativa a nível internacional, tendo-se dado igualmente destaque aos modelos desenvolvidos em Portugal, os quais, por inerência, estão adaptados às condições de circulação nacionais.

2.2 Objetivos dos MEFA

Em qualquer processo de intervenção que pretenda melhorar a segurança rodoviária, é necessário ter em conta os fatores de risco e exposição, podendo este processo incidir sobre um ou ambos os fatores, podendo ser classificados de acordo com a abordagem feita: preventiva ou corretiva (Seco et al., 2008). O recurso aos MEFA assume um papel crucial a estes dois níveis de aplicação, embora com maior relevância na fase preventiva.

De facto, o desenvolvimento dos MEFA centra-se na procura das relações entre os acidentes e as principais características da estrada e do ambiente rodoviário, definindo relações que permitam a previsão quantitativa dos acidentes de viação (Costa et al., 2016).

Segundo Hauer (2010) os MEFA são fulcrais para duas finalidades principais:

- Definir políticas ou programas a implementar num alvo, que pode ser um país, uma região, uma cidade, uma secção de estrada, ou mesmo para determinados condutores ou determinados veículos. Para tal fim, é necessário prever qual será a segurança se as políticas ou os programas não forem implementados para aquele alvo e estabelecer as metas de segurança com base nesse estudo.

- Estimar qual foi o efeito das políticas, programas ou tratamento de segurança adotados para aquele alvo, prevendo os resultados caso não tivessem sido implementados.

A diferença entre os dois pontos anteriores é o espaço temporal em que são aplicadas as medidas: o primeiro permite definir os objetivos necessários à melhoria da segurança da zona em estudo, baseando-se numa previsão da segurança da zona para o futuro, podendo-se, dessa forma, definir as políticas ou o programa a implementar; o segundo permite identificar os efeitos criados pela implementação da política ou do programa, ou seja, uma vez que é feita tendo em conta acontecimentos passados, e por isso já conhecidos, esta análise, ao contrário da primeira, permite a utilização de dados já conhecidos. Pode ainda ser adotada a um nível corretivo, já que permite prever qual a medida corretiva mais adequada à mitigação de efeitos pré-identificados.

Ainda ao nível da prevenção, fase onde a maioria dos MEFA são aplicados, esta é feita através de uma revisão periódica das normas rodoviárias e da execução de estudos de impacto na segurança. A prevenção pode incidir em diferentes fases do projeto como, por exemplo, na fase do planeamento e projeto, de forma a justificar as decisões sobre investimentos na rede rodoviária, na fase de planeamento e conceção, de forma a determinar para vários cenários alternativos os impactos na segurança e quantificar os custos de acidente nos custos de utilização e, por fim, na fase de projeto e construção, recorrendo a Auditorias de Segurança Rodoviária, aplicando princípios da segurança nos projetos e realizando campanhas de prevenção (Seco et al., 2008).

2.3 Segurança Rodoviária e Fatores que Contribuem para a Sinistralidade Rodoviária

2.3.1 Enquadramento

A segurança rodoviária é um tema que tem vindo a ser objeto de investigação por recurso a diferentes abordagens por diversos autores, uma vez que a sinistralidade rodoviária é causa de um número alargado de mortes em todo o mundo (1,25 milhões de pessoas em cada ano, segundo o relatório realizado pela Organização Mundial de Saúde em 2015), sendo imperativo desenvolver ferramentas que contribuam para combater este flagelo. Em Portugal, diversos autores têm-se debruçado sobre esta matéria (Cardoso, 1996; Costa et al., 2016; Fernandes e Neves, 2013; Ferreira et al., 2010; Ferreira, 2011; Vieira Gomes et al., 2008; Vieira Gomes et al., 2011; Roque e Cardoso, 2013), procurando desenvolver/encontrar contributos que permitam diminuir a sinistralidade a nível nacional, apontando medidas de prevenção e de correção.

Hauer (1997) define segurança rodoviária como “*o número de acidentes, ou de consequências de acidentes, por tipo de gravidade, que são expectáveis de ocorrer numa dada entidade durante um determinado período de tempo*”.

As variáveis explicativas que poderão influenciar a ocorrência de acidentes podem ser agrupadas da seguinte forma (Vieira Gomes et al., 2011 e OECD, 1997):

- Externas: variáveis sobre as quais não se consegue agir de forma direta, influenciando o modo como se manifestam, tal como as condições ambientais e atmosféricas, a evolução tecnológica, o preço dos combustíveis, a densidade populacional e a organização das cidades, entre outros;
- Socioeconómicas: variáveis condicionadas pela economia, pelo trabalho e pelas políticas económicas e sociais que podem influenciar o desenvolvimento industrial, o emprego e o desemprego, entre outros;
- Setor dos transportes: variáveis como a política de transportes públicos e de segurança rodoviária, com impacto na população e na escolha desta quanto aos transportes a utilizar;
- Sistema de recolha de dados sobre acidentes: os procedimentos e as rotinas usadas para registar a informação sobre os acidentes podem afetar a qualidade dessa mesma informação e, como tal, a sua utilidade e efeitos;
- Erro aleatório: com base em amostragem reduzida;
- Intervenções corretivas.

2.3.2 Fatores que Influenciam a Segurança Rodoviária

A ocorrência de acidentes rodoviários depende da contribuição de múltiplos fatores, que podem agir de forma isolada ou associados entre si (condutor, estrada e ambiente viário e veículo) (Costa et al., 2012) e podem ser manifestados (tráfego, condições climáticas e propriedades das infraestruturas e do veículo) ou latentes (perceção humana, tomada de decisão, estado psicológico e cognitivo) (Gregoriades e Mouskos, 2013).

Segundo Chin e Quddus (2003), Sabey e Taylor (1980), as características físicas da estrada, nomeadamente as geométricas, as medidas de acalmia de tráfego e os padrões de procura de tráfego, contribuem para cerca de 30% dos acidentes de trânsito, de forma isolada ou combinada com fatores humanos ou relativos ao ambiente rodoviário adjacente. Também Rumar (1985) concluiu que a ocorrência de acidentes resulta maioritariamente de erros na interação dos condutores com outros fatores, nomeadamente com o ambiente rodoviário.

O comportamento do condutor é um dos fatores mais apontado por diversos autores. As principais causas humanas comumente apontadas são as associadas à desatenção do condutor

ao olhar para o exterior, ao excesso de velocidade, às manobras de evasão inadequadas e à distração no interior do veículo (Ellison et al., 2015 e Treat et al., 1997).

A infraestrutura rodoviária é também frequentemente apontada como uma das causas dos acidentes, seja pelas suas características prevalentes seja na sequência das alterações que sofrem ao longo da sua vida útil. Essas alterações podem ser ocasionadas pelo desgaste da sua utilização ao longo do tempo, pelo aumento do volume do tráfego rodoviário ou pela mudança do meio ambiente envolvente (quer natural, como o crescimento de vegetação nas zonas de berma, quer humano, como alteração das funções inicialmente atribuídas à rodovia devido à expansão das zonas urbanas envolventes). De entre outros fatores que podem contribuir para a insegurança rodoviária, refiram-se *“as velocidades de circulação prevalentes, o tráfego médio diário, a composição de tráfego, a deficiência de homogeneidade de traçado, a inadequação das distâncias de visibilidade à velocidade do tráfego, a existência de obstáculos perigosos na zona livre da área adjacente à faixa de rodagem, nomeadamente árvores, postes elétricos ou de sinalização, valetas profundas e taludes íngremes, deficiente qualidade dos sinais verticais e das marcas rodoviárias, afetando a visibilidade sob condições diurnas (sombas) e noturnas (retro refletividade) e as características superficiais do pavimento defeituosas, sobretudo quando existe falta de resistência à derrapagem e a via apresenta irregularidade longitudinal”* (Cardoso, 2013).

O tráfego é indiscutivelmente um fator relevante à ocorrência de acidentes rodoviários, sendo que o tráfego médio diário anual é a variável mais comumente utilizada nos vários estudos de previsão de acidentes rodoviários (Eenink, 2005; Greibe, 2003).

Evidências empíricas mostram que a relação entre o número esperado de acidentes rodoviários e o fluxo de tráfego não é uma relação linear. Isto é refletido, principalmente, pelo facto de os condutores se comportarem de forma diferente em situações com um nível de fluxo de tráfego baixo ou elevado, e leva a crer também que a frequência de acidentes a envolver um único veículo ou vários depende do fluxo de tráfego, da velocidade e da densidade de veículos na via (Hauer, 1997).

O número de vias, a largura da estrada, as medidas de controlo de velocidade, o número de acessos, o número de estradas secundárias, as condições de estacionamento e o ambiente envolvente da estrada são, em complemento, outros exemplos de variáveis explicativas dos acidentes rodoviários (Greibe, 2003).

Um outro estudo realizado numa zona urbana para cruzamentos de 3 e 4 ramos e segmentos (Vieira Gomes, 2013), concluiu que as variáveis explicativas significativas associadas ao aumento da frequência de acidentes foram, para além do tráfego, a distribuição da repartição

do tráfego, a largura média da via na direção principal, a largura média da via na direção secundária, a presença de vias de desaceleração na via principal, a presença de vias de desaceleração na via secundária, os cruzamentos semaforizados, o número de vias de entrada na via principal ser igual ou superior a três, o número de vias em cada uma das direções ser superior ou igual a quatro e o número de ramos de cada interseção. Por outro lado, as variáveis associadas à diminuição da frequência de acidentes são o número de ramos com tráfego apenas numa direção e a existência de separador na via principal.

Segundo Roque e Cardoso (2016), os despistes são quase impossíveis de acontecer quando existe congestionamento, a não ser que as condições de aderência do pavimento sejam baixas. Tal deve-se ao facto de os condutores se comportarem de formas diferentes consoante exista congestionamento ou fluidez na circulação e por a frequência deste tipo de acidentes estar dependente do fluxo, da velocidade e da densidade de veículos que circulam na estrada.

Costa (2013) desenvolveu modelos de previsão de acidentes para interseções de três ramos e segmentos homogêneos no norte de Portugal, onde verificou que o aumento da variável tráfego, representada pelo TMDa dos segmentos e da direção principal e secundária das interseções, contribui de forma negativa na segurança rodoviária. Nas interseções de três ramos, verificou também que as seguintes variáveis contribuem para o aumento da sinistralidade: travessias pedonais na direção principal, envolvente do segmento onde se encontra inserida a interseção, diferença entre a largura média da berma na direção principal e a média da largura da berma nos segmentos de 200 metros que fazem limite com a área de influência da interseção, e diferença entre a sinuosidade em perfil da interseção e a média da sinuosidade em perfil dos segmentos de 200 metros que fazem limite com a área de influência da interseção. Em contrário, a variável da presença de sinalização na direção principal aumenta a segurança rodoviária. No que diz respeito à previsão de acidentes rodoviários em segmentos, Costa (2013) verificou que a largura da via, a sinuosidade em perfil, a densidade de pontos de acesso e a densidade de travessias pedonais aumentam a probabilidade de ocorrerem acidentes rodoviários, enquanto a sinuosidade em planta é frequentemente uma variável associada à diminuição da sinistralidade.

Para evitar a ocorrência de acidentes associados a este tipo de fatores revela-se fundamental proceder regularmente a inspeções de segurança rodoviária de modo a repor as condições de utilização adequadas e seguras para o fim que em cada momento se lhe adequa (Cardoso, 2013).

2.3.3 Fatores que Influenciam a Gravidade dos Acidentes

Existem dois aspetos que devem ser tidos em conta quando se estuda a segurança rodoviária: o risco de acidente, que permite saber a frequência de acidentes, e as suas consequências, que permite conhecer a gravidade dos mesmos.

No que diz respeito ao risco de colisão, vários autores consideram os indicadores de proximidade no tempo, proximidade no espaço e intensidade das manobras evasivas necessárias de efetuar (Gettman e Head, 2003; Laureshyn et al., 2010).

Segundo Laureshyn et al. (2010), os fatores mais relevantes que influenciam a gravidade das consequências dos acidentes são: tipos de utilizadores da estrada, ângulo de colisão, velocidade de colisão.

No caso do tipo de utilizador, se todas as outras variáveis forem iguais, utilizadores desprotegidos, como por exemplo peões, ciclistas ou motociclistas, terão maior probabilidade de sofrer maiores lesões do que utilizadores protegidos (pessoas que viajam em carros, autocarros ou camiões). Um utilizador que viaje num veículo pequeno terá maior probabilidade de sofrer maiores lesões do que um utilizador que viaje num veículo de maiores dimensões, e por fim, um idoso terá maior probabilidade de sofrer maiores lesões do que uma pessoa mais jovem.

O ângulo de aproximação antes da colisão pode ter diferentes padrões, desde colisões frente-frente a colisões frente-traseira. Para colisões que envolvem utilizadores protegidos isto implica diferentes probabilidades quanto ao impacto da colisão. Colisões do tipo frente-frente têm menor probabilidade de produzir lesões graves do que colisões perpendiculares, uma vez que a proteção existente nos veículos é menor nos lados. Colisões do tipo frente-traseira tendem a ter consequências menos graves do que qualquer outro tipo de colisão. Quando se trata de utilizadores vulneráveis, o ângulo de colisão tende a não ter tanta influência (Laureshyn et al., 2010).

As colisões que ocorrem a velocidades elevadas tendem a produzir acidentes com maiores lesões devido à grande quantidade de energia cinemática que é libertada, enquanto colisões que ocorrem a velocidades menores tendem a ter consequências menos graves.

A Figura 2.1 ilustra a velocidade relativa dos acidentes rodoviários, de acordo com a velocidade de circulação dos veículos e o ângulo com que colidem:

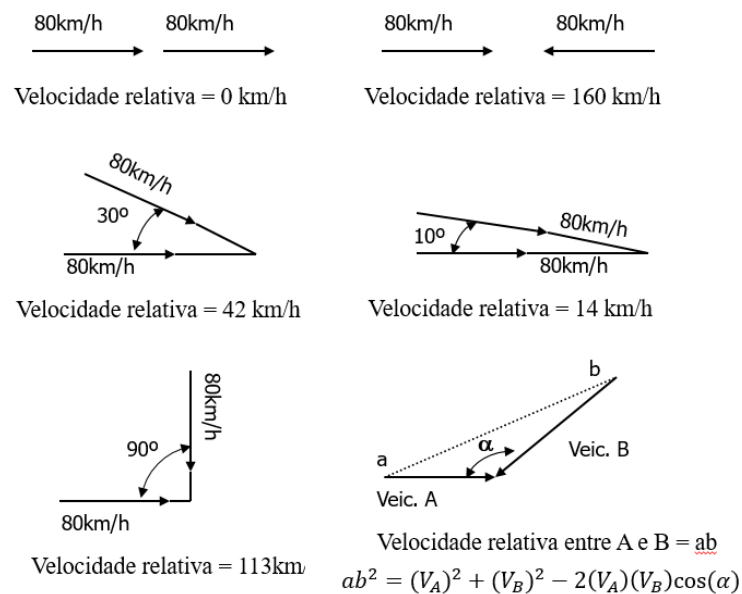


Figura 2. 1 – Esquema de ângulos de colisão, estimativa do vetor resultante e velocidade relativa obtida

Da figura, pode-se observar que quanto maior o ângulo de colisão maior será a velocidade relativa entre os veículos, levando a acidentes com consequências mais graves. Assim, os acidentes do tipo frente-traseira têm tendência a provocar menores danos e os do tipo frente-frente resultam em consequências graves.

2.4 Medidas e Ações de Prevenção dos Acidentes

2.4.1 Hierarquia da Rede Rodoviária

As principais funções a serem asseguradas pela rede rodoviária são a circulação (onde o nível de serviço deve permitir condições fluídas, rápidas e seguras de deslocamento) e o acesso (onde a qualidade é medida através de uma circulação segura em marcha reduzida nas manobras de acesso aos espaços adjacentes). Estas duas funções revelam-se normalmente incompatíveis entre si, pelo que importa definir e integrar princípios organizativos para a gestão da rede rodoviária urbana, que permita priorizar, de forma diferenciada, cada uma destas funções em cada uma das classes de vias.

A rede deve assim ser organizada tendo por base as funções a serem asseguradas em cada eixo e as necessidades da população, de modo a prevenir a ocorrência de acidentes, particularmente potenciais conflitos entre veículos em movimento e em estacionamento e entre veículos e peões.

2.4.2 Tipologias de Interseções

O relatório anual de 2016 realizado pela ANSR refere que 77.7% dos acidentes com vítimas ocorre dentro das localidades, sendo que em zonas urbanas os locais onde ocorre um maior número de acidentes, são nas interseções (Vasconcelos et al., 2014). É assim importante caracterizar genericamente os vários tipos de interseções rodoviárias aplicáveis, designadamente em termos do número de pontos de conflitos e tipo de manobras mais comuns. Apresenta-se de seguida uma breve descrição das várias tipologias de interseções, procurando realçar as características geométricas e medidas de apoio que podem afetar a propensão de acidentes.

2.4.2.1 Conflitos Rodoviários em Interseções

As interseções rodoviárias apresentam quatro tipos básicos de conflitos rodoviários que podem gerar acidentes, nomeadamente (Bastos Siva et al., 2008):

- **Divergência:** considerada uma manobra simples e de pequena perigosidade, caracterizada pela separação de uma corrente de tráfego em duas ou mais, pelas quais o condutor pode optar. Esta manobra resulta, por vezes, em embates frente-traseira durante o período de desaceleração dos veículos que tencionam mudar de direção. Quando esta manobra é associada às viragens à esquerda a partir de vias principais e os veículos aguardam imobilizados junto ao eixo da via, por uma oportunidade de viragem, este tipo de manobra revela-se tendencialmente mais perigosa. Nestas circunstâncias torna-se indicado a implementação de vias segregadas de desaceleração que permitam que o veículo desacelere e trave depois de abandonar a corrente principal.
- **Convergência:** apesar de ser considerada uma manobra simples, possui um grau de perigosidade superior à manobra anterior. Os acidentes que ocorrem com este tipo de manobra são embates do tipo frente-lateral ou lateral-lateral, sendo que o grau de perigosidade resultante depende do ângulo de convergência e da velocidade a que circulam os veículos, sendo conveniente que o ângulo seja o menor possível. Para aumentar a segurança deste tipo de movimento, deve-se adotar vias de aceleração de modo a que o condutor se insira na corrente prioritária com velocidades próximas das praticadas nesta.
- **Atravessamento:** é o tipo de manobra considerada mais perigosa, uma vez que o tipo de acidente que ocorre é frente-lateral, habitualmente com ângulos próximos dos 90°. Para minimizar o perigo desta manobra, deve-se criar separadores centrais na via prioritária, com dimensões adequadas, que permitam ao veículo da corrente não prioritária efetuar o atravessamento por fases.
- **Entrecruzamento:** este tipo de manobra é comum em nós de ligação, onde existe a conjugação de manobras de convergência e de divergência. Os acidentes associados a

este tipo de manobra habitualmente são do tipo lateral-lateral, sendo que o perigo está associado às velocidades praticadas pelas correntes de tráfego e aos níveis de visibilidade assegurados.

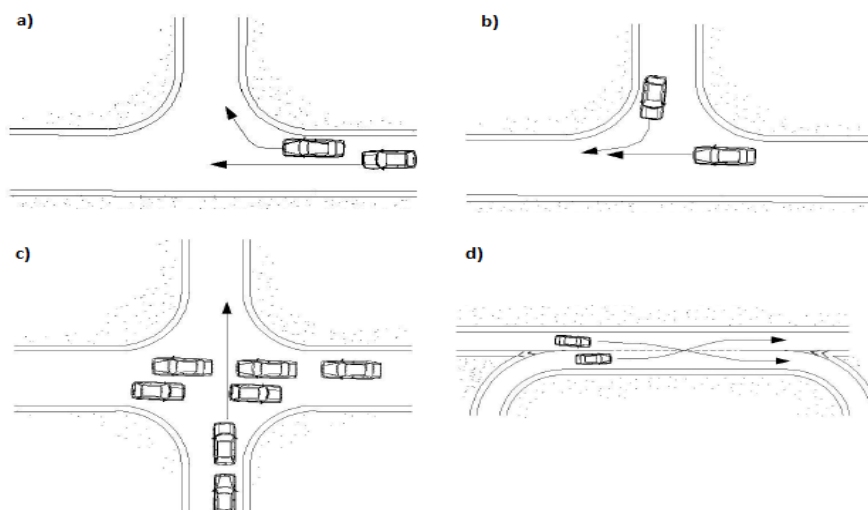


Figura 2. 2 – a) Manobra de Divergência; b) Manobra de Convergência; c) Manobra de Atravessamento; d) Manobra de Entrecruzamento (Bastos Silva et al., 2008)

2.4.2.2 Interseções Prioritárias

As interseções prioritárias com prioridade à direita são o tipo de interseções mais comuns em Portugal, tanto em zonas urbanas como interurbanas. Quando possuem sinalização de regulação, com atribuição de direito de passagem para os diferentes utilizadores, diminui consideravelmente a propensão para a sinistralidade, sendo bastante útil em zonas urbanas de menor procura de tráfego. Este tipo de solução é, habitualmente, gerador de conflitos, uma vez que peões, ciclistas e veículos motorizados partilham o mesmo espaço. Quando aplicada em interseções sujeitas a elevados níveis de procura de tráfego, torna-se necessário reduzir o número de pontos de conflito, designadamente através de elementos físicos de canalização. É possível uma redução do índice de sinistralidade na ordem dos 50% através de separadores que minimizem a área ou as características dos conflitos e desincentivem a ultrapassagem durante a zona de atravessamento das interseções. A implementação de interseções desfasadas ao invés de interseções em X, reduz habitualmente o número de acidentes em cerca de 60% (Seco et al., 2008; Bastos Silva et al., 2008).

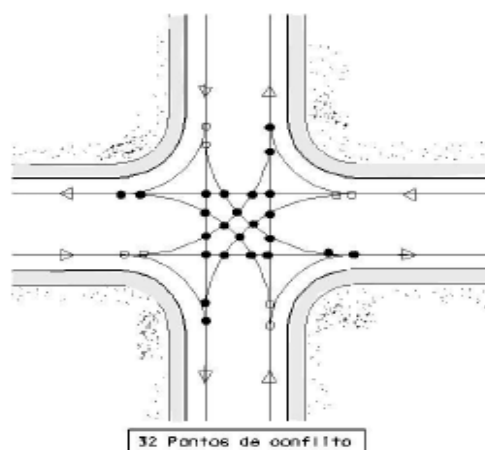


Figura 2. 3 – Pontos de conflito numa interseção com 4 ramos (Bastos Silva et al., 2008)

Este tipo de interseções, quando comparado com outras soluções tradicionais de nível, normalmente apresentam maiores níveis de sinistralidade e maior gravidade dos acidentes, estando associados a elevadas velocidades praticadas nas vias prioritárias e a ângulos pouco favoráveis associados às manobras de atravessamento e viragens à esquerda (Bastos Silva et al., 2008).

2.4.2.3 Rotundas

As rotundas podem ser aplicadas em zonas urbanas e em zonas interurbanas, sendo boas soluções para aplicar em zonas de transição ou de alteração das características geométricas e funcionais da rede viária.

As rotundas são soluções que diminuem o risco de sinistralidade quando comparadas com interseções prioritárias, uma vez que existe uma organização dos fluxos de tráfego num sentido único de circulação, diminuindo consideravelmente o número de pontos de conflito (de 24 para 8). Quando estas são bem dimensionadas, apresentam um nível de segurança superior às restantes tipologias de nível, permitindo a homogeneização e redução das velocidades registadas ao longo do trecho de atravessamento, uma vez que possuem a imposição de deflexões e obrigatoriedade de cedência do direito de passagem ao movimento de entrada na mesma (Bastos Silva e Seco, 2008; Gross et al., 2013). A maioria dos acidentes que se verificam em rotundas ocorre na imediação da entrada, devido aos conflitos relacionados com a recusa de cedência de passagem, perda de controlo do veículo isolado com invasão da ilha central ou embates do tipo frente-traseira, devido a reações tardias à presença da rotunda (Seco et al., 2008).

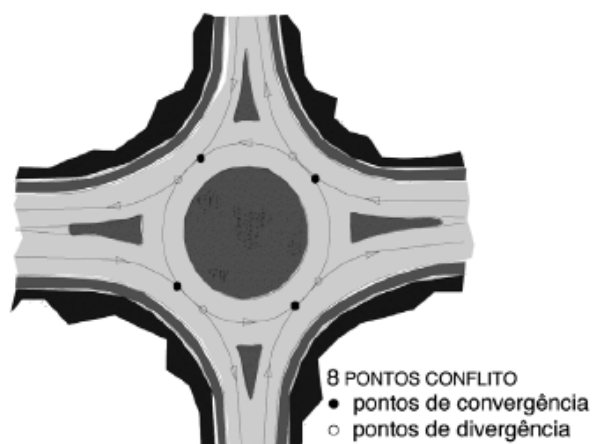


Figura 2. 4 – Pontos de conflito numa rotunda (Seco et al., 2008)

Estudos realizados por Retting et al. (2001) nos Estados Unidos, mostraram que a introdução de rotundas em interseções reduz o número de acidentes em 38% independentemente da severidade do mesmo, em 76% no caso de acidentes com feridos e em cerca de 90% quando se trata de acidentes com vítimas mortais. Da mesma forma, estudos realizados por Schoon e van Minnen na Holanda, mostraram que a conversão de interseções reguladas por sinalização luminosa para rotundas reduz o número de acidentes em 47%, o número de acidentes com feridos em 71% e o número de acidentes com feridos graves em 81%. Outro exemplo é o estudo realizado por Troutbeck, na Austrália, que depois de introduzir rotundas em locais onde existiam interseções prioritárias, verificou uma redução de 74% nas taxas de acidentes com feridos (Retting et al., 2001).

2.4.2.4 Cruzamentos com Sinalização Luminosa

Os cruzamentos prioritários tendem a apresentar problemas de funcionamento face a elevados volumes de tráfego, impossibilitando a gestão do ordenamento e a disciplina do tráfego dos mesmos, aumentando assim a sinistralidade. As correntes de tráfego secundárias ficam sujeitas a maiores tempos de espera, o que se traduz numa maior impaciência por parte dos utilizadores e na prática de uma condução perigosa. Uma vez que a construção de cruzamentos desnivelados exige custos elevados, a sinalização luminosa revela-se uma alternativa capaz de reduzir o número de pontos de conflito, por separação, no tempo, de correntes conflituantes (Costa et al., 2008).

Ainda que os cruzamentos com sinalização luminosa possam ser uma solução para diminuir os níveis de sinistralidade ocorridos em interseções quando comparados com cruzamentos prioritários, Gross et al. (2013) verificaram que em zona urbana a utilização de rotundas ao

invés de cruzamentos com sinalização luminosa, leva a uma diminuição do número de acidentes totais e do número de acidentes com feridos, concluindo assim que existe um aumento da segurança rodoviária quando existe implementação de rotundas em interseções urbanas.

O dimensionamento de um cruzamento com sinalização luminosa deve ter em conta os pontos de conflito que podem ser gerados pelos vários movimentos direcionais, devendo a regulação deste cruzamento ser feita tendo em conta a minimização ou, se possível, a anulação destes pontos de conflito, evitando situações de perigo. Assim, tendo em conta o grau de perigo potencial dos movimentos conflituantes que podem existir no cruzamento, considera-se que existem dois tipos principais de conflitos: os de 1.º nível ou primários, onde o perigo é elevado e, como tal, não são permitidos neste tipo de cruzamentos, e os de 2.º nível ou secundários, onde o grau de perigo está associado ao caso concreto em análise, dependendo dos níveis de tráfego dos movimentos e da carga de tráfego associada ao conjunto do cruzamento (Costa et al., 2008).

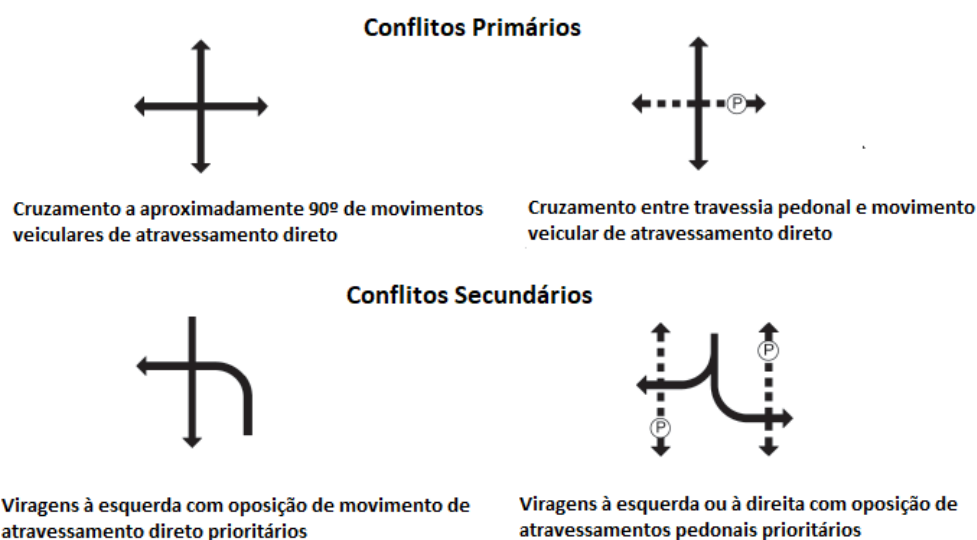


Figura 2. 5 – Tipologias de conflitos em interseções (Adaptado em Costa et al., 2008)

2.4.3 Avaliação do Impacto de Medidas Corretivas

Por regra são utilizadas as seguintes técnicas para estimar a eficácia das medidas corretivas na prevenção da sinistralidade (OECD, 1997):

1. Os modelos matemáticos de estimativa da frequência esperada de acidentes (ver ponto 2.5);
2. As avaliações efetivas, designadas por estudos antes-depois (ver ponto 2.6.).

As intervenções realizadas ao nível da infraestrutura e do ambiente rodoviário são frequentemente contributos positivos para a melhoria da segurança rodoviária, havendo registos de reduções que atingiram mais de 30% em locais que sofreram intervenções retificativas. A redução da velocidade é das preocupações mais comuns quando se trata de prevenir acidentes rodoviários, podendo ser aplicadas várias medidas específicas tanto em áreas urbanas como rurais. O Quadro 1 apresenta a alteração de percentagem do número de acidentes expectáveis em resultado de algumas medidas de segurança rodoviária aplicadas de forma a reduzir a velocidade e a gravidade dos acidentes associados à mesma, conforme relatado internacionalmente (Vieira Gomes e Cardoso, 2012).

Quadro 2. 1 – Alteração da percentagem do número previsto de acidentes como resultado de várias medidas de segurança rodoviária (Adaptado em Vieira Gomes e Cardoso, 2012)

GRAVIDADE DO ACIDENTE	ALTERAÇÃO DO NÚMERO DE ACIDENTES (%)		
	Tipos de acidentes afetados	Melhor Estimativa	Intervalo de confiança de 95%
Separador central em estradas com múltiplas vias – áreas rurais			
Acidentes com feridos	Todos os acidentes	-12	(-15;-8)
Acidentes apenas com danos materiais	Todos os acidentes	-18	(-21;-14)
Separador central em estradas com múltiplas vias – áreas urbanas			
Acidentes com feridos	Todos os acidentes	-22	(-24;-20)
Acidentes apenas com danos materiais	Todos os acidentes	9	(+7;+11)
Beneficiação à diretriz da estrada			
Não específico	Não específico	-20	(-39;-4)
Controlo de velocidade regulado por sinais luminosos – interseções menores em áreas rurais			
Acidentes com feridos	Não específico	-11	Não específico
Controlo de velocidade regulado por sinais luminosos – curvas			
Acidentes com feridos	Não específico	15	Não específico

Greibe (2003) demonstrou, através da modelação de previsão de acidentes em zonas urbanas, que ligações rodoviárias com limites de velocidade mais elevados tendem a ter menor risco de acidente. No entanto, deste resultado não se deve assumir que maiores velocidades correspondem a uma maior segurança, uma vez que estradas onde se permite a prática de velocidades elevadas tendem a ter tratamentos específicos (entre outros, vedações, melhores níveis de visibilidade e de aderência) e não são expostas à presença de utilizadores vulneráveis. Também analisou cruzamentos de três e quatro ramos, onde verificou que para o mesmo fluxo de tráfego, o nível de segurança rodoviária é o mesmo que para cruzamentos com sinalização e sem sinalização. No entanto, os estudos mostraram que nos cruzamentos com sinalização há um menor número de acidentes frontais e um maior número de acidentes do tipo frente-traseira.

Também Lopes e Cardoso (2009) concluíram, a partir de um MEFA, que o número de acidentes e o número de vítimas graves e fatais numa autoestrada é afetado não só pelo tráfego médio diário anual e pelo comprimento da secção da estrada, mas também pelo facto da secção da autoestrada ter uma via adicional e pelo tipo de separador central presente. Os separadores podem ser providos de barreiras rígidas em betão do tipo *New Jersey* ou *Double New Jersey*, guardas de segurança flexíveis ou separadores centrais do tipo “Vala” com uma zona aberta de 11 metros de largura. Aqueles autores concluíram também que o número de acidentes e feridos graves é maior numa secção de autoestrada que não tenha uma via adicional e onde o tipo de separador inclui uma “vala” ou guardas de segurança flexíveis e que há menor número de acidentes e feridos graves nas secções da autoestrada que têm vias adicionais e em que o separador é em betão. Concluíram também que, para valores de TMDa elevados, o número de acidentes previstos depende do tipo de separador central e da largura da berma.

Segundo um estudo efetuado por Zegeer et al. (1992) sobre a segurança rodoviária existente em curvas horizontais, foi concluído que existe redução da frequência esperada de acidentes quando: se aumenta o raio de curvatura e/ou se reduz o ângulo central entre alinhamentos, se aumenta a largura das vias na curva e das bermas pavimentadas, sempre que se adicionam bermas não pavimentadas à estrada ou integram curvas de transição ou se adequa a sobrelevação da estrada.

No que diz respeito a acidentes onde existe despiste de veículo isolado, Roque e Cardoso (2014) realizaram um estudo onde concluíram que existe um aumento da propensão para a ocorrência de colisões por veículo isolado, na presença de guardas metálicas de segurança. Isso não coloca necessariamente em causa a eficácia das guardas de proteção na defesa do veículo relativamente à presença de obstáculos perigosos adjacentes à faixa de rodagem (quando comparados com outras soluções, tais como a remoção de obstáculos que diminuem a probabilidade dos obstáculos serem atingidos e de redução do perigo potencial de um obstáculo), mas pode igualmente gerar o agravamento de danos em caso de colisão. Genericamente, os sistemas de retenção rodoviária são estruturas junto à estrada que são usadas como medida de prevenção de segurança rodoviária, de forma a proteger os veículos de elementos perigosos na estrada, nomeadamente encostas críticas ou obstáculos rígidos, podendo estes ser barreiras de segurança, almofadas de impacto, terminal de barreiras, transições entre diferentes sistemas de retenção rodoviária e dispositivo de proteção para motociclistas, entre outros. No que diz respeito à segurança rodoviária, estes sistemas devem ser implementados quando um impacto com um sistema de retenção de estrada resultar numa gravidade de colisão menor do que a uma colisão com um obstáculo (Roque e Cardoso, 2013).

Roque et al. (2015) realizaram um estudo que analisa acidentes com despiste de veículo isolado em autoestradas, tendo verificado que em estradas com declive em situação de escavação junto

à berma há maior probabilidade dos ferimentos serem graves. Refere também que, ao contrário, se os condutores atingirem um aterro, os ferimentos têm possibilidade de ser menos graves, muito embora tal dependa do desnível em causa. Quanto maior este for, menor é a probabilidade do aterro permitir essa possibilidade. Este resultado tem por base os desenhos nos projetos portugueses atuais que não tratam as inclinações críticas como perigosas se a altura for inferior a 3,0 m. Consequentemente, as guardas de segurança não são instaladas em encostas de terraplanagem tão alta, e o tráfego não é protegido deste tipo de perigo. Relativamente aos tratamentos da berma da estrada, os resultados mostraram que para evitar declives perigosos, particularmente em curvas e outras configurações propensas à circulação de veículos sem controlo, são necessárias barreiras de segurança com um comprimento adequado a montante dos obstáculos para que se possa reduzir a gravidade dos acidentes. Além disso, a instalação de zonas de fuga com declives recuperáveis (inclinações inferiores a 4:1 (h/v)) em curvas horizontais deve ser primordial para apetrechar as estradas portuguesas com aquela inclinação. De acordo com Zou et al. (2014), os efeitos da segurança das barreiras de proteção são positivos se forem instalados corretamente e justificados pela presença de perigos na estrada que podem ser difíceis de eliminar.

2.5 Modelos de Estimativa de Frequência de Acidentes

“Nas ciências de observação deduzem-se, por vezes, leis fundamentais que, uma vez quantificadas, constituem axiomas de uma teoria matemática que, logicamente desenvolvida, permite prever uma determinada categoria de fenómenos” (Enciclopédia Luso Brasileira, 1999).

Tal como o nome indica, a estimativa de sinistralidade baseia-se em modelos de observação que permitem prever aquele fenómeno, com base na frequência esperada de acidentes ou de vítimas, assim como estabelecer a relação dos acidentes com as diferentes variáveis que explicam o fenómeno. Estes modelos de estimativa de sinistralidade são obtidos a partir da observação dos fenómenos quantificados e explicados os motivos das ocorrências através de funções matemáticas (Vieira Gomes et al., 2011; Roque e Cardoso, 2014; Roque e Cardoso, 2016).

2.5.1 Estrutura dos Modelos e Técnicas de Modelação

No desenvolvimento de modelos rigorosos de estimativa de sinistralidade, importa ter em consideração aspetos referentes a (Vieira Gomes et al., 2011): escolha das variáveis explicativas e do tipo de modelo, especificação das relações funcionais, avaliação do ajustamento (validação), interpretação causal das relações encontradas, avaliação do desempenho do modelo na previsão e avaliação de potenciais causas de erros de estimativa.

Segundo a OCDE (1997), o problema da segurança rodoviária pode ser descrito e modelado através da utilização de três fatores: exposição, risco de acidente e consequência de lesões. A grandeza do problema é o produto desses três fatores. Este modelo pode ser alargado para as várias relações onde as consequências das lesões correspondem à segurança. Se o valor não estiver disponível, pode ser estimado. No entanto, tal estimativa leva a uma perda de precisão do modelo.

Na maioria dos trabalhos de segurança rodoviária, deve ser descrita a situação atual do problema relativamente à magnitude da segurança existente. O número de acidentes, lesões e fatalidades são alguns dos fatores que devem ser quantificados. No entanto, e como já foi referido, é igualmente importante definir o indicador representativo do fator de exposição (OECD, 1997). Assim, a segurança rodoviária pode ser definida como o risco de uma estrada e o nível de exposição que os utilizadores da mesma têm a esse risco, de tal modo que para modelar a evolução dos acidentes é necessário definir e tratar como variáveis dependentes o indicador de segurança rodoviária e o indicador de exposição (Antonioni et al., 2014).

Relativamente aos métodos de modelação, importa ter presente que a qualidade de um método de previsão depende da natureza da zona ou escala de aplicação. Ou seja, um método de previsão pode ser melhor para uma interseção ou para um trecho rodoviário, enquanto um método alternativo pode ser melhor para uma cidade, distrito ou país. Também é possível que um método se revele mais adequado na modelação a curto prazo e que outros possam ser mais adequados a longo prazo (Hauer, 2010).

Importa ter ainda presente que os modelos não são totalmente transferíveis, já que o comportamento do condutor e as características da infraestrutura variam significativamente entre regiões ou entre países. Assim, modelos desenvolvidos com o objetivo de serem aplicados na Europa terão um melhor comportamento em Portugal do que os desenvolvidos para a América do Norte. Para além dos padrões de conceção e operação, também a dimensão dos veículos, é muito diferente entre a América do Norte e a Europa (Vieira Gomes, 2013).

Os acidentes rodoviários ocorrem de forma fortuita, por regra sem intencionalidade humana, não podendo ser previsto onde, quando e com quem cada acidente vai ocorrer. Apesar disso, a contagem de acidentes segue a lei de probabilidade de *Poisson*. A distribuição de *Poisson* tem uma série de propriedades úteis, sendo que a mais importante para o estudo diz que o valor esperado e a variação são iguais, ou seja, tendo estimado o primeiro, também sabemos o último. Este facto pode ser utilizado para a eficiência do modelo (OECD, 1997).

Lord et al. (2005) sugere que é preferível desenvolver modelos que considerem o processo fundamental de um acidente e evitem esforçar-se pelo melhor modelo isoladamente.

2.5.2 Modelos Transversais e Modelos de Séries Temporais

Os modelos transversais relacionam o número de acidentes com a variação das características das entidades rodoviárias. Permitem representar a variação entre variáveis que caracterizam diferentes entidades rodoviárias – pessoas, veículos, grupos com características semelhantes, cruzamentos – e a sua sinistralidade num dado momento. São normalmente utilizados quando existe um volume de dados disponível de grande dimensão e quando as variáveis explicativas são independentes e têm uma baixa covariação (Vieira Gomes et al., 2011).

Os modelos de séries temporais observam a mesma entidade rodoviária durante um determinado período de tempo, o qual pode ser mais ou menos longo. Este tipo de modelos apresenta variações diminutas, essencialmente se as séries temporais tiverem uma forte correlação entre as variáveis explicativas consideradas. Têm igualmente como característica o facto de terem menores correlações entre os termos perturbadores sucessivos, sendo mais fácil incluir todas as variáveis explicativas mais relevantes. Atendendo a que o número de variáveis iguais que se encontram em várias séries temporais longas é diminuto, o número de variáveis que é possível utilizar é normalmente reduzido (Vieira Gomes et al., 2011).

2.5.3 Modelos Agregados e Modelos Desagregados

Os modelos agregados são considerados macro-modelos, uma vez que permitem descrever tendências gerais de sinistralidade rodoviária ao nível regional e nacional, possibilitando o desenvolvimento de previsões a curto prazo da evolução da sinistralidade, em função do tráfego e de variáveis macro-económicas (Vieira Gomes et al., 2011; OECD, 1997).

Os modelos desagregados são considerados micro-modelos uma vez que permitem descrever tendências em partes específicas do sistema de transportes (como por exemplo interseções) ou da segurança de determinados grupos de utilizadores. Tal como os modelos agregados, estes são utilizados na avaliação de políticas de segurança e em previsões da sinistralidade, sendo por isso considerados também instrumentos de apoio à gestão da segurança rodoviária de nível regional ou nacional. Este tipo de modelos tem o propósito de perceber e prever o comportamento na utilização da estrada (Vieira Gomes et al., 2011; OECD, 1997).

2.5.4 Modelos Estatísticos Face às Técnicas de Modelação

Vários modelos estatísticos podem ser utilizados na modelação dos MEFA. De entre eles destacam-se os modelos de Regressão Linear, Lineares Generalizados, Generalizado de *Poisson* e Binomial Negativo.

Os modelos de regressão linear expressam a componente sistemática como uma função linear através de variáveis explicativas (OECD, 1997), podendo ser estimados através de técnicas de estimativa dos mínimos quadrados simples ou generalizados. Existem dois tipos de modelos de regressão linear: simples e múltipla.

Os modelos de regressão linear simples, descrevem a relação entre uma variável quantitativa X e uma variável dependente Y (Vieira Gomes et al., 2011). De forma simplificada, admite-se que não existem erros associados à variável explicativa X , considerando-se que são constantes e não observações de uma variável aleatória. Os erros considerados neste modelo incidem diretamente sobre os valores observados de Y . A teoria da regressão linear simples pressupõe que as variáveis devem ser medidas sem erros, os erros devem ter valor esperado nulo, a variância deve ser constante e os erros devem ser mutuamente independentes e terem uma distribuição normal.

Os modelos de regressão linear múltipla descrevem uma relação entre um conjunto de variáveis quantitativas explicativas X_j ($j=1,2,\dots,J$) e uma variável quantitativa de resposta Y , utilizando hipóteses idênticas ao modelo anterior (Vieira Gomes et al., 2011).

Os modelos lineares generalizados constituem uma extensão dos modelos lineares de regressão múltipla. Permitem alargar as hipóteses admitidas no ajuste estatístico, sendo considerados um dos modelos que melhor se adapta na determinação das relações entre os acidentes e as características geométricas da estrada e o tráfego (Greibe, 2003; Maher e Summersgill, 1996; Wood, 2002). A variável resposta destes modelos pode ser proveniente de uma amostra que siga uma lei de distribuição da família exponencial, nomeadamente distribuições Normal, *Poisson*, Binomial, etc. A relação entre o valor médio da variável resposta e a combinação linear das variáveis explicativas pode ser estabelecida por qualquer função monótona e diferenciável (Vieira Gomes et al., 2011, OECD, 1997).

Um modelo linear generalizado é composto por três componentes: sistemática, aleatória (variável resposta Y); e função de ligação entre a componente sistemática.

As hipóteses de base do modelo linear generalizado:

- Têm componente aleatória única;
- Têm componente sistemática linear;

- O termo de erro não deve ser correlacionado com qualquer variável explicativa;
- As observações são independentes no tempo e no espaço.

Um modelo generalizado de *Poisson* considera que a variável de resposta segue uma distribuição de *Poisson*, onde a variável de resposta é um inteiro não-negativo. Assim, este modelo é mais indicado para amostras que envolvem pequenas contagens de acidente, sendo que o facto de existirem várias contagens com zero não implica um problema. Para contagens de acidentes de grande dimensão podem ser usados os modelos de *Gauss*, com termos de distribuição Normal (OECD, 1997).

O modelo binomial negativo é útil na descrição dos dados quando a variância é maior que a média, sendo uma extensão da regressão de *Poisson* uma vez que é capaz de acomodar a sobre-dispersão e fácil de estimar (Lord e Mannering, 2010; Washington et al., 2003).

2.5.5 Exemplos de Modelos Europeus de Estimativa de Frequência de Acidentes

Como referido anteriormente, na análise dos MEFA é necessário ter em conta a zona onde se pretende modelar o problema, de modo a saber em que zona é possível aplicar o mesmo para obter resultados tanto quanto possível próximos da realidade (Hauer, 2010). Assim, é importante distinguir domínio urbano de interurbano. O primeiro refere-se a zonas localizadas dentro de espaços urbanos, onde as vias assumem diversas funções, e o segundo refere-se a vias localizadas fora das localidades, onde a principal função é a de circulação e onde as velocidades tendem a ser determinantes na análise da exposição.

Vários MEFA foram desenvolvidos por vários autores em diferentes locais do mundo para zonas urbanas, segmentos e interseções. De seguida são apresentados alguns dos modelos desenvolvidos na Europa para interseções e segmentos, tendo-se consultado Cardoso (1996), Costa, (2013), Vieira Gomes et al. (2011), Vieira Gomes (2010). A maioria dos autores apresenta modelos simplificados, considerando apenas as variáveis associadas à exposição, não relacionando a frequência de acidentes com variáveis explicativas relacionadas com as características geométricas e ambiente rodoviário da envolvente.

As variáveis apresentadas nas equações são:

A_p – Número esperado de atropelamentos por ano

A_T – Número médio de acidentes esperados por ano

T – TMDa de veículos motorizados no conjunto de ramos e sentidos (milhares de veículos)

P – TMDa de peões (milhares de peões)

- T_{sec} – TMDa de veículos motorizados na direção secundária (milhares de veículos)
 T_{prin} – TMDa de veículos motorizados na direção principal (milhares de veículos)
 T_c – TMDa de veículos motorizados que circulam no anel (milhares de veículos)
FVP – Somatório entre o volume de tráfego motorizado e pedonal
 D_p – Tráfego pedonal em milhões de peões que atravessam o segmento / quilómetro / 12 horas
 L – Comprimento da secção (km)
 β_0, β_1 e β_i – variáveis a estimar
LB – equilíbrio de vias (1 se existir, 0 caso contrário)
LMAJT7 – número de vias de entrada na direção principal igual a 3 ou mais (1 se sim, 0 se não)
LWMIN – largura média das vias de entrada na direção secundária (m)
LWMAJ – largura média das vias de entrada na direção principal (m)
RTPMIN – presença de vias exclusivas para viragem à direita na direção secundária (1 se sim, 0 se não)
RTPMAJ – presença de vias exclusivas para viragem à direita na direção principal (1 se sim, 0 se não)
TCD – sistema de controlo de tráfego (1 se existirem semáforos, 0 se outros)
LEG – número de ramos da interseção (1 para 4 ramos, 0 para 3 ramos)
LOW – número de ramos com sentido único
TMDAPMS – multiplicação do tráfego médio diário anual da direção principal pelo da direção secundária
TMDAT – soma do tráfego médio diário anual da direção principal e da direção secundária
TPVP – presença de travessias pedonais na direção principal (assume o valor 1 na presença de travessias pedonais e 0 na ausência de travessias pedonais)
 D_2 – variável do ambiente envolvente do segmento onde se encontra inserida a interseção, sendo adimensional; quando se encontra em zona rural toma o valor 1 e em zonas urbanas e periurbanas toma o valor 0

2.5.5.1 Modelos Aplicáveis a Rotundas

Garder (2004), desenvolveu o seguinte modelo para aplicação a rotundas, baseando-se no modelo anterior, onde a maior parte das rotundas possui múltiplas vias, tendo admitido que o nível de segurança deste tipo de interseção é semelhante ao de interseções controladas por sinais luminosos e que o número de acidentes em rotundas com apenas uma via de circulação está, normalmente, associado a menos atropelamentos do que as interseções convencionais controladas pela cedência de prioridade e por sinais de STOP. Assim, o seguinte modelo permite estimar o número de atropelamentos por ano:

$$A_p = 0,028 \times (T \times P)^{0,53} \quad (1)$$

Mountain e Fawaz (1996) desenvolveram, no Reino Unido, modelos para interseções urbanas e interurbanas a partir de modelos lineares generalizados. Na modelação foram incluídas várias variáveis explicativas, nomeadamente tipo de controlo de tráfego, número de faixas de rodagem, classe de estrada, número de ramos da interseção e limite de velocidade, e os dados de exposição considerados referem-se apenas ao total de veículos. O fator de ajuste para os modelos encontrados foi de 44%.

A seguinte equação representa o modelo de estimativa de frequência de acidentes por ano em rotundas:

$$A_T = 0,168 \times T_{princ}^{0,64} \times T_{sec}^{0,24} \quad (2)$$

Maycock e Hall (1984) desenvolveram, no Reino Unido, modelos com aplicabilidade em rotundas de pequena dimensão, rotundas de geometria convencional (com ilhas centrais relativamente grandes, aproximadamente circulares e com ramos de entrada ortogonais) e em rotundas que possuem pelo menos dois ramos de entrada com dupla faixa de rodagem. A modelação destes modelos foi feita considerando apenas acidentes com vítimas, utilizando técnicas de regressão múltipla e considerando a estrutura de erro com distribuição de *Poisson*. Além do tráfego, foram definidas como variáveis explicativas uma série de características associadas à geometria da rotunda e ao seu funcionamento e consideraram uma desagregação adicional associada aos limites de velocidade praticados.

Os modelos simplificados apenas relacionam as variáveis de tráfego com a frequência esperada de acidentes através da seguinte equação:

$$A = \beta_0 \times T^{\beta_1} \quad (3)$$

Quadro 2. 2 – Coeficientes obtidos por Maycock e Hall nos MEFA simplificados aplicados a rotundas (Vieira Gomes, 2010)

TIPO DE ROTUNDA	VELOCIDADES PRATICADAS	NÚMERO DE LOCAIS	β_0	β_1
Pequena	50 – 65 km/h	25	0,101	0.68
	80 – 110 km/h	11	0,081	
Convencional	50 – 65 km/h	11	0,057	
	80 – 110 km/h	11	0,08	
Dupla faixa de Rodagem	50 – 65 km/h	14	0,057	
	80 – 110 km/h	12	0,062	

Os modelos globais de estimativa de frequência de acidentes, desenvolvidos pelos mesmos autores, têm em consideração as variáveis explicativas relacionadas com as características geométricas, considerando uma desagregação adicional por tipo de acidente.

$$A = \beta_0 \times T^{\beta_1} \times e^{\sum \beta_i \times X_i} \quad (4)$$

$$A = \beta_0 \times T^{\beta_1} \times T_c^{\beta_2} \times e^{\sum \beta_i \times X_i} \quad (5)$$

Quadro 2. 3 – Coeficientes obtidos por Maycock e Hall nos MEFA sectoriais aplicados a rotundas (Vieira Gomes, 2010)

Tipo de Acidente	β_0	Tráfego	β_1 ou β_2	Variável Geométrica	β_i
Na entrada ou Anel	0,052	Entrada (T)	0,7	Curvatura da entrada (m ⁻¹)	-0,4
				Largura da entrada (m)	0,14
				Correção da aproximação (m ²)	-0,007
		Circulação no anel (T _c)	0,4	Rácio RF = 1/(1+exp(4R-7)), onde R = Diâmetro do círculo inscrito (m) / diâmetro da ilha central	-1
				Percentagem de motociclos	0,2
				Ângulo entre ramos (graus)	-0,01
Na Aproximação	0,0057	Entrada (T)	1,7	Curvatura da entrada (m ⁻¹)	20
Apenas com um veículo	0,0064	Entrada (T)	0,8	Largura da entrada (m)	-0,1
				Curvatura da entrada (m ⁻¹)	25
				Largura do ramo de aproximação (m)	0,5
Outros acidentes com vítimas	0,0026	Entrada x Circulação (T*T _c)	0,8	Curvatura do ramo de aproximação (m ⁻¹)	-45
				Percentagem de motociclos	0,2
Atropelamentos	0,029	Tráfego entrada + Tráfego de saída de veículos) * Tráfego de peões	0,5	-	-

Vieira Gomes (2010), desenvolveu o seguinte modelo para rotundas localizadas em zona urbana, tendo obtido na modelação uma qualidade de ajuste de R²=0,397 para a seguinte equação que estima a frequência de atropelamentos:

$$A_p = 8,0494 \times 10^{-7} \times FVP^{1,2289} \quad (6)$$

A equação apresentada em seguida permite estimar o número de acidentes com vítimas envolvendo apenas veículos em rotundas, tendo-se obtido na modelação uma qualidade de ajuste de 0,636 pelo índice de Elvik:

$$A_T = 1,9488 \times 10^{-7} \times T^{1,4985} \quad (7)$$

A seguinte equação representa o modelo global desenvolvido por Vieira Gomes (2010) que apresenta uma qualidade de ajuste de 0,870:

$$A_T = 2,3845 \times 10^{-8} \times T^{1,5084} \times e^{0,5248 \times LEG} \quad (8)$$

2.5.5.2 Modelos Aplicáveis a Interseções Prioritárias

Brude e Larson (1993) desenvolveram o modelo apresentado em seguida, que estima o número de atropelamentos por ano, podendo ser aplicado a qualquer tipo de interseção com qualquer tipo de regime de controlo de atravessamento. Este modelo foi desenvolvido na Suécia.

$$A_p = 7,34 \times 10^{-6} \times T^{0,50} \times P^{0,72} \quad (9)$$

Maher e Summersgill (1996) desenvolveram, no Reino Unido, modelos que podem ser aplicados em interseções de três ramos em arruamentos urbanos, através da utilização de modelos lineares generalizados com estrutura de erro segundo a distribuição de *Poisson*.

A seguinte equação representa o modelo de estimativa de frequência de acidentes de atropelamentos, onde P é o número de peões que atravessam tanto a zona central da interseção como os ramos de acesso medido em milhares de peões por períodos de 12 horas:

$$A_p = 0,052 \times T_{pinc}^{0,52} \times T_{sec}^{0,16} \times P^{0,46} \quad (10)$$

A seguinte equação representa o modelo de estimativa de frequência de acidentes entre veículos:

$$A_V = 0,049 \times T_{Princ}^{0,80} \times T_{sec}^{0,36} \quad (11)$$

A seguinte equação representa o modelo de estimativa de frequência de acidentes com vítimas, onde P é o número de peões que atravessam tanto a zona central da interseção como os ramos de acesso medido em milhares de peões por períodos de 12 horas:

$$A_T = 0,049 \times T_{pinc}^{0,71} \times T_{sec}^{0,30} \times e^{0,68 \times P^{0,20}} \quad (12)$$

Como referido anteriormente, Mountain e Fawaz (1996) desenvolveram, no Reino Unido, modelos para interseções urbanas e interurbanas a partir de modelos lineares generalizados. A seguinte equação representa o modelo de estimativa de frequência de acidentes por ano em interseções reguladas pela regra da prioridade:

$$A_T = 0,141 \times T_{pinc}^{0,64} \times T_{sec}^{0,24} \quad (13)$$

Greibe (2003) desenvolveu os seguintes modelos para interseções urbanas na Dinamarca, de três e quatro ramos. O autor utilizou a distribuição de *Poisson*. Como verificou que as variáveis explicativas associadas à geometria da estrada e ao ambiente rodoviário contribuíam apenas com 1% da variação observada, decidiu não colocá-las nos modelos, tendo considerado apenas as variáveis de exposição.

A seguinte equação representa o modelo de estimativa de frequência de acidentes por ano em interseções de três ramos:

$$A_T = 1,04 \times 10^{-5} \times T_{Princ}^{0,69} \times T_{Sec}^{0,60} \quad (14)$$

A seguinte equação representa o modelo de estimativa de frequência de acidentes por ano em interseções de quatro ramos:

$$A_T = 7,12 \times 10^{-4} \times T_{Princ}^{0,30} \times T_{Sec}^{0,55} \quad (15)$$

Vieira Gomes (2010) desenvolveu os seguintes modelos de estimativa da frequência de acidentes na cidade de Lisboa, com aplicabilidade em zona urbana, tendo usado como base os acidentes ocorridos entre 2004 e 2007. Os modelos que desenvolveu são para avaliação do risco de acidente em interseções urbanas de três e quatro ramos e em rotundas. Para os modelos desenvolvidos foram utilizadas as técnicas de modelação linear generalizada, com a componente de erro da distribuição binomial negativa. Relativamente aos modelos de estimativa de frequência de acidentes com atropelamentos, a qualidade de ajuste foi relativamente baixa e os modelos de estimativa de frequência de acidentes com vítimas excluindo atropelamentos tiveram um melhor ajuste em todos os casos quando o tráfego médio diário era utilizado como variável explicativa.

É de realçar que Vieira Gomes (2010) desenvolveu modelos globais, onde as variáveis explicativas consideradas são explícitas, e modelos simplificados, que têm como principais

variáveis explicativas o TMDa (pedonal e motorizado). No caso dos modelos que estimam a frequência de atropelamentos não foram desenvolvidos modelos globais.

Para interseções de três ramos, tendo-se obtido na modelação uma qualidade de ajuste de $R^2=0,484$, obteve-se o seguinte modelo simplificado para estimar a frequência de atropelamentos:

$$A_p = 4,6776 \times 10^{-8} \times T^{1,0785} \times P^{0,5942} \quad (16)$$

Também para interseções de três ramos, a estimativa de acidentes com vítimas incluindo apenas veículos, obteve na modelação uma qualidade de ajuste de 0,549 pelo índice de Elvik:

$$A_T = 4,7078 \times 10^{-6} \times T^{1,1884} \quad (17)$$

O modelo global obtido para interseções de três ramos apresenta uma qualidade de ajuste de 0,790 pelo índice de Elvik:

$$A_T = 6,1021 \times 10^{-5} \times T^{0,6346} \times e^{1,3004 \times LB + 0,7437 \times LWMAJ + 0,4882 \times RTPMAJ + 0,8482 \times TCD} \quad (18)$$

Para interseções de quatro ramos, tendo-se obtido na modelação uma qualidade de ajuste de 0,559 pelo índice de Elvik, obteve-se a seguinte equação para estimar a frequência de atropelamentos:

$$A_p = 6,3831 \times 10^{-10} \times FVP^{1,9624} \quad (19)$$

Também para interseções de quatro ramos, a estimativa de acidentes com vítimas considerando apenas veículos, obteve na modelação uma qualidade de ajuste de 0,641 pelo índice de Elvik:

$$A_T = 3,8765 \times 10^{-5} \times T^{1,167} \quad (20)$$

O modelo global obtido para interseções de quatro ramos apresenta uma qualidade de ajuste de 0,704 pelo índice de Elvik:

$$A_T = 4,6355 \times 10^{-4} \times T^{0,5106} \times e^{0,7820 \times LB + 1,0614 \times LMAJ + 0,4847 \times LWMIN + 0,4616 \times RTPMIN - 0,6775 \times LOW} \quad (21)$$

Para interseções de três e quatro ramos, tendo-se obtido na modelação uma qualidade de ajuste de 0,859 pelo índice de Elvik, obteve-se a seguinte equação para estimar a frequência de atropelamentos:

$$A_p = 2,7856 \times 10^{-8} \times T^{1,1475} \times P^{0,5746} \quad (22)$$

Obteve-se a seguinte equação para estimar o número de acidentes com vítimas considerando apenas veículos para interseções de três e quatro ramos, tendo-se obtido na modelação uma qualidade de ajuste de 0,508 pelo índice de Elvik:

$$A_T = 2,5333 \times 10^{-5} \times T^{1,0592} \quad (23)$$

O modelo global obtido para interseções de três e quatro ramos apresenta uma qualidade de ajuste de 0,640 pelo índice de Elvik:

$$A_T = 5,2579 \times 10^{-5} \times T^{0,8258} \times e^{0,4928 \times LMAJ - 0,2702 \times LWMAJ - 0,4365 \times MMAJ + 0,4922 \times RTPMAJ + 0,6815 \times LEG} \quad (24)$$

Costa (2013) desenvolveu modelos de estimativa de frequência de acidentes de viação ocorridos em interseções de três ramos em estradas nacionais do norte de Portugal, tendo utilizado os modelos lineares generalizados e equações de estimativa generalizadas na sua modelação e uma componente de erro com distribuição binomial negativa, tendo avaliado o número esperado de acidentes totais e de colisões.

As variáveis geométricas utilizadas nestas modelações foram: largura média das vias na direção principal e na direção secundária, largura média da berma na direção principal e na direção secundária, desobstrução lateral média na via principal e na via secundária, travessia de peões na direção principal e na direção secundária, presença de canalização na direção principal e na direção secundária, presença de sinalização na direção principal e na direção secundária, entrada de garagem e existência de semáforos.

As seguintes expressões permitem estimar, respetivamente, a frequência de acidentes totais e a frequência de colisões utilizando apenas a variável de tráfego. A expressão foi modelada a partir dos modelos lineares generalizados, tendo a primeira obtido uma correlação de $R^2 = 0,06995$ e a segunda $R^2 = 0,08651$.

$$A_T = e^{-3,8826} \times (TMDAPMS)^{0,2165} \quad (25)$$

$$A_c = e^{-5,6901} \times (TMDAPMS)^{0,3045} \quad (26)$$

As seguintes expressões permitem estimar, respetivamente, a frequência de acidentes totais (tendo-se obtido uma correlação de $R^2 = 0,02081$) e a frequência de colisões (tendo-se obtido uma correlação de $R^2 = 0,11887$). Foram utilizadas a variável tráfego e, como variáveis explicativas nas interseções de três ramos, as variáveis geometria, ocupação do ambiente

envolvente da interseção, sistema de controlo de tráfego e sinalização. As variáveis geométricas foram calculadas para a área de influência da interseção correspondente a um segmento de comprimento igual a 152 metros. A primeira expressão foi modelada a partir de equações de estimativa generalizadas, enquanto a segunda foi modelada a partir dos modelos lineares generalizados.

$$A_T = e^{-6,3898} \times (TMDAT)^{0,4496} \times e^{(0,4912 \times TPVP + 0,4782 \times D2)} \quad (27)$$

$$A_c = e^{-5,1448} \times (TMDAPMS)^{0,2584} \times e^{(0,550 \times TPVP)} \quad (28)$$

2.5.5.3 Modelos Aplicáveis a Interseções Reguladas por Sinais Luminosos

Mountain e Fawaz (1996) desenvolveram, no Reino Unido, modelos para interseções urbanas e interurbanas a partir de modelos lineares generalizados. A seguinte equação representa o modelo de estimativa de frequência de acidentes por ano em interseções reguladas por sinais luminosos:

$$A_T = 0,180 \times T_{princ}^{0,64} \times T_{sec}^{0,24} \quad (29)$$

Greibe (2003) desenvolveu os seguintes modelos para interseções urbanas de três e quatro ramos reguladas por sinais luminosos na Dinamarca. Os modelos apenas consideram as variáveis de exposição, uma vez que as variáveis explicativas associadas à geometria da estrada e ao ambiente rodoviário contribuíram apenas com 1% da variação observada.

A seguinte equação representa o modelo de estimativa de frequência de acidentes por ano em interseções de três ramos com sinalização luminosa:

$$A_T = 1,34 \times 10^{-5} \times T_{Princ}^{0,88} \times T_{Sec}^{0,33} \quad (30)$$

A seguinte equação representa o modelo de estimativa de frequência de acidentes por ano em interseções de quatro ramos com sinalização luminosa:

$$A_T = 1,08 \times 10^{-4} \times T_{Princ}^{0,53} \times T_{Sec}^{0,52} \quad (31)$$

2.6 Outras Técnicas para Avaliação dos Níveis de Segurança

2.6.1 Técnicas de Análise de Conflitos de Tráfego

É possível identificar outras formas alternativas para estimar o nível de segurança de uma estrada ou de um elemento rodoviário. Uma das técnicas mais utilizadas é a análise de conflitos baseada na metodologia sueca da *Swedish Traffic Conflict Technique (STCT)*.

A observação de conflitos de tráfego permite verificar a segurança de um elemento rodoviário sendo uma abordagem que não necessita que existam acidentes para os poder prevenir, condicionante associada ao desenvolvimento de estudos antes-depois e nos MEFA. Além disso, a falta de dados dos acidentes rodoviários, principalmente os que não têm vítimas, bem como os dados que existem sobre a forma como os acidentes ocorrem e o que lhes precedeu, leva a que seja necessário colmatar a falha de ferramentas que existem para poder prever a sinistralidade rodoviária. Assim, é possível identificar deficiências na estrada e possíveis causas dos acidentes rodoviários através das técnicas de observação de conflitos de tráfego, bem como obter dados para se poder proceder à aplicação de MEFA (Zheng et al., 2014; Vasconcelos et al., 2014 e Laurensbyn et al., 2010; Sayed e Zein, 1999; Chin e Quek, 1997).

Segundo Zheng et al. (2014), os conflitos de tráfego podem ser subdivididos em duas formas de identificação:

1. Marcados por ações evasivas;
2. Baseados na proximidade temporal e/ou espacial.

A primeira define a ocorrência de conflito de tráfego quando dois ou mais utilizadores de uma estrada adotam uma trajetória que envolve a interseção dos veículos e em que, por conseguinte, um dos utilizadores necessita de fazer uma manobra evasiva para evitar a colisão, seja ela uma mudança de direção, uma aceleração brusca ou uma travagem. Assim, qualquer interação de veículos que podem levar a acidentes, onde os utilizadores tentem ocupar o mesmo espaço ao mesmo tempo, são considerados conflitos de tráfego (Vasconcelos et al., 2014; Gstalter e Fastenmeier, 2007; Sayed e Zein, 1999; Parker e Zegeer, 1989). A definição implica que conflitos de tráfego são em tudo semelhantes aos acidentes rodoviários, com a exceção de que a manobra evasiva evita a ocorrência de acidente.

A segunda define a ocorrência de conflito de tráfego quando dois ou mais utilizadores se aproximam em tempo e em espaço durante uma extensão suficiente para que exista risco de colisão se os seus movimentos se mantiverem inalterados. Esta definição é de difícil aplicação prática, uma vez que existem várias medidas de proximidade temporal e espacial, não existindo um consenso sobre quais as medidas que devem ser escolhidas, como por exemplo, tempo para a colisão, tempo de segurança para desaceleração, distância que falta para o potencial ponto de

colisão, proporção da distância de paragem, entre outras. Isto deve-se ao facto de que as diferentes medidas apresentadas têm condições de aplicação preferenciais, dependendo da situação. Outro problema desta definição é que quase todas as medidas que se utilizam para determinar conflitos de tráfego são limitadas a estimar o risco de acidente mas não têm em conta as consequências dos potenciais acidentes (Zheng et al., 2014; Sayed e Zein, 1999).

O número de conflitos de tráfego pode ser obtido através da observação ou através da simulação, obtendo-se neste último uma estimativa do que é possível existir na realidade através de programas de micro-simulação. Existem várias formas de recolher dados dos conflitos de tráfego através da observação, nomeadamente, recolha de dados através da observação em campo, técnica de visão computacional e “condução naturalista”. Cada um destes apresenta algumas vantagens e desvantagens (Zheng et al., 2014).

A observação em campo pode ser feita no local ou através de vídeos gravados na zona de estudo. Os observadores são treinados para poderem reconhecer os conflitos de tráfego, os tipos de conflito e a severidade dos conflitos, de forma a posteriormente poderem recolher os dados com uma maior precisão, diminuindo o grau de subjetividade que este tipo de recolha de dados tem. Para colmatar esta desvantagem, vários manuais de análise de conflitos de tráfego foram desenvolvidos, nomeadamente, Swedish Traffic Conflict Technique (STCT), U.S. Traffic Conflict Technique (USTCT), Dutch Traffic Conflict Technique (DOCTOR) e German Traffic Conflict Technique. Este tipo de método é de fácil aplicação. No entanto, acarreta grandes custos e um trabalho intensivo de observação (Zheng et al., 2014).

A técnica de visão computacional baseia-se em algoritmos de computador que permitem identificar objetos em movimento e detetar conflitos de tráfego a partir de vídeos. Esta técnica oferece uma maior eficiência e precisão no que diz respeito a detetar conflitos de tráfego, mas carece de aplicações específicas, nem sempre disponíveis. Por essa razão, essas técnicas não são exploradas no âmbito desta dissertação.

As técnicas de análise de conflitos de tráfego apresentam potencial para estimar o número de acidentes rodoviários que existem numa secção de estrada ou numa intersecção. A previsão será tanto melhor quanto maior a correlação entre conflitos e acidentes. Segundo Zheng et al. (2014), investigadores testaram esta correlação, tendo havido várias discrepâncias nos resultados obtidos. Enquanto alguns obtiveram boas correlações entre os conflitos de tráfego e os acidentes com a variável de exposição, outros obtiveram resultados opostos. Assim, alguns investigadores concluíram que para que a correlação entre estes aumentasse, seria necessário que os dados dos conflitos de tráfego fossem quantificados e medidos de forma objetiva, que os conflitos de tráfego e os acidentes rodoviários fossem dados desagregados por características específicas,

nomeadamente tipo de estrada e tipo de gravidade e que o período de observação de conflitos de tráfego fosse razoável ou o mais longo possível.

2.6.2 Metodologia de Aplicação da Técnica de Análise de Conflitos de Tráfego

A técnica de observação de conflitos de tráfego afirma-se como uma importante ferramenta que permite a avaliação do risco de acidente, sem que, para isso, seja necessário observar acidentes reais. Para avaliar o número de conflitos de tráfego que existem num determinado cruzamento é necessário conhecer o mesmo, bem como o tipo de conflitos de tráfego que este pode gerar, de modo a permitir a sua correta determinação e identificação.

É importante também definir a melhor localização para o observador se situar, de modo a proporcionar uma visão clara do que ocorre na interseção. O observador deve situar-se entre 30 a 90 metros do local e preferencialmente do lado direito da estrada principal, dependendo esta localização da velocidade a que os veículos circulam e da geometria da interseção. A presença do observador deve ser discreta, de modo a não influenciar o comportamento dos condutores (Parker e Zegeer, 1989).

Um conflito de tráfego, como referido no ponto anterior, ocorre quando dois ou mais veículos possuem uma rota que se intersecta num dado ponto, onde a ação de um utilizador obriga a que outro tenha de fazer manobras evasivas para evitar a colisão, podendo esta manobra ser uma mudança de direção, uma aceleração brusca ou uma travagem (Parker e Zegeer, 1989).

É ainda necessário que o observador tenha a certeza que a ação do segundo veículo foi uma reação à manobra do primeiro veículo e não com a intenção de fazer uma alteração na sua rota ou para estacionar.

Os conflitos de tráfego que existem em interseções podem ser agrupados por tipo de manobras realizadas:

- Mesma direção;
- Viragem à esquerda, com interseção em sentidos opostos;
- Atravessamento;
- Envolvendo veículos terceiros;
- Viragem à direita durante o sinal vermelho;
- Conflituante com Peões.

Conflitos na mesma direção: ocorrem quando o primeiro veículo abranda/desacelera ou muda de direção e coloca o veículo que lhe sucede em perigo de uma colisão frente-traseira. O segundo veículo que persegue o primeiro necessita de travar ou de se desviar da rota que segue

para evitar a colisão, retomando depois a rota pela área de interseção. Podem existir conflitos na mesma direção de viragem à esquerda, de viragem à direita, de veículo lento ou de mudança de via:

- Viragem à esquerda: ocorre quando o primeiro veículo reduz a velocidade e vira à esquerda, colocando o veículo que lhe sucede sujeito a uma colisão do tipo frente-traseira;
- Viragem à direita: ocorre quando o primeiro veículo reduz a velocidade e vira à direita, colocando o segundo veículo em perigo de uma colisão do tipo frente-traseira;
- Veículo lento: ocorre quando o primeiro veículo reduz a velocidade quando passa pela interseção, colocando o segundo veículo em perigo de uma colisão do tipo frente-traseira. A razão pela qual o primeiro veículo reduz a velocidade pode não ser evidente, podendo ser apenas uma ação de precaução, ou pode resultar de congestionamento na interseção. A causa deste tipo de conflito deve ser anotada pelo observador;
- Mudança de via: ocorre quando o primeiro veículo muda para outra via, colocando o segundo veículo que circula nessa via em perigo de uma colisão do tipo frente-traseira ou lateral-lateral. No entanto, se a mudança de via é feita por o primeiro veículo estar em perigo de uma colisão frente-traseira com outro veículo, o segundo veículo encontra-se numa situação de conflito secundário (tal como será descrito posteriormente).

Conflitos de viragem à esquerda, com interseção em sentidos opostos: ocorrem quando um veículo possui uma trajetória de viragem à esquerda, colocando o veículo de sentido oposto numa situação de perigo de colisão frente-frente ou frente-lateral. Neste tipo de conflitos, o segundo veículo apresenta prioridade em relação ao primeiro. As situações em que o segundo veículo não respeita o sinal vermelho e é colocado em perigo de colisão, não são consideradas como conflito de tráfego.

Conflitos de atravessamento: ocorrem quando o primeiro veículo atravessa ou entra na estrada principal onde o segundo veículo circula. Este segundo veículo possui prioridade de atravessamento e o primeiro coloca o segundo em perigo de acidente de colisão do tipo frente-traseira, frente-lateral ou lateral-lateral. O segundo veículo tem de travar ou desviar-se da sua rota para evitar a colisão e prosseguir pela área de interseção para que se considere que existe conflito. Podem existir várias formas de ocorrer este tipo de conflito, como se descreve em seguida:

- Viragem à direita, tráfego conflituante da direita: ocorre quando o veículo que provém da direita vira à direita colocando o segundo veículo que provém da estrada prioritária em perigo de uma colisão do tipo frente-lateral ou frente-traseira;

- Viragem à esquerda, tráfego conflituante da direita: ocorre quando o veículo proveniente da direita faz a manobra de viragem à esquerda, colocando o segundo veículo da estrada principal em perigo de uma colisão do tipo frente-lateral;
- Atravessamento do cruzamento, tráfego conflituante da direita: ocorre quando o veículo proveniente da estrada à direita atravessa o cruzamento, seguindo em frente, colocando o segundo veículo que circula na via principal em perigo de uma colisão do tipo frente-lateral;
- Viragem à direita, tráfego conflituante da esquerda: ocorre quando o veículo que provém da estrada à esquerda da principal vira à direita e cruza com o centro da estrada principal na via que circula em sentido oposto, colocando o veículo que aí circula em perigo de uma colisão do tipo frente-frente. Este tipo de conflitos pode ser observado quando a estrada é estreita, ou quando autocarros ou camiões de grandes dimensões aplicam a manobra;
- Viragem à esquerda, tráfego conflituante da esquerda: ocorre quando o veículo que aplica a manobra de viragem à esquerda coloca o veículo que provém da estrada principal em perigo de uma colisão do tipo frente-traseira ou frente-lateral;
- Atravessamento do cruzamento, tráfego conflituante da esquerda: ocorre quando o veículo que provém da esquerda atravessa o cruzamento, seguindo em frente, colocando o segundo veículo que circula na via principal em perigo de uma colisão do tipo frente-lateral.

Conflitos que envolvem veículos terceiros: este género de conflitos implica que quando o segundo veículo faz uma manobra evasiva para evitar o acidente, por sua vez coloca um terceiro veículo em perigo de colisão. Os conflitos que envolvem mais do que dois veículos são muito semelhantes aos conflitos de veículo lento, mesma direção e mudança de via, diferindo apenas no perigo que existe para o veículo que sucede ao segundo que está a reagir à situação de conflito. Apenas se contabiliza o conflito para a situação inicial, mesmo que vários carros tenham de reagir por causa do primeiro.

Os conflitos de viragem à direita com sinalização semaforizada vermelha não serão descritos, uma vez que não serão objeto de estudo da presente dissertação.

Os conflitos de tráfego não ocorrem todos da mesma forma, sendo difícil descrevê-los com pormenor. Assim, o observador terá de avaliar cada caso utilizando a sua experiência e aplicando os princípios básicos apresentados anteriormente.

2.6.3 Estudos Antes-Depois

Os estudos antes-depois não podem ser considerados como MEFA, uma vez que, por serem de muito simples aplicação, os resultados podem ser afastados da realidade. No entanto, são estudos que incorporam no seu método expressões matemáticas que permitem estimar o efeito sobre a sinistralidade com a aplicação de medidas corretivas (Vieira Gomes, 2011; Vieira Gomes e Cardoso, 2013).

As avaliações efetivas podem ter um papel importante uma vez que tratam a avaliação como se fosse uma experiência, ou seja, a segurança de um determinado conjunto de estradas é estudada antes e depois de um estudo de segurança. Para que haja uma avaliação de eficácia com sucesso, é necessário que exista um desenho experimental adequado que considere, entre outros elementos, o tamanho da amostra necessário e as tentativas de eliminar ou controlar os fatores perturbadores. Se o estudo for devidamente concebido e forem utilizadas técnicas de análise adequadas, muitos investigadores acreditam que este método proporciona uma abordagem mais direta e potencialmente melhor do que equações de previsão. Por exemplo, OCDE refere que Hauer (1991) afirma que “*embora as ameaças à validade de conclusões extraídas de estudos antes/depois sejam muitas, elas aparentam ser mais conhecidas e mais fáceis de evitar do que ameaças à validade de conclusões extraídas de comparações transversais*”. No entanto, os estudos antes-depois apenas fornecem uma estimativa da eficácia nas condições estudadas, não fornecem um modelo com uma base teórica e capacidade de previsão (OECD, 1997).

Os estudos antes-depois devem ser implementados da seguinte forma (Hauer, 1997):

- Estimativa do nível de segurança da secção de estrada, num dado período de tempo anterior ao da aplicação das medidas corretivas;
- Estimativa do nível de segurança real, num dado período de tempo depois de as medidas corretivas serem postas em prática, e também do nível de segurança esperado se as medidas corretivas não tivessem sido executadas;
- Aplicação de um algoritmo de comparação entre o nível de segurança observado e a evolução esperada, caso as medidas corretivas não tivessem sido implementadas.

Normalmente, o desenvolvimento do nível de segurança da secção de estrada estudada, depois da aplicação de um conjunto de medidas corretivas, não refletem apenas o seu efeito, existindo um outro conjunto de fenómenos externos à intervenção que influenciam os seus resultados e que não resultam daquele. É o caso da alteração de hábitos, das tendências de tráfego, da evolução do seu volume, e do fenómeno *regression-to-the-mean* (RTM) (Vieira Gomes e Cardoso, 2012; Hauer, 1997).

O efeito RTM consiste numa tendência estatística onde depois de um período com frequências muito longe do valor médio é normal observar frequências próximas deste valor. Ou seja, depois de um período com uma grande frequência de acidentes ou uma significativa redução, a tendência é existir um período onde se verifica, respetivamente, a sua redução ou aumento. Na maioria das intervenções de segurança rodoviária, isto acontece devido à forma como são escolhidos os locais onde as medidas são implementadas (locais com maior incidência de acidentes) (Vieira Gomes e Cardoso, 2012).

O método empírico de *Bayes* (EB) aborda dois problemas de estimativa de segurança: aumenta a precisão das estimativas, quando se limita ao uso de um histórico de acidentes de 2 a 3 anos, e corrige a RTM. Uma vez que controla alguns dos problemas dos estudos antes-depois, é dos métodos que melhor se enquadra quando se realizam estes estudos (Hauer, 1997; Vieira Gomes e Cardoso, 2012).

3 METODOLOGIA DE ABORDAGEM

Nesta dissertação procura-se avaliar a aplicabilidade de alguns dos MEFA anteriormente identificados em interseções nacionais. Para o efeito e por razões logísticas, foram selecionadas duas interseções na cidade de Coimbra. Este capítulo centra-se na apresentação sumária da metodologia empreendida, bem como na descrição dos trabalhos associados à recolha de dados de campo.

3.1 Metodologia Geral

Em termos metodológicos, a análise assenta em 3 fases fundamentais: (1) análise comparativa dos resultados associados a diferentes modelos de estimativa de acidentes, e avaliação do efeito associado a um conjunto limitado de variáveis explicativas; (2) análise comparativa do número de acidentes estimados e reais observados num conjunto limitado de interseções inseridas na cidade de Coimbra; (3) comparação do número de acidentes com o número de pontos de conflitos gerados.

Para a primeira análise, procedeu-se à seleção de um conjunto limitado de entre os MEFA descritos no ponto 2.5.5, a fim de analisar e compreender a forma como se comportam perante as diferentes situações que podem surgir nas referidas interseções, nomeadamente de que forma a geometria daquelas e a variação da procura de tráfego pode contribuir para o aumento da sinistralidade rodoviária.

Para a segunda análise, os trabalhos foram apoiados na base de dados oficial disponibilizada pela ANSR para o distrito de Coimbra, no período de 2007 a 2011.

Finalmente, para a terceira fase, e de forma a validar os resultados, é aplicada a técnica de análise de conflitos, por observação direta, aplicada a duas interseções em Coimbra. Como se observou anteriormente, a técnica de análise dos conflitos de tráfego é uma forma de colmatar a lacuna que existe nos MEFA, uma vez que estes apenas preveem os acidentes com vítimas.

3.2 Seleção e Caracterização das Interseções Selecionadas

Com o objetivo de verificar a aplicabilidade de alguns MEFA à cidade de Coimbra, selecionaram-se duas interseções localizadas na zona urbana: um cruzamento prioritário com três ramos, localizado na interseção da Avenida Bissaya Barreto com a Rua São Teotónio, e a rotunda localizada na interseção da Avenida Fernão Magalhães com a Rua Padre Estevão Cabral e Rua Azinhaga Lázara, de forma a determinar o número de acidentes previstos por ano nestas interseções.

A interseção de três ramos situa-se numa zona de grande procura de tráfego e de peões, uma vez que é localizada junto ao Instituto Português de Oncologia de Coimbra Francisco Gentil (IPO). Nas proximidades, localiza-se o Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra, a Escola Superior de Enfermagem de Coimbra e o Pólo das Ciências e Saúde, onde estão situados os edifícios de ensino da Universidade de Coimbra ligados a essa área. As estradas que se interseccionam são caracterizadas por assegurarem funções de distribuição principal, onde coexistem funções de acesso e mobilidade e onde as velocidades praticadas são tendencialmente baixas, aproximando-se do limite legal estabelecido de 50km/h. O perfil transversal caracteriza-se por disponibilizar uma via de tráfego em cada sentido, mesmo nas imediações da interseção. Existem duas passagens para peões na interseção, uma localizada num dos ramos da via principal e outra no ramo da via secundária, ambas associadas a níveis elevados de procura pedonal. Na Avenida Bissaya Barreto estão localizadas duas paragens de autocarros, uma em cada um dos sentidos. O estacionamento nesta zona é proibido embora se identifiquem muitos veículos estacionados de forma ilegal, o que, por vezes afeta a visibilidade dos condutores durante as manobras na interseção.

A rotunda estudada está localizada na Avenida Fernão Magalhães, na sua interseção com a Rua Padre Estevão Cabral, junto à estação de camionagem de Coimbra. A Avenida Fernão Magalhães é classificada como uma via distribuidora principal, onde se situam diversos serviços, nomeadamente, comércio, cafés, padarias, pastelarias, restaurantes, bancos e o centro Rodoviária da Beira Litoral, Centro de Emprego de Coimbra, entre outros. Também a Rua Padre Estevão Cabral é classificada como uma distribuidora principal, assegurando a ligação do Açude-Ponte à cidade. Nesta rua está situado o Centro Distrital de Coimbra do Instituto da Segurança Social, a Junta de Freguesia de Santa Cruz, entre outros serviços que apoiam e empregam a população de Coimbra. É possível verificar assim que esta zona e a sua envolvente tem potencialmente grande procura, quer para viagens com destino à zona em estudo, quer para o seu atravessamento. A rua Azinhaga Lázara fornece acesso a um parque de estacionamento e à *Telepizza* Fernão Magalhães, sendo uma via de acesso local.

Uma vez que a rotunda está inserida no meio urbano, tem o limite de velocidade de 50 km/h em todas as vias. As vias possuem passeios e estacionamento a ladeá-las. Uma vez que na Avenida Fernão Magalhães se situa a Rodoviária da Beira Litoral e serve várias linhas de transporte municipal, é de esperar em certas alturas do dia um grande afluxo de peões.

3.3 Levantamento de Dados de Tráfego Automóvel e Pedonal

3.3.1 Sessões de Contagem

A recolha de dados incidiu sobre as contagens direcionais de tráfego que acede a cada uma das interseções.

Esta contagem foi realizada entre as 7h30 e as 9h45, dividindo o período em intervalos de 15 minutos, de modo a obter-se o período de ponta da manhã, que normalmente corresponde a deslocações realizadas a partir de casa com destino ao local de trabalho. Como estas zonas possuem vários postos de trabalho e também são uma ligação para outras zonas da cidade com muitos postos de trabalho e pontos de interesse, este será o melhor horário para verificar o pico de procura da manhã, considerando os horários de funcionamento praticados nas zonas pelo comércio e serviços. Idealmente, seria igualmente relevante alargar a recolha do tráfego num dos períodos de baixa procura, de modo a fazer uma caracterização próxima da realidade. No entanto, devido à limitação de recursos humanos, optou-se por limitar a análise ao período de ponta da manhã.

A contagem de veículos foi realizada para todos os movimentos possíveis provenientes das vias principais e secundárias, distinguindo-os em quatro classes de veículos: ligeiros, 2 rodas, pesados e autocarros.

Os movimentos considerados na recolha de dados foram os representados nas figuras 3.1 e 3.2.



Figura 3. 1 – Rotunda da Avenida Fernão de Magalhães



Figura 3. 2 – Entroncamento da Avenida Bissaya Barreto

As sessões de recolha de dados aplicadas à rotunda da Avenida Fernão de Magalhães envolveram 4 observadores e decorreram no dia 7 de Dezembro de 2017. Na interseção de três ramos, recorreu-se a 3 observadores e a sessão decorreu no dia 5 de Dezembro de 2017.

Da contagem de tráfego realizada nesta interseção, observaram-se alguns conflitos de tráfego entre veículos e entre veículos e peões, tendo-se por isso executado um segundo dia de observações, onde se registaram os conflitos de tráfego para as duas interseções. Complementarmente, foi ainda feita a contagem do número de peões que atravessam as passeiras para a hora de ponta identificada a partir da recolha de tráfego realizada, das 8h15 às 9h15, no dia 18 de Dezembro de 2017.

No dia 19 de Janeiro de 2018 realizou-se a recolha do número de conflitos de tráfego que ocorreram na rotunda da Avenida Fernão Magalhães, durante a hora de ponta anteriormente identificada, das 8h30 às 9h30. Esta observação foi apenas realizada para o tráfego proveniente da direção *a* e *b*, uma vez que não existiam recursos para se proceder à contagem para as duas direções principais. Optou-se por se selecionar esta direção porque é a que apresenta maior procura de tráfego.

A contagem dos conflitos de tráfego foi realizada no dia 18 de Janeiro de 2018 para o entroncamento localizado na Avenida Bissaya Barreto, entre as 7h30 e as 9h30, segregando a contagem por períodos de 15 minutos, de acordo com as técnicas de recolha de conflitos de tráfego descritas no ponto 2.6.2. No entanto, mais uma vez por falta de recursos, esta contagem foi feita apenas por um observador, tendo-se realizado a observação durante uma hora para as direções *a* e *b*, e durante o restante tempo para as direções *e* e *f*. Por simplificação, o resultado desta observação será considerado para a comparação dos resultados do tráfego observado na hora de ponta.

3.3.2 Estimativa do TMDa de Veículo e Peões

Após a contagem do número de veículos, procedeu-se à determinação do tráfego ligeiro equivalente para cada movimento, em cada período de 15 minutos, tendo por base os fatores de conversão apresentados no Quadro 3.1 (TRB, 2010). Os fluxos de tráfego registados em cada um dos cruzamentos estudados, encontram-se resumidos no Quadro 3.2.

Quadro 3. 1 – Fatores de conversão

TIPOLOGIA DO VEÍCULO	FATOR DE CONVERSÃO
Veículos Ligeiros	1
2 Rodas	0.5
Veículos Pesados	2
Autocarros	2.3

Quadro 3. 2 – Fluxos de tráfego registados

PERÍODO	ROTUNDA DA AV ^a FERNÃO DE MAGALHÃES		ENTRONCAMENTO DA R. BISSAYA BARRETO COM A R. S. TEOTÓNIO	
	UVE (via principal)	UVE (direção secundária)	UVE (via principal)	UVE (direção secundária)
7h30 – 7h45	204	87	152	8
7h45 – 8h00	251	82	247	27
8h00 – 8h15	273	152	204	35
8h15 – 8h30	419	178	252	49
8h30 – 8h45	452	228	210	27
8h45 – 9h00	455	189	197	38
9h00 – 9h15	454	194	204	44
9h15 – 9h30	407	196	161	35
9h30 – 9h45	412	193	126	28

Da observação dos resultados, para a rotunda da Avenida Fernão de Magalhães, identifica-se a hora de ponta entre as 8h30 e as 9h30.

De acordo com as contagens automáticas das Infraestruturas de Portugal, a hora de ponta representa maioritariamente 8 a 13% do TMDa, pelo que para o presente estudo admitiu-se um valor intermédio de 10%, estimando-se assim um TMDa total de 25 751 veículos. O TMDa que circula na via principal e secundária é de 17 680 e de 8 070 veículos, respetivamente.

No caso do cruzamento localizado na Avenida Bissaya Barreto, identificou-se a hora de ponta entre 8h15 e as 9h15. Por sua vez, estima-se que o TMDa global ascenda a 10 197 veículos por dia, sendo 8 632 veículos associados à via principal e 1 565 veículos à via secundária.

O Quadro 3.3 apresenta para o mesmo cruzamento, o número de peões registados.

Quadro 3.3 – Número de peões registados

PERÍODO	AVENIDA BISSAYA BARRETO	RUA SÃO TEOTÓNIO
8h15 – 8h30	46	37
8h30 – 8h45	55	35
8h45 – 9h00	42	36
9h00 – 9h15	42	31
Total	185	139

Não se encontrou referência a coeficientes de conversão de volumes horários para TMDa associados a peões, pelo que se optou por assumir os fatores associados a tráfego automóvel, sendo que muito possivelmente se encontram por defeito, já que é expectável, particularmente nesta interseção, que o volume de peões se mantenha acentuado mesmo fora dos períodos de ponta. O volume horário de peões na Avenida Bissaya Barreto foi assim estimado em cerca de 1 850 peões por dia, e na Rua São Teotónio de 1 390 peões por dia, perfazendo um total de 3 240 peões por dia.

3.4 Características Geométricas

Os dados geométricos da rotunda foram estimados através da imagem satélite do *Google maps*, apoiado pelo *Software Autocad* e estão resumidos no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Características geométricas da rotunda Fernão Magalhães

PARÂMETRO GEOMÉTRICO	VALOR	
Diâmetro do Círculo Inscrito – DCI	20 m	
Ângulo entre ramos	127°	
Largura da Entrada	7 m (2 vias)	5 m (1 via)
Largura na aproximação à entrada	6 m (2 vias)	4 m (1 via)
Curvatura do ramo de aproximação	1/18 m ⁻¹	
Curvatura da entrada	1/62 m ⁻¹ (via secundária)	1/103 m ⁻¹ (via principal)

3.5 Estimativa de Conflitos por Observação Local

A recolha dos dados de conflitos de tráfego foi realizada de acordo com o descrito no ponto 3.2. Assim, procurou-se identificar os conflitos que ocorrem com veículos da mesma direção, conflitos de viragem à esquerda, conflitos de atravessamento e conflitos com peões.

No que diz respeito ao entroncamento localizado na Avenida Bissaya Barreto, qualquer conflito de tráfego descrito anteriormente poderia ser verificado, uma vez que, apesar de ser uma interseção de 3 ramos, existe uma entrada para o IPO na interseção, que faz com que se possa considerar esta zona como uma interseção de 4 ramos. Não se consideraram os conflitos de tráfego que envolviam mais do que dois utilizadores.

Da observação realizada, não foram identificados conflitos de atravessamento com tráfego conflituante da esquerda, viragem à esquerda com tráfego conflituante da esquerda nem viragem à direita com tráfego conflituante à esquerda.

Verificaram-se diversos conflitos na mesma direção, sendo que o referente a mudança de via se verificou apenas uma vez, dizendo respeito a um veículo que estava estacionado de forma ilegal na interseção e que quando ia ser ultrapassado iniciou a marcha, fazendo com que o veículo que o estava a ultrapassar tivesse de travar.

Muitos dos conflitos mais graves na mesma direção de viragem à esquerda e viragem à direita foram provocados por falta de sinalização da intenção de mudança de direção.

Verificou-se que os conflitos de atravessamento se manifestavam com maior frequência quando existia maior tráfego de circulação e quando existia tempo de espera para entrar na via principal.

Os conflitos com peões verificaram-se maioritariamente junto à passadeira da Avenida Bissaya Barreto, sendo que apenas se verificou este tipo de conflito uma vez fora da passadeira. Todos os conflitos deste tipo contabilizados envolveram mais do que um veículo.

O Quadro 3.5 resume os resultados da observação dos conflitos de tráfego no entroncamento da Avenida Bissaya Barreto com a Rua São Teotónio.

Quadro 3. 5 – Conflitos de tráfego registados na interseção Bissaya Barreto com a Rua São Teotónio

PERÍODO		7H30	7H45	8H00	8H15	8H30	8H45	9H00	9H15
Conflitos na Mesma Direção	Vir. Esq.	4	7	4	3	11	9	7	10
	Vir. Dir.	1	2	2	6	0	1	2	3
	Veículo Lento	0	0	1	1	5	4	2	2
	Mudança-Via	0	0	0	1	0	0	0	0
Conflitos de Viragem à Esquerda		0	0	1	3	3	2	2	0
Conflitos de Atravessamento	Vir, Dir. c/ conflituante Dir.	0	1	2	0	4	8	4	3
	Vir. Esq. c/conflituante Dir.	0	1	2	3	0	0	0	0
	Atrav.	0	1	1	1	0	0	0	0
Conflitos com Peões		1	5	9	6	2	4	7	2
TOTAL		6	17	22	24	25	28	24	20

No que diz respeito à recolha dos conflitos de tráfego na rotunda da Avenida Fernão Magalhães, os conflitos de viragem à esquerda e os conflitos de atravessamento de viragem à esquerda com conflituante da direita e viragem à direita com conflituante da esquerda não existem neste tipo de interseções, uma vez que na rotunda, os veículos circulam todos no mesmo sentido. Mais uma vez, excluíram-se da observação os conflitos que envolvem mais do que dois veículos.

A maioria dos conflitos de tráfego observados ocorreu dentro do anel da rotunda e à saída da mesma.

Da observação verificou-se que existe uma grande quantidade de conflitos devido a veículo lento e conflitos de atravessamento por viragem à direita com conflituante da direita. Estes conflitos foram observados principalmente para os períodos com maior tráfego e quando existiam filas de espera. Não se observaram conflitos de viragem à esquerda com conflituante da esquerda.

Os conflitos de mudança de direção ocorreram maioritariamente à saída da rotunda. A maioria dos conflitos de atravessamento observados ocorreu devido à falta sinalização da direção que o condutor pretendia tomar.

Todos os conflitos com peões contabilizados envolveram mais do que um veículo, tendo-se observado junto à passadeira que está localizada junto à saída da rotunda.

O Quadro 3.6, resume os resultados da observação dos conflitos de tráfego na rotunda localizada na Avenida Fernão Magalhães.

Quadro 3. 6 – Conflitos de tráfego registados na rotunda da Avenida Fernão Magalhães

PERÍODO		8H30	8H45	9H00	9H15
Conflitos na Mesma Direção	Vir. Esq.	4	4	4	1
	Vir. Dir.	6	8	4	5
	Veículo Lento	28	40	19	16
	Mudança-Via	14	14	7	7
Conflitos de Atravessamento	Vir, Dir. c/ conflituante Dir.	32	34	13	13
	Atrav.	9	9	4	2
	Atrav. c/ conflituante Esq.	4	0	1	3
Conflitos com Peões		3	8	4	3
Total		100	117	78	50

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 Análise Comparativa de MEFA

Com base na recolha bibliográfica realizada, optou-se por analisar a evolução do número estimado de acidentes com a variação do volume de tráfego e das variáveis geométricas das interseções para alguns dos MEFA apresentados no ponto 2.5.5.

Optou-se por seleccionar os modelos anteriormente analisados tendo em consideração a sua aplicabilidade em Portugal e a zonas urbanas. Como se observou na análise da recolha bibliográfica, um modelo terá uma melhor resposta ao caso estudado, quanto mais as condições em que foi desenvolvido se aproximarem daquele. Assim, optou-se por seleccionar para as análises comparativas os modelos desenvolvidos no espaço Europeu, cujas características físicas da infraestrutura e do parque automóvel se assemelham às que existem em Portugal.

Optou-se assim por seleccionar, entre outros, os modelos sectoriais desenvolvidos por Maycock e Hall, de forma a permitir identificar quais as zonas onde tendencialmente se concentram os acidentes em rotundas, e perceber a forma como a geometria da rotunda afeta a segurança rodoviária.

Foram ainda seleccionados os modelos desenvolvidos por Vieira Gomes (2010), de origem portuguesa, já que, para além de serem representativos das condições portuguesas, potenciam ainda a comparação dos resultados que se obtêm através das equações simplificadas e das globais permitindo perceber o efeito da geometria da interseção sobre a segurança.

O Quadro 4.1 resume os MEFA seleccionados para suportar esta análise comparativa, os quais excluem atropelamentos.

Quadro 4. 1 – Resumo dos MEFA que excluem atropelamentos selecionados para análise

TIPOLOGIA DA INTERSEÇÃO		AUTOR DO MEFA	MEFA	PAÍS DESENVOLVIDO
Rotundas		Mountain e Fawaz (1996)	$A_T = 0.168 \times T_{princ}^{0.64} \times T_{sec}^{0.24}$	Reino Unido
		Maycock e Hall (1984)	$A = \beta_0 \times T^{\beta_1}$ $A = \beta_0 \times T^{\beta_1} \times e^{\sum \beta_i \times X_i}$	Reino Unido
		Vieira Gomes (2010)	$A_T = 1.9488 \times 10^{-7} \times T^{1.4985}$ $A_T = 2.3845 \times 10^{-8} \times T^{1.5084} \times e^{0.5248 \times LEG}$	Portugal
Interseções Prioritárias	3 Ramos	Maher e Summersgill (1996)	$A_V = 0.049 \times T_{Princ}^{0.80} \times T_{sec}^{0.36}$	Reino Unido
	Regra da Prioridade	Mountain e Fawaz (1996)	$A_V = 0.049 \times T_{Princ}^{0.80} \times T_{sec}^{0.36}$	Reino Unido
	3 Ramos	Greibe (2003)	$A_T = 1.04 \times 10^{-5} \times T_{Princ}^{0.69} \times T_{Sec}^{0.60}$	Dinamarca
	4 Ramos		$A_T = 7.12 \times 10^{-4} \times T_{Princ}^{0.30} \times T_{Sec}^{0.55}$	
	3 Ramos	Vieira Gomes (2010)	$A_T = 4.7078 \times 10^{-6} \times T^{1.1884}$	Portugal
			$A_T = 6.1021 \times 10^{-5} \times T^{0.6346}$ $\times e^{1.3004 \times LB + 0.7437 \times LWMAJ + 0.4882 \times RTPMAJ + 0.8482 \times TCD}$	
	4 Ramos		$A_T = 3.8765 \times 10^{-5} \times T^{1.167}$	
	$A_T = 4.6355 \times 10^{-4} \times T^{0.5106}$ $\times e^{0.7820 \times LB + 1.0614 \times LMAJ + 0.4847 \times LWMIN + 0.4616 \times RTPMIN - 0.6775 \times LOW}$			
3 e 4 Ramos		$A_T = 2.5333 \times 10^{-5} \times T^{1.0592}$		
		$A_T = 5.2579 \times 10^{-5} \times T^{0.8258}$ $\times e^{0.4928 \times LMAJ + 0.2702 \times LWMAJ - 0.4365 \times MMAJ + 0.4922 \times RTPMAJ + 0.6815 \times LEG}$		

A análise comparativa dos diferentes modelos teve por base os valores de parâmetros geométricos padrão que são recomendáveis dentro das boas práticas europeias, tendo-se ainda

admitido uma variação do TMDa compreendido entre 0 e 30 000 veículos, uma vez que representam a gama de variação mais comum em meio urbano, em cidades de média dimensão.

4.1.1 Interseções de 3 Ramos

A Figura 4.1 apresenta os resultados da análise comparativa para os MEFA aplicados a interseções de 3 ramos.

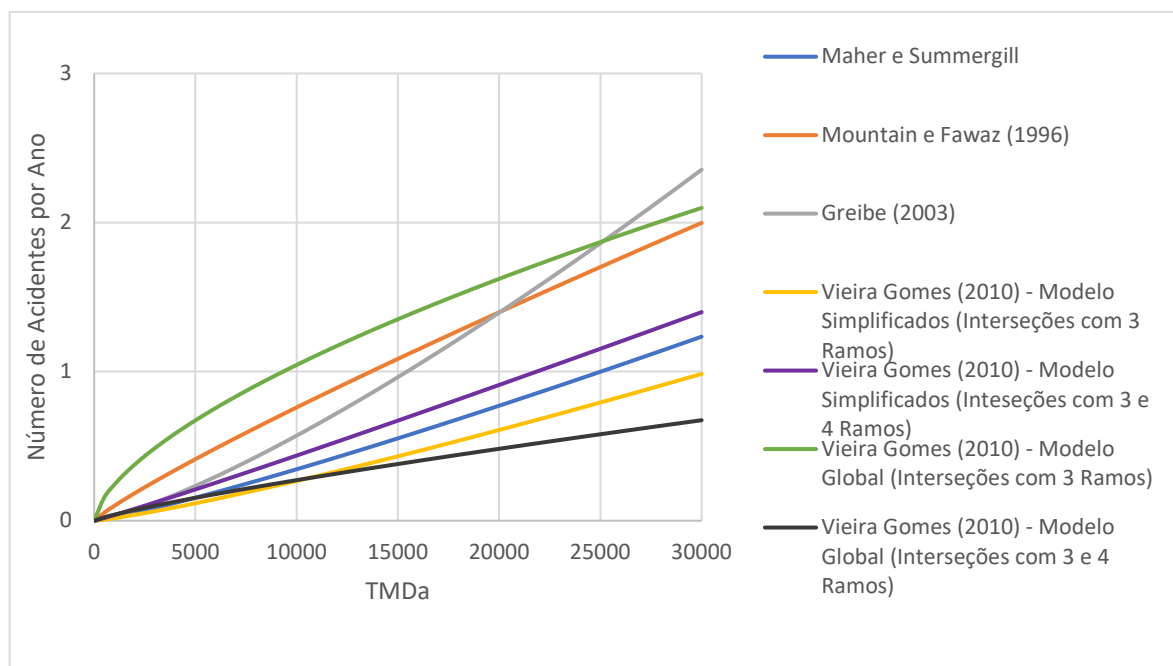


Figura 4. 1 – Resultados dos MEFA aplicados a interseções de 3 ramos

Na aplicação dos modelos, considerou-se que do TMDa total que circula na interseção, 30% provém da estrada secundária e 70% da estrada principal, repartição considerada representativa de uma interseção prioritária. Os resultados evidenciam que os modelos desenvolvidos por Vieira Gomes (2010), a partir das fórmulas simplificadas, para interseções de 3 ramos e 3 e 4 ramos, variam de forma semelhante com o aumento do TMDa, aumentando a magnitude da curva quanto maior for o tráfego considerado, obtendo-se valores próximos da unidade para o TMDa máximo definido.

Dos modelos estrangeiros, o que mais se aproxima dos modelos simplificados desenvolvidos em Portugal, é o de Maher e Summerrill (1996), sendo possível concluir que terá sido desenvolvido em situações muito semelhantes, ao nível da geometria e do comportamento dos condutores. Por sua vez o modelo desenvolvido por Mountain e Fawaz (1996) apresenta uma evolução positiva do número esperado de acidentes numa fase inicial do gráfico, sendo que a

magnitude de variação diminui a partir do valor de TMDa próximo dos 5000 veículos, apesar do seu desenvolvimento ser praticamente constante. De forma oposta, o modelo de Greibe (2003), é o que apresenta um andamento mais diferenciado dos restantes, apresentando uma tendência exponencial em função do TMDa. Isto deve-se ao facto de ter concluído que apenas 1% da variação do número esperado de acidentes estar relacionado com a geometria da interseção, sendo a variável de exposição tráfego a que maior impacto tem no nível de segurança.

Para os modelos globais desenvolvidos por Vieira Gomes (2010), considerou-se que existia equilíbrio de vias (adotando-se o valor de 1), a largura da via de 3,5 metros, de acordo com os valores padrão utilizados para as boas normas admissíveis europeias, que não existem três ou mais vias de entrada na direção principal (adotando-se o valor de 1), que não existia presença de separador central nos dois ramos da direção principal (adotando-se o valor de 0), a inexistência de vias exclusivas de viragem à direita na direção principal (adotando-se o valor de 0), a inexistência de sistema de controlo de tráfego (adotando-se o valor de 0) e que o número de ramos da interseção é 3, adotando-se o valor 0 para esta variável. Da análise destes modelos, foi possível observar que quanto maior for a largura da via, menor será a segurança da interseção. Tal pode dever-se ao facto de existir assim uma maior liberdade no posicionamento lateral dos veículos, o que se pode traduzir em mais colisões laterais ou na prática de velocidades de circulação mais elevadas. Da mesma forma, a presença de vias exclusivas de viragem à direita na direção principal é prejudicial à segurança, podendo estar associado a velocidades mais elevadas na entrada da via oposta. O aumento do número de vias na estrada principal também contribui para o aumento da sinistralidade rodoviária, podendo estar relacionado com o aumento do número de pontos de conflito no cruzamento e da propensão para a prática de elevadas velocidades. A presença de sinalização semafórica aumenta o número esperado de acidentes, o que, segundo a autora, se deve ao facto de aumentar o número de colisões frente-traseira, embora associados a uma diminuição da sua gravidade. A variável associada ao equilíbrio das vias apresenta um aumento da segurança rodoviária, uma vez que interseções com o mesmo número de vias em todos os ramos de entrada leva a movimentos mais lineares, geradores de menos conflitos. A presença de separador central nos 2 ramos da direção principal tende a aumentar a segurança, uma vez que existe maior canalização dos movimentos, originando um menor número de conflitos.

Da análise dos modelos desenvolvidos por Vieira Gomes (2010), conclui-se que os modelos globais apresentam resultados distintos, sendo que o aplicado a cruzamentos de 3 e 4 ramos apresenta menor número de acidentes previstos do que o aplicado a 3 ramos, sendo expectável que a amostra que suportou o desenvolvimento do modelo aplicado a 3 e 4 ramos seja diferente do aplicado a 3 ramos.

No geral, os modelos apresentam previsões do número de acidentes semelhantes, variando entre 0 e 2 acidentes por ano. Todos apresentam uma tendência de aumento do número de acidentes previstos com o aumento do volume de tráfego.

4.1.2 Interseções de 4 Ramos

A Figura 4.2, apresenta os resultados obtidos nos modelos aplicados a interseções com 4 ramos:

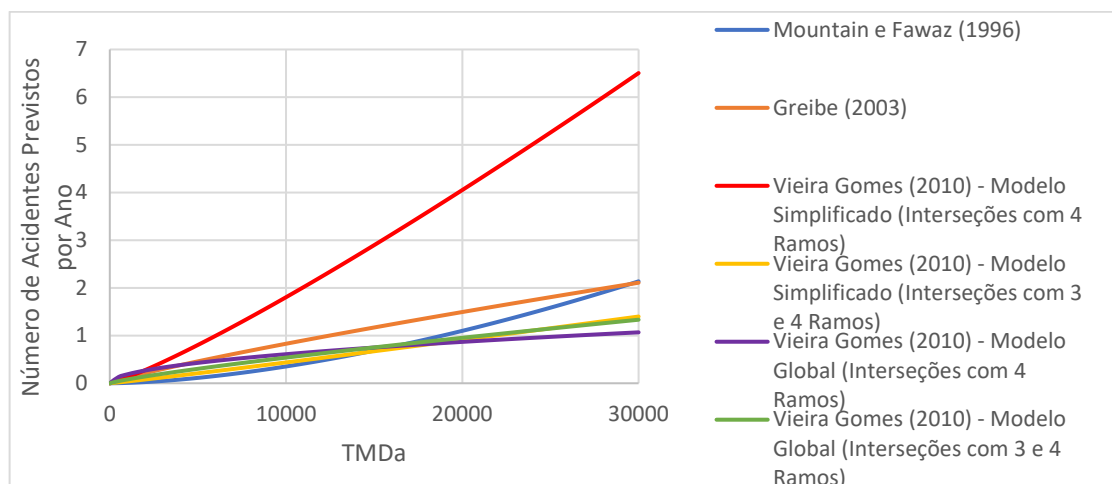


Figura 4. 2 – Resultados dos MEFA aplicados a interseções de 4 ramos

À semelhança da análise anterior, também nesta análise se considerou que 30% do TMDa circula na estrada secundária e 70% na estrada principal. Para o modelo global de 3 e 4 ramos, consideraram-se os mesmos valores assumidos para as variáveis explicativas que na análise anterior. Assumiram-se também os mesmos valores das variáveis explicativas do modelo global de 4 ramos, que existem em comum com o modelo global de 3 ramos, e considerou-se que não existiam ramos com sentido único (assumindo-se o valor 0 para a variável LOW).

Da mesma figura é possível verificar, a partir do modelo desenvolvido por Vieira Gomes (2010), que a existência de ramos com sentidos únicos aumenta o nível de segurança do cruzamento, o que muito possivelmente se deve ao facto de existir uma diminuição do número de conflitos no cruzamento.

Do gráfico, é possível observar que os modelos, com excepção do modelo desenvolvido por Greibe (2003) e o de aplicação a 4 ramos de Vieira Gomes (2010), convergem para o mesmo valor para o TMDa de cerca de 16 000 veículos. No entanto, o andamento das curvas é diferente. O modelo global de Vieira Gomes (2010) com aplicação em 4 ramos diminui o declive com o aumento do tráfego médio diário, aproximando a sua previsão a um acidente por ano. Pelo

contrário, o modelo global e o modelo simples aplicados a 3 e 4 ramos desenvolvidos por Vieira Gomes (2010), tendem a aumentar o declive com o aumento do tráfego, ainda que de uma forma pouco significativa, apresentando um andamento muito semelhante e resultando em número de acidentes também semelhante. O modelo desenvolvido por Mountain e Fawaz distancia-se dos mencionados anteriormente, na medida em que o declive após o ponto de interseção com os restantes aumenta, chegando a prever 2 acidentes por ano quando o valor de TMDa se aproxima de 30 000.

O modelo desenvolvido por Greibe (2003) apresenta valores de previsão superiores aos restantes modelos mencionados, apresentando um declive sempre positivo e aproximadamente constante.

O modelo desenvolvido por Vieira Gomes (2010) aplicável a interseções de 4 ramos, aumenta o seu declive de forma acentuada, podendo-se observar 7 acidentes previstos por ano para valores de TMDa elevados (cerca de 30 000). Este modelo apresenta uma grande discrepância de resultados em relação aos restantes. Tal facto pode estar relacionado com a gama de valores associados às variáveis na fase de desenvolvimento.

4.1.3 Modelos de Rotundas

A Figura 4.3 apresenta os resultados obtidos da aplicação dos MEFA com aplicação a rotundas:

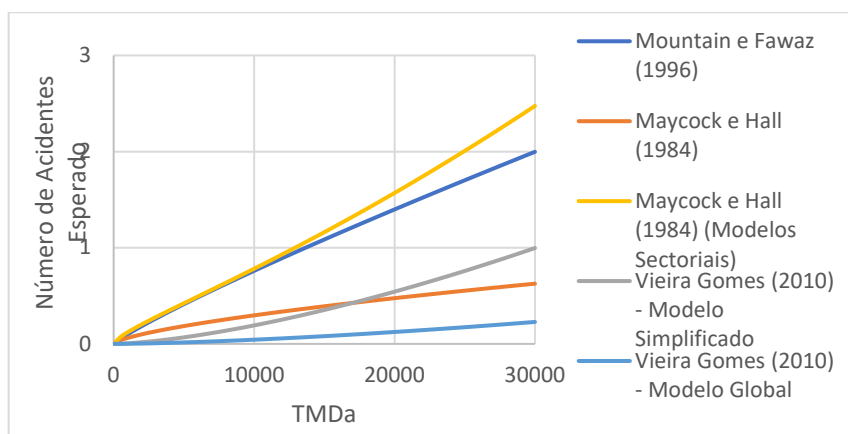


Figura 4. 3 – Resultados dos MEFA aplicados a rotundas

Para o modelo de Maycock e Hall (1964), considerou-se uma velocidade de circulação de 50 a 65 km/h para uma rotunda com 2 vias de circulação. Este modelo apresenta um declive positivo que tem tendência a perder magnitude com o aumento do tráfego, sendo que os restantes apresentam um declive que aumenta com o aumento do TMDa.

O modelo global desenvolvido por Vieira Gomes (2010) apresenta como variável explicativa o número de ramos da interseção, tendo-se considerado que existem 4 ramos, assumindo-se assim o valor 1. Para o TMDa analisado não existe ocorrência de acidentes, tendo-se comparado este resultado considerando a existência de 3 ramos. Foram obtidos valores de número de acidentes esperados mais reduzidos, concluindo-se assim que uma interseção com menos ramos leva a um aumento da segurança da interseção, uma vez que gera menos pontos de conflitos.

Comparando este modelo com o modelo simples, desenvolvido pela mesma autora, verifica-se alguma diferença na forma como a previsão é feita. Este modelo apresenta uma evolução positiva, que aumenta de forma mais rápida do que o modelo global, registando 1 acidente esperado por ano, para valores de TMDa superiores a 19 000 veículos.

Para os modelos sectoriais de Maycock e Hall (1984), foram admitidas algumas características geométricas da rotunda, para se estimar o valor do número de acidentes esperado por ano. A partir das boas práticas europeias, considerou-se que a largura de entrada para uma rotunda com duas vias é de 7 m e que a largura na aproximação à entrada é de 6 m. Com a correção da aproximação, dada pelo produto da largura da entrada pela largura na aproximação à entrada, este valor assumiu 42 m^2 . A curvatura da entrada é dada por $1/R$, onde R é o raio de entrada associada à trajetória de menor esforço o qual não deve ultrapassar os 100m, obtendo-se assim uma curvatura de $0,01 \text{ m}^{-1}$. Adotou-se o valor de 150° para o ângulo entre ramos e considerou-se que o raio correspondente ao círculo inscrito da rotunda é de 25m. A curvatura do ramo de aproximação é $1/30 \text{ m}^{-1}$. Todos estes valores respeitam os valores recomendados em termos de boas práticas internacionais.

A partir dos valores mencionados, obteve-se o número de acidentes esperados para a entrada da rotunda, para a circulação no anel, para a aproximação à rotunda e por fim, os acidentes do tipo despiste, tendo-se considerado como valor global o somatório destes valores parciais.

Da análise dos acidentes previstos na entrada da rotunda, verificou-se que quanto maior a curvatura, menor o número de acidentes previstos na entrada da rotunda. No entanto decresce a segurança relativamente aos acidentes que ocorrem na aproximação à rotunda e os acidentes por despiste. A diminuição da largura da entrada aumenta a segurança da rotunda no que diz respeito aos acidentes ocorridos na aproximação. Tal facto pode estar relacionado com a diminuição da velocidade na zona de aproximação e do potencial de conflito associado à redução do número de vias de entrada. No entanto, a diminuição deste valor leva a uma maior sinistralidade na entrada da rotunda, o que contraria o expectável já que a velocidade de entrada tende a aumentar. Quanto maior a correção da aproximação, menor será a segurança na entrada da rotunda, podendo este valor estar associado a uma maior liberdade de rotas que os condutores

possuem. No entanto, menores dimensões da largura da aproximação à entrada levam a maior número de acidentes por despiste. Quanto maior o valor do ângulo entre ramos dos anéis da rotunda, maior será a sinistralidade prevista no anel, podendo estar associado ao facto de o percurso poder ser feito com velocidades elevadas. A redução da curvatura do ramo de aproximação está associada a maiores níveis de acidentes previstos por despiste.

Uma vez que se consideraram os acidentes por despiste para os modelos sectoriais de Maycock e Hall, obtiveram-se previsões de ocorrência de acidentes superiores aos restantes modelos, os quais não fazem esta distinção, considerando unicamente os acidentes ocorridos com vítimas. Nota-se alguma diferença entre os modelos desenvolvidos por estes autores, sendo que os modelos sectoriais prevêem 1 acidente por ano para valores de TMDa entre 6 500 e 19 000 veículos, enquanto que o outro modelo prevê apenas a sua possível ocorrência a partir dos 22 000 veículos. É de notar que os modelos sectoriais não fazem distinção na velocidade de circulação dos veículos, nem nos diferentes parâmetros geométricos da rotunda. Assim, aplicou-se o modelo para diferentes valores, tendo-se verificado que para todos os tipos de rotunda considerados (convencional, dupla faixa de rodagem e pequena), bem como para as velocidades de circulação consideradas, o número esperado de acidentes varia entre 0 e 1, sendo que a rotunda convencional e a de dupla faixa de rodagem se comportam exactamente da mesma forma para velocidades de 50 a 65 km/h, sendo o tipo de rotunda mais segura, e a rotunda pequena é a que fornece menor segurança para velocidades praticadas de 50 a 65 km/h, como se pode verificar pela Figura 4.4.

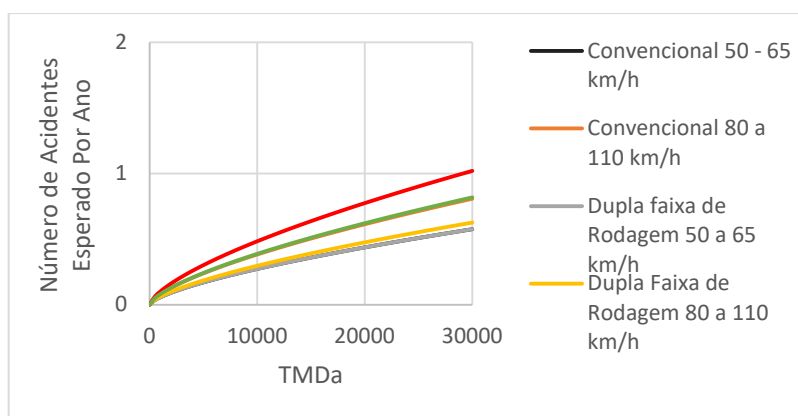


Figura 4. 4 – Comparação dos modelos simplificados de Maycock e Hall

Da análise dos MEFA aplicados aos diferentes tipos de interseções, é possível concluir, de uma forma geral, que as interseções de 4 ramos apresentam maiores níveis de sinistralidade sendo ainda os mais sensíveis ao aumento do TMDa. Isto pode estar relacionado com o número de pontos de conflitos que existem neste tipo de cruzamentos, sendo imperativo o correto

dimensionamento deste tipo de interseções para que se diminua o número de acidentes previsto. Pelo contrário, as rotundas apresentam maior segurança rodoviária, ainda que tal conclusão esteja muito dependente da geometria da rotunda. Em termos práticos, conclui-se que para existirem acidentes com vítimas neste tipo de interseções é necessário estar perante elevados valores de TMDa a circular.

4.1.4 Modelos que Incluem Peões

Para análise dos MEFA com atropelamentos foram selecionados os seguintes modelos:

Quadro 4. 2 – Resumo dos MEFA com atropelamentos selecionados para análise

TIPOLOGIA DA INTERSEÇÃO		AUTOR DO MEFA	MEFA	PAÍS DESENVOLVIDO
Rotundas		Garder (2004)	$A_p = 0.028 \times (T \times P)^{0.53}$	Suécia
		Vieira Gomes (2010)	$A_p = 8.0494 \times 10^{-7} \times FVP^{1.2289}$	Portugal
Interseções Prioritárias	3 Ramos	Maher e Summerville (1996)	$A_p = 0.052 \times T_{pinc}^{0.52} \times T_{sec}^{0.16} \times P^{0.46}$	Reino Unido
	4 Ramos	Vieira Gomes (2010)	$A_p = 4.6776 \times 10^{-8} \times T^{1.0785} \times P^{0.5942}$	Portugal
			$A_p = 6.3831 \times 10^{-10} \times FVP^{1.9624}$	
	3 e 4 Ramos	Vieira Gomes (2010)	$A_p = 2.7856 \times 10^{-8} \times T^{1.1475} \times P^{0.5746}$	Portugal
Brude e Larson (1993)			$A_p = 7.34 \times 10^{-6} \times T^{0.50} \times P^{0.72}$	

Optou-se por se selecionar os modelos mencionados no quadro anterior, uma vez que, tal como foi referido para os MEFA que excluem o número de atropelamentos, são modelos que poderão ter uma boa aplicabilidade a Portugal, dado terem sido desenvolvidos em países onde a geometria das interseções é semelhante.

Assim, considerou-se que para um TMDa de veículos fixo de 10 000, o TMDa de peões varia entre 0 e 600 peões por hora. Optou-se por esta relação uma vez que quando existe circulação de peões numa rua o TMDa não pode ser muito elevado, situação que indicaria a existência de disfunções e de problemas relacionados com a falta de uma hierarquização viária.

Obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 4.5 para as rotundas:



Figura 4. 5 – Resultados dos MEFA com atropelamentos aplicados a rotundas

Verifica-se que para os valores analisados não são esperados acidentes com atropelamentos. O modelo de Garder apresenta um declive acentuado numa fase inicial, e tende a diminuir, estabilizando a partir dos 100 peões/h. O modelo desenvolvido por Vieira Gomes (2010) apresenta um crescimento praticamente linear.

O modelo de Garder prevê atropelamentos apenas para cerca de 1 000 peões/h, enquanto o modelo de Vieira Gomes apenas prevê atropelamentos para 1 750 peões/h, para o mesmo número de TMDa, o que traduz um volume de peões extremamente elevado e pouco provável em domínio urbano. Para um máximo de 600 peões por hora a circularem na interseção, o modelo de Garder prevê acidentes a partir dos 16 000 veíc/dia, enquanto o modelo de Vieira Gomes prevê a partir do 37 000 veíc/dia.

Para as interseções de 3 ramos obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 4.6:

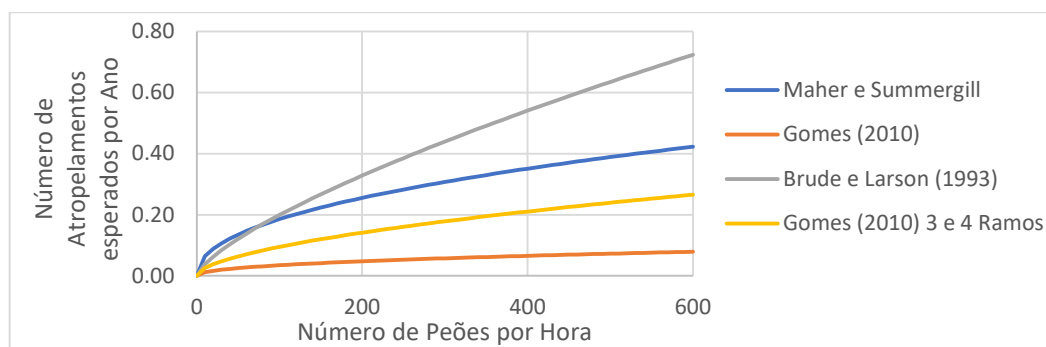


Figura 4. 6 – Resultados dos MEFA com atropelamentos aplicados a interseções de 3 ramos

Da análise dos modelos verifica-se que o que possui maior declive é o desenvolvido por Brude e Larson, para 3 e 4 ramos, o qual aponta para a possibilidade de ocorrência de acidente para valores superiores a 360 peões/h. Os restantes modelos apresentam desenvolvimentos semelhantes, sendo que o desenvolvido por Vieira Gomes para interseções de 3 ramos apresenta valores de previsão de atropelamentos muito reduzidos e com um declive muito pouco expressivo, tendendo sempre para valores próximos de zero mesmo face a valores elevados de volume de peões.

Verificou-se que o modelo de Maher e Summeggill prevê atropelamentos para valores superiores a 850 peões/h, enquanto Vieira Gomes prevê para 33 000 peões/h (valor pouco realista) no modelo aplicado a interseções de 3 ramos, e para 1 800 peões/h no modelo aplicado a interseções de 3 e 4 ramos, valores pouco prováveis em situação corrente e de normal funcionamento da rede urbana.

Obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 4.7 para interseções de 4 ramos:



Figura 4. 7 – Resultados dos MEFA com atropelamento aplicados a interseções de 4 ramos

Os modelos desenvolvidos por Vieira Gomes (2010) apresentam resultados semelhantes. No entanto, o modelo com aplicação a interseções de 4 ramos aumenta o declive com o aumento do fluxo de peões, enquanto o aplicado a interseções de 3 e 4 ramos diminui o declive com esse fator.

Por sua vez, o modelo de Vieira Gomes (2010) com aplicação a interseções de 4 ramos, apenas prevê acidentes para valores de fluxo pedonal superior a 1 000 peões/h.

Da análise dos vários modelos, verifica-se uma acentuada diferença entre os resultados obtidos quando são aplicados os modelos desenvolvidos no estrangeiro e os modelos desenvolvidos em Portugal, verificando-se um maior número de acidentes esperados nos primeiros. Esta situação pode indicar uma desadequação daqueles face à realidade portuguesa. É possível verificar também que se preveem atropelamentos para fluxos de peões elevados, ou para valores muito elevados de TMDa. Quando o TMDa é muito elevado e o volume de peões é baixo, prevêem-se muitos acidentes, provavelmente porque não é expectável por parte dos condutores que os peões circulem nessas zonas, refletindo um maior nível de desatenção e por inerência um maior nível de sinistralidade.

4.2 Avaliação da Adequação dos Modelos Face a Valores Reais de Sinistralidade

Tendo por base os dados oficiais de sinistralidade, retirados da base de dados da ANSR, para o período entre 2007 a 2011, foram compilados os acidentes ocorridos em algumas interseções localizadas na cidade de Coimbra.

Para o efeito foram selecionadas 5 interseções, das quais 3 rotundas e 2 entroncamentos, para as quais, tendo por base as características gerais da interseção e os volumes de procura de tráfego, se procurou aferir a comparabilidade dos resultados estimados pelos modelos com os efetivamente registados.

A análise da base de dados oficial permitiu constatar que as rotundas onde foram registados maior número de acidentes rodoviários são a rotunda Avenida Elísio de Moura, junto à PSP, a rotunda da Boavista e a rotunda da Fucoli, integrada na circular externa. É de notar que as interseções selecionadas, apesar de se localizarem em meio urbano, dentro da cidade de Coimbra, garantem o acesso direto a vias onde a principal função é a de circulação, pelo que as velocidades antes da aproximação à rotunda tendem a ser superiores a 50 km/h, bem como o tráfego que circula tende a ser elevado. O Quadro 4.3 resume o tráfego registado para cada uma das interseções selecionadas, retirados do modelo de simulação de transportes, graciosamente disponibilizado pela Metro Mondego à Universidade de Coimbra, para fins pedagógicos e de investigação.

Quadro 4. 3 – TMDa registados nas rotundas da Avenida Elísio de Moura, Boavista e Fucoli

TMDA	ROTUNDA AVENIDA ELÍSIO DE MOURA	ROTUNDA BOAVISTA	ROTUNDA DA FUCOLI
TMDa _{princ}	17955	46600	89840
TMDa _{sec}	39220	62660	60000
TMDa _{total}	57175	109260	149840

As variáveis geométricas prevaletentes de cada uma destas rotundas foram estimadas com base na imagem satélite do *Google maps*, apoiado pelo *Software Autocad*. O Quadro 4.4 resume as variáveis geométricas necessárias à aplicação dos MEFA. Por sua vez, o Quadro 4.5 apresenta os resultados relativos à aplicação dos MEFA selecionados na fase anterior.

Quadro 4. 4 – Características geométricas das rotundas da Avenida Elísio de Moura. Boavista e Fucoli

VARIÁVEIS GEOMÉTRICAS	ROTUNDA AVENIDA ELÍSIO DE MOURA	ROTUNDA BOAVISTA	ROTUNDA FUCOLI
Curvatura da Entrada	1/100 m ⁻¹	1/35.28 m ⁻¹	1/82.5 m ⁻¹
Largura da Entrada	7 m	7 m	7 m
Largura na aproximação à entrada	6 m	6 m	6 m
Raio do círculo inscrito da rotunda	29.5 m	35.6 m	41.3 m
Ângulo entre ramos	141°	153°	117°
Curvatura do ramo de aproximação	1/72 m ⁻¹	1/36 m ⁻¹	1/15 m ⁻¹

Quadro 4. 5 – Resultados dos MEFA aplicados às rotundas da Avenida Elísio de Moura, Boavista e Fucoli

REFERÊNCIA		ROTUNDA AVENIDA ELÍSIO DE MOURA	ROTUNDA BOAVISTA	ROTUNDA FUCOLI
Mountain e Fawaz (1996) (acidentes/5 anos)		15	25	35
Maycock e Hall (1984) (acidentes/5 anos)		5	5	10
Maycock e Hall Sectoriais (acidentes/5 anos)	Entrada	5	5	10
	Circulação do Anel	0	0	0
	Na Aproximação	15	75	90
	Despiste	10	15	0
	Total rotunda	15	20	10
	Total c/ aproxim.	30	95	100
Vieira Gomes (2010) (acidentes/5 anos)		15	35	55
Vieira Gomes (2010) Modelo Global (acidentes/5 anos)		0	10	15
Acidentes Reais Registrados pela ANSR (2007 a 2011)		10	8	17

A análise dos resultados evidencia uma grande dispersão, seja entre os diferentes modelos globais, seja entre estes e os setoriais. É ainda possível concluir que a aplicação dos modelos setoriais não deve ser aplicada de forma cumulativa, sendo particularmente evidente que os acidentes na aproximação à entrada na rotunda, não são contemplados nos modelos globais. Refira-se ainda que, tal como seria de esperar, os modelos globais se revelam particularmente sensíveis à variação do TMDa.

Os resultados são contudo inconclusivos na medida em que se identificam modelos que apontam para valores acima e outros abaixo dos valores reais observados. Registe-se ainda o facto de os modelos nacionais aplicáveis apontarem para valores extremamente díspares, o que evidencia o peso das características geométricas e outros fatores exógenos não contemplados na modelação. Importa sublinhar o número elevado de acidentes registados na rotunda da Avenida Elísio de Moura, os quais, segundo estudos anteriores (Bastos Silva, 2014) poderão estar associados à deficiente deflexão da rotunda, e por inerência à elevada dispersão de velocidades registadas, aspetos não contemplados de forma direta nestes modelos.

A título conclusivo é possível concluir que se justifica continuar a investir no desenvolvimento de modelos globais e setoriais, particularmente adaptados às condições de circulação nacionais, no sentido de o país dispor de ferramentas capazes de, com um nível de erro mínimo, estimar o nível de segurança oferecido por cada elemento infraestrutural.

No caso dos entroncamentos foram selecionadas duas interseções, um localizado na Avenida Conimbriga, junto à ponte Santa Clara, e outro na Avenida Emídio Navarro, junto ao Largo da Portagem. O TMDa registado para estas interseções está resumido no Quadro 4.6, o qual apresenta os dados disponibilizados pela Metro Mondego à Universidade de Coimbra. Por sua vez, o Quadro 4.7 apresenta os resultados da aplicação dos diversos MEFA.

Quadro 4. 6 – TMDa registados nos entroncamentos da Avenida Conimbriga e da Avenida Emídio Navarro

TMDa	AVENIDA CONIMBRIGA	AVENIDA EMÍDIO NAVARRO
TMDa _{princ}	27400	24570
TMDa _{sec}	1120	12430
TMDa _{total}	28520	37000

Quadro 4. 7 – Resultados dos MEFA aplicados aos entroncamentos da Avenida Conimbriga e da Avenida Emídio Navarro

ENTRONCAMENTO TIPO DE MODELO	REFERÊNCIA	AVENIDA CONIMBRIGA	AVENIDA EMÍDIO NAVARRO
Geral (acidentes/5anos)	Maher e Summerrill (1996)	5	10
	Mountain e Fawaz (1996)	5	10
	Greibe (2003)	5	15
3 Ramos (acidentes/5anos)	Vieira Gomes (2010)	5	5
	Vieira Gomes (2010) Modelo Global	25	15
3 e 4 Ramos (acidentes/5anos)	Vieira Gomes (2010)	5	10
	Vieira Gomes (2010) Modelo Global	5	5
Acidentes Reais Registados pela ANSR (2007 a 2011)		3	7

A análise dos resultados evidencia que, mais uma vez se verifica que todos os modelos se revelam particularmente sensíveis à variação do TMDa. De forma genérica, verifica-se que os resultados dos diferentes modelos estrangeiros são tendencialmente consensuais, apontando

para 1 acidente/ano na interseção da Avenida Conimbriga e para 2 a 3 no entroncamento da Avenida Emídio Navarro. Na realidade, estes valores cifram-se ligeiramente acima do número de acidentes anual realmente registado em cada local, confirmando-se contudo a tendência de variação entre as duas interseções analisadas.

A maior dispersão cifra-se na aplicação dos modelos nacionais desenvolvidos por Vieira Gomes, nas suas diferentes formas. Tal como já registado anteriormente, o modelo global aplicável a interseções com 3 ramos é o que aponta para valores mais elevados e, por sua vez, se distancia dos resultados apresentados pelos restantes modelos. Seria particularmente relevantes tentar conhecer a gama de variação de cada um dos parâmetros e variáveis adotados na modelação de forma a tentar perceber se se trata de um problema de âmbito de aplicação. Assim, e à semelhança dos modelos aplicáveis a rotundas, também no que respeita os modelos de interseções com 3 ramos se justifica continuar a desenvolver modelos mais robustos e capazes de refletir o comportamento do condutor português e as características prevaletentes da rede nacional.

Refira-se ainda que se optou por não se aplicar esta análise a interseções de 4 ramos, já que não foi possível identificar em Coimbra, locais com esta tipologia de interseção que tivessem registos de acidentes rodoviários para além de interseções reguladas por sinais luminosos.

A título conclusivo, refira-se que a inexistência de uma relação visível entre o número de acidentes reais e os previstos pela aplicação de MEFAs, era contudo previsível e pode dever-se à conjugação de diversos fatores. A falta de georreferenciação associada à base de dados da ANSR, traduz-se numa dificuldade em associar, com precisão espacial o acidente a um determinado elemento rodoviário. Também a inexistência de contagens de tráfego contínuas no tempo, leva a que, normalmente nestas análises se opte por TMDas deduzidos através dos volumes de tráfego registados em período de ponta, o que naturalmente acarreta erros adicionais.

4.3. Validação dos Resultados com base em técnicas de análise de conflitos

Na sequência dos resultados do ponto anterior e que apontam para uma dispersão alargada dos resultados sem se evidenciar uma tendência clara entre o número de acidentes reais e os estimados através da aplicação de um dos MEFA analisados, optou-se por avaliar a similaridade dos resultados, comparativamente aos conflitos contabilizados por observação direta, recorrendo à técnica sueca de análise de conflitos.

Para o efeito foram selecionadas duas interseções, ambas por razões logísticas, localizadas na cidade de Coimbra: uma interseção de 3 Ramos, situada na Avenida Bissaya Barreto e uma

rotunda, localizada na Avenida Fernão Magalhães. A análise foi suportada pela recolha de dados reais, contemplando contagens de tráfego direcionais e de conflitos, segregados por tipologia e por período temporal.

4.3.1 Número de Acidentes Previstos nas Interseções em Estudo

O Quadro 4.8 apresenta estimativa do número de acidentes anuais, para a rotunda da Avenida Fernão Magalhães, recorrendo aos modelos de rotunda selecionados no ponto anterior. A estimativa teve por base o volume do tráfego registado diretamente no local e os parâmetros geométricos medidos com base na fotografia aérea.

Quadro 4. 8 – Resultados dos MEFA aplicados à rotunda da Avenida Fernão Magalhães

MEFA		NÚMERO DE ACIDENTES PREVISTOS POR ANO
Mountain e Fawaz (1996)		2
Maycock e Hall (1984)		1
Maycock e Hall Sectoriais (1984)	Entrada	1
	Circulação no Anel	0
	Na Aproximação	1
	Despiste	0
	Total	2
Vieira Gomes (2010)		1
Vieira Gomes (2010) Global		0

No que respeita ao cruzamento da Avenida Bissaya Barreto e atendendo a que o mesmo apesar de formalmente só oferecer 3 ramos, incorpora adicionalmente um acesso de saída complementar para acesso ao IPO, sujeito a elevados níveis de procura, optou-se por aplicar modelos de 3 e os de 4 ramos.

Tendo por base os dados recolhidos, e sabendo que as vias do cruzamento têm cerca de 4 metros de largura, obtiveram-se os resultados apresentados no Quadro 4.9.

Quadro 4. 9 – Resultados dos MEFA aplicados à interseção da Avenida Bissaya Barreto

ENTRONCAMENTO (3 RAMOS)		CRUZAMENTO COM 4 RAMOS	
MEFA – (3 Ramos)	N. Acidentes (Ano)	MEFA – 4 Ramos	N. Acidentes (Ano)
Maher e Summerygill (1996)	0	Mountain e Fawaz (1996)	0
Mountain e Fawaz (1996)	1	Greibe (2003)	1
Greibe (2003)	0	Vieira Gomes (2010)	2
Vieira Gomes (2010)	0	Vieira Gomes (2010) (3 e 4 Ramos)	0
Vieira Gomes (2010) (aplicado a 3 e 4 Ramos)	0	Vieira Gomes (2010) (modelo global)	0
Vieira Gomes (2010) (modelo global)	2	Vieira Gomes (2010) (modelo global 3 e 4 Ramos)	1
Vieira Gomes (2010) (modelo global aplicado a 3 e 4 Ramos)	0		

Complementarmente refira-se que a aplicação dos MEFA que estimam o número de atropelamentos por ano, para interseções de 3 ramos, não preveem atropelamentos para a interseção em estudo.

4.3.2. Comparação do Número de Acidentes Previstos com o Número de Conflitos de Tráfego

Conforme já foi referido, a técnica de análise de conflitos foi aplicada a este cruzamento (v. ponto 3.6) com vista a contabilizar os potenciais conflitos, enquanto indicador indireto do nível de segurança oferecido pela interseção. Contudo, importa ter presente que este indicador não é diretamente relacionável com o número de acidentes, sendo contudo representativo do nível de segurança, tendo a vantagem de poder ser aplicado *a priori*, ou seja, antes da ocorrência dos acidentes. Vários estudos realizados mostram que não existe uma relação entre estes dois indicadores de sinistralidade (Williams, 1989). Ainda assim, é de esperar que, para maiores níveis de tráfego se registre maior número de conflitos rodoviários.

A análise desenvolvida teve por base a variação do tráfego da hora de ponta registado nas interseções estudadas, repartindo o TMDa em quatro partes em função de períodos de 15 minutos e comparando-os com a recolha do número de conflitos para cada um desses períodos.

A Figura 4.8 apresenta o número de conflitos de tráfego observados recorrendo à técnica sueca de análise de conflitos, comparativamente ao número de acidentes esperado, aplicando os MEFA em função do TMDa para a rotunda da Avenida Fernão de Magalhães.

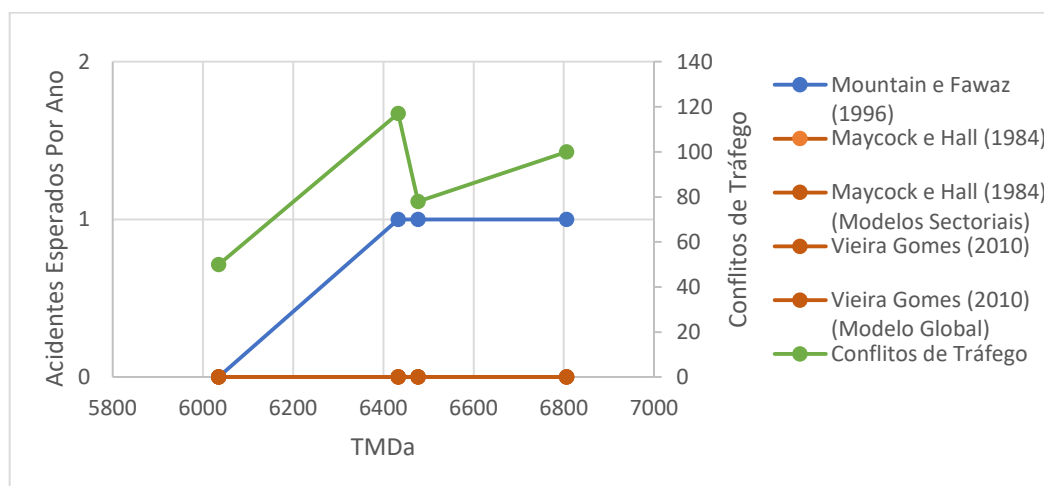


Figura 4. 8 – Comparação do número esperado de acidentes por ano com o número de conflitos de tráfego na rotunda da Avenida Fernão Magalhães

Não é possível comparar de forma evidente o número de acidentes esperado com o número de conflitos gerados para o mesmo número de TMDa, uma vez que os MEFA não fornecem valores muito diferentes para o TMDa em análise. Contudo é evidente a existência de uma similaridade entre o número de conflitos registados e os acidentes estimados através do modelo Mountain e Fawaz (1996), embora, e tal como seria expectável, a técnica de análise de conflitos se revele mais sensível a pequenas variações das condições de circulação. De facto, o número de conflitos de tráfego para cada um dos 15 minutos analisados varia entre os 50 e os 120, sendo que face à variação do TMDa registada, apenas Mountain e Fawaz se mostrou sensível à sua variação, justificando a passagem de 0 para 1 acidente/ano.

A mesma análise foi levada a cabo na interseção da Avenida Bissaya Barreto. Quando considerados os modelos de 4 ramos, verificou-se que o número de acidentes estimado resultou em 0. Por essa razão, optou-se por não apresentar aqui os resultados, na medida em que a não previsão de acidentes inviabilizou a aplicação de análises comparativas. Por sua vez, a aplicação dos modelos de 3 ramos obteve os resultados apresentados na Figura 4.9.

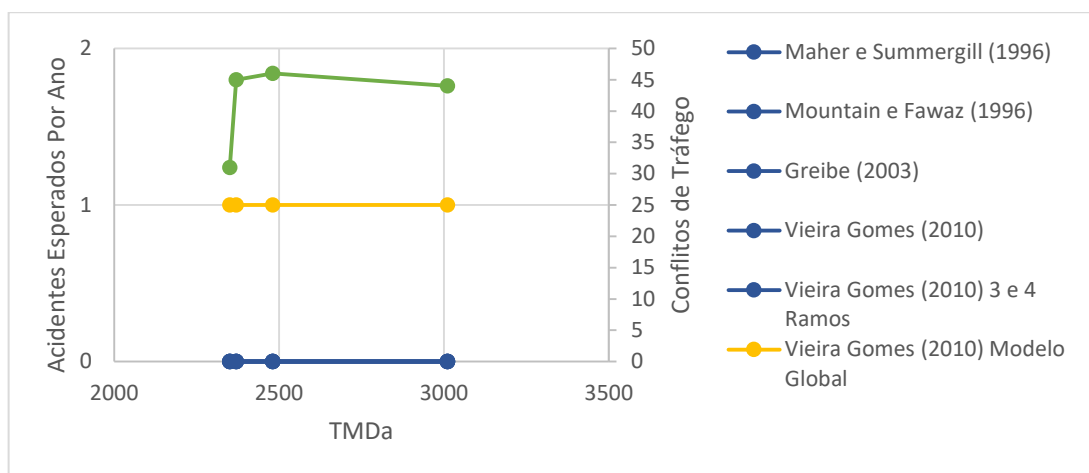


Figura 4. 9 – Comparação do número esperado de acidentes por ano com o número de conflitos de tráfego na interseção da Avenida Bissaya Barreto

Não é, mais uma vez, evidente a existência de uma relação clara entre o número de acidentes esperados e o número de conflitos gerados para o mesmo número de TMDa, uma vez que as oscilações registadas ao nível do TMDa não foram suficientemente elevadas para justificarem a existência de variações do número de acidentes estimados através dos MEFA. Na realidade o número de conflitos de tráfego na Avenida Bissaya Barreto assume uma variação pouco significativa – entre os 30 a 50 conflitos por cada 15 minutos-, sendo que os resultados dos MEFA não resultam em qualquer variação.

Apesar disso e mais uma vez se verifica uma maior sensibilidade do registo de conflitos face às variações do TMDa comparativamente aos MEFA. Contudo e no que respeita aos resultados obtidos neste cruzamento, verifica-se que até o registo de conflitos se revelou pouco sensível a esse crescimento. Os resultados são assim inconclusivos, justificando o desenvolvimento de investigação complementar, designadamente através do aumento significativo da amostra e que permita aumentar a variabilidade dos resultados e potencie a definição de tendências mais claras e robustas. Refira-se contudo que a aleatoriedade associada aos fenómenos estocásticos do tráfego resultantes das leis de chegada de tráfego e as características intrínsecas dos condutores podem igualmente contribuir para a definição de tendências pouco claras, reforçando a necessidade de se alargar consideravelmente a amostra para a definição de tendências e/ou correlações.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

A segurança rodoviária é uma problemática crescente e que envolve atualmente uma luta quer da sociedade em geral, quer do poder político, constituindo-se como um dos objetivos governamentais, inserir Portugal entre os 10 melhores países europeus, em termos de sinistralidade, até 2020.

A sinistralidade rodoviária pode ser prevenida ou corrigida, sendo que os MEFA potenciam uma ação preventiva ao permitir intervir logo em fase de projeto. A partir destes, é possível estimar e perceber a forma como, previsivelmente, a rede rodoviária se tenderá a comportar ao nível da segurança, e entender a forma como cada um dos fatores intervenientes mais relevantes pode contribuir para a geração de acidentes. O volume de tráfego que circula na rede afirma-se como o fator de exposição mais relevante para a estimativa do número de acidentes rodoviários, contudo não atua de forma isolada. Os acidentes rodoviários resultam da contribuição conjunta de múltiplos fatores, relacionados designadamente com o condutor, o ambiente rodoviário e o veículo. Paralelamente é possível recorrer a técnicas preventivas alternativas, como é o caso das técnicas de análise de conflitos de tráfego aplicada a uma dada secção de estrada ou a uma interseção. Esta técnica permite contabilizar o número de potenciais conflitos, os quais não sendo diretamente proporcionais ao número de potenciais acidentes, se revela uma técnica alternativa promissora na estimativa do nível de segurança.

Nesta linha de ação, a presente dissertação teve como principal objetivo a identificação e avaliação do nível de aplicabilidade de um conjunto de MEFA aplicáveis a interseções urbanas nacionais, bem como averiguar quais as principais variáveis explicativas que estão associadas aos acidentes rodoviários e de que forma elas contribuem para o aumento ou diminuição do nível de sinistralidade.

Da seleção dos MEFA referidos na recolha bibliográfica, procurou-se perceber a evolução do número estimado de acidentes tendo em consideração a variação do volume de tráfego e das variáveis geométricas das interseções e também perceber se os modelos estrangeiros assumiam um comportamento semelhante aos desenvolvidos a nível nacional. De forma a limitar a

extensão do documento, limitou-se a análise a modelos aplicados a interseções de 3 ramos, de 4 ramos e a rotundas.

Para os vários modelos analisados, observou-se que todos apresentam um crescimento do número previsto de acidentes com o aumento do TMDa. A influência das características geométricas foi observada para um número reduzido de modelos, uma vez que, na sua maioria apresentam uma forma simplificada unicamente dependente do TMDa, revelando-se por isso insensíveis à variação da geometria.

No que diz respeito aos MEFA aplicados a interseções de três ramos, foi possível concluir, a partir dos modelos globais desenvolvidos por Vieira Gomes (2010), que as variáveis que contribuem para o aumento da sinistralidade na interseção são o aumento do número e da largura das vias na direção principal, existência de vias exclusivas de viragem à direita na direção principal e a presença de sinalização semafórica. Na realidade é assim possível inferir que a variação desses parâmetros se traduz na geração de comportamentos erráticos, seja pela liberdade de movimentos e manobras, seja pela prática de velocidades mais elevadas. No caso dos sistemas semaforizados, refira-se que apesar do número de acidentes aumentar, são em geral pouco graves e do tipo frente-traseira. Por oposição as variáveis que mais contribuem para o aumento da segurança no cruzamento são a existência de um número igual de vias nos vários ramos afluentes e a presença de separador central na via principal. Tal resultado deve-se à possibilidade da interseção garantir a continuidade dos diferentes movimentos, sem necessidade de geração de conflitos por entrecruzamento, ao mesmo tempo que se aposta na legibilidade e separação dos atravessamentos em 2 fases.

Do modelo global desenvolvido por Vieira Gomes (2010) aplicado a interseções de 4 ramos, foi ainda possível inferir que a existência de ramos com sentidos únicos se traduz no aumento da segurança do cruzamento, refletindo a redução do número de pontos de conflito.

Por sua vez, o modelo da mesma autora aplicado a rotundas, apresenta como variável explicativa o número de ramos da interseção sendo que o aumento desta variável se traduz no aumento da propensão de acidente. Já os modelos setoriais de Maycock e Hall (1984), mostraram que o aumento do nível de curvatura na entrada da rotunda se reverte na diminuição do número de acidentes na entrada, embora acompanhado de um aumento do número de acidentes na aproximação. Também a diminuição da largura da entrada na rotunda se traduz numa melhoria da segurança na aproximação da rotunda e num agravamento da sinistralidade na secção da entrada. Embora este resultado contrarie o expectável tal resultado pode refletir o efeito não estudado entre os autores de correlação entre variáveis.

Quando comparados com os resultados dos modelos aplicáveis às diferentes interseções concluiu-se que, em geral, as interseções de 4 ramos são as que apresentam os maiores níveis de sinistralidade, sendo ainda as mais sensíveis ao aumento do TMDa. Por oposição, as rotundas foram as que atingiram o maior nível de segurança, ainda que tal conclusão esteja muito dependente da geometria da rotunda, sendo necessário estar perante valores de TMDa extremamente elevados para justificarem a ocorrência de acidentes com vítimas.

Da análise feita aos MEFA com atropelamentos, verificou-se que existe uma desadequação elevada dos modelos desenvolvidos no estrangeiro aos desenvolvidos a nível nacional, verificando-se valores superiores de atropelamentos aos modelos desenvolvidos no estrangeiro. Constatou-se que apenas tendem a ocorrer atropelamentos para um número de peões ou de TMDa extremamente elevados.

A análise comparativa entre o número de acidentes estimados pelos MEFA e os efetivamente registados na base de dados oficial da ANSR, baseou-se na análise comparativa aplicada a 5 interseções. Os resultados obtidos revelaram-se inconclusivos demonstrando a necessidade de se continuar a investir, a nível nacional, no desenvolvimento e/ou calibração de novos modelos. Para isso contribui a dificuldade de se obterem dados fidedignos seja em termos de localização georreferenciada dos acidentes, seja pelos custos associados à recolha contínua de dados, designadamente do tráfego.

Por essa razão, a presente tese procurou ainda inferir os resultados resultantes da aplicação de uma metodologia alternativa, baseada nas técnicas suecas de análise de conflitos. O método foi aplicado a uma rotunda e a um cruzamento, ambos localizados na cidade de Coimbra, recorrendo a contagens de tráfego direcionais e à observação *in loco* dos potenciais conflitos, durante a hora de ponta. Também aqui os resultados foram inconclusivos, o que, em grande parte, se poderá dever à baixa variação do TMDa durante a hora de ponta. Apesar disso, é visível uma tendência suave de crescimento do número de pontos de conflito com o aumento do TMDa, sendo que este tipo de técnicas se revelou mais sensível à variação da procura do tráfego comparativamente aos MEFA.

Importa contudo ter presente que os resultados do presente estudo foram extremamente condicionados pela limitação de recursos humanos disponíveis. Idealmente, a recolha dos dados de tráfego automóvel e pedonal deveria ter sido realizada durante diferentes períodos do dia de forma a garantir uma amostra com variabilidade ao nível da procura de tráfego. Por outro lado, a recolha do número de potenciais conflitos de tráfego nos cruzamentos deveria, igualmente ser alargada para um período mais extenso, incorporando diferentes condições de circulação envolvendo preferencialmente um conjunto de observadores no local em observação simultânea.

Por fim, referir que, face ao potencial evidenciado na última década, pelas técnicas de microssimulação, se justifica complementarmente explorar esta nova metodologia, enquanto método alternativo, introduzindo no problema novas variáveis, com a variação estocástica do tráfego, seja pela variação das condições de circulação ao longo do dia, da semana, do mês e do ano, seja pela variação comportamental dos condutores e da pluralidade do parque automóvel que opera em espaço urbano.

Apesar de algumas inconclusões considera-se que foram atingidos os objetivos previamente definidos. Ficaram evidentes as fraquezas e debilidade dos MEFA, a dificuldade de recolhas extensivas de dados e as imprecisões intrínsecas à base de dados oficial. Contudo e mais do que um produto acabado, esta dissertação procurou explorar metodologias de avaliação, considerando-se que ficam assim abertas novas janelas de oportunidade para prossecução de trabalhos futuros.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antoniou, C., Papadimitriou, E. e Yannis, G. (2014), Road Safety Forecasts in Five European Countries Using Structural Time Series Models, *Traffic Injury Prevention*, 15(1), 598-605.
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2016), Ano de 2016. Sinistralidade Rodoviária: Vítimas no Local – Relatório Anual, Observatório de Segurança Rodoviária.
- Bastos Silva, A., Seco, Á. (2008), Rotundas, CCDR-N, 13-21.
- Bastos Silva, A., Seco, Á., Macedo, J. (2008), Interseções Prioritárias e de Prioridade à Direita, CCDR-N, 9-15.
- Cardoso, J. (1996), Estudo das Relações entre as Características da Estrada, a Velocidade e os Acidentes Rodoviários. Aplicação a Estradas de Duas Vias e Dois Sentidos, Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Cardoso, J. L., (2013) Inspeção de Segurança Rodoviária a Estradas da Rede Rodoviária Nacional. Noções Básicas do Método desenvolvido no LNEC para o INIR, 7º Congresso Rodoviário Português, Lisboa, LNEC, Portugal, 10-12 Abril, 1-10
- Chin, H. C., Quddus, M. A. (2003), Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections, *Accident Analysis and Prevention*, 35(1), 253-259.
- Chin, H., Quek, S. (1997), Measurement of Traffic Conflicts, *Safety Science*, 26(3), 169-185.
- Costa, A., Seco, Á., Vasconcelos, A. (2008), Sinais Luminosos, CCDR-N, 9-33.
- Costa, J. (2013), *Desenvolvimento dum modelo de previsão de acidentes*, Tese de Doutoramento, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 57-171.
- Costa, J. O., Freitas, E., Jacques, M. e Pereira, P. (2016) Fatores Contribuintes de Acidentes Ocorridos em Intersecções de três Ramos em Portugal: Elementos de Consistência Geométrica, 8º Congresso Rodoviário Português, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 1-10
- Costa, J. O., Freitas, E., Pereira, P. e Jacques, M. (2012) Acidentes Rodoviários das Estradas Nacionais de Portugal: Estudo da Associação entre as Variáveis Recolhidas, *C-TAC – Comunicações a Conferências Nacionais*, Universidade do Minho Ed., livro de atas seminário GVR.pdf, 1-12.
- Eenink, R.; Reurings, M., Elvik R., Cardoso, J., Wichert, S., Stefan, C. (2005), Accident Prediction Models and Road Safety Impact Assessment: a state-of-the-art. Projecto Europeu RPCORD-ISEREST, Junho de 2005

-
- Ellison, A. B., Greaves, S. P. e Bliemer, M. (2015), Driver behavior profiles for road safety analysis, *Accident Analysis and Prevention*, 76(1), 118-132.
- Enciclopédia Verbo Luso-Brasileira de Cultura, Edição Século XXI, Verbo Ed., Vol. 20, pag. 205, 1999
- Fernandes, A. e Neves, J. (2013), An approach to accidents modeling based on compounds road environments, *Accident Analysis and Prevention*, 53(1) 39-45.
- Ferreira, A. (2011), Briefing: New developments in road safety management, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Municipal Engineer*, 164(3), 149-152.
- Ferreira, A.; Jesus, J. e Pinto, J. (2010), Road safety management system for Oliveira do Bairro, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Transport*, 163(3), 143-155.
- Garder, P. (2004), The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine, *Accident Analysis and Prevention*, 36(1), 533-542.
- Gettman, D., Head, L. (2003), Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models, *U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Report No. FHWA-RD-03-050*.
- Greibe, P. (2003), Accident prediction models for urban roads, *Accident Analysis and Prevention*, 35(1), 273-285.
- Gregoriades, A., Mouskos, K. C. (2013), Black spots identification through a Bayesian Networks quantification of accident risk index, *Transportation Research Part C*, 28(1), 28-43.
- Gross, F., Lyon, C., Persaud, B., Srinivasan, R. (2013), Safety effectiveness of converting signalized intersection to roundabouts, *Accident Analysis and Prevention*, 50 (1), 234-241.
- Gstalter, H., Fastenmeier, W., (2007), Thirty years of traffic safety research: A personal retrospective of concepts and methods, *Proceedings of 20th Workshop of International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety*, Valencia, Spain.
- Hauer, E. (1997), *Observational Before-after Studies in Soad Safety*, Pergamon, Oxford, UK, 9-58 e 171-269.
- Hauer, E. (2010), Cause, effect and regression in road safety, *Accident Analysis and Prevention*, 42(1), 1128-1135.
- Hauer, E. (2010), On prediction in road safety, *Safety Science*, 48(1), 1111-1122.
- Laureshyn, A., Svensson, A., Hydén, C. (2010), Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation, *Accident Analysis and Prevention*, 42(1), 1637-1646.
- Lopes, S.; Cardoso, J. L. (2007), Accident Prediction Models for Portuguese Motorways, LNEC, Lisboa, Portugal, 3-97.
- Lopes, S.; Cardoso, J. L. (2009), Accident Prediction Models For Bidirectional Data on Portuguese Motorways, LNEC, Lisboa, Portugal, 3-126.

-
- Lord, D., Mannering, F. (2010), The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives, *Transportation Research Part A*, 44(1), 291-305.
- Lord, D., Washington, S. P., Ivan, J. N. (2005), Poisson, Poisson-gamma and zero inflated regression models of motor vehicle crashes: balancing statistical fit and theory, *Accidente Analysis and Prevention*, 37(1), 35-46.
- Maher, M. J., Summersgill, I. (1996), A comprehensive methodology for the fitting of predictive accident models, 28(3), 281-296.
- Mountain, L., Fawaz, B., Jarrett, D. (1996), Accident Prediction Models for Roads with Minor Junctions, *Accident Analysis and Prevention*, 28(6), 695-707.
- OECD – Road safety principles and models: Review of descriptive, predictive, risk and accident consequence models, 1997
- Organização Mundial de Saúde (2015), Relatório Global Sobre o Estado da Segurança Viária – Sumário, *Organização Mundial de Saúde*, Genebra, Suíça , 1-16.
- Parker, M. R., Zegeer, C. V. (1989), Traffic conflict techniques for safety and operations – observers manual, *Publication No. FHWA-IP-88-027, Federal Highway Administration*, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- Report, *Publication ETD02*, Transport Technology Division, Department of Main Roads, Brisbane, Australia.
- Retting, R. A., Persaud, B., Garder, P., Lord, D. (2001), Crash and Injury Reduction Following Installation of Roundabouts in the United States, *American Journal of Publish Health*, 91 (4), 628-631.
- Roque, C. e Cardoso, J. L. (2013), Observations on the relationship between European standards for safety barrier impact severity and the degree of injury sustained, *IATSS Research*, 37(1), 21-29.
- Roque, C. e Cardoso, J. L. (2014), Investigating the relationship between run-off-the-road crash frequency and traffic flow through different functional forms. *Accident Analysis and Prevention*, 63 (1), 121-132.
- Roque, C. e Cardoso, J. L. (2016), Investigação de Novas Formas Funcionais para Melhoria da Aplicabilidade dos Modelos de Estimativa de Frequência de Acidentes, 8º Congresso Rodoviário Português, LNEC, Lisboa, 12-14 Abril, 1-10.
- Roque, C., Cardoso, J. L. (2013), SAFESIDE – Sinistralidade Envolvendo a Área Adjacente à Faixa de Rodagem, Definição de cenários tipo para acidentes envolvendo a área adjacente à faixa de rodagem, LNEC, Lisboa, Portugal, 3-100.
- Roque, C., Moura, F. e Cardoso, J. L. (2015), Detecting unforgiving roadside contributors through the severity analysis of ran-off-road crashes. *Accident Analysis and Prevention*, 80(1), 262-273.
- Sayed, T., Zaki, M. H., Autey, J. (2013), Automated safety diagnosis of vehicle-bicycle interactions using computer vision analysis, *Safety Scince*, 59, 163-172.
-

-
- Sayed, T., Zein, S. (1999), Traffic conflict standards for intersections, *Transportation Planning and Technology*, 22(4), 309-323.
- Seco, Á., Antunes, A., Costa, A., Bastos Silva, A., (2008), Princípios Básicos de Organização de Redes Viárias, CCDR-N, 7-15.
- Seco, Á., Ferreira, S., Silva, A., Costa, A. (2008), Segurança Rodoviária, CCDR-N, 9-33.
- TRB, 2010. *Highway Capacity Manual 2010*, Washington D.C., Transportation Research Board – National Research Council.
- Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. E., Stansifer, R. L. e Castellan, N. J. (1997), *Tri-Level Study of the Causes of Traffic Accidents. Executive Summary*, Institute for Research in Public Safety, Indiana University Ed., 1-82.
- União Europeia, 2008 - – Diretiva 2008/96/CE do Parlamento e do Conselho de 19 de Novembro, Relativa à gestão da segurança da infraestrutura rodoviária.
- Vasconcelos, L., Neto, L., Seco, Á. M., Bastos Silva, A. (2014), Validation of the surrogate safety assessment model for assessment of intersection safety, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no. 2432, 1-9.
- Vieira Gomes, S. e Cardoso J. L. (2013), Avaliação do Impacte sobre a Segurança Rodoviária de Planos de Segurança Municipais, 7º Congresso Rodoviário Português, LNEC, Lisboa, Portugal, 10-12 Abril, 1-10
- Vieira Gomes, S. (2010), *Avaliação da Influência da Infra-estrutura na Segurança Rodoviária em Meio Urbano, Tese de Doutoramento*, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 53-278.
- Vieira Gomes, S. (2013) Avaliação da Influência da Infraestrutura na Segurança Rodoviária em Meio Urbano, 7º Congresso Rodoviário Português, LNEC, Lisboa, Portugal, 1-10
- Vieira Gomes, S. (2013), The influence of the infrastructure characteristics in urban road accidents occurrence. *Accident Analysis and Prevention*, 60 (1), 289-297.
- Vieira Gomes, S. e Cardoso, J. L. (2012), Safety effects of low-cost engineering measures. An observational study in a Portuguese multilane road. *Accident Analysis and Prevention*, 48(1), 346-352.
- Vieira Gomes, S., Cardoso, J., Carvalheira, C. e Santos, L. P. (2008), Accident Prediction Models For Urban Areas a State-of-the-art, Conference 3rd European Pavement and Asset Management Conference, Coimbra, Portugal, 1-10.
- Vieira Gomes, S.; Cardoso, J. L.; Carvalheira, C.; Santos, L. P. (2011), Estado-da-arte sobre medidas de engenharia de segurança rodoviária em ambiente urbano e sobre modelos d estimativa da frequência de acidentes, LNEC, Lisboa, Portugal, 69-130.
- Washington, S. P., Karlaftis, M. G., Mannering, F. L., (2003), Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis, CHAPMAN & HALL/CRC,
- Williams, M. J. (1981), Validity of the Traffic Conflicts Technique, *Accident Analysis and Prevention*, 13 (1), 133-145.
-

- Wood, G. R., (2002), Generalised linear accident models and goodness of fit testing, *Accident Analysis and Prevention*, 34(1), 417-427.
- Yannis, G., Dragomanovits, A., Laiou, A., Richter, T., Ruhl, S., Torre, F., Domenichini, L., Graham, D., Karathodorou, N. e Li, H. (2016), Use of accident prediction models in road safety management – an international inquiry, *Transportation Research Procedia*, 14(1), 4257-4266.
- Zeeger, C. V., Stewart, R., Council, F. M., Reinfurt, D. W. e Hamilton, E. (1992), Safety effects of geometric improvements on horizontal curves, *Transportation Research Record*, nº 1356, 11-19.
- Zheng, L., Ismail, K., Meng, X. (2014), Traffic conflict techniques for road safety analysis: open questions and some insights, *NRC Research Press*, 41 (1), 633-641.
- Zou, Y., Tarko, A. P., Chen, E. e Romero, M. A. (2014), Effectiveness of cable barriers guardrails, and concrete barrier walls in reducing the risk of injury, *Accident Analysis and Prevention*, 72 (1), 55-65.