

A SEGURANÇA RODOVIÁRIA NO PROCESSO DE PLANEAMENTO DO SISTEMA DE TRANSPORTES EM MEIO URBANO

S. Ferreira e A. Pires da Costa

RESUMO

O planeamento do sistema de transportes é uma actividade importante que permite antecipar as consequências de determinadas acções avaliando os impactes daí decorrentes, nomeadamente ao nível da sinistralidade.

Com este trabalho pretende-se analisar diferentes formas de integrar a segurança rodoviária no processo de planeamento e de tomada de decisão em meio urbano, propondo-se uma estrutura para a sua análise e avaliação. Dado que nesta fase os dados disponíveis são ainda pouco precisos, dificultando a estimação dos efeitos das soluções estudadas, apresenta-se, ainda neste trabalho, modelos econométricos que atendem à limitação dos dados, em particular, os relativos às características geométricas e de tráfego.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial de Saúde, em 2020 os acidentes rodoviários serão, no mundo, a terceira causa de morte e incapacidade humana. Os países com tradição no investimento rodoviário enfrentaram já esta problemática e iniciaram acções com vista a mitigação dos acidentes. A União Europeia (UE) estabeleceu o objectivo, para os países integrados, de reduzirem para metade o número de mortos até 2010 relativamente a 2000. Em Portugal, este objectivo foi alcançado, tendo sido recentemente aprovada a Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária 2008-2015, onde se definem novos objectivos a atingir em duas fases. Não obstante os resultados positivos é de salientar que essa redução partiu de um número elevado de mortos e feridos, continuando Portugal em 2006 a posicionar-se como um dos países com o maior número de mortos por 1 milhão de habitantes, estando acima da média da UE tal como é referido no documento “Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária 2008-2015” (ANSR, 2009).

A maior parte do número de ocorrências em Portugal, regista-se dentro das localidades (69,3% dos acidentes e 66% das vítimas) (DGV, 2006), onde se realizam grande parte das actividades diárias da nossa sociedade actual. Ao nível do sistema de transportes, as entidades locais procuram garantir a mobilidade e a acessibilidade mas, na maior parte das vezes, sem considerar devidamente a segurança rodoviária e o meio ambiente. Tradicionalmente, o planeamento em meio urbano é centrado na definição de níveis de ocupação do solo e da classificação hierárquica viária. Partindo desta definição, é estimada a procura nos transportes resultante da distribuição da população e do emprego. Em Portugal, e na maior parte dos países desenvolvidos, não há uma tradição neste processo em analisar as consequências ao nível da sinistralidade, podendo ser, eventualmente,

analisada de uma forma pontual em resposta a situações específicas e não de uma forma organizada e sistemática.

A segurança rodoviária (SR) pode ser incluída na fase de planeamento através da definição de estratégias, de objectivos e metas para o sistema de transportes ou ainda como critério de decisão entre cenários futuros. Em qualquer uma destas formas de introdução da SR no planeamento dos transportes, é necessária a aplicação de ferramentas, podendo desempenhar os modelos de previsão de acidentes um papel importante neste contexto. Existem vários tipos de modelos em função da área de actuação. Os modelos macro (ao nível da área) e meso (ao nível da rede – arcos e nós) são os mais referidos para esta fase. Contudo, o desenvolvimento destes constitui um desafio na medida em que na fase de planeamento a informação é ainda muito generalista e, por isso, nem sempre relacionada directamente com as possíveis causas de ocorrência de acidentes.

Assim, com este trabalho pretende-se descrever o processo de planeamento e de tomada de decisão e as possíveis formas de integrar a SR. Apresenta-se ainda uma análise de possíveis ferramentas com base em modelos de previsão de acidentes que avaliam a sinistralidade a partir das características da rede de transportes definidas em fase de planeamento.

No Capítulo 2, descreve-se sucintamente o estado da arte das diferentes abordagens desenvolvidas para integrar a SR na fase de planeamento. No Capítulo 3 propõe-se uma estrutura para o processo de planeamento e de tomada de decisão de forma a incluir a SR, descrevendo-se em 3.1, o processo e em 3.2, apresenta-se o desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes, com base na aplicação ao caso do Porto, como ferramenta a aplicar neste processo.

2 A SEGURANÇA RODOVIÁRIA NO PLANEAMENTO DO SISTEMA DE TRANSPORTES – ESTADO DA ARTE

Ao longo das últimas décadas têm-se desenvolvido diversas acções ao nível da infra-estrutura com vista a melhorar a SR. Algumas das quais num número significativo de experiências de aplicação em países da Europa e, em geral, com resultados muito positivos. Essas acções dividem-se em dois tipos – acções *a priori* e *a posteriori*. As acções *a priori* visam a prevenção dos acidentes e/ou das vítimas, consistindo em certo tipo de iniciativas que se tomam para evitar a ocorrência de acidentes, resultantes do conhecimento das relações de causalidade obtidas a partir de situações anteriores. As acções *a posteriori* baseiam-se no conhecimento de factores de risco e nos indicadores de SR e como tal correspondem a uma abordagem posterior à ocorrência dos acidentes, o que constitui uma evidente debilidade. As acções *a priori* consistem basicamente na realização de estudos de impacte sobre a segurança e na execução de inspecções de segurança à rede rodoviária aberta ao tráfego. As auditorias de segurança rodoviária são um exemplo de um estudo de impacte sobre a segurança em fase de projecto não sendo, contudo, uma ferramenta específica de meio urbano.

A montante da fase de projecto, e mais recentemente, foi desenvolvido o conceito de avaliação do impacte na segurança rodoviária (AISR). Esta acção *a priori* tem como princípios de base incorporar explicitamente a SR no planeamento e no processo de decisão. Consiste na estimação de um número de acidentes para um ano horizonte com base na aplicação de modelos de previsão de acidentes, podendo ter dois tipos de

aplicação: avaliar políticas de segurança na rede ou avaliar o impacto na segurança de diferentes cenários planeados.

A introdução da SR na fase de planeamento é uma abordagem recente que tem sido analisada por diversos autores sugerindo diferentes formas de actuação. Vários estudos apontam para a importância de considerar a SR no planeamento do sistema de transportes através da definição de estratégias, objectivos e metas. A importância de quantificar os objectivos foi analisada por Wong, S. C., *et al.* (2006) através de um estudo cujos resultados revelaram que a maioria dos países que estabeleceram metas diminuíram as vítimas mortais nesse período. Assim, os autores concluíram que a definição de metas está fortemente associada a uma melhoria da SR.

Sayed, T. *and* Leur, P. d. (2000) salientam a importância de evoluir para uma abordagem proactiva da SR. Os autores apontam, no entanto, uma série de obstáculos que dificultam a análise da SR no planeamento dos transportes, tais como, a falta de uma metodologia e ferramentas que avaliem a SR, a inexistência de um processo sistemático ou de uma estrutura que inclua a SR, ou de uma fase no tradicional processo de planeamento dos transportes que considere explicitamente a análise da SR.

Também Hummel, T., através do instituto holandês SWOV – *Institute for Road Safety Research*, analisou a forma de actuar ainda na fase de planeamento, nos três elementos que quantificam a SR – exposição, risco e consequências. Deste trabalho resultou a publicação de quatro relatórios de Hummel, T. (2001a; 2001b; 2001c; 2001d) que descrevem a forma de incluir a SR no planeamento da rede de transportes criando o conceito designado por “*Safer Transportation Network Planning*”.

O planeamento da ocupação do solo é também considerado por Berkovitz, A. (2001) uma área importante de actuação para a prevenção dos acidentes. Segundo esta autora, a relação entre a SR e a ocupação do solo é fundamental para a redução das vítimas, em especial dos utilizadores vulneráveis, tais como, peões e ciclistas. Sendo o sistema de transportes uma consequência da ocupação do solo, para o alterar é necessário intervir na ocupação do solo. É por esse facto que a ocupação do solo e o sistema de transportes têm de ser planeados em conjunto sendo, por isso, recomendável que os agentes responsáveis pelo planeamento da rede de transportes trabalhem em conjunto com os técnicos e políticos responsáveis pelo planeamento do meio urbano (Berkovitz, 2001).

Nos EUA vários trabalhos têm sido desenvolvidos no sentido de criar ferramentas e contextualizá-las na fase de planeamento. No documento intitulado “*Considering Safety in the Transportation Planning Process*” de AECOM, *et al.* (2002) é referido a lacuna existente relativamente a uma metodologia que estime *a priori* o desempenho em termos de SR da rede de transportes, sugerindo três potenciais métodos:

- Avaliação por especialistas;
- Aplicação de modelos de análise da SR do projecto;
- Aplicação de modelos de previsão de acidentes a partir dos resultados da estimação do tráfego.

Já em 2006 foi publicado o relatório com a designação - “*Incorporating Safety into Long-Range Transportation Planning*” de Washington, S., *et al.* (2006) que vai mais além do que o anterior, na medida em que descreve várias ferramentas já desenvolvidas e prontas a aplicar. Este relatório constitui um guia direccionado para os departamentos de transportes

estatais, organizações metropolitanas de planeamento e agências que integram o planeamento de transportes regional e estadual. Como guia, refere as fases em que é possível incluir a segurança no planeamento dos transportes a longo prazo: estratégia; metas e objectivos; definição de indicadores de desempenho; análise dos dados; ferramentas de análise; avaliação; plano e programa de desenvolvimento; monitorização.

Mais recentemente foi publicada uma tese de doutoramento designada “*Incorporating safety into transportation planning and decision making in mid-sized metropolitan areas*” de Gaines, D. L. (2007). Este trabalho teve como objectivo estudar sete casos de áreas metropolitanas de média dimensão (200 000 a 600 000 população) dos Estados Unidos da América (EUA) de forma a entender os desafios e oportunidades do conceito “*Safety Conscious Planning*” neste contexto. Este conceito é uma abordagem proactiva para reduzir e prevenir os acidentes rodoviários e as condições de insegurança no sistema de transportes através da integração de um conjunto de medidas de segurança no processo de planeamento de transportes ao nível federal, estadual, regional e local.

As abordagens geralmente propostas para a avaliação da SR baseiam-se na aplicação de modelos de previsão de acidentes (MPA). Os MPA são constituídos por uma variável dependente – Y, que corresponde a um indicador de sinistralidade e por uma ou várias variáveis independentes que representam um conjunto de características dos locais em estudo, tais como volume de tráfego, comprimento das vias, limite de velocidade, etc. - X_1, X_2, \dots, X_n , e que se relacionam com a variável dependente através de uma função:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (1)$$

No caso da SR, estes modelos têm vindo a ser desenvolvidos com dois objectivos distintos, em termos de contexto de aplicação. Por um lado, a descrição do mecanismo das relações entre a infra-estrutura e os acidentes. Neste caso, o modelo é composto por um número elevado de variáveis independentes que representam determinadas características da infra-estrutura. Por outro lado, a previsão do número de acidentes para um determinado ano horizonte em que as variáveis independentes são normalmente factores de exposição que influenciam a frequência dos acidentes. São estes últimos modelos que se aplicam na fase de planeamento.

3 O PROCESSO DE PLANEAMENTO E DE TOMADA DE DECISÃO E A SEGURANÇA RODOVIÁRIA

O processo de planeamento do sistema de transportes focava-se, inicialmente, na expansão da infra-estrutura rodoviária ao nível regional tendo, gradualmente evoluído para o nível metropolitano, adaptando-se a uma visão mais alargada do sistema de transportes no seu conjunto, reconhecendo-se, desde o início, a necessidade de se implementar políticas integradas entre o sistema de transportes e a ocupação do solo.

A importância de considerar, na fase de planeamento, um conjunto de critérios para garantir a sustentabilidade do sistema tem sido assumida em diversas áreas dos transportes nomeadamente nas questões ambientais asseguradas, por exemplo, pela análise de impacte ambiental. Contudo, ao considerar na fase de planeamento determinados critérios pode correr-se o risco de preterir outros igualmente importantes e muitas vezes com consequências inter-relacionadas. Nesse sentido, é importante garantir que os critérios de escolha dos impactes a serem avaliados sejam ajustados a factores identificados como

consequências directas ou indirectas do sistema de transportes e sejam tidas em conta a gravidade social e económica dessas consequências. Assim sendo, é fundamental considerar a sinistralidade como um critério preponderante a avaliar na fase de planeamento, sendo para tal necessário a aplicação de ferramentas ajustadas a esta fase.

Para avaliar as consequências das diferentes alternativas de actuação no sistema de transportes é necessário identificar e determinar os impactes. As diferentes alternativas propostas nesta fase podem ser avaliadas através de um ou mais métodos de avaliação, geralmente uma análise de custo-benefício, uma análise multi-critério e uma estrutura descritiva.

Contudo, o propósito do processo de planeamento é gerar informação útil aos decisores, nomeadamente, acerca dos impactes das diferentes alternativas de actuação no sistema de transportes. A forma como esta informação é considerada depende do modelo conceptual utilizado no processo de decisão. Estes modelos são definidos e designados de forma distinta em função dos autores. Ortúzar, J. *and* Willumsen, L. G. (2001) define seis modelos conceptuais: plano director, modelo racional, teoria comportamental, decisão de grupo, decisão adaptada e modelo misto.

Embora o processo de planeamento seja realizado por técnicos especializados, a tomada de decisão, apoiada na informação obtido pelo processo de planeamento, é essencialmente da responsabilidade dos governantes. São também estes que, em geral, definem os objectivos, tendo em consideração os interesses dos diversos intervenientes que são muitas vezes divergentes. Por esse facto, compete ainda aos governantes coordenar os diferentes interesses e gerir eventuais conflitos que possam advir da tomada de decisão. Nesse sentido, é importante estabelecer prioridades e critérios justificados e clarificados com base no processo de planeamento.

No caso de Portugal e para o meio urbano, o modelo conceptual de tomada de decisão que ainda prevalece é o do Plano Director Municipal (PDM). Neste modelo as decisões são baseadas em interpretações do plano director, que estabelece as regras e o desempenho desejável. Este modelo é um modelo tradicional no planeamento de transportes e da ocupação do solo. A desvantagem apontada para este modelo é a incapacidade de se adaptar às rápidas alterações verificadas ao nível do ambiente económico, social e tecnológico.

A modelação dos transportes é uma ferramenta frequentemente utilizada nos diversos modelos conceptuais de tomada de decisão incluindo o plano director. O objectivo de um modelo de transportes é representar as diversas componentes da infra-estrutura de transportes e os fluxos de tráfego de forma a reproduzir as condições do sistema viário. O modelo habitualmente considerado corresponde ao “Modelo de 4 Passos” que permite caracterizar o nível de desempenho da rede. Para a aplicação deste modelo é necessário definir e caracterizar áreas de geração e atracção de viagens através de informação relativa ao uso do solo e a indicadores socioeconómicos. O produto final do modelo dos transportes corresponde à reprodução do nível de desempenho da rede para um conjunto seleccionado de critérios de avaliação, caracterizado pelos volumes de tráfego, velocidades, tempos de viagens, percursos, etc.

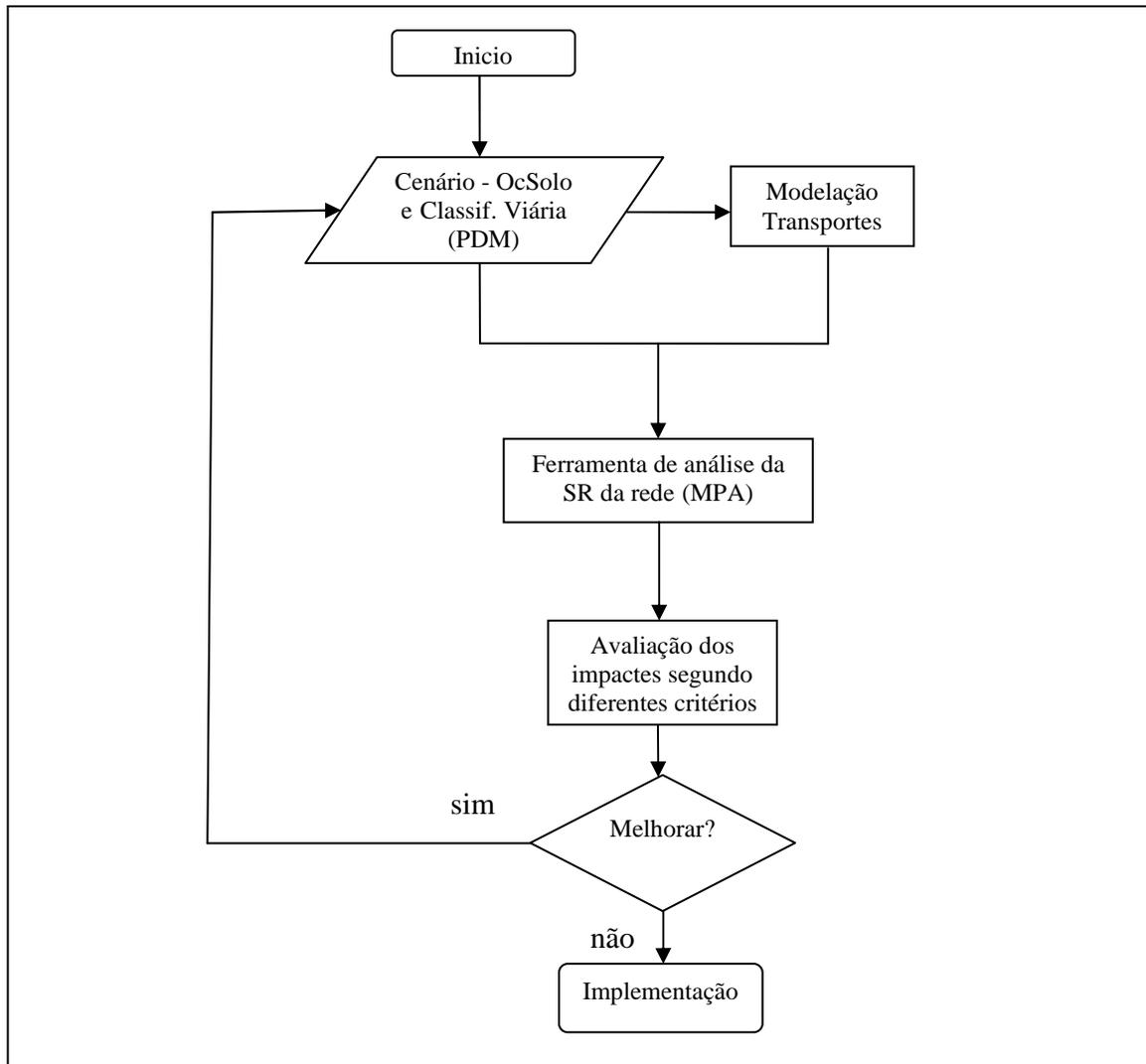


Figura 1 - Diagrama do processo de planeamento da SR em meio urbano

Assim, é neste contexto que se propõe uma estrutura para o processo de planeamento simples, adaptada à realidade do país, e que inclua a análise da SR da rede viária do meio urbano em fase de planeamento. Propõe-se ainda que essa ferramenta seja integrada no processo de planeamento e de tomada de decisão com uma estrutura do tipo da representada pelo organigrama da Figura 1.

O processo de planeamento representado pelo organigrama inicia-se com a definição do PDM onde se identificam o tipo de ocupação do solo e a hierarquia viária da rede urbana. Esta informação é utilizada simultaneamente no modelo de transportes, a partir do qual se caracteriza o tráfego, e na ferramenta de análise da SR que determina o nível de sinistralidade do cenário. O *output* do modelo de transportes é também integrado na análise da SR. O resultado obtido pela ferramenta de análise da SR na rede quantifica o impacte na SR que, em conjunto com outros impactes avaliados (poluição, desempenho do tráfego, etc.), indica qual das soluções analisadas é a melhor, podendo qualquer delas ser “otimizada” repetindo-se o processo até à solução final a implementar.

A ferramenta de análise da SR da rede proposta no processo de planeamento descrito no organigrama da Figura 1 compreende um modelo de previsão de acidentes. Embora exista

já um conjunto de modelos matemáticos desenvolvidos e aplicados na modelação dos acidentes, a maior parte deles baseia-se na caracterização geométrica e funcional da rede, informação que ainda não está disponível na fase de planeamento. Nesta fase os elementos são ainda pouco precisos podendo, por isso, a informação obtida pelo modelo de transportes ser um elemento adicional importante no desenvolvimento dos modelos de previsão de acidentes.

4 MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES

Os MPA geralmente aplicados são, em geral, modelos lineares generalizados (MLG) constituídos por uma componente aleatória normalmente com distribuição probabilística Poisson ou Binomial Negativa (BN) (Fridstrom *et al.*, 1995; Greibe, 2003; Lord and Park, 2008; Sawalha and Sayed, 2001). A resposta deste modelo corresponde a um valor de frequência de acidentes eventualmente decomposto por tipo ou gravidade do acidente. A aplicação destes modelos aos acidentes tem sido bastante aprofundada havendo já um conjunto de recomendações para a aplicação destes modelos (Reurings *et al.*, 2005). Estes modelos são, no entanto, na maior parte das vezes desenvolvidos para explicar as ocorrências num determinado período de tempo em função de variáveis que caracterizam a infra-estrutura geométrica e de tráfego (Ivan *et al.*, 2000; Kumara and Chin, 2003; Sawalha and Sayed, 2001).

Assim, para analisar uma possível ferramenta de apoio ao processo de planeamento do sistema de transportes do meio urbano, considerou-se, por um lado, a aplicação de MLG designados, neste trabalho, pelo tipo de variável de resposta, como modelos de resposta quantitativa e, por outro lado, os modelos de resposta qualitativa, menos aplicados no âmbito da sinistralidade e cujo resultado corresponde a uma categoria indicativa de um determinado grau de sinistralidade.

Considerou-se para a aplicação destes modelos o nível mesoscópico que compreende a rede principal do meio urbano dividida em arcos e intersecções. Este nível possibilita, por um lado, a análise global de um cenário do meio urbano e, por outro lado, localizar os pontos da rede de maior risco sendo assim mais fácil propor alterações ao cenário ou a implementação de medidas mitigadoras. Dadas as diferenças estruturais e funcionais dos arcos e das intersecções consideraram-se modelos distintos para cada uma destas entidades viárias.

As variáveis independentes incluídas nos modelos para caracterizar o cenário foram seleccionadas tendo em conta os factores decididos no planeamento do meio urbano na fase de elaboração do PDM – ocupação do solo e classificação hierárquica da rede. Estas variáveis, de uma forma indirecta, caracterizam a rede em termos funcionais e geométricos bem como a envolvente. Considerou-se ainda, à semelhança dos modelos habitualmente aplicados à modelação dos acidentes, o volume de tráfego mais precisamente o tráfego médio diário anual pois, em diversos estudos realizados, esta variável tem-se revelado como a variável de exposição mais relevante para explicar a ocorrência de acidentes (Fridstrom *et al.*, 1995; Lord, 2000; Lord, 2006; OCDE, 1997). Considerou-se ainda a tendência temporal para captar factores difíceis de quantificar e que influenciam globalmente a frequência dos acidentes (educação, tempo meteorológico, programas de prevenção, etc.) (Fridstrom *et al.*, 1995). No caso dos modelos dos arcos, incluiu-se ainda o comprimento e a densidade de intersecções com vias de acesso local.

Para a aplicação dos modelos desenvolvidos neste trabalho, considerou-se o caso do concelho do Porto com os dados de sinistralidade relativos ao total dos acidentes (acidentes só com danos materiais e acidentes com vítimas) ocorridos entre 2001 e 2005 (cinco anos). A caracterização da rede foi obtida com base na informação do PDM de 2006. Os valores do tráfego foram obtidos a partir dos resultados de um modelo de afectação do tráfego designado de SATURN.

Ao longo do processo de elaboração da base de dados, várias dificuldades foram encontradas. Essas dificuldades centraram-se essencialmente na obtenção dos dados e na qualidade destes e surgem desde o momento do registo até à localização dos acidentes num sistema de informação geográfica. Também os valores do tráfego resultante da aplicação do modelo de afectação não corresponderam ao desejado, quer por não serem compatíveis com o mesmo período de tempo da base de dados dos acidentes quer por a rede do modelo de transportes apresentar diferenças relativamente à utilizada no modelo de acidentes, resultantes de uma classificação viária diferente. Contudo, estas incompatibilidades entre o modelo de transportes e o modelo de acidentes resultaram do facto destes modelos terem sido aplicados em momentos e com objectivos diferentes. Assim sendo, e tal como se sugere na estrutura do processo de planeamento apresentada na Figura 1, se os dois modelos forem aplicados de uma forma coordenada estas dificuldades serão ultrapassadas.

A aplicação dos modelos desenvolvidos realizou-se através do software LIMDEP 9.0. Para a primeira aplicação dos modelos de resposta quantitativa verificou-se ser a distribuição probabilística Binomial Negativa (BN) a mais ajustada para representar a componente aleatória quer no modelos dos arcos quer no modelos dos nós. Várias variantes ao modelo BN foram ainda consideradas com o objectivo de melhorar o ajuste aos dados. Estas variantes ao modelo BN compreenderam a análise da heteroscedasticidade, a função Translog, a aleatoriedade dos parâmetros das variáveis independentes (modelos de parâmetros aleatórios) e a existência de dois estados de geração de acidentes que inflaciona o número de zeros (modelos zero-inflacionado). De facto, em alguns desses modelos, e analisando os valores das medidas de avaliação do ajuste, verificou-se um melhor ajuste estatístico. Contudo, é de salientar que os valores estimados para os parâmetros das variáveis independentes consideradas não alteraram de forma relevante o sentido do efeito na variável de resposta (isto é, o sinal do valor estimado) e nos valores absolutos também não se verificaram alterações significativas.

Para a aplicação dos modelos de resposta qualitativa foi necessário definir as categorias da resposta do modelo. Foram analisadas várias hipóteses baseadas em intervalos de frequência de acidentes tendo-se optado por considerar uma classe de três categorias em que a primeira categoria corresponde a um grau de sinistralidade baixo (zero, um ou dois acidentes) de tal forma que traduza uma eventual ocorrência de acidentes resultante de condições pontuais e não devido a características dos locais. Para delimitar as duas categorias seguintes, de forma a que estas correspondam a graus distintos e ordenados por ordem crescente de gravidade, considerou-se o número de acidentes correspondente a 10% dos locais com maior número de acidentes (nove e cinco acidentes para os modelos dos arcos e intersecções, respectivamente).

Para esta classe de categorias aplicaram-se dois modelos qualitativos – modelo ordenado (MO) e modelo multinomial (MM). O primeiro estabelece uma ordenação das categorias e é estruturado por uma regressão latente que relaciona as variáveis com a variável de resposta. Existe, portanto, uma relação entre as categorias que consequentemente não são

independentes entre si, sendo os valores dos parâmetros estimados os mesmos, qualquer que seja a categoria, determinados pela única regressão estabelecida. No MM, a variável de resposta não obedece a uma ordenação sendo, por isso, estruturado por uma função “utilitária” para cada categoria que representa as relações entre as variáveis independentes e a variável de resposta, ou seja, as categorias são independentes entre si.

Das aplicações efectuadas, quer para a base de dados dos arcos quer para a base de dados das intersecções, as medidas de avaliação do ajuste indicam ser preferível o MM. De facto, contrariando à partida a ordenação subjacente às três categorias consideradas, verificou-se que no MM os valores estimados e as significâncias estatísticas são diferentes nas três categorias e os efeitos marginais variam de forma distinta do MO. Estas diferenças foram mais significativas nos modelos aplicados aos arcos. Estes factos contrariam a hipótese de considerar uma única regressão para as categorias tal como o MO estabelece.

Analisando os dois tipos de abordagem aplicados – modelo de resposta quantitativa e de resposta qualitativa, verifica-se que as mesmas são distintas quer no tipo de resposta obtida quer na forma como se definem as relações entre a variável de resposta e as variáveis independentes. Nos modelos de resposta quantitativa, o resultado obtido corresponde a um valor estimado de frequência de acidentes para um determinado ano horizonte enquanto que, nos modelos de resposta qualitativa, o resultado final compreende uma probabilidade associada à ocorrência de cada categoria (sendo que a cada uma destas corresponde um intervalo de frequência de acidentes). Este último resultado, por tomar a forma de intervalo, é mais abrangente quer por assumir de certa forma uma margem de incerteza que traduz a dificuldade em desenvolver um modelo perfeito, quer por se compatibilizar melhor com a forma generalista que caracteriza a fase de planeamento. A classificação de um cenário em fase de planeamento por um grau de gravidade é uma forma de considerar a sinistralidade como critério a analisar no planeamento do sistema de transportes e para informar os decisores das consequências de determinada solução de intervenção. Acrescente-se ainda o facto de que, das duas abordagens analisadas, os modelos de resposta qualitativa são mais flexíveis por considerarem os efeitos na variável de resposta distintos em função da categoria, em particular, o MM que permite que se estabeleçam relações entre as variáveis independentes e as diferentes categorias de uma forma independente. Nesse sentido, estes modelos acrescentam informação relativa ao comportamento das diferentes entidades viárias no âmbito da sinistralidade.

Assim, considerando as características do modelo de resposta qualitativa acima referidas e tendo em conta o objectivo e condições de aplicação de uma ferramenta de análise da segurança da rede em fase de planeamento, entende-se que o modelo de resposta qualitativa, em particular o MM, se enquadra melhor. Apresenta-se na Tabela 1 e na Tabela 2 os resultados da aplicação do MM no caso dos arcos e dos nós, respectivamente.

Os parâmetros apresentados na Tabela 1 correspondem às variáveis: $TMDA_{Tot}$ – tráfego médio diário anual total do arco; $Comp$ – comprimento do arco; ANO – tendência temporal; $DenInt$ – densidade de intersecções com vias de acesso local; $OcSolo_i$ – classes de ocupação do solo (1 – área de frente urbana consolidada e em consolidação; 2 – área de habitação unifamiliar e edificação isolada; 3 – área empresarial; 4 – área de equipamento; 5 – área histórica); $DisLoc$ – classes de hierarquia viária (via distribuidora local e via distribuidora principal).

Tabela 1 - Aplicação do modelo multinomial – arcos

Parâmetro	Prob[Y=1]		Prob[Y=2]	
	Valor estimado	P[Z>z]	Valor estimado	P[Z>z]
$\ln(constante)$	-16,329	0,0000	-36,038	0,0000
$TMDA_{Tot}$	0,651	0,0000	1,149	0,0000
$Comp$	1,763	0,0000	3,839	0,0000
$\ln(ANO)$	-0,062	0,1547	-0,208	0,0079
$DenInt$	27,211	0,0386	252,915	0,0000
$OcSolo2$	-0,442	0,0054	-0,762	0,0128
$OcSolo3$	0,890	0,0138	2,588	0,0000
$OcSolo4$	-1,045	0,0001	-0,424	0,3319
$OcSolo5$	0,469	0,0104	1,123	0,0003
$DisLoc$	-0,015	0,9110	-1,184	0,0000
$McFadden R^2_{adj}$	0,3162			
Função logaritmica de verosimilhança	-1130,881			

Os parâmetros apresentados na Tabela 2 correspondem às variáveis: $TMDA_{Princ}$ – tráfego médio diário anual dos ramos principais do nó; $TMDA_{Sec}$ – tráfego médio diário anual dos ramos secundários do nó; ANO – tendência temporal; $OcSolo_i$ – classes de ocupação do solo (1 – área de frente urbana consolidada e em consolidação; 2 – área de habitação unifamiliar e edificação isolada; 3 – área empresarial; 4 – área de equipamento; 5 – área histórica); $Classe_j$ – classes resultantes do cruzamento da classificação hierárquica das vias dos ramos do nó.

Tabela 2 - Aplicação do modelo multinomial – nós

Parâmetro	Prob[Y=1]		Prob[Y=2]	
	Valor estimado	P[Z>z]	Valor estimado	P[Z>z]
$\ln(constante)$	-6,878	0,0000	-12,801	0,0000
$TMDA_{Princ}$	0,479	0,0007	1,031	0,0000
$TMDA_{Sec}$	0,196	0,0000	0,243	0,0000
$\ln(ANO)$	-0,087	0,1258	-0,368	0,0000
$OcSolo2$	-0,066	0,7639	0,090	0,7772
$OcSolo3$	1,224	0,0093	2,171	0,0014
$OcSolo4$	0,455	0,1713	-30,155	1,0000
$OcSolo5$	0,566	0,0129	0,468	0,1804
$ClasseA$	-0,836	0,0362	-0,180	0,7131
$ClasseC$	-0,716	0,0003	-1,677	0,0000
$McFadden R^2_{adj}$	0,0926			
Função logaritmica de verosimilhança	-718,9424			

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho analisa-se a forma de integrar a avaliação da sinistralidade na fase de planeamento da rede de transportes em meio urbano. Tendo em conta o processo de planeamento e de tomada de decisão em Portugal, propõe-se uma estrutura de forma integrar a sinistralidade como um critério a avaliar neste processo. Assim, considerando que a rede de transportes é definida a par da ocupação do solo através da classificação hierárquica das vias durante a elaboração do PDM (modelo conceptual de decisão em meio urbano) e que neste processo é habitualmente aplicado um modelo de transportes do tipo

“Modelo de 4 Passos”, propõe-se neste trabalho a avaliação da sinistralidade em função quer das variáveis definidas em PDM quer integrando a aplicação de um modelo de transportes que permite quantificar um factor de exposição – o tráfego.

A ferramenta proposta para a avaliação da sinistralidade com base nesta caracterização da rede, consiste na aplicação de modelos de previsão de acidentes cujas variáveis independentes correspondem às características da rede definidas na fase de planeamento – ocupação do solo e classificação hierárquica das vias, bem como outras variáveis de exposição, nomeadamente o volume de tráfego obtido através de modelo de transportes. Estes modelos são desenvolvidos ao nível mesoscópico, isto é, ao conjunto das entidades que formam a rede – arcos e nós, diferenciando-se os modelos para estas entidades. Considerou-se a aplicação de modelos distintos em função do tipo de resposta – modelos de resposta qualitativa e quantitativa e aplicou-se ao caso do concelho do Porto. Após a análise de um conjunto de possíveis modelos de resposta quantitativa e qualitativa, propõe-se como ferramenta um modelo multinomial cuja resposta corresponde a uma probabilidade associada a três níveis de gravidade de sinistralidade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AECOM, Bellomo-McGee Inc. and Ned Levine & Associates (2002) Considering Safety in the Transportation Planning Process, Federal Highway Administration.

ANSR (2009) Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária 2008-2015, ANSR, Lisboa.

Berkovitz, A. (2001) The marriage of safety and land-use planning: a fresh look at local roadways, **Public Roads**, (65).

DGV (2006) Sinistralidade rodoviária. Elementos estatísticos de 2005, Observatório de Segurança Rodoviária, DGV, Lisboa.

Fridstrom, L., Ifver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R. and Thomsen, L. K. (1995) Measuring the contribution of randomness, exposure, weather and daylight to the variation in road accident counts, **Accident Analysis and Prevention**, (27), 1-20.

Gaines, D. L. (2007) **Incorporating safety into transportation planning and decision making in mid-sized metropolitan areas**, PhD, Georgia Institute of Technology.

Greibe, P. (2003) Accident prediction models for urban roads, **Accident Analysis and Prevention**, (35), 273-285.

Hummel, T. (2001a) Access management in Safer Transportation Network Planning, **D-2001-10**, SWOV, Leidschendam.

Hummel, T. (2001b) Intersection planning in Safer Transportation Network Planning, **D-2001-13**, SWOV, Leidschendam.

Hummel, T. (2001c) Land use planning in Safer Transportation Network Planning, **D-2001-12**, SWOV, Leidschendam.

Hummel, T. (2001d) Route management in Safer Transportation Network Planning, **D-2001-11**, SWOV, Leidschendam.

Ivan, J. N., Wang, C. and Bernardo, N. R. (2000) Explaining two-lane highway crash rates using land use and hourly exposure, **Accident Analysis and Prevention**, (32), 787-795.

Kumara, S. P. and Chin, H. C. (2003) Modeling accident occurrence at signalized Tee intersections with special emphasis on excess zeros, **Accident Analysis and Prevention**, (4), 53-57.

Lord, D. (2000) **The prediction of accidents on digital networks: characteristics and issues related to the application of accident prediction models**, PhD, Department of Civil Engineering, University of Toronto.

Lord, D. (2006) Modeling motor vehicle crashes using Poisson-gamma models: examining the effects of low sample mean values and small sample size on the estimation of the fixed dispersion parameter, **Accident Analysis and Prevention**, (38), 751-766.

Lord, D. and Park, P. Y. J. (2008) Investigating the effects of the fixed and varying dispersion parameters of Poisson-gamma models on empirical Bayes estimates, **Accident Analysis and Prevention**, (40), 1441-1457.

OCDE (1997) Road safety principles and models: review of descriptive, predictive, risk and accident consequence models, **OCDE/GD(97)153**, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.

Ortúzar, J. and Willumsen, L. G. (2001) **Modelling Transport**, John Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore.

Reurings, M., Janssen, T., Eenink, R., Elvik, R., Cardoso, J. and Stefan, C. (2005) **Accident Prediction Models and Road Safety Impact Assessment: a state-of-the-art**, pp. 135.

Sawalha, Z. and Sayed, T. (2001) Evaluating safety of urban arterial roadways, **Journal of Transportation Engineering**, (127), 151-158.

Sayed, T. and Leur, P. d. (2000) Developing a systematic framework for proactive road safety planning, **13th ICTCT workshop - Traffic Safety Measures**, Corfu - Greece.

Washington, S., Schalkwyk, I. V., Meyer, M., Dumbaugh, E. and Zoll, M. (2006) Incorporating safety into long-range transportation planning, **NCHRP Report 546**, Transportation Research Board, Washington D.C.

Wong, S. C., Sze, N. N., Yip, H. F., Loo, B. P. Y., Hung, W. T. and Lo, H. K. (2006) Association between setting quantified road safety targets and road fatality reduction, **Accident Analysis and Prevention**, (38), 997-1005.