



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES
Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança

Proc. 0703/14/16605

SAFESIDE – SINISTRALIDADE ENVOLVENDO A ÁREA ADJACENTE À FAIXA DE RODAGEM

Procedimento de avaliação de alternativas de intervenção

Estudo financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia

Lisboa • março de 2013

I&D TRANSPORTES

RELATÓRIO 140/2013 – DT/NPTS

**SAFESIDE - SINISTRALIDADE ENVOLVENDO A
ÁREA ADJACENTE À FAIXA DE RODAGEM**

**PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE
INTERVENÇÃO**

SUMÁRIO

O presente relatório foi elaborado no âmbito do projeto de I&D, cofinanciado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, designado SAFESIDE – Sinistralidade envolvendo a área adjacente à faixa de rodagem, o qual está integrado no projeto “Rodovias auto-explicativas e tolerantes” do Plano de Investigação Programada 2009-2012 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. O propósito do projeto SAFESIDE consiste em desenvolver um método racional de avaliação dos efeitos das características da área adjacente à faixa de rodagem (AAFR) sobre a sinistralidade, baseado nos resultados da análise da sinistralidade ocorrida nas estradas portuguesas.

Neste relatório, elaborado no âmbito da tarefa WP 8 designada “Arquitetura do Sistema de Avaliação das Alternativas”, é definida e detalhada a estrutura do procedimento de avaliação das alternativas de intervenção na AAFR e de seleção de sistemas de retenção de veículos.

Este procedimento tem em consideração o efeito sobre a segurança rodoviária das alterações nas características da AAFR, assim como os seus custos, contribuindo para a fundamentação racional das intervenções na infraestrutura, tendo em vista a redução da sinistralidade em secção corrente das estradas interurbanas.

SAFESIDE - ROADSIDE SAFETY
PROCEDURE FOR THE EVALUATION OF INTERVENTION
ALTERNATIVES

ABSTRACT

This report was developed in the scope of Workpackage 8 – Structure of the evaluation procedure of SAFESIDE - Roadside Safety project, co-financed by the *Fundação para a Ciência e a Tecnologia* and carried out under the “Self explaining and forgiving roads” project of the Programmed Research Plan 2009-2012 at *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*. The aim of the project is to develop a method for assessing the influence of roadside characteristics in Portuguese road safety. The method will be based in Portuguese data and experience.

In this report, the structure of the procedure for supporting roadside design safety decisions is defined. The evaluating procedure is intended to support decisions concerning both the design of roadside and the selection of the road restraint system.

This is a method which takes into account the effect of roadside safety treatments on safety, as well as their costs. This method may be used to support roadside safety decisions concerning the design of new roads and the redesign, management and operation of existing roads.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	ESTRUTURA GLOBAL DO SISTEMA	3
3	MODELO DE ACIDENTES	7
3.1	Custos dos acidentes.....	7
3.1.1	Custos por tipo de acidente	9
3.2	Consequências dos acidentes	12
4	INTERVENÇÕES CORRECTIVAS.....	16
4.1	Generalidades	16
4.2	Efeitos sobre a segurança da realização de intervenções correctivas envolvendo a AAFR	18
4.3	Outros efeitos da realização de intervenções correctivas.....	39
4.4	Efeito da realização de múltiplas intervenções correctivas.....	42
4.5	Acidentes evitados e respectivos custos	44
4.6	Custos das intervenções	45
5	AValiação DAS ALTERNATIVAS	54
5.1	Generalidades	54
5.2	Metodologia de avaliação.....	56
5.2.1	Taxa de desconto.....	58
5.3	Análise de sensibilidade.....	58
5.3.1	Sensibilidade absoluta, sensibilidade relativa e elasticidade.....	60
5.4	Hierarquização de alternativas	63
6	CONCLUSÕES	65
	BIBLIOGRAFIA	68

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Estimativa de custos de acidentes para Portugal (€ a preços de 2010)	8
Quadro 2 – Número médio de mortos, feridos graves e feridos leves por acidente.	10
Quadro 3 – Taxas de não-participação de acidentes recomendadas (adaptado de [53]).	11
Quadro 4 – Custos médios por tipo de acidente.	12
Quadro 5 – Parâmetros a considerar nos MEFA (adaptado de [104]).	15
Quadro 6 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo a AAFR no número de acidentes (1) (adaptado de [29]).	19
Quadro 7 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo a AAFR no número de acidentes (2) (adaptado de [29]).	20
Quadro 8 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo a AAFR no número de acidentes (3) (adaptado de [29]).	20
Quadro 9 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo a AAFR no número de acidentes (3) (adaptado de [29]).	21
Quadro 10 – FRA de intervenções corretivas envolvendo barreiras de segurança (adaptado de [40]).	24
Quadro 11 – FRA de intervenções corretivas em pontes (adaptado de [40]).	25
Quadro 12 – FRA de intervenções corretivas envolvendo o traçado rodoviário (adaptado de [40]).	26
Quadro 13 – FRA de intervenções corretivas envolvendo o separador central (1) (adaptado de [40]).	27
Quadro 14 – FRA de intervenções corretivas envolvendo o separador central (2) (adaptado de [40]).	28
Quadro 15 – FRA de intervenções corretivas envolvendo a sinalização vertical, marcação rodoviária e operação (adaptado de [40]).	29
Quadro 16 – FRA de intervenções corretivas envolvendo as características da AAFR (1) (adaptado de [40]).	30
Quadro 17 – FRA de intervenções corretivas envolvendo as características da AAFR (2) (adaptado de [40]).	30
Quadro 18 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo obstáculos perigosos na AAFR no número de acidentes, por tipo de intervenção (1) (adaptado de [22]).	32

Quadro 19 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo obstáculos perigosos na AAFR no número de acidentes, por tipo de intervenção (2) (adaptado de [22]).....	33
Quadro 20 – Percentagem de redução de acidentes para aumentos da largura da zona livre (adaptado de [82]).....	35
Quadro 21 – Redução percentual de despistes e do total de acidentes resultante da redução da inclinação dos taludes (adaptado de [39]).	35
Quadro 22 – Percentagem de redução de acidentes para alterações na inclinação dos taludes (adaptado de [82]).....	36
Quadro 23 – Efeitos resultantes das medidas relativas aos postes de eletricidade e de telefone (adaptado de [130]).	37
Quadro 24 – Efeitos de primeira ordem (E_i) das intervenções corretivas (1)	38
Quadro 25 – Efeitos de primeira ordem (E_i) das intervenções corretivas (2).....	39
Quadro 26 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo a AAFR na mobilidade (adaptado de [29]).....	41
Quadro 27 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo a AAFR no meio ambiente (adaptado de [29]).....	41
Quadro 28 – Preços unitários das intervenções corretivas (€ a preços de 2010)	49
Quadro 29 – Preços de referência de barreiras de segurança no mercado nacional (2012).	50
Quadro 30 – Horizontes de vida (adaptado de [53] e [72]).	51
Quadro 31 – Horizontes de vida para diferentes grupos de intervenções corretivas (adaptado de [53] e [72])......	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura geral do procedimento de avaliação das alternativas de intervenção na AAFR e de selecção de sistemas de retenção de veículos.....	4
Figura 2 – Categorias dos custos sócio-económicos associados aos acidentes rodoviários.....	8
Figura 3 – Classificação das medidas de segurança rodoviária [8].	18
Figura 4 – Categorias dos custos associados às infra-estruturas rodoviárias	46
Figura 5 – Estrutura do procedimento de avaliação das alternativas de intervenção na AAFR e de selecção e colocação de sistemas de retenção de veículos.	65

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I – Glossário das abreviaturas mais utilizadas.....	87
---	----

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório foi elaborado no âmbito do projeto SAFESIDE – Sinistralidade envolvendo a área adjacente à faixa de rodagem. O propósito do projeto SAFESIDE consiste em desenvolver um método racional de avaliação dos efeitos das características da área adjacente à faixa de rodagem (AAFR) sobre a sinistralidade, baseado nos resultados da análise dos acidentes ocorridos nas estradas portuguesas.

O projeto foi estruturado em 9 tarefas, designadas WP, tendo o presente relatório sido elaborado no âmbito da tarefa WP 8 cujo objetivo específico consiste na definição da estrutura do procedimento de avaliação das alternativas de intervenção envolvendo a AAFR. O referido procedimento permitirá fundamentar racionalmente as intervenções na AAFR e a seleção de sistemas de retenção rodoviários de veículos.

No Capítulo 2 é definida a estrutura global do procedimento de avaliação das alternativas de intervenção, focando as fases a considerar no tratamento da sinistralidade envolvendo a AAFR.

O Capítulo 3 é dedicado à modelação dos custos dos acidentes, sendo definidos os custos por tipo de acidente a considerar no sistema de avaliação (tendo em conta o número e tipo de vítimas por acidente), bem como as consequências desses mesmos acidentes, através da estimativa da frequência esperada de acidentes envolvendo a AAFR.

No Capítulo 4 são analisadas as intervenções corretivas envolvendo a AAFR, mais concretamente os seus efeitos (sobre a segurança, mobilidade e meio ambiente), o efeito da realização de múltiplas intervenções corretivas e os custos dessas mesmas intervenções.

No último capítulo apresentam-se as principais conclusões do presente relatório.

Como nota adicional, importa referir que em tudo o que se refere a avaliação económica ao longo do presente relatório é dado particular destaque a duas fontes bibliográficas: o projeto europeu HEATCO [54] desenvolvido por 14 institutos e universidades europeias e o projeto ESTRADA ([71], [72] e [73]) desenvolvido no âmbito do Programa

Operacional Ciência e Inovação 2010 do Ministério da Ciência, Inovação e Ensino Superior.

O projeto europeu HEATCO teve como um dos seus principais objetivos o desenvolvimento de uma metodologia europeia de avaliação económica de projetos de transportes, partindo do levantamento de informação relativa às práticas nacionais nesta matéria nos Estados-Membros da União Europeia (UE) e aos valores padrão usados nessas avaliações. O projeto visou ainda propor linhas para a harmonização europeia nesta matéria, recorrendo também a estudos de caso que fornecessem evidência empírica sobre o potencial da nova metodologia.

Com o projeto ESTRADA pretendeu-se transferir e adaptar para o contexto português os resultados obtidos em projetos internacionais na área da estimação de custos e benefícios associados ao transporte rodoviário (incluindo o HEATCO). O resultado final do ESTRADA consistiu num conjunto integrado de modelos de custos e benefícios relativos à atividade de transporte rodoviário pronto a ser usado nas decisões sobre políticas de transporte, designadamente as referentes a investimentos em infraestruturas e à definição e aplicação de políticas de preços, tendo em conta as especificidades dos dados disponíveis em Portugal.

Com o projeto ESTRADA também se pretendeu proporcionar uma revisão pormenorizada do estado da arte em termos de modelos de estimação de custos e benefícios para projetos de infraestruturas rodoviárias, incluindo custos de acidentes, bem como a avaliação dos valores de referência económico-monetários, como é o caso do valor da vida, atualmente utilizados em Portugal.

2 ESTRUTURA GLOBAL DO SISTEMA

Apesar dos estudos já desenvolvidos em Portugal, desde a década de 1970, relacionando as características da AAFR com a sinistralidade rodoviária, não existem presentemente métodos quantitativos adaptados à realidade nacional que possam apoiar os técnicos na definição das características da AAFR, no dimensionamento da zona livre de obstáculos ou na seleção dos equipamentos de retenção a prever no projeto de novas estradas ou no de remodelação de estradas existentes.

São objetivos genéricos do presente estudo contribuir para a melhoria do conhecimento da influência das características da AAFR sobre a sinistralidade rodoviária e para o desenvolvimento de um método de avaliação dos efeitos das características da AAFR do ponto de vista da segurança.

Para dar resposta a estes objetivos desenvolveu-se um instrumento de avaliação dos efeitos das características da AAFR sobre a sinistralidade rodoviária, baseado nos resultados da análise dos acidentes ocorridos nas estradas portuguesas, que tem em consideração o efeito sobre a segurança rodoviária das alterações nas características da AAFR, assim como os seus custos, contribuindo para a fundamentação racional das intervenções na infraestrutura, tendo em vista a redução da sinistralidade em secção corrente das estradas interurbanas.

Um programa de melhoria da segurança rodoviária por intervenção na infraestrutura compreende várias fases, abrangendo a identificação dos potenciais locais a interencionar, o estudo das respetivas sinistralidades e características da envolvente rodoviária, a seleção e projeto das intervenções mais promissoras, a execução das medidas corretivas, bem como a supervisão da evolução da sinistralidade e avaliação dos efeitos obtidos ([13] e [57]). Na Figura 1 ilustram-se as fases a considerar no tratamento da sinistralidade envolvendo a AAFR, com particular destaque para a estrutura geral do procedimento de avaliação das alternativas de intervenção (área a cinzento da Figura 1, objeto do presente estudo).

Para identificação dos locais com maior potencial de benefício por intervenção na infraestrutura é recomendável usar as respectivas frequências esperadas de acidentes

([13], [14] e [116]). No caso concreto da sinistralidade envolvendo a AAFR, para esse efeito será necessário o levantamento de informação relativa à sinistralidade na zona ou área em estudo, designadamente no que diz respeito à sua localização, tipologia e padrão temporal de ocorrência ao longo de um determinado período de tempo (desejavelmente três a cinco anos). Para a identificação dos locais a intervir é necessário escolher um indicador de sinistralidade que meça a ocorrência de sinistros ou agregue as respetivas consequências. Os indicadores mais utilizados são a frequência esperada dos acidentes e a taxa de sinistralidade esperada.

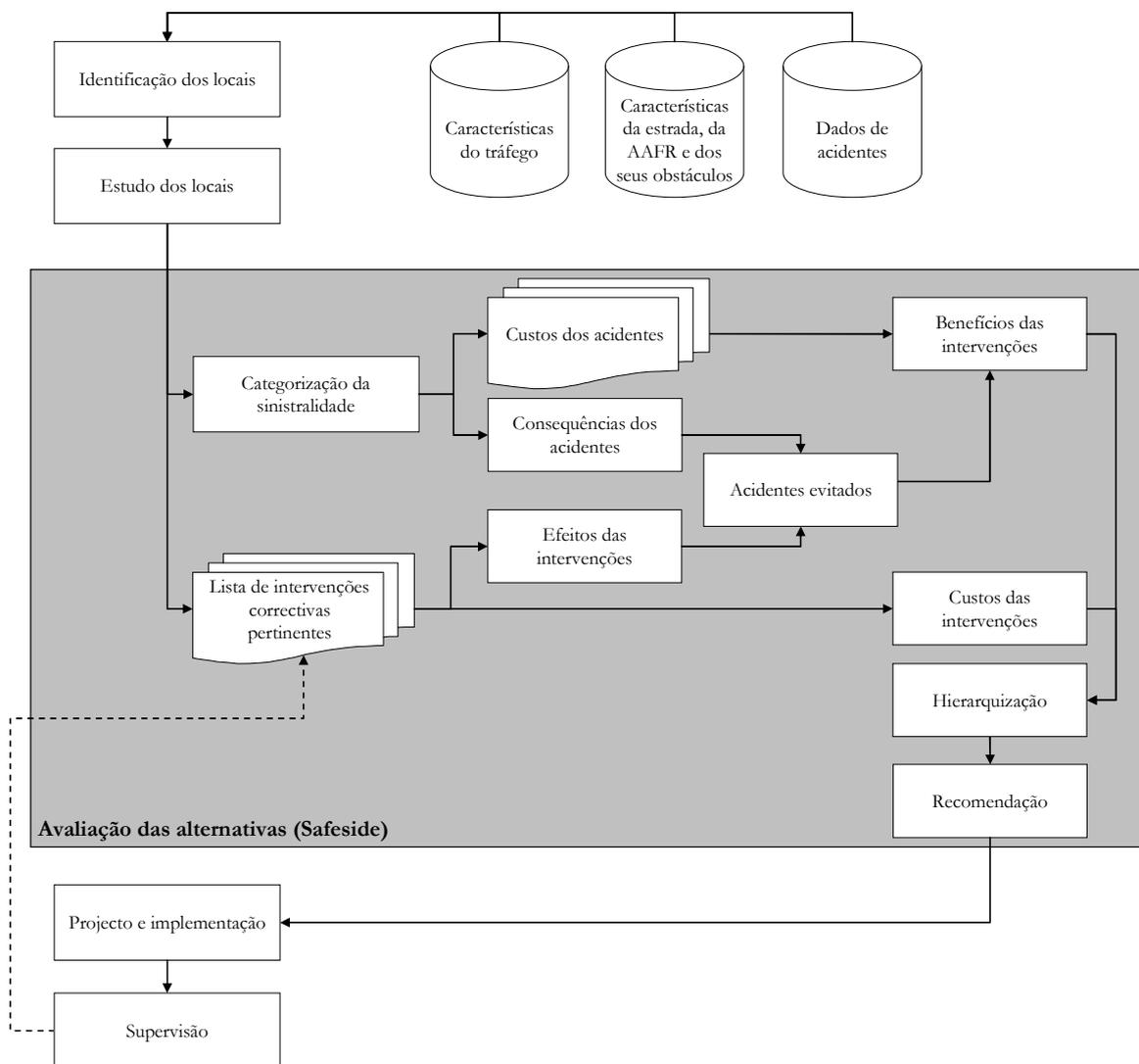


Figura 1 – Estrutura geral do procedimento de avaliação das alternativas de intervenção na AAFR e de seleção de sistemas de retenção de veículos.

A fase de estudo dos locais passa pela recolha de informação (a utilizar em fases posteriores) acerca dos locais e dos acidentes que aí ocorreram. Assim, fluxos de tráfego,

extensão do trecho em análise, traçado, características básicas dos perfis transversais da estrada e da AAFR e as características dos sistemas de retenção de veículos e dos obstáculos nos pontos onde se verificaram os acidentes são parâmetros fundamentais a considerar.

O procedimento objeto do presente estudo permite simular o efeito sobre a segurança (frequência de acidentes e suas consequências) de cenários alternativos da configuração da AAFR. O procedimento destina-se a apoiar as decisões relativas tanto ao projeto da AAFR (remoção de obstáculos, redução da probabilidade de atingir obstáculos, redução da gravidade das consequências quando um obstáculo é atingido, ou proteção do tráfego por meio de um sistema de retenção rodoviário de veículos) como à seleção das características funcionais dos referidos sistemas de retenção.

No procedimento proposto são utilizadas três tipologias complementares de dados nacionais: dados sobre acidentes; dados sobre características da estrada, da AAFR e dos obstáculos presentes nesta; e contagens de tráfego.

A avaliação das alternativas compreende a conceção de cenários alternativos para a AAFR e a avaliação dos correspondentes efeitos sobre a segurança. Para esse fim, seleciona-se, de uma lista de intervenções corretivas possíveis, as pertinentes e procede-se à categorização da sinistralidade. Esta última componente compreende a desagregação dos acidentes por tipologias relevantes (para quantificação dos acidentes-alvo¹ de cada intervenção e respetivos custos). Os atributos das medidas corretivas descritos na lista de intervenções incluem a eficácia específica a cada tipo de acidente-alvo (i.e., o efeito sobre a sinistralidade de cada tipo de acidente-alvo) bem como o respetivo custo de construção e manutenção no período de vida útil. O número de acidentes passível de ser evitado por uma intervenção corretiva, ou por um conjunto de intervenções corretivas, corresponde ao produto do número de acidentes-alvo multiplicado pela eficácia da sua realização.

Assim, para decidir acerca da eficiência de uma intervenção ou de conjunto de intervenções corretivas da AAFR, são necessários quatro passos:

1. Para cada intervenção corretiva, calcular o número médio de vítimas por acidente evitado, para cada nível de gravidade das lesões sofridas;

¹ Acidentes potencialmente afetados por essa intervenção corretiva

2. Multiplicar o custo de cada vítima pelo número médio de vítimas por acidente evitado, para cada nível de gravidade das lesões sofridas, e assim determinar o valor atualizado dos benefícios;
3. Determinar o valor atualizado dos custos de implementação do conjunto de intervenções corretivas;
4. Calcular o rácio benefício-custo do conjunto de intervenções corretivas e compará-lo com cenários de intervenção na AAFR alternativos, incluindo o cenário “nada fazer”.

O procedimento permite identificar qual o conjunto de intervenções corretivas mais eficiente para um determinado trecho de estrada.

Após a fase de projeto e implementação das intervenções corretivas recomendadas pelo procedimento, deverá seguir-se uma supervisão, no âmbito da qual seja efectuada uma avaliação quantitativa dos efeitos das mesmas sobre o número de acidentes ou de vítimas ao longo de determinado período de tempo.

No presente caso, esta etapa do procedimento reveste-se de grande importância. De uma maneira geral, será através da quantificação dos efeitos resultantes da aplicação das intervenções corretivas (sucessos e insucessos) que se poderão identificar as tipologias de intervenções mais adequadas ao sistema de tráfego nacional, estimar a eficácia associada a cada uma delas no contexto português, o que permitirá generalizar a sua aplicação ao país e uniformizar os seus parâmetros relevantes. No caso particular das intervenções corretivas envolvendo a AAFR, é escasso o conhecimento existente relativo à sua eficácia e o que existe não é suficientemente desagregado (no que diz respeito às características técnicas das intervenções) nem representativo do contexto nacional, pelo que esta tarefa é, neste caso, ainda mais relevante. A supervisão permite ainda a correção expedita das intervenções mal sucedidas.

3 MODELO DE ACIDENTES

A inclusão da sinistralidade na Análise Custo-Benefício (ACB) de investimentos em infraestruturas rodoviárias espelha a importância associada aos efeitos de segurança (mudança no número de vítimas mortais, feridos graves, leves e, eventualmente, danos materiais) decorrentes do investimento associado à adoção de padrões de segurança mais elevados [71].

O objetivo de qualquer intervenção corretiva é diminuir os danos causados pelos acidentes rodoviários. No entanto, as intervenções corretivas de segurança rodoviária podem, de uma maneira geral, produzir outros efeitos ao nível da mobilidade e do meio ambiente [35].

Estes investimentos podem, por exemplo, induzir aumentos de tráfego nos percursos que servem, o que pode conduzir a uma situação em que a ocorrência de acidentes é superior à da situação sem investimento [71]. No caso concreto das intervenções corretivas na AAFR, não foram assinalados estudos que indiquem a influência destas na mobilidade ou no meio ambiente. Em qualquer dos casos, o balanço em termos de custo de acidentes não é conhecido à partida e depende, em larga escala, dos resultados da aplicação das ferramentas de previsão de acidentes que incluam a exposição ao risco.

3.1 Custos dos acidentes

No âmbito da tarefa WP6 – Custos dos despistes, foi feito o levantamento dos custos socioeconómicos associados aos acidentes rodoviários: compreendendo custos diretos, indiretos e um valor da segurança *per se*, que corresponde ao valor da variação marginal no risco de acidente mortal ou com danos corporais, podendo ser agrupados em diversas categorias (ver Figura 2):

- custos médicos e de reabilitação - custos de hospitalização, primeiros socorros, ambulâncias;
- custos de danos materiais;
- custos administrativos - relativos ao trabalho da polícia, bombeiros, entidades administrativas, sistema judicial, etc.;

- valor da perda de produção devido à morte ou incapacidade prematuras, dias de doença, etc.;
- valor da segurança *per se* (valor do risco de óbito).

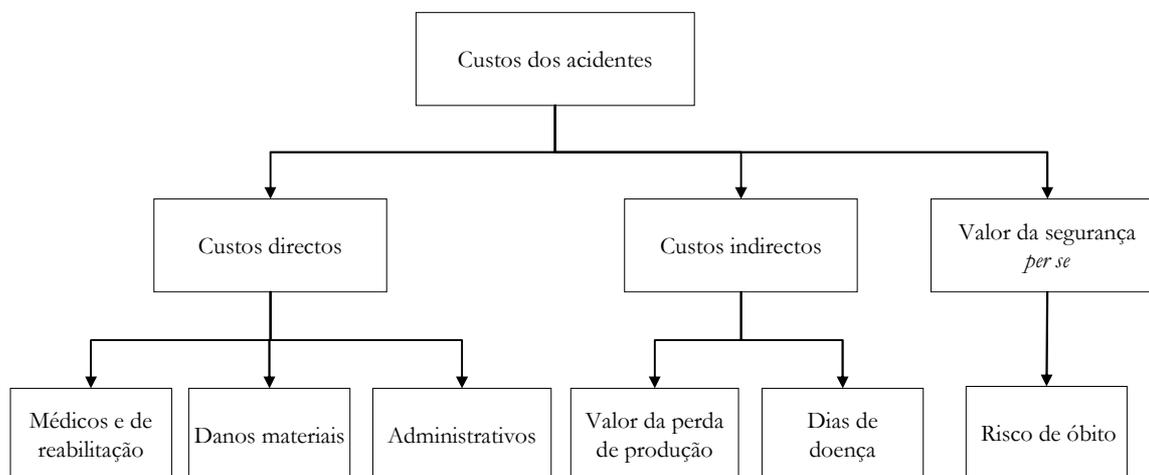


Figura 2 – Categorias dos custos socioeconómicos associados aos acidentes rodoviários.

Normalmente, os custos considerados subdividem-se nos custos associados a vítimas mortais, a feridos graves, a feridos leves e a danos materiais.

No Quadro 1 são apresentados os valores de custos da sinistralidade segundo as fontes LNEC [75] e HEATCO [54], descritas no âmbito da tarefa WP6 [104], já atualizados para 2010, de acordo com dados oficiais relativos à inflação do Instituto Nacional de Estatística (INE).

Quadro 1 – Estimativa de custos de acidentes para Portugal (€ a preços de 2010)

Fonte	Morto	Ferido grave	Ferido leve
LNEC	698 857	33 893	370
HEATCO	860 598	111 996	8 606

De acordo com o descrito no projeto ESTRADA [71], e no que diz respeito a custos económicos directos e indirectos, a proposta de custos unitários dos acidentes da fonte LNEC, baseada em estudo da Prevenção Rodoviária Portuguesa (PRP) é a mais confiável, por ter sido realizada com base num estudo com amostra real, organizado pela PRP com o apoio das entidades intervenientes na assistência aos acidentes rodoviários e no tratamento médico posterior. No entanto, o estudo da PRP está muito desatualizado e

a atualização realizada com o LNEC (que conta já com 12 anos), foi meramente económica, não incluindo novos levantamentos para a maioria das subcategorias de custos, tendo sido apenas utilizados novos dados relativamente às seguradoras e à taxa de sinistralidade. Assim, estes custos unitários não são recomendados no projeto ESTRADA por se considerar estarem demasiado desatualizados, afastando-se de uma representação aceitável da realidade.

Assim, e sem uma atualização do estudo da PRP, são preconizados no projeto ESTRADA os valores constantes de relatório do projeto europeu HEATCO [54] para os custos unitários dos acidentes. Este projeto europeu recomenda que, por princípio, se adotem valores nacionais e que apenas no caso em que estes não tenham sido apurados é que se devem usar aqueles que apresenta.

3.1.1 Custos por tipo de acidente

A metodologia comumente utilizada para estimar custos de acidentes consiste em multiplicar o número de acidentes pelo custo unitário de um acidente, para cada nível de gravidade ([18] e [71]). Assim, as questões metodológicas associadas a esta categoria de custos prendem-se com a estimativa de frequência de acidentes e suas consequências e com o apuramento de custos unitários.

Refira-se que os modelos de estimativa de frequência de acidentes (MEFA) disponíveis para o cálculo de frequências esperadas de acidentes não explicam a desagregação dos resultados por nível de gravidade nem permitem calcular o número de vítimas de forma adequada à aplicação de uma ACB. Para tal seria necessário estimar vítimas mortais, graves, leves e danos materiais. No entanto, não existem, presentemente, modelos de estimativa de frequência de vítimas por gravidade ou de estimativa de danos materiais.

No entanto, no projeto ESTRADA [71] destaca-se a opinião de Cardoso ([12] e [15]), segundo a qual é possível obter aproximações razoáveis desagregando os acidentes por analogia com séries históricas por tipo de estrada.

No projeto ESTRADA [71] recomenda-se que se usem séries de número e tipo de vítimas por acidente e por tipo de estrada com duração de 4 ou 5 anos (correspondentes à duração das séries-amostra dos trabalhos de modelação da ocorrência de acidentes)

para encontrar os valores médios que permitem desagregar os resultados por nível de gravidade e calcular o número de vítimas total.

Assim, foram definidos três indicadores relativos à gravidade das lesões nas vítimas dos acidentes corporais ocorridos:

- a taxa de mortalidade por acidente (TMA), correspondente ao número de mortos por acidente;
- a taxa de ferimentos graves por acidente (TFGA), relativa ao número de feridos graves por acidente;
- a taxa de ferimentos leves por acidente (TFLA), relativa ao número de feridos leves por acidente.

No Quadro 2 são apresentados, para os períodos 2002-2005 e 2007-2010 para estradas de faixa de rodagem única e dupla, respetivamente, os valores médios das três taxas de gravidade da sinistralidade para todos os trechos da Rede Rodoviária Nacional (RRN) em que existem dados relativos aos Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) no referido período (1142 e 796 trechos analisados, em estradas de faixa de rodagem única e dupla, respetivamente). Consideraram-se o total de acidentes corporais e os despistes.

Quadro 2 – Número médio de mortos, feridos graves e feridos leves por acidente.

Tipo de faixa de rodagem	Tipo de acidente	TMA	TFGA	TFLA
Faixa de rodagem única	Total de acidentes	0.057	0.143	1.322
	Despiste	0.049	0.133	1.206
Dupla faixa de rodagem	Total de acidentes	0.038	0.084	1.405
	Despiste	0.038	0.081	1.297

Tal como referido no relatório relativo à tarefa WP4 [105] quando se pretende modelar o total de acidentes, há que ter conta o facto de muitos acidentes ocorridos não estarem contidos na base de dados, uma vez que não foram sequer registados. A dimensão deste problema é difícil de quantificar, já que o mesmo não é uniforme no espaço e por tipo de acidente nem constante no tempo. No projeto ESTRADA [71] refere-se que os acidentes não participados devem ser contabilizados na ACB dos projetos rodoviários através da aplicação de taxas de não-participação de acidentes sobre os números previstos.

As mais recentes recomendações relativas à taxa de acidentes não participados são dadas em relatório do projeto europeu HEATCO [54] no qual se sugere a utilização de valores de referência europeus (ver Quadro 3) nos casos em não tenham sido levantados valores nacionais. De referir que estes são os valores recomendados pelo projeto ESTRADA [69] até ser realizado um novo estudo em que se calculem índices nacionais atualizados.

Quadro 3 – Taxas de não-participação de acidentes recomendadas (adaptado de [54]).

	Mortos	Feridos graves	Feridos leves	Danos materiais
Média	1.02	1.50	3.00	6.00
Automóvel	1.02	1.25	2.00	3.50
Motociclo/ciclomotor	1.02	1.55	3.20	6.50
Bicicleta	1.02	2.75	8.00	18.50
Peão	1.02	1.35	2.40	4.50

Assim, a metodologia utilizada neste estudo consiste da multiplicação do número médio de participantes num acidente, por tipo de acidente e nível de gravidade das lesões nas vítimas (ver Quadro 2), pelos custos dos acidentes para cada um desses mesmos níveis (ver Quadro 1) e pelas respectivas taxas de não-participação. De seguida, são somados os custos para se obter o custo de acidente do tipo t , C_t^A , de acordo com o definido em (3-1).

$$C_t^A = \sum_g (nv_{t,g} \times custo_g \times tnp_g) \quad (3-1)$$

Onde $nv_{t,g}$ corresponde ao número de vítimas para o tipo de acidente t (despiste em estrada de faixa de rodagem única, despiste em estrada de dupla faixa de rodagem, todos os acidentes em estrada de faixa de rodagem única e todos os acidentes em estrada de dupla faixa de rodagem) e nível de gravidade das lesões nas vítimas de acidentes g (morto, ferido grave e ferido leve), $custo_g$ designa o custo dos acidentes para o nível de gravidade g e tnp_g a taxa de não-participação de acidentes para o nível de gravidade g .

Os resultados obtidos pela aplicação da Equação (3-1) aos valores constantes nos Quadro 1, Quadro 2 e Quadro 3 são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Custos médios por tipo de acidente

Tipo de faixa de rodagem	Tipo de acidente	Custo _t
Faixa de rodagem única	Total de acidentes	108 616.66 €
	Despiste	96 157.31 €
Dupla faixa de rodagem	Total de acidentes	83 321.05 €
	Despiste	80 813.67 €

3.2 Consequências dos acidentes

Para Cardoso [15], a frequência esperada de acidentes de um elemento rodoviário pode definir-se como o número médio de acidentes associado a esse elemento, se o período de observação se prolongar por muitos anos.

A abordagem seguida no presente estudo para a estimativa da frequência esperada de acidentes envolvendo a AAFR passa pelo estudo de um modelo de regressão que relacione a frequência esperada de despistes com as variáveis explicativas, que incluem a exposição e as referidas características da estrada e da sua AAFR (esta questão é analisada aprofundadamente no relatório referente à tarefa WP4 [105]).

Sendo os acidentes eventos raros, discretos, e não negativos [125], é inadequada a regressão linear convencional na modelação deste tipo de eventos. Neste contexto, os Modelos Lineares Generalizados (MLG) constituem uma metodologia adequada para a modelação da sinistralidade rodoviária.

A ocorrência de um acidente rodoviário pode ser encarada como o resultado de um processo de Bernoulli, em que cada situação de interação do binómio condutor-veículo com o restante sistema de transporte constitui um ensaio. Assim, a circulação num trecho de estrada pode ser considerado um conjunto de ensaios. Um acidente corresponderá, neste caso, a um “sucesso”, entendido como um ensaio que produziu um resultado indesejado. Pelo contrário, a resolução satisfatória das situações de interação rodoviária corresponde ao “insucesso” [15].

No caso da probabilidade de sucesso ser muito pequena e o número de ensaios ser muito grande, a distribuição binomial pode ser aproximada pela distribuição de Poisson [15].

Efetivamente, na análise estocástica da frequência de acidentes é usual admitir que a ocorrência de acidentes é controlada por um processo estacionário de Poisson. Este pressuposto resulta, por um lado, do facto de se constatarem bons ajustes desta distribuição aos valores observados, e, por outro, por existir um elevado número de oportunidades para a ocorrência de acidentes associada a uma muito pequena probabilidade de efetivação de cada uma dessas oportunidades [12].

Na aplicação do modelo de regressão de Poisson à análise da frequência de acidentes envolvendo a AAFR, seja n_i o número de acidentes por saída da faixa de rodagem num trecho de estrada i durante um determinado intervalo de tempo. O modelo generalizado de Poisson é dado por [126]:

$$P(y_i) = \frac{\exp(-\lambda_i)\lambda_i^{y_i}}{y_i!} \quad (3-2)$$

onde $P(y_i)$ corresponde à probabilidade de y acidentes ocorrerem num trecho de estrada i e λ_i é o valor esperado de y_i .

Os modelos de regressão de Poisson são estimados, especificando o parâmetro de Poisson λ_i (o número esperado de eventos por intervalo de tempo) como uma função de variáveis explicativas. Para o caso de acidentes envolvendo a AAFR, as variáveis explicativas podem incluir as condições geométricas da estrada, da AAFR, a natureza dos obstáculos perigosos ou a sua localização, entre outros. A relação mais comum entre as variáveis explicativas e o parâmetro de Poisson é o modelo log-linear dado por [126]:

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i) \quad (3-3)$$

Onde β é um vetor de parâmetros estimados e X_i é um vetor de variáveis explicativas.

Nesta formulação o número esperado de acidentes envolvendo a AAFR que ocorre num trecho de estrada i é dado por:

$$E(y_i) = \lambda_i = \exp(\beta X_i) \quad (3-4)$$

Uma das características da distribuição de Poisson refere-se ao valor médio das contagens ser igual à sua variância. No caso desta ser superior ou inferior àquele constata-se a existência de sobre-dispersão ou subdispersão, respectivamente. Na análise da sinistralidade rodoviária, os dados com sobre-dispersão são bastante comuns, sendo na maioria dos casos modelados através da utilização de modelos de Binomial Negativa [126].

O modelo de binomial negativa é derivado re-escrevendo o parâmetro de Poisson para cada observação i num determinado intervalo de tempo como:

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i + \varepsilon_i) \quad (3-5)$$

onde $\exp(\varepsilon_i)$ é um termo de erro aleatório que segue uma distribuição de probabilidade gama com média 1 e variância α . De acordo com Lord e Mannering [67], o modelo de binomial negativa é provavelmente o modelo mais utilizado na modelação de frequência de acidentes.

Tendo por base o trabalho desenvolvido no âmbito da tarefa WP4, no qual se recorreu aos referidos modelos de binomial negativa, é possível definir λ_i como o número esperado de acidentes que ocorre num trecho de estrada i através da seguinte formulação:

$$\lambda_i = A \times TMDA_i^B \times Extensão_i^C \quad (3-6)$$

Onde A , B e C são parâmetros do modelo, $TMDA$ corresponde ao tráfego médio diário anual durante o período de tempo considerado (quatro anos) e $Extensão$ à extensão do trecho i em quilómetros.

No Quadro 5 apresentam-se os valores dos referidos parâmetros a considerar para o cálculo do número esperado de acidentes num determinado trecho de estrada, por tipo de faixa de rodagem e por tipo de acidente, calculados no relatório referente à tarefa WP4 [105].

Quadro 5 – Parâmetros a considerar nos MEFA (adaptado de [105]).

Tipo de faixa de rodagem	Tipo de acidente	A	B	C
Faixa de rodagem única	Total de acidentes	7.176×10^{-4}	0.855	0.930
	Despiste	3.092×10^{-3}	0.557	1.024
Dupla faixa de rodagem	Total de acidentes	1.953×10^{-4}	0.913	0.773
	Despiste	6.816×10^{-4}	0.713	0.904

De referir que no projeto europeu HEATCO [54] preconizam-se como fatores fundamentais com influência nos valores de risco de acidentes, o tipo de infraestrutura; a velocidade e volume de tráfego; e a composição do tráfego.

A desagregação mais comum em termos de estimativa de frequência de acidentes é por tipo de estrada, já que desta forma a influência das características geométricas e da velocidade é tida em conta, adotando-se funções diferentes para cada tipo funcional de estrada.

As funções consideradas no presente estudo são por tipo de estrada (sendo a influência das características geométricas e da velocidade considerada) e dependem do tráfego médio diário anual e da extensão do trecho. De todos os fatores indicados anteriormente, apenas a composição do tráfego não é considerada nestes modelos, por indisponibilidade de dados para esse efeito.

No projeto ESTRADA [71] recomenda-se que, caso seja necessário obter uma desagregação dos acidentes por tipo de veículo, se admita que esta é proporcional à composição do tráfego do trecho.

4 INTERVENÇÕES CORRETIVAS

4.1 Generalidades

Com a avaliação dos efeitos das intervenções pretende estimar-se, de forma quantitativa, o efeito da realização de uma intervenção corretiva sobre a frequência esperada de acidentes ou de vítimas. Esta quantificação representa um ponto crítico para a aplicação das técnicas de ACB à segurança rodoviária. O conhecimento existente acerca dos efeitos resultantes das intervenções em segurança rodoviária assenta, fundamentalmente, em estudos de avaliação de intervenções anteriores (estudos antes-depois) ou, em menor grau, de MEFA resultantes de análises transversais [15].

A forma mais comum de quantificar o efeito de uma intervenção corretiva sobre a segurança é através da percentagem de redução de acidentes daí decorrente (também designado fator de redução de acidentes). A qualidade da avaliação que é feita à eficácia de uma medida de segurança (ou seja, a previsão da redução de acidentes suscetível de ser atingida) depende do seguinte conjunto de fatores [107]:

- disponibilidade de valores de fatores de redução de acidentes para o tipo de medida em apreço;
- qualidade dos valores existentes, dependente da robustez dos estudos de base usados, ou seja, tendo em conta a possibilidade de existência de fatores de enviesamento capazes de influenciar os resultados;
- variabilidade do efeito (com o contexto de aplicação) para, no caso de existir mais do que um resultado para intervenções semelhantes, garantir a melhor estimativa do efeito da medida prevista;
- efeitos locais e efeitos gerais, assegurando uma adequada combinação dos resultados da avaliação obtidos em determinadas condições locais (país, região, autoridade rodoviária) com uma experiência mais vasta sobre o assunto (por exemplo, efeitos de segurança conhecidos a partir da prática internacional), designadamente através de valores obtidos por meta-análise de vários estudos;
- instabilidade do efeito, nos casos em que o efeito da intervenção depende do volume de tráfego.

A principal fonte de elementos sobre os efeitos das intervenções na infraestrutura para melhoria da segurança rodoviária são os “estudos antes-depois” (EAD) ([15], [53] e [107]). Um EAD consiste, essencialmente: na estimativa do nível de segurança de um local (ou conjunto de locais) num intervalo de tempo padrão anterior à aplicação da intervenção corretiva; na estimativa, para um intervalo de tempo posterior à referida aplicação, do nível de segurança efetivo e do nível que existiria sem intervenção; e na aplicação de um algoritmo de comparação entre a evolução observada e a evolução que teria ocorrido sem intervenção [15]. Os resultados desta comparação podem ser expressos em termos de valores absolutos (variação no número esperado de acidentes ou de vítimas) ou relativos (variação percentual no número esperado de acidentes ou de vítimas), consoante o objetivo da comparação. Como geralmente a intervenção implementada é para reduzir um determinado tipo de acidentes, esta comparação pode ser efetuada relativamente a essa tipologia específica de acidentes [16].

Face à natureza variada das medidas de segurança rodoviária e às limitações dos estudos empíricos, são diversas as formas de avaliar a eficiência destas medidas. Assim, é possível estimar os valores dos efeitos da realização de uma intervenção corretiva de três formas distintas [51]:

- com base em meta-análise²;
- com base em recolha bibliográfica;
- com base em relações conhecidas entre os fatores de risco e os acidentes.

No âmbito do projeto europeu ROSEBUD [127], foi constituído um inventário das medidas de segurança rodoviária abrangendo várias categorias, conforme representado na Figura 3: utente, veículo, infraestrutura, quadro organizacional e serviço de assistência às vítimas em caso de acidente.

As medidas foram desagregadas por tipo de utente alvo (peões e ciclistas, motociclos, veículos pesados de mercadorias, veículos de passageiros) e grupos etários envolvidos (crianças, condutores recém-encartados e idosos).

² Procedimento estatístico destinado a fornecer a análise de um conjunto alargado de resultados de estudos individuais com o objectivo de integrar as conclusões [52].

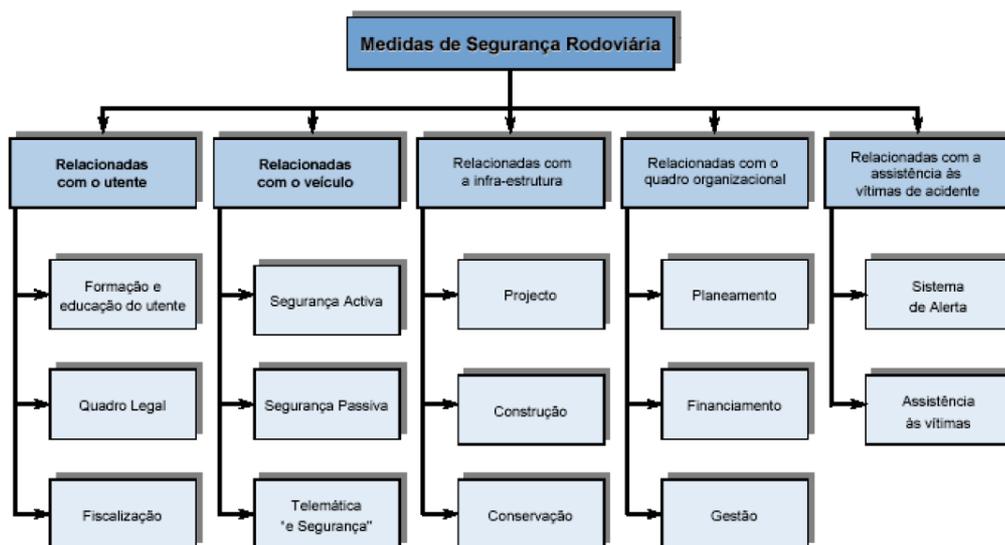


Figura 3 – Classificação das medidas de segurança rodoviária [8].

Os estudos de avaliação analisados no âmbito deste projeto revelaram que, na maioria dos casos (excetuando as medidas de segurança rodoviária relacionadas com o veículo), os efeitos podem ser quantificados através da observação da realidade e pela aplicação de métodos estatísticos adequados [106]. No caso particular das medidas relacionadas com a infraestrutura (onde se inserem as referentes à AAFR), a abordagem quantitativa é facilitada pelo facto dos efeitos poderem ser localizados geograficamente na rede rodoviária.

4.2 Efeitos sobre a segurança da realização de intervenções corretivas envolvendo a AAFR

A forma mais adequada de sintetizar os resultados de estudos de avaliação dos efeitos da realização de um tipo de intervenção é através de meta-análise [51]. Esta técnica fornece simultaneamente uma estimativa ponderada do efeito médio da intervenção e um intervalo de confiança para essa estimativa (normalmente o intervalo de confiança considerado é de 95%). É de destacar que a meta-análise dos estudos de avaliação serve de base à principal referência internacional sobre esta matéria, o “*The Handbook Of Road Safety Measures*” de Elvik *et al.* [30].

No âmbito do presente estudo são particularmente relevantes as intervenções corretivas envolvendo a AAFR. Os efeitos sobre a segurança da realização de um conjunto alargado

deste tipo de intervenções foram documentados com base em meta-análise na publicação atrás referida [30].

Assim, nos quadros seguintes são apresentadas estimativas ponderadas do efeito médio dessas intervenções e um intervalo de confiança para essas estimativas de 95%.

Quadro 6 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo a AAFR no número de acidentes (1) (adaptado de [30]).

Gravidade do acidente	Tipo de acidente afetado	Percentagem de alteração do número de acidentes	
		Melhor estimativa	Intervalo de confiança de 95%
Construção de bermas pavimentadas			
Com vítimas	Todos	-17	(-30, -2)
Só danos materiais	Todos	-49	(-60, -43)
Não especificada	Todos	-26	(-40, -11)
Bermas de grande largura (> 1.5 m)			
Com vítimas	Todos	-19	(-29, -7)
Aumento da largura da berma em estradas rurais			
Com vítimas	Todos	-18	(-27, -7)
Não especificada	Todos	-12	(-23, 0)
Aumento da largura da berma em autoestradas			
Não especificada	Todos	-27	(-43, -8)
Pavimentação das bermas			
Não especificada	Todos os acidentes	-37	(-48, -24)
Nova barreira de segurança ao longo do talude de aterro			
Com vítimas fatais	Despiste	-44	(-54, -32)
Com vítimas	Despiste	-47	(-52, -41)
Não especificada	Despiste	-7	(-35, +33)
Substituição de barreiras de segurança existentes por barreiras mais flexíveis			
Com vítimas fatais	Despiste	-41	(-66, +2)
Com vítimas	Despiste	-32	(-42, -20)
Aumento da largura da zona livre de 1 metro para 5 metros			
Não especificada	Todos	-22	(-24;-20)
Aumento da largura da zona livre de 5 metros para 9 metros			
Não especificada	Todos	-44	(-46;-43)

Quadro 7 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo a AAFR no número de acidentes (2) (adaptado de [30]).

Gravidade do acidente	Tipo de acidente afetado	Percentagem de alteração do número de acidentes	
		Melhor estimativa	Intervalo de confiança de 95%
Redução da inclinação dos taludes de 1V:3H para 1V:4H			
Com vítimas	Todos	-42	(-46;-38)
Só danos materiais	Todos	-29	(-33;-25)
Redução da inclinação dos taludes de 1V:4H para 1V:6H			
Com vítimas	Todos	-22	(-26;-18)
Só danos materiais	Todos	-24	(-26;-21)
Existência de separador central (vs. ausência de separador central)			
Com vítimas	Todos	-15	(-27, -1)
Só danos materiais	Todos	-2	(-19, +19)
Não especificada	Todos	-8	(-15, 0)
Não especificada	Em zonas periurbanas	-9	(-26, +13)
Não especificada	Em zonas urbanas	-19	(-33, -3)
Não especificada	Em reta	-11	(-33, +18)
Não especificada	Em curva	+51	(0, +128)

Quadro 8 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo a AAFR no número de acidentes (3) (adaptado de [30]).

Gravidade do acidente	Tipo de acidente afetado	Percentagem de alteração do número de acidentes	
		Melhor estimativa	Intervalo de confiança de 95%
Separador central em vez de vias mais largas			
Não especificada	Todos	+15	(-49, +163)
Separador central largo em vez de estreito (sem barreira de segurança)			
Não especificada	Todos	-42	(-46, -38)
Separador central com lancil em vez de plano			
Não especificada	Todos	-56	(-58, -54)
Separador central com barreira de segurança em vez de separador com vala			
Não especificada	Todos	-14	(-72, +168)
Separador central com vala em vez de lancil			
Não especificada	Todos	-68	(-71, -65)

Quadro 9 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo a AAFR no número de acidentes (3) (adaptado de [30]).

Gravidade do acidente	Tipo de acidente afetado	Percentagem de alteração do número de acidentes	
		Melhor estimativa	Intervalo de confiança de 95%
Aumento da largura do separador central			
Não especificada	Todos	-5	(-6, -4)
Não especificada	Em zonas rurais	-54	(-58, -51)
Não especificada	Em zonas urbanas	+86	(+78, +95)
Separador central com barreira de segurança em estradas multi-vias			
Com vítimas mortais	Todos	-43	(-53, -31)
Com vítimas	Todos	-30	(-36, -23)
Não especificada	Todos	+24	(+21, +27)
Tipo de barreira de segurança no separador central			
Com vítimas	De betão	+15	(-18, +61)
Com vítimas	Metálicas	-35	(-43, -26)
Com vítimas	Com cabos	-29	(-40, -15)
Bandas sonoras na berma			
Não especificada	Todos	-10	(-21, +4)
Não especificada	Com um único veículo	-25	(-41, -5)
Com vítimas	Despiste	-52	(-80, +14)

Refira-se que os valores constantes dos quadros anteriores nem sempre permitem estimar com exatidão o efeito das possíveis intervenções a implementar. Em diversos casos a gravidade dos acidentes não é descrita (que na maioria dos casos inclui uma mistura de acidentes com vítimas e danos materiais em proporções desconhecidas). Também nem sempre as características técnicas das intervenções são especificadas.

Por outro lado, na estimativa do efeito de qualquer intervenção há que atender às condicionantes locais da zona em estudo. No entanto, esta matéria, que diz respeito à validade externa dos estudos de avaliação dos efeitos da realização de um tipo de intervenção, foi um dos aspetos tidos em conta na meta-análise realizada por Elvik *et al.* [30].

A validade externa refere-se à possibilidade de generalizar os resultados da investigação para contextos diferentes daqueles em que a investigação foi feita [34]. O contexto pode, por exemplo, ser definido em termos do ano ou país onde o estudo foi realizado.

A validade externa pode ser avaliada comparando os resultados dos estudos que foram feitos em diferentes contextos. Se os resultados forem semelhantes, a validade externa do conjunto de estudos é alta. Se os resultados diferirem muito, a validade externa é posta em causa [30]. É, assim, difícil avaliar a validade externa de um único estudo.

A capacidade de avaliação da validade externa é função do número e do intervalo de repetições [34]. Entende-se por repetição qualquer novo estudo capaz de avaliar os efeitos de uma determinada intervenção de segurança rodoviária, aplicando, pelo menos nos seus elementos principais, o mesmo tipo de modelo de acidentes (modelos transversais, de séries temporais, EAD, etc.) dos estudos anteriores. Segundo Elvik [34], estudos que apliquem modelos de acidentes diferentes não podem ser considerados como repetições, uma vez que cada modelo produz a sua estimativa de efeito.

A meta-análise cumulativa (*cumulative meta-analysis*) é adequada à tarefa de avaliação da validade externa com base no intervalo de repetições. A meta-análise cumulativa é uma técnica útil de análise porque pode ser utilizada para comparar os resultados de cada novo estudo com o resultado da média ponderada obtida em estudos anteriores [34].

A validade externa dos estudos de avaliação pode ainda ser testada por meta-regressão (*meta-regression*), através da atribuição de uma variável muda para cada país ou região [34]. No entanto, a inclusão de muitos países implicará um número elevado de variáveis mudas.

Outro estudo de referência é o realizado nos Estados Unidos da América (EUA) pela *Federal Highway Administration* (FHWA), no âmbito do desenvolvimento do *Highway Safety Manual*, designado “*Toolbox of Countermeasures and Their Potential Effectiveness for Roadway Departure Crashes*” [41]. Neste estudo são definidos fatores de redução de acidentes (*Crash Reduction Factors*) para um conjunto alargado de intervenções corretivas envolvendo a AAFR. Um Fator de Redução de Acidentes (FRA) corresponde à redução percentual esperada de acidentes após a implementação de uma determinada intervenção corretiva num local específico. Por exemplo, é expectável que a instalação de amortecedores de choque na AAFR provoque uma redução de 29% do total de acidentes, bem como uma redução de 45% para acidentes com despiste.

O FRA constitui uma estimativa genérica da eficácia de uma intervenção corretiva. A estimativa é uma orientação útil mas não invalida a conveniência da avaliação ao nível da engenharia de segurança e a consideração das características próprias do trecho em estudo (aspetos ambientais, volume e composição do tráfego, características geométricas, e condições operacionais) que afetam o impacto na segurança dessa mesma intervenção [41].

O Fator de Modificação de Acidentes (FMA) é um parâmetro idêntico ao anterior, que permite transformar a frequência esperada de acidentes de um elemento rodoviário na de outro com esse atributo. Os FMA podem ser usados para calcular a frequência esperada quer de um elemento genérico quer o efeito de alterações (intervensões) nas características de um elemento rodoviário[41].

Estes dois indicadores são vulgarmente usados nos EUA, no campo da segurança rodoviária, sendo relacionáveis pela seguinte fórmula [41]:

$$FMA = 1 - (FRA/100) \quad (4-1)$$

Nos quadros seguintes são apresentados os valores de FRA de acidentes envolvendo a saída da faixa de rodagem. Quando disponíveis, apresentam-se entre parêntesis os valores do respetivo erro padrão (que se denota por s), parâmetro que permite calcular o intervalo de confiança de 95%: [FRA-2 s ; FRA+2 s].

Quadro 10 – FRA de intervenções corretivas envolvendo barreiras de segurança

(adaptado de [41]).

Intervenção	Gravidade do acidente	Tipo de zona	Tipo de estrada	Total de acidentes [%]	Despistes [%]	Colisão com obstáculos [%]	TMDA [veículos/dia]
Melhorar barreiras de segurança							
	Todas			18		23	<5 000/via
	Todas			9	32	18	>5 000/via
	Com vítimas				26		
	Com vítimas		Todos	50			
	Com vítimas			35			
Instalar barreiras de segurança							
Para proteção de pedras e postes	Todas			14		100	
	Com vítimas			31			
Para proteção de árvores	Com vítimas fatais			65			
	Com vítimas			51			
Rígida no intradorso e extradorso de curvas	Com vítimas fatais / vítimas			39			
Em pontões	Todas			27			
Em valetas	Com vítimas			26			
Em taludes de aterro	Todas		Todos		7(31)		
	Com vítimas fatais		Todos		44(10)		
	Com vítimas			42			
	Com vítimas		Todos		47(5)		
No intradorso de curvas	Com vítimas fatais / vítimas			28			
No extradorso de curvas	Com vítimas fatais / vítimas			63			
Instalar amortecedores de choque							
	Todas			29	45		
	Com vítimas fatais	Todos	Todos	75		69(28)	
	Com vítimas	Todos	Todos	50		69(10)	
	Só danos materiais					46(30)	
Substituição de barreiras de segurança existentes por barreiras mais flexíveis (betão → metálicas → cabos)							
	Com vítimas fatais		Todos		41(31)		
	Com vítimas		Todos		32(10)		

Quadro 11 – FRA de intervenções corretivas em pontes (adaptado de [41]).

Intervenção	Gravidade do acidente	Tipo de zona	Tipo de estrada	Total de acidentes [%]	Despistes [%]	Colisão com obstáculos [%]	TMDA [veículos/dia]
Instalar muros de guarda para veículos							
	Todas			22			<5 000/via
	Todas			20			>5 000/via
	Todas						
	Com vítimas fatais			90			
	Com vítimas			45			
Alargar obra-de-arte							
Geral	Todas			45	45	45	
	Com vítimas fatais / vítimas			92			
	Só danos materiais			95			
De 5.5 para 7.3 m	Todas			68			
De 5.5 para 9.1 m	Todas			93			
De 6.1 para 7.3 m	Todas			56			
De 6.1 para 9.1 m	Todas			90			
De 6.7 para 7.3 m	Todas			36			
De 6.7 para 9.1 m	Todas			86			

Quadro 12 – FRA de intervenções corretivas envolvendo o traçado rodoviário (adaptado de [41]).

Intervenção	Gravidade do acidente	Tipo de zona	Tipo de estrada	Total de acidentes [%]	Despistes [%]	Colisão com obstáculos [%]	TMDA [veículos/dia]
Redução da inclinação dos taludes							
Geral	Todas			43			<5 000/via
	Todas			45			>5 000/via
	Todas				10	62	
De 11° para 8°	Todas			8			
De 14° para 9°	Com vítimas	Rural	2 vias	22(4)			
	Só danos materiais	Rural	2 vias	24(2)			
	Todas			7			
De 18° para 9°	Todas	Rural	2 vias	11			
De 18° para 11°	Todas			8			
De 18° para 14°	Com vítimas	Rural	2 vias	42(4)			
	Só danos materiais	Rural	2 vias	29(4)			
	Todas			5			
De 27° para 9°	Todas			12			
De 27° para 11°	Todas			9			
De 27° para 14°	Todas			6			
E remoção de barreiras de segurança	Todas	Todos	Todos	42(58)			
Estabilização da berma							
	Todas			25			
Estabilização e correção de degrau da berma							
	Todas	Todos	Todos	25			
Aumento da largura da berma							
De 1.8 para 2.1 m	Todas	Rural	2 vias	-1(4)			
De 1.8 para 2.4 m	Todas	Rural	2 vias	4(2)			
De 1.8 para 2.7 m	Todas	Rural	2 vias	21(6)			
De 1.8 para mais de 2.7 m	Todas	Rural	2 vias	18(3)			
Aumento da largura da berma pavimentada							
Inicialmente com menos de 0.3 m	Com vítimas fatais / vítimas	Rural	2 vias	25			
Inicialmente entre 0.3 e 1.0 m	Com vítimas fatais / vítimas	Rural	2 vias	13			
De 0 para 0.6 m	Todas				16	16	
De 0.0 para 1.2 m	Todas				29	29	
De 0.0 para 1.8 m	Todas				40	40	
De 0.0 para 2.4m	Todas				49	49	
Aumento da largura da berma não pavimentada							
De 0.0 para 0.6 m	Todas				13	13	
De 0.0 para 1.2 m	Todas				25	25	
De 0.0 para 1.8 m	Todas				34	34	
De 0.0 para 2.4m	Todas				43	43	

Quadro 13 – FRA de intervenções corretivas envolvendo o separador central (1)

(adaptado de [41]).

Intervenção	Gravidade do acidente	Tipo de zona	Tipo de estrada	Total de acidentes [%]	Despistes [%]	Colisão com obstáculos [%]	TMDA [veículos/dia]
Instalar barreiras de segurança no separador central							
Geral	Todas			19	35		
	Todas	Todos	Todos	86(3)			
	Todas		Multi-vias dividida	-24(3)			
	Com vítimas mortais		Multi-vias dividida	43(10)			
	Com vítimas			40			
	Com vítimas fatais / vítimas	Todos	Todos	88(5)			
	Com vítimas		Multi-vias dividida	30(6)			
	Barreiras de segurança com cabos	Todas		Estrada rural (3 vias)	-34(74)		
Com vítimas			Estrada rural (3 vias)	26(84)			
Com vítimas			Multi-vias dividida	29(11)			
Barreiras de segurança rígidas	Com vítimas		Multi-vias dividida	-15(36)			
	Com vítimas fatais			90			
	Com vítimas			10			
Barreiras de segurança metálicas	Com vítimas		Multi-vias dividida	35(8)			
Instalar ou melhorar barreiras de segurança no separador central junto a pontos de divergência							
	Todas			17	56		<5 000/via

Quadro 14 – FRA de intervenções corretivas envolvendo o separador central (2)

(adaptado de [41]).

Intervenção	Gravidade do acidente	Tipo de zona	Tipo de estrada	Total de acidentes [%]	Despistes [%]	Colisão com obstáculos [%]	TMDA [veículos/dia]
Criação de separador central							
Geral	Todas	Todos	Todos	15			
	Com vítimas	Rural	Multi-vias	12(3)			
	Com vítimas fatais / vítimas	Rural	2 vias	-94 ³ (56)			
	Com vítimas	Urbano	Multi-vias	22(2)			
	Com vítimas fatais / vítimas	Urbano	2 vias	39(10)			
	Só danos materiais	Rural	Multi-vias	18(3)			
	Só danos materiais	Rural	2 vias	-128(55)			
	Só danos materiais	Urbano	Multi-vias	-9(2)			
Com vias de viragem	Todas			44			<5 000/via
	Todas			52			>5 000/via
	Com vítimas			90			
Com lancil	Todas			20			

³ Constataram-se efeitos desfavoráveis da instalação de separadores centrais em curvas e nos casos em que a instalação destes separadores foi obtida com estreitamento das vias. Por outro lado, em estradas de faixa de rodagem única com pouco tráfego nem todas as saídas de via para a esquerda resultam em acidente; o que não acontece nas estradas com separador central em vala ou com barreiras de segurança, justificando, assim, o aumento de acidentes com a instalação do separador.

Quadro 15 – FRA de intervenções corretivas envolvendo a sinalização vertical, marcação rodoviária e operação (adaptado de [41]).

Intervenção	Gravidade do acidente	Tipo de zona	Tipo de estrada	Total de acidentes [%]	Despistes [%]	Colisão com obstáculos [%]	TMDA [veículos/dia]
Redução do limite de velocidade através da alteração do limite legal imposto por sinalização e fiscalização							
Em 5%	Com vítimas fatais	Todos	Todos	17(5)			
	Com vítimas	Todos	Todos	7(3)			
	Danos materiais	Todos	Todos	5(4)			
Em 10%	Com vítimas fatais	Todos	Todos	32(9)			
	Com vítimas	Todos	Todos	15(5)			
	Só danos materiais	Todos	Todos	10(8)			
Em 15%	Com vítimas fatais	Todos	Todos	44(14)			
	Com vítimas	Todos	Todos	22(8)			
	Só danos materiais	Todos	Todos	15(12)			
Instalação de bandas sonoras na bermá							
	Todas	Todas	Autoest rada		18(7)		
	Todas	Rural	Todos		34		
	Todas	Rural	Arterial		16		
	Todas	Rural	Autoest rada		21(10)		
	Todas	Rural	Estrada rural		27(22)		
	Todas	Rural	Estrada rural		38		
	Todas	Rural	Multi-vias dividida	16	10		
	Todas	Rural	3 vias		36		
	Todas	Rural	2 vias		13(8)		> 4 000
	Com vítimas fatais / vítimas	Rural	2 vias		18(12)		> 4 000
	Com vítimas	Todas	Autoest rada		13(12)		
	Com vítimas	Rural	Autoest rada		7(16)		
	Com vítimas	Rural	Multi-vias dividida	17	22		
De estradas com iluminação	Todas	Todos			41		
De estradas sem iluminação	Todas	Todos			31		

Quadro 16 – FRA de intervenções corretivas envolvendo as características da AAFR (1)

(adaptado de [41]).

Intervenção	Gravidade do acidente	Tipo de zona	Tipo de estrada	Total de acidentes [%]	Despistes [%]	Colisão com obstáculos [%]	TMDA [veículos/dia]
Criação de estrada secundária paralela							
	Todas			40			
Remoção de obstáculos							
Postes e instalação subterrânea das linhas respetivas	Todas			40			
Em curvas para aumento da distância de visibilidade	Com vítimas fatais / vítimas	Rural	2 vias	5			

Quadro 17 – FRA de intervenções corretivas envolvendo as características da AAFR (2)

(adaptado de [41]).

Intervenção	Gravidade do acidente	Tipo de zona	Tipo de estrada	Total de acidentes [%]	Despistes [%]	Colisão com obstáculos [%]	TMDA [veículos/dia]
Remoção ou deslocação de obstáculos fixos para fora da zona livre							
	Todas	Todos	Todos	38(10)			
	Todas			18			<5 000/via
	Todas			17			>5 000/via
	Todas					65	
	Todas	Urbano				20	
	Todas				71		
	Com vítimas fatais / vítimas	Todos	Todos	38(13)			
Alargamento da zona livre							
Em 1.5 m	Todas					13	
Em 2.4 m	Todas					21	
Em 3.0 m	Todas					25	
Em 4.6 m	Todas					35	
Em 6.1 m	Todas					44	
Pavimentação das bermas							
	Todas			15			

É ainda de referir o EAD sobre os efeitos das intervenções na AAFR para melhoria da segurança rodoviária, desenvolvido por Corben *et al.* [22] na Austrália durante a década de 1990. O estudo teve como objetivo avaliar diversas intervenções corretivas para mitigação da sinistralidade associada às colisões com obstáculos perigosos presentes na AAFR, em termos de frequência de acidentes e respetivos custos. Foram avaliadas 254 intervenções implementadas no estado de Vitória desde 1989 até 1994, tendo as mesmas sido agrupadas por diversas categorias e tipos de intervenção.

No Quadro 18 e no Quadro 19 apresentam-se os resultados referentes à análise da frequência de acidentes, por tipo de intervenção. Tal como nos estudos anteriores, os resultados são expressos em termos relativos, mais concretamente em termos de variação percentual no número esperado de acidentes. É dado particular destaque aos resultados estatisticamente significativos para um nível de significância de 5% (assinalados a *itálico*). Todavia, são igualmente apresentados os resultados das intervenções que são estatisticamente significativos para critérios menos rigorosos, visto tratarem-se, ainda assim, de intervenções potencialmente benéficas do ponto de vista da segurança rodoviária.

Dos resultados constantes dos quadros referidos são de destacar (em *itálico*) as intervenções corretivas com reduções estatisticamente mais significativas. Das alterações ao traçado em planta resultou uma redução de 43.6% na frequência de acidentes. Também a introdução de medidas conducentes à melhoria do pavimento das bermas produziu reduções estatisticamente significativas de 31.8% na frequência de acidentes.

Quadro 18 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo obstáculos perigosos na AAFR no número de acidentes, por tipo de intervenção (1) (adaptado de [22]).

Tipo de intervenção	Percentagem de alteração do número de acidentes [%]		Qui-quadrado	Valor de prova, p
	Melhor estimativa	Intervalo de Confiança de 95%		
Remoção de obstáculo				
Remoção de poste	-1.9	(-24.8, 28.1)	0.02	0.888
Reposicionamento de poste	12.7	(-20.3, 59.3)	0.46	0.498
Poste com suporte frágil	-13.9	(-37.8, 19.2)	0.81	0.367
Remoção de árvore	102.8	(-32.6, 510.3)	1.58	0.209
Barreira de segurança	-21.0	(-42.0, 7.8)	2.21	0.137
Terminal	42.7	(3.7, 96.3)	4.76	0.029
Terminal em obra-de-arte	41.6	(-26.8, 174.0)	1.07	0.301
Diversos	27.7	(-25.8, 119.9)	0.78	0.377
Delimitação de obstáculo				
Delimitação de outros obstáculos	-19.9	(-67.1, 95.1)	0.24	0.626
Projeto da estrada e da AAFR				
<i>Alteração do traçado em planta</i>	-43.6	(-61.4, -17.6)	8.77	0.003
Alargamento da plataforma (<i>pavement widening</i>)	47.5	(-8.9, 138.8)	2.50	0.114
Melhoria da inclinação transversal (<i>Improved cross-fall</i>)	-38.3	(-68.4, 20.7)	1.99	0.159
Alargamento de pontão (<i>Culvert widening</i>)	-5.7	(-53.9, 92.7)	0.03	0.872
Alargamento de obra-de-arte (<i>Bridge widening</i>)	-18.2	(-53.5, 43.9)	0.49	0.486
Alargamento do pavimento da obra-de-arte (<i>Bridge pavement widening</i>)	-100.0	(-100, n/a)	0.00	1.000
Diversos	-34.0	(-70.1, 45.5)	1.06	0.303

Quadro 19 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo obstáculos perigosos na AAFR no número de acidentes, por tipo de intervenção (2) (adaptado de [22]).

Tipo de intervenção	Percentagem de alteração do número de acidentes [%]		Qui-quadrado	Valor de prova, p
	Melhor estimativa	Intervalo de Confiança de 95%		
Delimitação da plataforma (<i>Roadway Delineation</i>)				
Bandas sonoras (<i>Tactile Edge lining</i>)	2.4	(-17.3, 26.8)	0.05	0.827
Guia (<i>Edge Lining</i>)	-1.4	(-11.7, 10.1)	0.07	0.797
Marcadores (<i>Raised Pavement Markings</i>)	-3.1	(-59.5, 131.9)	0.01	0.943
Marcadores refletores (<i>Raised Reflective Pavement Markers</i>)	-11.6	(-47.3, 48.3)	0.22	0.641
Sinalização de curvas (<i>Curve Delineation Signs</i>)	-100.0	(-100.0, n/a)	0.00	1.000
Delineadores (<i>Guideposts</i>)	-26.7	(-86.8, 306.6)	0.13	0.723
Iluminação pública	24.9	(0.0, 56.1)	3.84	0.050
Delimitação geral (<i>General Delineation</i>)	9.1	(-39.2, 95.7)	0.09	0.770
Guias e sinalização vertical “de código” relacionada com curvas	-18.6	(-44.4, 19.2)	1.12	0.291
Marcadores refletores e sinalização vertical “de código” relacionada com curvas	-6.2	(-42.4, 52.6)	0.07	0.796
Diversos	-2.7	(-49.5, 87.6)	0.01	0.936
Melhoria do pavimento rodoviário				
Aplicação de revestimento antiderrapante (<i>Skid Resistance</i>)	-75.2	(-96.8, 90.9)	1.79	0.181
Selagem das fendas em bermas (<i>Large-scale Shoulder Sealing</i>)	-31.8	(-42.4, -19.2)	19.64	0.000
Tratamento de selagem de juntas em pontes (<i>Shoulder Sealing on Bridge</i>)	-7.1	(-46.9, 62.3)	0.07	0.795
Tratamento de selagem das fendas em bermas e introdução de bandas sonoras	-28.4	(-50.7, 4.1)	3.06	0.081
Diversos	131.8	(-49.1, 954.7)	1.18	0.277
Medidas de fiscalização (<i>Traffic Operations</i>)				
Diversos	-100.0	(-100.0, n/a)	0.00	1.000
Diversos	-28.1	(-41.7, -11.4)	9.55	0.002

A selagem das fendas em bermas, a par com a introdução de bandas sonoras, resultou numa redução de 28.4% na frequência de acidentes. Contudo, esta redução não se revelou estatisticamente significativa para um nível de significância de 5%, apresentando um valor de prova ligeiramente acima do limite para este nível de significância ($p=0.08$), sendo, no entanto, significativo para um nível de significância de 10%.

Por outro lado, algumas intervenções corretivas resultaram em aumentos na frequência de acidentes. É o caso da instalação de iluminação pública, a qual conduziu a um aumento de 24.9% na frequência de acidentes. Também a introdução de terminais em barreiras de segurança resultou num aumento de 42.7% na frequência de acidentes. Contudo este último valor resulta da análise de apenas três intervenções deste tipo, o que dificulta a obtenção de inferências estatisticamente significativas.

Refira-se, por último, que esta análise incidiu apenas sobre acidentes por saída da faixa de rodagem de um veículo descontrolado; a pequena quantidade de acidentes registados nos períodos antes ou depois impediu a análise dos efeitos de 52 das 254 intervenções estudadas

Importa ainda descrever diversos estudos que, embora menos abrangentes, são igualmente relevantes para a avaliação dos efeitos sobre a segurança das melhorias em infraestruturas rodoviárias.

Relativamente às dimensões da zona livre, McGee [83] refere que a supressão ou remoção para locais mais afastados da faixa de rodagem de obstáculos perigosos que se encontrem junto ao limite desta resulta numa redução no número de acidentes, conforme expresso no Quadro 20. A percentagem de redução aplica-se independentemente das condições iniciais do local. Contudo, uma vez que nas estradas com zona livre reduzida ou inexistente a probabilidade de ocorrência de acidentes é maior que nas estradas com zona livre de largura superior, a redução de acidentes (em termos absolutos) será maior neste tipo de estradas.

Quadro 20 – Percentagem de redução de acidentes para aumentos da largura da zona livre (adaptado de [83]).

Valor do aumento da largura da zona livre (m)	Redução no total de acidentes relacionados com a AAFR (%)
1.5	13
2.4	21
3.0	25
3.7	29
4.6	35
6.1	44

No que diz respeito à inclinação dos taludes destacam-se os estudos realizados nos EUA pelo *Federal Highway Administration* (FHWA) [40] e por McGee [83], cujos resultados se apresentam no Quadro 21 e no Quadro 22 respetivamente.

Quadro 21 – Redução percentual de despistes e do total de acidentes resultante da redução da inclinação dos taludes (adaptado de [40]).

Inclinação do talude “antes”	Inclinação do talude “depois”							
	1V:4H		1V:5H		1V:6H		1V:7H	
	Despistes	Total	Despistes	Total	Despistes	Total	Despistes	Total
1V:2H	10	6	15	9	21	12	27	15
1V:3H	8	5	14	8	19	11	26	15
1V:4H	-	-	6	3	12	7	19	11
1V:5H	-	-	-	-	6	3	14	8
1V:6H	-	-	-	-	-	-	8	5

Quadro 22 – Percentagem de redução de acidentes para alterações na inclinação dos taludes (adaptado de [83])

Inclinação do talude “antes”	Inclinação do talude “depois”				
	1V:3H	1V:4H	1V:5H	1V:6H	1V:7H
	Redução nos tipos de acidentes relacionados [%]				
1V:2H	2	7	11	15	20
1V:3H	-	6	10	14	19
1V:4H	-	-	4	9	14
1V:5H	-	-	-	4	10
1V:6H	-	-	-	-	6

Verificam-se diferenças nos resultados obtidos nos dois estudos, que se podem justificar por condicionantes locais ou pelo tipo de acidentes considerados. No estudo da FHWA [40], consideram-se os despistes e o total de acidentes enquanto no estudo desenvolvido por McGee [83] são considerados os acidentes relacionados com a AAFR, não sendo feita uma descrição dos mesmos. Refira-se que no estudo realizado pela FHWA no âmbito do desenvolvimento do *Highway Safety Manual*, anteriormente referido [41], foram utilizados os valores do Quadro 21.

No Quadro 23 apresenta-se um resumo das medidas possíveis e dos seus efeitos (qualitativos) nos níveis da gravidade e da frequência dos acidentes, para postes de eletricidade e de telefone, de acordo com um estudo realizado por Zegeer e Cynecki [131] na década de 1980.

Quadro 23 – Efeitos resultantes das medidas relativas aos postes de eletricidade e de telefone (adaptado de [131]).

Medida	Efeito na frequência de acidentes com postes	Efeito na gravidade dos acidentes com postes
Aumento da distância lateral entre os postes e a faixa de rodagem	Redução no número de acidentes com postes. Pode ocorrer um aumento das colisões com outros tipos de obstáculos perigosos.	Sem efeitos.
Linhas subterrâneas	Eliminação dos acidentes com postes, podendo, no entanto, ocorrer um aumento das colisões com outros tipos de obstáculos perigosos.	Reduz a percentagem de acidentes com feridos e mortos.
Redução da densidade de postes	Redução no número de acidentes com postes. Pode ocorrer um aumento das colisões com outros tipos de obstáculos perigosos.	Sem efeitos.
Combinação do aumento da distância lateral entre postes e da redução da densidade de postes	Redução no número de acidentes com postes. Pode ocorrer um aumento das colisões com outros tipos de obstáculos perigosos.	Sem efeitos.
Utilização de suportes frágeis	Sem efeitos.	Reduz a percentagem de acidentes com feridos e mortos.

Tendo por base o levantamento descrito neste sub-capítulo (4.2), apresenta-se no Quadro 24 e no Quadro 25 uma síntese dos efeitos de primeira ordem das intervenções corretivas consideradas no âmbito do presente estudo, tendo em consideração o tipo de acidente alvo e o tipo de medida em que estas intervenções se inserem. É importante recordar que as medidas a tomar relativamente a um obstáculo perigoso são, por ordem de preferência, as seguintes:

- A sua remoção;
- O seu reposicionamento;
- A redução da intensidade do impacto (através da utilização de suportes frágeis ou tornando o perigo atravessável);
- A proteção do tráfego com um sistema de retenção rodoviário de veículos (SRRV).

Quadro 24 – Efeitos de primeira ordem (E_i) das intervenções corretivas (1)
(adaptado de [30] e [41])

Intervenção	Tipo de acidente afetado	Tipo de medida a tomar					E_i (%)	Observações
		Remoção	Reposicionamento	Redução da intensidade	SRRV	Outros		
Remoção de obstáculos em curvas para aumento da distância de visibilidade	Todos	•					5	Estrada de 2 vias em zona rural
Separador central com vala em vez de lancil	Todos	•					68	
Aumento da largura da zona livre de 1 metro para 5 metros	Todos	•	•				22	
Aumento da largura da zona livre de 5 metros para 9 metros	Todos	•	•				44	
Aumento da largura do separador central	Todos	•	•				5	
Existência de separador central (vs. ausência de separador central)	Todos	•	•				15	
Remoção ou deslocação de obstáculos fixos para fora da zona livre	Todos	•	•				38	
Separador central largo em vez de estreito (sem barreira de segurança)	Todos	•	•				42	
Aumento da largura da berma (inicialmente com menos de 0.3 m)	Todos		•				25	Estrada de 2 vias em zona rural
Aumento da largura da berma (inicialmente entre 0.3 e 1.0 m)	Todos		•				13	Estrada de 2 vias em zona rural
Aumento da largura da berma em autoestradas	Todos		•				27	
Aumento da largura da berma em estradas rurais	Todos		•				18	
Bermas de grande largura (> 1.5 m)	Todos		•				19	
Criação de separador central	Todos		•				12	Estrada multi-vias em zona rural
Criação de separador central	Todos		•				-94	Estrada de 2 vias em zona rural
Criação de separador central	Todos		•				22	Estrada multi-vias em zona urbana
Criação de separador central	Todos		•				39	Estrada de 2 vias em zona urbana
Construção de bermas pavimentadas	Todos			•			17	
Instalação de amortecedores de choque	Despiste			•			69	
Pavimentação das bermas	Todos			•			37	
Redução da inclinação dos taludes de 1V:3H para 1V:4H	Todos			•			42	
Redução da inclinação dos taludes de 1V:4H para 1V:6H	Todos			•			22	
Instalação de barreiras de segurança (cabos) no separador central	Todos				•		26	Estrada de 3 vias em zona rural
Instalação de barreiras de segurança (cabos) no separador central	Todos				•		29	Estrada multi-vias dividida
Instalação de barreiras de segurança (em taludes de aterro)	Despiste				•		47	
Instalação de barreiras de segurança (em taludes de aterro)	Todos				•		42	
Instalação de barreiras de segurança (em valetas)	Todos				•		26	
Instalação de barreiras de segurança (metálica) no separador central	Todos				•		35	Estrada multi-vias dividida
Instalação de barreiras de segurança (no extradorso de curvas)	Todos				•		63	
Instalação de barreiras de segurança (no intradorso de curvas)	Todos				•		28	
Instalação de barreiras de segurança (rígida) no separador central	Todos				•		10	
Instalação de barreiras de segurança no separador central	Todos				•		40	

Quadro 25 – Efeitos de primeira ordem (E_i) das intervenções corretivas (2)
(adaptado de [30] e [41])

Intervenção	Tipo de acidente afetado	Tipo de medida a tomar					E_i (%)	Observações
		Remoção	Reposicionamento	Redução da intensidade	SRRV	Outros		
Instalação de barreiras de segurança no separador central	Todos				•		30	Estrada multi-vias dividida
Instalação de barreiras de segurança para proteger árvores	Todos				•		51	
Instalação de barreiras de segurança para proteger árvores	Todos				•		51	
Instalação de barreiras de segurança para proteger pedras e postes	Todos				•		31	
Instalação de barreiras de segurança rígida no intradorso e extradorso de curvas	Todos				•		39	
Instalação de muros de guarda para veículos	Todos				•		45	
Separador central com barreira de segurança em vez de separador com vala	Todos				•		14	
Separador central com lancil em vez de plano	Todos				•		56	
Substituição de barreiras de segurança existentes por barreiras mais flexíveis (betão → metálicas → cabos)	Despiste				•		32	
Instalação de bandas sonoras na berma	Despiste					•	52	
Criação de separador central com vias de viragem	Todos					•	90	
Instalação de bandas sonoras na berma	Despiste					•	13	Autoestrada
Instalação de bandas sonoras na berma	Despiste					•	7	Autoestrada em zona rural
Instalação de bandas sonoras na berma	Despiste					•	22	Estrada multi-vias dividida
Redução do limite de velocidade em 10% através da alteração do limite legal imposto por sinalização e fiscalização	Todos					•	15	
Redução do limite de velocidade em 15% através da alteração do limite legal imposto por sinalização e fiscalização	Todos					•	22	
Redução do limite de velocidade em 5% através da alteração do limite legal imposto por sinalização e fiscalização	Todos					•	7	
Separador central em vez de vias mais largas	Todos					•	-15	

Por último, é de referir, pela sua importância para o presente estudo, a inexistência de estudos que permitam avaliar o efeito de alterações no nível de retenção das barreiras de segurança ou no de gravidade do embate nas mesmas.

4.3 Outros efeitos da realização de intervenções corretivas

Tal como referido anteriormente, o objetivo de qualquer intervenção corretiva é diminuir os danos resultantes de acidentes rodoviários, pelo que os principais efeitos a considerar são os relacionados com a segurança: a mudança no número de vítimas mortais, de feridos graves e leves, e, eventualmente, montante dos danos materiais.

Contudo, as intervenções corretivas de segurança rodoviária podem também produzir efeitos na mobilidade e no meio ambiente [30].

Nesta ótica, os efeitos na mobilidade incluem alterações no tempo de viagem e nos custos de manutenção dos veículos [107]. Muitas intervenções de segurança rodoviária afetam o volume de tráfego ou a velocidade das viagens. Em teoria, esses efeitos na mobilidade podem ser causados por qualquer medida que aumente o custo das viagens [35]. No caso, por exemplo, das luzes de cruzamento (*daytime running lights*), os custos adicionais destas intervenções são muito baixos quando comparados com os custos operacionais e o preço de compra dos veículos. Daí que, em casos como este, os efeitos das intervenções na mobilidade possam ser ignorados.

Da mesma forma, muitas intervenções podem ter impacto sobre as emissões poluentes e o ruído. Regressando ao mesmo exemplo, as luzes de circulação diurna aumentam o consumo de combustível e a emissão de gases de escape. De acordo com uma estimativa do *European Transport Safety Council* [35] de 2003, o custo total da poluição devido às emissões de combustível no transporte rodoviário na União Europeia, ascende a 20 mil milhões de euros por ano. Como o consumo adicional de combustível devido à utilização destes sistemas de iluminação é, de acordo com a mesma fonte, de aproximadamente 1%, o efeito ambiental da medida resultará em despesas de 200 milhões de euros por ano.

Nos últimos anos, a lista de intervenções a incluir em análises de custo-benefício tem crescido significativamente, com cada vez mais itens a serem valorizados em termos monetários [31]. Contudo, no caso das intervenções corretivas envolvendo a AAFR, os efeitos em termos de mobilidade ou meio ambiente são, em grande parte dos casos, desconhecidos ou inexistentes.

Não foram identificados estudos que indiquem a influência das intervenções corretivas na AAFR (como, por exemplo, a redução da inclinação dos taludes ou o aumento da largura da zona livre) na mobilidade. Contudo, é possível que estas intervenções, ao aumentarem as distâncias de visibilidade, promovam um aumento da velocidade [30]. Também no que diz respeito aos sistemas de retenção de veículos, o estudo da sua

influência na mobilidade é, praticamente, inexistente. Para Carlsson, Brude e Bergh⁴ (citado em [30]), a instalação de barreiras de segurança em estradas de faixa de rodagem única na Suécia tem sido associada a um aumento na velocidade média de cerca de 2 km/h.

No que diz respeito aos efeitos sobre o meio ambiente, não foram detetados estudos que demonstrem a influência das intervenções corretivas na AAFR ou da presença de sistemas de retenção de veículos. Taludes em aterro ou escavação de maiores dimensões correspondem a intervenções mais profundas na paisagem, podendo ter um efeito negativo na mesma (embora não quantificado). A plantação de vegetação ao longo dos taludes pode reduzir este efeito negativo. Os sistemas de retenção de veículos não têm, provavelmente, qualquer efeito significativo sobre o ruído ou a poluição do ar [30]. Por outro lado, uma barreira de segurança pode aumentar o efeito de barreira de uma estrada relativamente a peões, ciclistas ou animais. As bandas sonoras aumentam o ruído, visto ser esse o efeito pretendido com a sua aplicação.

Nos quadros seguintes são apresentados os valores contidos no “*The Handbook of Road Safety Measures*” [30] para os efeitos sobre a mobilidade e o meio ambiente da realização destas intervenções.

Quadro 26 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo a AAFR na mobilidade (adaptado de [30]).

Intervenção	Parâmetro de mobilidade	
	Volume de tráfego	Velocidade
Intervenções corretivas na AAFR	Desconhecido	Desconhecido
Barreiras de segurança e amortecedores de choque	Nenhum	Nenhum

Quadro 27 – Efeito da realização de intervenções corretivas envolvendo a AAFR no meio ambiente (adaptado de [30]).

Intervenção	Alteração nos níveis de ruído e poluição
Intervenções corretivas na AAFR	Desconhecida
Barreiras de segurança e amortecedores de choque	Nenhuma

⁴ Carlsson, A.; Brude, U. & T. Bergh. (2001). Utvardering av alternativ 13m vag. Halva rsrapport 2001:1. VTI notat 69-2001. Vag- och Transportforskningsinstitutet, Linkoping.

Importa, por último, referir que os resultados de análises custo-benefício poderão sofrer uma alteração significativa pela inclusão dos efeitos atualmente desconhecidos.

4.4 Efeito da realização de múltiplas intervenções corretivas

O objetivo de redução da sinistralidade envolvendo a AAFR pode ser atingido através da realização de diversas intervenções corretivas. Frequentemente, para o mesmo problema de segurança rodoviária estão disponíveis diversas intervenções, que podem ser utilizadas alternativamente ou de forma complementar.

Assim, importa antes de mais definir o conceito de “efeito de primeira ordem” (*first order effect*) de uma intervenção corretiva. Este conceito corresponde ao efeito dessa intervenção na segurança quando aplicada isoladamente, independentemente das possíveis interações com outras intervenções ([31], [32] e [33]).

Assim, o efeito de primeira ordem de uma intervenção corretiva, E_i , é dado por:

$$E_i = \frac{\text{número de acidentes – alvo evitados}}{\text{número total de acidentes – alvo}} \quad (4-2)$$

Em que E_i é expresso em termos do número de acidentes, mortes ou feridos que a intervenção é capaz de evitar no tipo de acidentes a que se destina (aqui designados como “acidentes-alvo”).

O efeito combinado de n intervenções corretivas que afetem o mesmo grupo de acidentes ou lesões (EC) pode ser estimado de acordo com a equação seguinte ([32] e [44]):

$$EC = 1 - \prod_{i=1}^n R_i \quad (4-3)$$

Em que R_i , que designa o "resíduo" da intervenção i e corresponde ao número de acidentes, mortes ou feridos que a referida intervenção não é capaz de evitar, é dado por:

$$R_i = 1 - E_i \quad (4-4)$$

Se, por exemplo, duas intervenções influenciam o mesmo grupo de 100 acidentes-alvo e uma das intervenções reduz esses mesmos acidentes em 20% e a outra em 30%, o seu efeito combinado é estimada como:

$$\begin{aligned} EC &= 1 - [(1 - 0.2) \times (1 - 0.3)] \\ &= 1 - (0.80 \times 0.7) = 1 - 0.56 \\ &= 44\% \text{ de redução} \end{aligned}$$

Este método de estimar os efeitos combinados de medidas é designado por Elvik [33] como o "método dos resíduos comuns" (*method of common residuals*). O termo "resíduos" refere-se aos acidentes que subsistem após a aplicação de uma intervenção. No exemplo acima, a primeira intervenção elimina 20 acidentes, permanecendo 80; a segunda intervenção elimina 30 acidentes, restando 70. Assim, após a introdução da primeira intervenção, a segunda irá reduzir os 80 acidentes residuais em 30%, correspondente a 24 acidentes. O resíduo comum das duas intervenções simultâneas é, portanto, de 56 acidentes.

O método dos resíduos comuns equivale, em microeconomia, à lei dos rendimentos marginais decrescentes (*law of diminishing returns*) segundo a qual a produtividade marginal de um fator é decrescente, pelo menos a partir de uma certa quantidade desse fator, mantendo a quantidade dos restantes fatores constante [82].

Na prática, os efeitos poderão não ser totalmente independentes. Intervenções cujos efeitos são de grande amplitude são suscetíveis de influenciar também alguns fatores de risco que são alvos de outras intervenções, reduzindo assim os efeitos de primeira ordem destas [33]. Sendo a velocidade um fator de risco para todos os acidentes, é provável que este fenómeno se verifique, com particular incidência, em intervenções que influenciam a velocidade, tais como, os sistemas de adaptação inteligente da velocidade dos veículos. Para ter em consideração este fenómeno, a Equação (4-3) pode ser re-escrita, elevando os resíduos comuns à potência do resíduo da intervenção mais eficaz incluída no pacote de intervenções [33].

Desta forma, o Efeito Combinado Ajustado (*ECA*) de um conjunto de n intervenções corretivas é dado por:

$$ECA = 1 - \left(\prod_{i=1}^n R_i \right)^{RIME} \quad (4-5)$$

Em que R_i designa o "resíduo" da intervenção i e $RIME$ o "resíduo" da intervenção mais eficaz.

Para Elvik [33] este método ajusta-se satisfatoriamente aos resultados de diversos estudos que avaliaram os efeitos da introdução de múltiplas intervenções num mesmo local.

Para além da metodologia anteriormente descrita, são conhecidas duas outras formulações matemáticas para estimar o Fator de Redução de Acidentes total (FR_A) de diversas intervenções corretivas [44].

4.5 Acidentes evitados e respetivos custos

Tendo por base os efeitos das intervenções corretivas, é possível estimar o número de acidentes evitados com uma intervenção corretiva, AE , recorrendo à seguinte expressão:

$$AE = \lambda_i \times E_i \quad (4-6)$$

Em que λ_i corresponde ao número esperado de acidentes que ocorre num trecho de estrada i (ver Equação (3-6)) e E_i , ao efeito de primeira ordem de uma intervenção corretiva nesse trecho i (ver Equação (4-2)).

Sempre que esteja a ser considerado o efeito combinado de um conjunto de intervenções corretivas afetando o mesmo grupo de acidentes, a equação anterior deve ser re-escrita da seguinte forma:

$$AE = \lambda_i \times ECA \quad (4-7)$$

Em que ECA designa o Efeito Combinado Ajustado de um conjunto de intervenções corretivas (ver Equação (4-5)).

Por último, o conjunto de futuros benefícios da intervenção, B_i , é dado por:

$$B_i = AE \times C_i^A \quad (4-8)$$

Onde AE corresponde aos acidentes evitados por uma intervenção corretiva e C_t^A corresponde ao custo de um acidente do tipo t (ver Equação (3-1))

De referir que a seleção do custo por tipo de acidente depende não só do tipo de acidente afetado pela intervenção (ver Quadro 24 e Quadro 25) mas também do tipo de estrada considerado (ver Quadro 4).

4.6 Custos das intervenções

De uma maneira geral, os custos das infraestruturas são definidos como os custos relacionados com a construção e operação dessas mesmas infraestruturas [73].

As componentes de custo das infraestruturas podem ser definidas da seguinte forma ([54] e [73]) (ver Figura 4):

- Custos diretos:
 - Investimento inicial, incluindo trabalhos de construção (material, mão-de-obra, equipamento, energia); preparação e administração (planeamento, projeto e gestão de projeto, consultoria, fiscalização); e aquisição do terreno (custo da compra, despesas legais e gestão da propriedade).
 - Manutenção, Operação e Administração, incluindo custos de melhoramentos em infraestruturas existentes (onde se inserem as intervenções corretivas na AAFR); custos de renovação ou restauro completo de componentes da infraestrutura (por exemplo, a reparação de uma barreira de segurança); custos de manutenção corrente da infraestrutura, ou restauro não completo de componentes da infraestrutura (por exemplo, a reparação de um prumo de uma barreira de segurança); e custos de operação e de administração (que incluem operação das praças de portagem, limpeza do pavimento e remoção de neve).
- Custos indiretos:
 - Custos da perturbação devida aos trabalhos de construção, que incluem custos dos atrasos de tráfego (público e privado) devidos à construção; custo dos efeitos ambientais negativos na fase de construção e a

consideração da alteração de risco de acidentes durante os trabalhos de construção.

- Alterações nos custos diretos da rede existente devidas à operação da ligação rodoviária em avaliação.
- Valor residual da infraestrutura (relacionado com a incerteza na definição do horizonte de avaliação da infraestrutura).

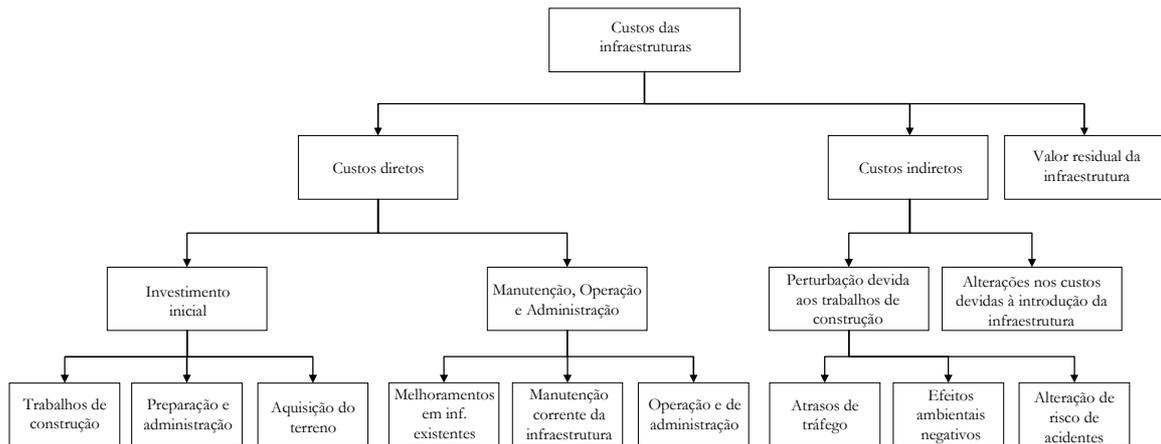


Figura 4 – Categorias dos custos associados às infraestruturas rodoviárias

A par com as componentes de custo anteriormente descritas é ainda referido por alguns autores a subestimação dos custos diretos de construção, ou *optimism-bias*.⁵

No caso particular das intervenções corretivas envolvendo a AAFR, e dependendo do tipo de intervenção, algumas das sub-componentes anteriormente descritas podem não ser consideradas ou necessitarem de adaptações. Por exemplo, relativamente aos custos diretos, a aquisição de terreno é particularmente relevante no caso de se pretender o alargamento da zona livre, mas já não é tida em conta se a opção for instalar uma barreira de segurança. Nos custos indiretos, os custos da perturbação devida aos trabalhos de construção são mínimos em grande parte das intervenções na AAFR, excetuando as

⁵ Um dos fatores de maior impacto na avaliação de qualquer projeto de infraestrutura de transportes é o dos custos directos de construção [110]. O designado *optimism-bias* prende-se com a incerteza existente na fase inicial de um projeto no que diz respeito às estimativas de custos de construção, verificando-se uma tendência sistemática na avaliação de projetos de infraestruturas de transporte para subestimar os custos de construção [54]. Assim, e para que as autoridades rodoviárias possam preparar programas de financiamento de infraestruturas de transporte credíveis, é fundamental ter estimativas rigorosas das suas necessidades de financiamento futuro [93].

intervenções no separador central ou a colocação de bandas sonoras ou bermas. O valor residual da infraestrutura ou neste caso das intervenções, varia consoante o tipo de medida e respetiva vida útil (ver Quadro 31).

Relativamente à consideração dos custos diretos da construção na análise custo-benefício (ACB) devem ser tidos em conta dois princípios fundamentais [54]. Primeiro, os benefícios e custos só devem ser considerados e contabilizados na ACB no ano em que os recursos deixem de estar disponíveis para os utilizadores alternativos, que não é necessariamente o ano em que o recurso é comprado ou utilizado. Por exemplo, se um terreno agrícola foi adquirido previamente ao início das obras de alargamento da zona livre, o gado poderá aí pastar até ao dia anterior ao início dos trabalhos de construção ou de remodelação da vedação. Sob tais circunstâncias, os custos do terreno devem ser contabilizados na ACB apenas quando o mesmo já não é usado para pastagem.

Por outro lado, é necessário distinguir entre custos correspondentes a despesas efetuadas antes ou após a decisão de realizar o projeto, sendo igualmente imprescindível quantificar os custos não recuperáveis⁶. Na ACB devem considerar-se apenas custos incorridos após a decisão de realizar o projeto. Os custos não recuperáveis incorridos antes da decisão não devem ser incluídos. Os custos dos trabalhos de construção (relativos a intervenções corretivas envolvendo a AAFR) devem ser incluídos na ACB, pois ocorrem após a decisão de realizar o projeto.

O valor dos custos diretos da construção normalmente resulta de uma estimativa baseada nas obras definidas no projeto, sendo normalmente um dos dados de partida da ACB [73]. Esta estimativa é realizada com tanto maior rigor quanto mais avançada for a fase de elaboração do projeto. No entanto e uma vez que, de acordo com o procedimento proposto, a ACB é realizada a montante da elaboração do projeto (ver Figura 1) não se dispõe de informação suficientemente fiável em relação às quantidades de trabalho para se realizar um orçamento rigoroso, resultando os valores dos custos de construção de estimativas baseadas em custos médios (custo médio de uma “unidade” de cada tipo de intervenção).

⁶ Os custos directos específicos de uma determinada empresa ou setor de atividade são considerados não recuperáveis. São exemplo os custos com marketing e publicidade, que são específicos de uma empresa e não podem ser recuperados [28]

Os custos de preparação e administração ocorrem, em parte significativa, antes da decisão de realizar o projeto e, tratando-se de um custo não-recuperável, não deve ser incluído na ACB [73]. A parte dos custos de preparação e administração que ocorre após a decisão deve ser incluída na análise.

No âmbito da tarefa WP6 do projeto SAFESIDE – Custos dos despistes – obteve-se um levantamento dos custos típicos das medidas de engenharia passíveis de serem implementadas em intervenções de segurança rodoviária no âmbito de uma ACB ou ACE envolvendo a AAFR [104]. Os valores de custo apresentados no Quadro 28 representam uma estimativa para Portugal do custo médio de uma “unidade” de cada tipo de intervenção, por exemplo, “um metro de barreira de segurança metálica” ou “um amortecedor de choque”. Esta estimativa foi obtida a partir da consulta de valores correntes de obras recentemente realizadas no nosso país.

Relativamente aos custos da manutenção, operação e administração podem adotar-se diversas estratégias de cálculo [73]. Face aos constrangimentos relativos à informação disponível e às características particulares das intervenções corretivas envolvendo a AAFR, considera-se mais adequado adotar valores médios por quilómetro ou por “unidade” de cada tipo de intervenção para a manutenção.

Os custos de manutenção incluídos no Quadro 28, baseados em estudo realizado por Elvik *et al.* [30], correspondem aos custos médios de reposição de danos provocados por acidentes e deverão estar incluídos nos custos dos acidentes por serem suportados pelas seguradoras.

Quadro 28 – Preços unitários das intervenções corretivas (€ a preços de 2010)

Tipo de Intervenção (medidas)	Unidade	Custo de investimento (€)	Custo anual de manutenção (€)
Sistemas de retenção de veículos			
Barreiras de segurança metálicas com prumos afastados de 4 m	m	19.5	0.6 - 1.2
Barreiras de segurança metálicas com prumos afastados de 2 m	m	28	0.8 - 1.7
Terminais, tipo cauda de carpa	un.	47	1.4 - 2.8
Terminais circulares de fecho de dois alinhamentos	un.	102	3.1 - 6.1
Guardas Rígidas com perfil simétrico	m	42	1.4 - 2.8
Guardas Rígidas com perfil assimétrico	m	30	1 - 2
Betão tipo C 16/20 em fundação de guardas rígidas	m ³	98	-
Amortecedor de choque	un.	41200	1400 - 2800
Dispositivos de proteção de motociclistas (DPM) em barreiras de segurança metálicas	m	15	0.5 - 0.9
Terminal de DPM	un	40	1.2 - 2.4
Suportes frágeis			
Poste de iluminação tradicional (sem luminária)	un	250	7.5 - 15
Poste de iluminação frágil (sem luminária)	un	800	24 - 48
Remoção de obstáculos na AAFR			
Desmatação, incluindo derrube de árvores	m ²	0.2	-
Demolição de construções (excluindo muros)	m ³	4	-
Demolição de muros	m ³	3.2	-
Levantamento de sinais de "código", baias, balizas e marcos.	un.	8.5	-
Levantamento de sinais do sistema informativo, setas e painéis	un.	28.8	-
Levantamento de barreiras de segurança metálicas	m	5.4	-

No âmbito da presente tarefa foram ainda contactados diversos fornecedores de SRRV, bem como a Estradas de Portugal, com o intuito de recolher informação acerca dos custos de instalação típicos destes sistemas para os diferentes níveis de retenção e

gravidade, de acordo com o estabelecido na EN 1317. Os contactos desenvolvidos permitiram igualmente conhecer as empresas que se dedicavam em 2012 à comercialização e montagem de barreiras de segurança em estradas nacionais.

Quadro 29 – Preços de referência de barreiras de segurança no mercado nacional (2012).

Empresa	Nível de Retenção	Nível de gravidade	Classe de Largura Útil	Custo de investimento (€/m)	
				Sem DPM ^b	Com DPM ^b
E.P. ^a	N2	A	W5	24.40	38.38
	N2	A	W6	18.80	32.78
	H2	-	W4	110.49	124.47
Metalocardoso	N2	A	W6	29.50	44.00
Metalgalva	N2	A	W6	-	-
Metalocar	N2	A	W5	-	31.00
	N2	A	W6	-	25.00
	H2	-	W4	-	130
Cimenteira do Louro	N2	C	W6	-	-

^a Os preços unitários apresentados correspondem ao histórico constante na base de dados do sistema geral de rubricas da Estradas de Portugal (EP) e referem-se ainda a guardas sem marcação CE.

^b Dispositivo de proteção para motociclistas.

Refira-se, no entanto, que é preciso contextualizar as abordagens de cálculo para os custos da manutenção, operação e administração, dadas as diferenças existentes, por exemplo, ao nível da composição do tráfego ou das práticas de manutenção, entre os diferentes países europeus [54].

Por outro lado no projeto europeu HEATCO não se define uma metodologia de cálculo para os referidos custos, indicando como recomendável a utilização de valores padrão nacionais, caso existam.

No que diz respeito aos custos indiretos, a avaliação deve ser realizada caso a caso, indicando-se apenas que os valores de referência do tempo e da vida a adotar devem ser coerentes com os adotados para as restantes categorias de custo [54]].

Importa salientar que, tal como referido em 4.3, os efeitos sobre a mobilidade e o meio ambiente da realização de intervenções corretivas envolvendo a AAFR são, em larga maioria, desconhecidos ou inexistentes. Assim, e da mesma forma que não são

considerados em termos dos efeitos que possam produzir, também não serão contabilizados em termos de custos que possam indiretamente provocar.

O valor residual de uma infraestrutura é igual ao valor atualizado do resultado dos custos e benefícios, contabilizados durante o período que decorre desde o horizonte de avaliação até ao final do tempo de vida real da infraestrutura [73].

A necessidade da consideração do valor residual da infraestrutura deve-se ao facto de o horizonte de avaliação da infraestrutura poder ser menor do que o seu tempo de vida útil.

Em termos gerais, a entidade responsável pela avaliação de projetos de estradas em Portugal recomenda que se adotem 20 a 30 anos de horizonte de avaliação para estradas novas, de acordo com o tipo de pavimento e outros fatores construtivos, de tráfego e clima, e 10 anos para obras de beneficiação que sejam sujeitas a avaliação económica.

No projeto europeu HEATCO [54] é proposta a definição de um horizonte de vida fixo para a infraestrutura ou para os seus componentes individualmente e o uso de um perfil de depreciação linear (podendo essa depreciação tomar outras formas se a abordagem a adotar for mais complexa). No Quadro 30 apresentam-se valores para os horizontes de vida a adotar para cada componente de uma estrada, de acordo com o definido no projeto europeu HEATCO [54].

Quadro 30 – Horizontes de vida (adaptado de [54] e [73]).

Grupo de componentes	Horizonte de vida [anos]		
	Mínimo	Principal	Máximo
Pontes	50	75	100
Túneis	50	75	100
Solo	Infinito	Infinito	Infinito
Camadas de base e sub-base	30	45	60
Camadas superiores do pavimento	10	20	30
Instalações ambientais	10	20	30
Drenagem	50	75	100
Muros de suporte	50	75	100

No caso da maioria das intervenções corretivas envolvendo a AAFR, dada a sua especificidade, não se aplicam os valores do quadro anterior. No Quadro 31 apresentam-se os horizontes de vida propostos para diversos grupos de medidas de segurança rodoviária, incluindo as que envolvem a AAFR.

Quadro 31 – Horizontes de vida para diferentes grupos de intervenções corretivas
(adaptado de [54] e [73]).

Tipo de Intervenção (medidas)	Horizonte de vida
Alargamento da faixa de rodagem	20 anos
Criação de separador central	20 anos
Alargamento da berma	20 anos
Redução da inclinação dos taludes	20 anos
Remoção de obstáculos na zona livre	20 anos
Instalação de bandas sonoras	15 anos
Melhoria das barreiras de segurança	15 anos
Instalação de barreira de segurança no separador central	15 anos
Instalação de amortecedor de choque	10 anos
Remoção ou deslocação de postes de eletricidade e telefone	10 anos
Sinalização vertical e pequenas intervenções de beneficiação	10 anos
Marcação rodoviária	1-10 anos (dependendo do volume de tráfego)
Pavimentação, renovação do pavimento	1-10 anos (dependendo do volume de tráfego)
Medidas de manutenção de inverno	1 ano (1 inverno)

Por último, no projeto ESTRADA [71] é recomendado que se adote como horizonte de avaliação a vida útil prevista da estrada, sem que se considere que esta termina aquando da necessidade de renovação do pavimento ou de alargamento da estrada, e sem exceder os 40 anos de operação, pois a partir daí a incerteza das previsões torna-se demasiado grande.

Assim, o valor residual de uma intervenção corretiva i pode ser calculado de acordo com a expressão seguinte [73]:

$$VR_i = \frac{V_i - (AH - AI_i)}{V_i} \cdot I_i \quad (4-9)$$

Em que V_i corresponde ao horizonte de vida da intervenção corretiva i , AH ao ano definido como horizonte do projeto, AI_i ao ano de entrada em operação após

investimento na intervenção corretiva i e I_i ao valor total investido (ou reinvestido) na intervenção corretiva i .

No cálculo do rácio benefício-custo (RBC) ou do valor atual líquido (VAL) do projeto, o valor residual é inserido no ano de horizonte da avaliação como um custo negativo, sendo atualizado para o ano inicial e deduzido ao custo do investimento [73].

De acordo com o descrito no projeto ESTRADA [73], não está claramente definida ao nível nacional uma prática relativamente à consideração do valor residual da infraestrutura; e mesmo as metodologias europeias para este efeito divergem. A contabilização de um valor residual para uma infraestrutura depende à partida das condições do contrato e deve ser discutida em cada caso específico.

Assim, o custo de uma intervenção corretiva i C_i^{IC} , durante o período do ano t ao ano T , é dado por:

$$C_i^{IC} = C_i^I + \sum_{t=0}^T C_{i,t}^M - VR_i \quad (4-10)$$

Onde C_i^I é o custo de investimento da intervenção corretiva i , $C_{i,t}^M$ o custo de manutenção da intervenção corretiva i no ano t e VR_i o valor residual da intervenção corretiva i .

No caso de n intervenções corretivas, o seu custo total C_t é dado por:

$$C_t = \sum_{i=1}^n C_i^{IC} \quad (4-11)$$

5 AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

5.1 Generalidades

As metodologias para a avaliação económica de investimentos em segurança rodoviária têm como objetivo selecionar as intervenções corretivas cuja implementação é viável num determinado contexto. Este objetivo pode ser atingido através da aplicação de ACB que permite apoiar a tomada de decisão e a escolha da medida ou programa com maior retorno em termos monetários.

A ACB baseia-se na designada *economia do bem-estar*, assentando em quatro princípios fundamentais ([30], [39] e [128]):

- Soberania do consumidor;
- Disposição a pagar;
- Maximização da eficiência;
- Neutralidade distributiva.

A soberania do consumidor refere-se ao direito que assiste aos consumidores de escolher a forma como usa os seus rendimentos [128]. Assim, consumidores diferentes poderão fazer escolhas distintas. No âmbito da ACB, nenhuma das escolhas é considerada como mais correta do que outra. As preferências individuais são respeitadas e as escolhas feitas com base nestas preferências são simplesmente tratadas como dados.

Entende-se por utilidade o grau de satisfação das preferências ou os benefícios que as pessoas obtêm do consumo [22]. De uma maneira geral, a teoria económica parte do princípio de que os consumidores são maximizadores de utilidade perfeitamente racionais [128]. Isto significa que, para determinadas restrições orçamentais e face a um conjunto de produtos disponíveis para consumo, cada consumidor escolhe o padrão preferido de consumo. Este pressuposto de maximização racional da utilidade no comportamento do consumidor está intimamente ligado ao princípio da soberania do consumidor. Assim, só se for demonstrado que os consumidores não agem no seu próprio interesse, é defensável o que se designa por *paternalismo* [128]. Paternalismo significa que a liberdade

de escolha dos consumidores é restringida, passando essas escolhas a serem feitas em seu nome por um agente supostamente mais bem informado.

No entanto, o pressuposto de "informação perfeita" pode ser flexibilizado [128]. Há que ter em consideração que a escolha soberana de um consumidor pode colidir com as escolhas dos outros consumidores. Ou seja, pode haver efeitos externos negativos (ou positivos), e a teoria económica baseia-se, implicitamente, num contexto institucional que garante os direitos fundamentais, a liberdade e a propriedade.

As preferências dos indivíduos por bens e serviços são monitorizadas através da sua disposição a pagar, admitindo a maximização da utilidade desses mesmos bens e serviços [128]. Nos mercados a disposição a pagar dos consumidores demonstra-se na procura e, eventualmente, no preço de mercado (associado ao lado da oferta). A alocação de bens e recursos através do comportamento dos indivíduos nos mercados é muitas vezes referida como o ato de uma "mão invisível". O mercado resolve o problema de racionamento, equilibrando a oferta e a procura através do preço. Neste contexto, a intensidade das preferências dos indivíduos em relação à oferta de bens é avaliada em termos do valor máximo que os mesmos estão dispostos a pagar o que corresponde ao segundo princípio básico da ACB.

Existem situações em que os mercados falham, como acontece quando um mercado não existe de todo, sempre que há efeitos externos da produção ou do consumo, nos mercados que estão permanentemente fora do equilíbrio, ou nos monopólios. A ACB foi desenvolvida também para ajudar a encontrar soluções para os problemas em casos de falhas de mercado. A possibilidade de estimar a disposição a pagar dos indivíduos para o fornecimento de bens não-mercantis auxilia na busca de soluções para problemas sociais [128].

Em terceiro lugar, o objetivo de qualquer ACB é encontrar a solução mais eficiente para o problema em análise. A eficiência, em termos de *economia de bem-estar*, é um termo de valor intimamente relacionado com o excedente do consumidor [128].

O excedente do consumidor corresponde à monetarização do bem-estar em termos de consumo (de qualquer bem, de mercado ou não-mercantil), dada pela diferença entre o

montante que o consumidor estaria disposto a pagar por determinada quantidade de um bem e o montante que efetivamente paga. Em projetos de transportes, o excedente do consumidor corresponde ao excedente de disposição dos consumidores para pagar em relação ao custo generalizado da viagem entre origem e destino [20].

A ACB permite medir o aumento de eficiência em termos económicos, geralmente referidos como melhorias potenciais de Pareto. Uma melhoria potencial de Pareto refere-se a uma situação na qual aqueles que recebem os benefícios introduzidos por uma mudança são capazes de compensar aqueles que perdem com essa mesma mudança, mantendo um benefício líquido ([30] e [128]). Na prática, considera-se que uma melhoria potencial de Pareto é atingida sempre que os benefícios de uma ação são superiores aos seus custos.

O objetivo de uma ACB é, portanto, identificar opções capazes de proporcionar benefícios marginais pelo menos tão elevados quanto os seus custos marginais [128].

Por último, refira-se que numa ACB não é normalmente relevante quem recebe o benefício e quem paga o custo. Assim, uma ACB comum é neutra no que respeita a questões distributivas, não indicando qual a melhor forma de distribuir benefícios e custos pelos vários grupos da população. A equidade na distribuição dos rendimentos não é uma questão que se pretenda resolver com a ACB.

5.2 Metodologia de avaliação

O modelo de avaliação das alternativas de configuração da AAFR baseia-se na ACB que permite avaliar se uma determinada intervenção, ou conjunto de intervenções, é economicamente eficiente e, caso o seja, qual o seu nível de eficiência (e ainda se alterações à intervenção podem torná-la mais eficiente).

O critério de decisão preconizado é o rácio benefício-custo (RBC). O RBC de uma medida de segurança rodoviária é definido como a divisão do valor atualizado dos benefícios decorrentes dessa medida pelo valor atualizado dos custos de implementação da mesma [17].

$$RBC = \frac{\text{Valor actualizado de todos os benefícios}}{\text{Valor actualizado dos custos de implementação}} \quad (5-1)$$

Assim, numa ACB, as opções (traduzidos por custos e benefícios) são comparados entre si através de uma métrica comum, ou seja em termos monetários. Os termos monetários incluem não só os custos dos acidentes, mas também um conjunto de variáveis complementares, dependendo do tipo e gama de efeitos adicionais considerados (tais como, tempo de viagem, custos operacionais dos veículos, poluentes ou ruído).

O objetivo de calcular valores atualizados consiste em expressar em valores presentes o conjunto de custos e benefícios envolvidos ao longo do período de avaliação de um projeto [54], o que permite compará-los e determinar se o ganho monetário resultante de um projeto vale a pena face aos seus custos.

O *Valor Actual Líquido* (VAL) do conjunto de futuros custos (C_t) pode ser expresso por [54]:

$$VAL = \sum_{t=0}^T C_t \times \frac{1}{(1+r)^t} \quad (5-2)$$

Onde VAL é o valor atual líquido do conjunto de custos (ou benefícios) até ao ano T ; C_t corresponde ao custo incorrido no ano t ; e r é a taxa de desconto anual.

De acordo com a expressão anterior, com o passar dos anos, o VAL de um conjunto constante de benefícios torna-se gradualmente menor.

O RBC (equação(5-1)) pode ser rescrito da seguinte forma:

$$RBC = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}} = \frac{\sum_{t=0}^T B_t \cdot (1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^T C_t \cdot (1+r)^{-t}} \quad (5-3)$$

Onde B_t corresponde ao conjunto de futuros benefícios obtidos no ano t .

5.2.1 Taxa de desconto

Em qualquer ACB, benefícios e custos são estimados para a vida útil (técnica e económica) da intervenção, sendo os impactos futuros convertidos em valores presentes através de uma taxa de desconto.

Em Portugal, é correntemente utilizada pela entidade responsável pela avaliação de projetos de estradas a taxa de desconto de 4%, sendo também esse o valor recomendado pelo Ministério das Finanças para a avaliação de projetos (Despacho n.º 13 208/2003 do Ministério das Finanças). No projeto ESTRADA [71] considera-se que esta taxa é adequada, uma vez que está dentro do intervalo recomendado pela Comissão Europeia [46] para países em vias de coesão e outros (de 5.5% até 3.5%), estando a taxa de desconto nacional mais próxima da taxa adotada nos países mais desenvolvidos. De acordo com Elvik [30] a taxa de desconto que tem vindo a ser utilizada em intervenções de segurança rodoviária na Noruega é de 4.5% por ano.

Visto não haver recomendações oficiais nacionais relativas a perfis de depreciação da taxa de desconto para horizontes muito longos por questões inter-geracionais e no projeto europeu HEATCO [54] ser recomendado que não se adotem taxas de desconto de outros países, no projeto ESTRADA [71] recomenda-se que se considere esta questão apenas de um modo qualitativo e que se adote uma taxa de desconto constante ao longo do período de avaliação.

5.3 Análise de sensibilidade

Um rácio benefício-custo superior a 1 não significa necessariamente que uma intervenção corretiva na AAFR seja benéfica. A natureza estocástica dos acidentes rodoviários, a incerteza associada aos pressupostos que estão na base dos modelos e dos efeitos das intervenções, as variações dos custos das intervenções corretivas (como, por exemplo, os custos associados às expropriações) e a tendência preferencialmente decrescente da sinistralidade impedem a obtenção de conclusões diretas para rácios marginalmente superiores à unidade.

A aplicação da análise de sensibilidade é, assim, um aspeto de particular relevância para uma correta avaliação da pertinência das intervenções na AAFR baseada em ACB.

A determinação da relevância de um parâmetro para uma determinada função é uma tarefa distinta da compreensão de como essa função se altera pela variação do parâmetro. Numa análise de sensibilidade, são alterados os valores dos parâmetros e medidas as modificações nos resultados ou em índices de desempenho (*performance indices*) de um modelo [115].

O objeto da análise de sensibilidade consiste na seleção das variáveis e parâmetros críticos do modelo, ou seja, aqueles cujas variações, positivas ou negativas em relação ao valor utilizado como melhor estimativa no caso de referência, têm um efeito mais pronunciado no VAL ou na *Taxa Interna de Rentabilidade*⁷ (TIR), no sentido em que originam as alterações mais importantes destes parâmetros. A análise de sensibilidade permite igualmente compreender as variações do RBC quando alguns parâmetros apresentam valores diferentes dos que constam dos pressupostos iniciais.

De acordo com o “*Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects*” da UE [36] devem ser consideradas como variáveis críticas todas aquelas que, para uma alteração de 1% no seu valor, impliquem uma variação correspondente de 5% ou mais no VAL do projeto. De referir que no projeto ESTRADA é recomendado que se sigam estes critérios de seleção.

De forma complementar, e face à escassez de recursos disponíveis, é particularmente relevante a determinação dum RBC crítico que permita estabelecer uma fronteira a partir da qual a ocorrência de qualquer erro nos pressupostos iniciais não resulte em ineficiência ou em gastos inadequados [85]. Partindo deste princípio, quanto maior for a incerteza relativamente aos dados, modelos e hipóteses, maior o rácio benefício-custo crítico a estabelecer para assegurar uma elevada probabilidade de benefícios líquidos associados à implementação de intervenções corretivas na AAFR.

⁷ Taxa de desconto que corresponderia a um VAL nulo. Se a TIR de um projeto for maior que a taxa de desconto, o projeto gera uma taxa de rentabilidade superior ao custo de oportunidade do capital investido.

5.3.1 Sensibilidade absoluta, sensibilidade relativa e elasticidade

A análise de sensibilidade indica quais os parâmetros mais importantes e mais suscetíveis de afetar o comportamento de um sistema ou as previsões de um modelo [26]. Após essa análise, os valores dos parâmetros críticos podem ser aperfeiçoados, enquanto os parâmetros cuja variabilidade tem um efeito reduzido podem ser simplificados [115].

A sensibilidade absoluta S_{α}^F de uma função F em relação a variações num parâmetro a é dada por [115]:

$$S_{\alpha}^F = \left. \frac{\partial F}{\partial \alpha} \right|_{NOP} \quad (5-4)$$

Onde NOP significa que a derivada parcial é calculada num ponto de funcionamento corrente (*Normal Operating Point*), onde todos os parâmetros assumem o seu valor de referência (neste caso correspondente ao seu valor médio).

O valor de sensibilidade absoluta indica qual o parâmetro que produz o efeito máximo sobre o resultado, através de idênticas alterações nos parâmetros [26]. A sensibilidade absoluta é útil para calcular os erros nos resultados devido a variações num parâmetro e para avaliar as condições em que um parâmetro tem o seu efeito máximo ou mínimo [115].

A sensibilidade relativa \bar{S}_{α}^F de uma função F ao parâmetro a num ponto de funcionamento normal é dada por [115]:

$$\bar{S}_{\alpha}^F = \left. \frac{\partial F}{\partial \alpha} \right|_{NOP} \frac{\alpha_0}{F_0} \approx \frac{\% \text{ de variação de } F}{\% \text{ de variação de } \alpha} = \frac{\frac{\Delta F}{F_0}}{\frac{\Delta \alpha}{\alpha_0}} \quad (5-5)$$

Onde NOP e os índices 0 significam que todas as funções e parâmetros assumem os seus valores para um ponto de funcionamento corrente (*Normal Operating Point*).

O valor de sensibilidade relativa indica quais os parâmetros com maior influência na variação do resultado.

A função sensibilidade relativa resulta da multiplicação da derivada parcial (a função de sensibilidade absoluta) pelo quociente entre o valor normal do parâmetro e o valor normal da função. Em modelos estatísticos, como os utilizados para a estimativa de frequência de acidentes, a sensibilidade relativa pode calcular-se multiplicando a derivada parcial pelo quociente das variâncias ([26] e [115]). Neste caso, a sensibilidade relativa \bar{S}_α^F de uma função F ao parâmetro α num ponto de funcionamento normal é dada por:

$$\bar{S}_\alpha^F = \frac{\partial F}{\partial \alpha} \Big|_{NOP} \frac{VAR[\alpha]}{VAR[F]} \quad (5-6)$$

Assim, a função sensibilidade relativa é uma função normalizada e adimensional que permite a análise comparativa dos efeitos de diferentes parâmetros [115]. No âmbito dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) (analisados na tarefa WP4 do projeto SAFESIDE [105]) a sensibilidade relativa designa-se como elasticidade [126] e permite determinar os efeitos marginais (*marginal effects*) das variáveis independentes. No caso dos MLG as elasticidades fornecem uma estimativa do impacto de uma variável sobre a frequência esperada de acidentes e podem ser interpretadas como o efeito de uma variação de 1% na variável sobre a frequência esperada λ_i .

Para Washington et al. [126], as elasticidades são a forma correta de avaliar o impacto relativo de cada variável no modelo. A elasticidade da frequência é definida como:

$$E_{x_{ik}}^{\lambda_i} = \frac{\partial \lambda_i}{\lambda_i} \times \frac{x_{ik}}{\partial x_{ik}} = \beta_k x_{ik} \quad (5-7)$$

Onde E representa a elasticidade, X_{ik} é o valor da k -ésima variável independente para a observação i , β_k é o parâmetro estimado para a k -ésima variável independente e λ_i é a frequência esperada para a observação i . Refira-se que as elasticidades são calculadas para cada observação i , sendo comum designar por elasticidade unitária (*single elasticity*) a elasticidade média de todas as observações.

A elasticidade descrita na equação anterior só é aplicável a variáveis contínuas (como, por exemplo, a largura da zona livre). No caso de variáveis mudas (*dummy variables*) que apenas tomam os valores 0 e 1, pode calcular-se a pseudo-elasticidade (*pseudo-elasticity*) para estimar a elasticidade aproximada das variáveis [126].

A pseudo-elasticidade indica a variação incremental na frequência motivada por variação nas variáveis mudas. A pseudo-elasticidade, para variáveis mudas, é dada por:

$$E_{x_k}^{\lambda_i} = \frac{\exp(\beta_k) - 1}{\exp(\beta_k)} \quad (5-8)$$

O cálculo dos efeitos marginais é uma forma alternativa de interpretar o efeito de determinadas variáveis específicas. Ao contrário das elasticidades, que medem o efeito provocado na variável dependente por 1% de alteração na variável x , os efeitos marginais refletem o efeito na variável dependente da alteração de “uma unidade” em x (no caso da regressão de Poisson a variável dependente é λ). Os efeitos marginais são calculados por [126]:

$$ME_{x_k}^{\lambda_i} = \frac{\partial \lambda_i}{\partial x_{ik}} = \beta_k \text{EXP}(\beta X_i) \quad (5-9)$$

De notar que, tal como referido em 3.2, na aplicação do modelo de regressão de Poisson à análise de frequência de acidentes envolvendo a AAFR, o modelo generalizado de Poisson é dado por,

$$P(y_i) = \frac{\exp(-\lambda_i) \lambda_i^{y_i}}{y_i!} \quad (5-10)$$

Onde $P(y_i)$ corresponde à probabilidade de y acidentes ocorrerem num trecho de estrada i e λ_i é o valor esperado de y_i . Assim, as probabilidades de Poisson para a observação i são calculadas de acordo com as seguintes fórmulas:

$$\begin{aligned} P_{0,i} &= \exp(-\lambda_i) \\ P_{j,i} &= \left(\frac{\lambda_i}{i} \right) P_{j-1,i}, \quad j = 1, 2, 3, \dots; i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (5-11)$$

Onde $P_{0,i}$ corresponde à probabilidade da observação i sofrer 0 eventos no período de observação especificado e $P_{j,i}$ a probabilidade da observação i sofrer j eventos no mesmo período.

5.4 Hierarquização de alternativas

No presente estudo, a hierarquização de alternativas refere-se à elaboração de uma lista ordenada de intervenções, ou conjuntos de intervenções, recomendadas com base no cálculo do RBC das diferentes intervenções.

Para a etapa de hierarquização optou-se pelo método de análise custo-benefício incremental, o qual fornece uma lista de intervenções prioritárias com base num critério previamente estabelecido [5].

O RBC incremental pode ser expresso da seguinte forma:

$$RBC_{j/i} = \frac{B_j - B_i}{C_j - C_i} \quad (5-12)$$

Onde $RBC_{j/i}$ é o rácio benefício custo incremental da alternativa j em relação à alternativa i; B_i e B_j correspondem ao VAL do conjunto de futuros benefícios das alternativas i e j; e C_i e C_j correspondem ao VAL do conjunto de futuros custos das alternativas i e j.

Refira-se que a análise de custo-benefício incremental é utilizada no *Roadside Safety Analysis Program*⁸ (RSAP) da AASHTO [80] o qual é amplamente utilizado nos EUA para justificar economicamente a melhoria das condições de segurança na AAFR, nomeadamente através da instalação de barreiras de segurança.

O método compreende os seguintes passos:

1. Calcular o RBC de cada uma das intervenções corretivas pertinentes, de acordo com o previamente descrito (equação (5-3) no capítulo 5.2).
2. Ordenar as intervenções com RBC superior a 1.0 por ordem crescente com base no seu custo estimado. A intervenção com o menor custo será a primeira da lista.
3. Tendo como ponto de partida o topo da lista, calcular a diferença entre os benefícios da primeira e segunda intervenções. Executar o mesmo cálculo para os

⁸ O *Roadside Safety Analysis Program* faz parte do *Roadside Design Guide* [80] da AASHTO e corresponde a um software desenvolvido com o objectivo de avaliar alternativas de intervenção para a melhoria das condições de segurança por intervenção na AAFR.

seus custos. Com base nas diferenças entre os benefícios e os custos das duas intervenções, calcular o RBC do investimento incremental.

4. Se o RBC para o investimento incremental for não inferior a 1.0, a intervenção com o custo mais elevado é comparada com a intervenção seguinte na lista. Se, pelo contrário, o RBC para o investimento incremental for inferior a 1.0, a intervenção com o menor custo é comparada com a intervenção seguinte na lista.
5. O processo é repetido até ao último emparelhamento, no qual é selecionada a intervenção corretiva considerada como melhor investimento económico.

Para produzir uma lista hierarquizada de intervenções, o processo é repetido retirando sucessivamente as intervenções consideradas como sendo o melhor investimento económico até ser determinada a escala das intervenções.

Poderão ocorrer situações em que duas intervenções têm estimativas de custos idênticas, resultando daí uma diferença incremental nula nos seus custos. Se tal ocorrer, a intervenção com maior benefício é selecionada.

6 CONCLUSÕES

No presente documento é fundamentada a definição da estrutura do procedimento de avaliação das alternativas de intervenção na AAFR e de seleção e colocação de sistemas de retenção de veículos, sendo pormenorizados os vários passos do processo de seleção e avaliação das diferentes intervenções corretivas possíveis de serem implementadas, com o objetivo de avaliar racionalmente os efeitos das características da área adjacente à faixa de rodagem sobre a sinistralidade (ver Figura 5).

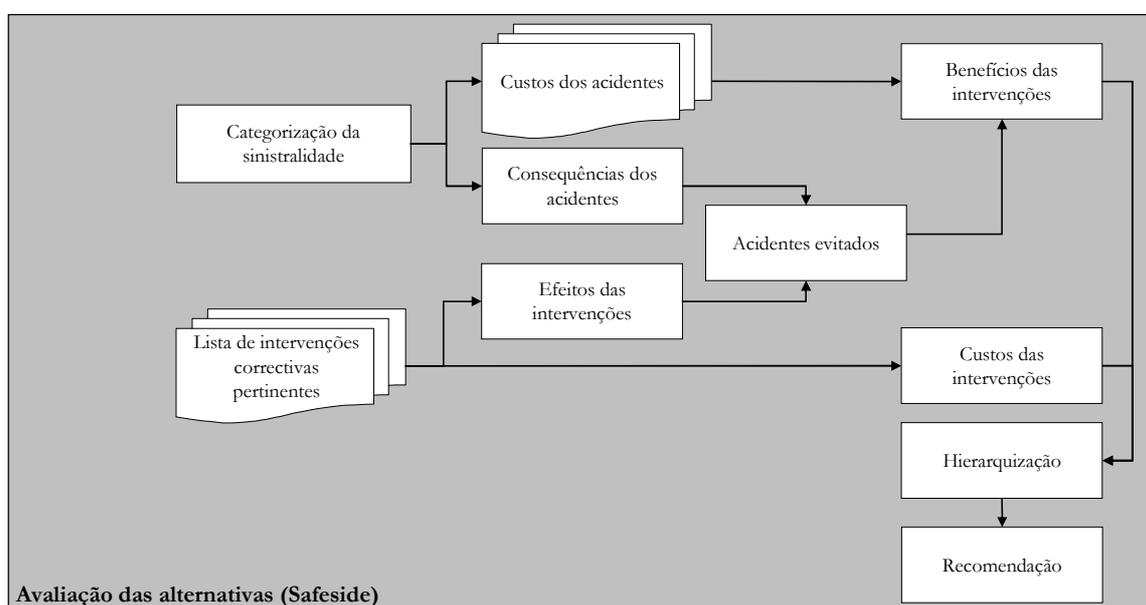


Figura 5 – Estrutura do procedimento de avaliação das alternativas de intervenção na AAFR e de seleção e colocação de sistemas de retenção de veículos.

O primeiro passo deste procedimento, correspondente à categorização da sinistralidade, consiste na estimação, por tipo de acidente, das suas consequências e dos seus custos. As consequências dos acidentes foram estimadas no âmbito da tarefa WP4 do projeto SAFESIDE através do desenvolvimento de modelos de estimativa de frequência de acidentes, por tipo de estrada (faixa de rodagem única e dupla faixa de rodagem) e por tipo de acidente (total de acidentes e despistes). Os custos foram analisados no âmbito da tarefa WP6 do referido projeto e desagregados por tipo de acidente no âmbito da presente tarefa.

O segundo passo consiste na escolha das intervenções corretivas consideradas pertinentes para o caso em estudo. Para o efeito foi elaborada uma exaustiva recolha bibliográfica dos efeitos das intervenções corretivas, daí resultando uma síntese dos efeitos de primeira ordem das intervenções corretivas relevantes no âmbito do presente estudo, a qual foi desenvolvida na presente tarefa. Tal como aconteceu com os acidentes, também nas intervenções corretivas foi feito um levantamento tão exaustivo quanto possível dos seus custos. No presente relatório fez-se o levantamento dos custos de instalação típicos dos sistemas de retenção rodoviários de veículos que cumprem a EN 1317, os quais vieram complementar a informação recolhida na tarefa WP6, sobre custos das intervenções.

O terceiro passo consiste na identificação do conjunto de possíveis intervenções para o caso em estudo e elaboração de uma lista ordenada por eficácia das mesmas. Para esse fim são estimados os custos e benefícios de cada uma das alternativas em jogo e calculados os respetivos rácios benefício-custo utilizando o procedimento definido neste relatório.

Lisboa, LNEC, março de 2013

VISTOS

AUTORIAS



Eng.º António Lemonde de Macedo
Investigador Coordenador
Diretor do Departamento de Transportes



Eng.º Carlos Roque
Estagiário de Doutoramento



Eng.º João Lourenço Cardoso
Investigador Principal com Habilitação
Chefe do Núcleo de Planeamento Tráfego e Segurança

BIBLIOGRAFIA

- 1 Albuquerque, F. D.; Sicking, D. L.; Lincoln Stolle, C. S. (2010). Roadway Departure and Impact Conditions. Highway Design 2010. Transportation Research Record 2195. pp 106-114
- 2 Al-Ghamdi, A. S.(2002). Using Logistic Regression to Estimate the Influence of Accident Factors on Accident Severity. Accident Analysis and Prevention. Volume 34, Issue 6, November 2002, Pages 729-741.
- 3 Amaral Turkman M. A.; Silva G. (2000). Modelos Lineares Generalizados - da Teoria à Prática, Edições SPE. Sociedade Portuguesa de Estatística, Lisboa.
- 4 American Association of State Highway and Transportation Officials (2002). Roadside Design Guide.
- 5 American Association of State Highway and Transportation Officials (2010). Highway Safety Manual.
- 6 American Association of State Highway and Transportation Officials (2009). Manual for Assessing Safety Hardware. Washington, D.C.
- 7 Arsenio, E. (2005). Participação do LNEC na Rede Temática Europeia ROSEBUD – Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision Making. LNEC, Lisboa.
- 8 Arsénio, E.; Cardoso, J. L.; Macedo, A. L. (2004). Análise Custo-Benefício de Medidas de Segurança Rodoviária e dos Seus Impactes Ambientais. 3º Congresso Rodoviário Português. CRP, Lisboa.
- 9 Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2009). Observatório de Segurança Rodoviária. Ano de 2009 – Sinistralidade Rodoviária.
- 10 Blincoe, L.; Seay, A; Zaloshnja, E.; Miller, T.; Romano, E.; Luchter, S., Spicer, R. (2002). The Economic Impact of Motor Vehicle Crashes, 2000. NHTSA Technical

Report. Report No. DOT HS 809 446

11 Bristow, A. L.; Nellthorp, J. (2000). Transport project appraisal in the European Union. *Transport Policy* 7, 51-60.

12 Cardoso, João L. (1996). Estudo das Relações entre as Características da Estrada, a Velocidade e os Acidentes Rodoviários. Aplicação a Estradas de Duas Vias e Dois Sentidos, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.

13 Cardoso, João L. (2002). Identificação de zonas de acumulação de acidentes nas estradas da rede rodoviária nacional. 2º Congresso Rodoviário Português, Lisboa.

14 Cardoso, João L. (1998). Detecção de zonas de acumulação de acidentes em áreas urbanas. Ciclo de Seminários 1998-2000 – A cidade do Futuro. Ordem dos Engenheiros, Coimbra.

15 Cardoso, João L. (2007). Métodos Racionais de Apoio à Intervenção da Engenharia em Segurança Rodoviária. Programa de Investigação apresentado para a obtenção do título de “Habilitado para o exercício de funções de Coordenação de Investigação Científica”, LNEC.

16 Cardoso, João L. (2008). Avaliação dos efeitos de intervenção de segurança rodoviária mediante estudos de observação “antes-depois”. O caso das intervenções no IP5. 5º Congresso Rodoviário Português, Estoril, CRP.

17 CEDR - Conference of European Directors of Roads (2008). Best practice for cost-effective road safety infrastructure investments. Full Report prepared by the Conference of European Directors of Roads. CEDR report 2008/03.

18 Chitturi, M. V., Ooms, A. W., Bill, A. R., Noyce, D. A. (2011). Injury outcomes and costs for cross-median and median barrier crashes. *Journal of Safety Research* 42. 87–92.

19 Comissão das Comunidades Europeias (2000). Comunicação da comissão ao conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social e ao Comité das

Regiões. Prioridades na Segurança Rodoviária na UE. Relatório de progresso e classificação de acções. Bruxelas, 17.03.2000. COM(2000) 125 final.

20 Comissão Europeia (2003). Manual de Análise de Custos e Benefícios de Projectos de Investimento – DG Política Regional.

21 Comissão Europeia (2006). Orientações sobre a metodologia para a realização de análises custo-benefício. Documento de Trabalho 4. Documentos de trabalho sobre a metodologia. DG-Política Regional.

22 Corben, B., Deery, H., Mullan, N. and Dyte, D. (1997) The general effectiveness of countermeasures for crashes into fixed roadside objects, Monash University Accident Research Centre.

23 COST 331 (1994). Socio-economic cost of road accidents; Final Report, Transport Research, EC.

24 Council, F.; Zaloshnja, E.; Miller, T.; Persaud, B. (2005). Crash cost estimates by maximum police-reported injury severity within selected crash geometries. FHWA-HRT-05-051. Office of Safety Research and Development, FHWA.

25 Council, F.; Stewart, J.. Attempt to Define Relationship between Forces to Crash-Test Vehicles and Occupant Injury in Similar Real-World Crashes. In Transportation Research Record 1419, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1993, pp 78-85.

26 Das, A., Abdel-Aty, M. A. (2011). A combined frequency–severity approach for the analysis of rear-end crashes on urban arterials. Safety Science 49, 1156–1163.

27 Department for Transport (2006). Economic assessment of road schemes. The COBA manual. Part 0 - The application of the COBA manual (updated June 2006), 2002. DMRB 13.1. Design manual for roads and bridges.

28 Dixit, A. K., Pindyck, R. S. (1994). Investment Under Uncertainty. Princeton University Press.

- 29 Duarte, A. P. (2001). Paridade do Poder de Compra e das Taxas de Juro: Um Estudo Aplicado a Três Países da UEM. Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra. Grupo de Estudos Monetários e Financeiros (GEMF). Coimbra, Portugal.
- 30 Elvik, R.; Høy, A.; Vaa, T.; Sørensen, M. (2009). The Handbook of Road Safety Measures. Second Edition. Elsevier Science, Oxford.
- 31 Elvik, Rune (2001). Cost–benefit analysis of road safety measures: applicability and controversies. *Accident Analysis and Prevention* 33 (2001) 9–17.
- 32 Elvik, R. (2003). How would setting policy priority according to cost-benefit analyses affect the provision of road safety ? *Accident Analysis and Prevention* 35, 557–570
- 33 Elvik R. (2008). Road safety management by objectives: A critical analysis of the Norwegian approach. *Accident Analysis and Prevention* 40, 1115–1122.
- 34 Elvik, R. (2012). The range of replications technique for assessing the external validity of road safety evaluation studies. *Accident Analysis & Prevention*. Volume 45, March 2012, Pages 272–280.
- 35 ETSC (2003). Cost effective EU Transport Safety Measures. European Transport Safety Council, Brussels 2003. ISBN: 90-76024-16-2.
- 36 European Commission (2008), Guide to Cost-Benefit Analysis of investment projects, Structural Funds, Cohesion Fund and Instrument for Pre-Accession – Final Report, Directorate General Regional Policy.
- 37 European Committee for Standardization (2007). EN 1317-1 Road Restraint Systems—Part 1: Terminology and General Criteria for Test Methods. Technical Committee CEN/TC 226, Brussels.
- 38 European Committee for Standardization (2007). EN 1317-2 Road Restraint Systems—Part 2: Performance Classes, Impact Test Acceptance Criteria and Test

Methods for Safety Barriers. Technical Committee CEN/TC 226, Brussels.

39 European Road Safety Observatory (2006). Cost-benefit analysis, retrieved January 31, 2011 from www.erso.eu

40 FHWA (1992). Safety Effectiveness of Highway Design Features (Vol. I-VI), Publication N°. FHWA-RD-91-044 to 049, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

41 FHWA (2008). Toolbox of Countermeasures and Their Potential Effectiveness for Roadway Departure Crashes. Publication N°. FHWA-SA-07-013. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration, Washington, D.C.

42 Gabauer, D.J.; Gabler, H.C. (2005). Evaluation of Threshold values of acceleration severity index by using event data recorder technology. Transportation Research Record 1904, 37–45.

43 Gabauer, D., Thomson, R. (2005). Correlation of vehicle and roadside crash test injury criteria. 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) - Washington D.C. June 6-9, 2005. Paper Number 05-0283.

44 Gan, A.; Shen, J.; Rodriguez A. (2005). Update of Florida Crash Reduction Factors and Countermeasures to improve the Development of District Safety Improvement Projects. Lehman Center for Transportation Research. Florida International University.

45 Gennarelli T.; Pintar F.; Yoganandan N. (2003). Biomechanical tolerances for diffuse brain injury and a hypothesis for genotypic variability in response to trauma. Annual Proceedings / Association for the Advancement of Automotive Medicine Vol. 47: 624–628. Lisbon, Portugal.

46 GMCBA (2006). The New Programming Period 2007-2013: Guidance on the Methodology for carrying out Cost-Benefit Analysis, DG-Política Regional, Comissão Europeia, 2006.

- 47 Glennon J.C., (1974). Roadside Safety Improvements. Programs on Freeways. A Cost-effectiveness Priority Approach. National Cooperative Highway Research Program Report 148, Transportation Research Board.
- 48 Graham, J. D., Vaupel, J. W. (1981). Value of a Life: What Difference Does It Make? Risk Analysis. Volume 1 Issue 1, Pages 89 – 95.
- 49 Grant-Muller, S. M.; Mackie, P.; Nellthorp, J.; Pearman, A. (2001). Economic appraisal of European transport projects: the state-of-the-art revisited. Transport Reviews, 21: 2, 237 — 261.
- 50 Guimarães, R. C.; Sarsfield Cabral, J. A. (1997). Estatística. McGraw-Hill. ISBN: 972-8298-45-5.
- 51 Hakkert, S; Wesemann, P. (2004). WP3: The Use of Efficiency Assessment Tools: Solutions to Barriers. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme “Competitive and Sustainable Growth”, Project "ROSEBUD" Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making. GTC2/2000/33020.
- 52 Hartung, J.; Knapp, G.; Sinha B. K. (2008). Statistical Meta-Analysis with Applications. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- 53 Hauer, E. (1997). Observational Before-After Studies in Road Safety. Pergamon. ISBN 0-08-043 053 8.
- 54 HEATCO D5 (2006), Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment, Deliverable 5 - Proposal for Harmonised Guidelines, February.
- 55 Hutchinson J. W., Kennedy T. W. (1966). Medians of Divided Highways - Frequency and Nature of Vehicle Encroachments. Engineering Experiment Station Bulletin 487, University of Illinois.

56 ICF Consulting (2003). Cost-benefit analysis of road safety improvements. ICF Consulting, London.

57 IHT(1986). Guidelines for accident reduction and prevention. Institute of Highways and Transportation, London, United Kingdom.

58 INE (2011). Estatísticas dos Transportes 2010. Instituto Nacional de Estatística, I.P. Lisboa. ISBN 978-989-25-0123-9.

59 IPQ (2007). NP ENV 1317-3 Sistemas de retenção rodoviários – Parte 3: Amortecedor de choque. Classes de desempenho, critérios de aceitação do ensaio de choque e métodos de ensaio. Versão portuguesa da EN 1317-3:2000. Instituto Português da Qualidade. Portugal.

60 IPQ (2007). NP ENV 1317-4 Sistemas de retenção rodoviários – Parte 4: Classes de desempenho, critérios de aceitação dos ensaios de choque e métodos de ensaio para terminais e transições de barreiras de segurança. Instituto Português da Qualidade. Portugal.

61 JAE (1994). Norma de Traçado. Junta Autónoma de Estradas. Almada.

62 Kim, K., Lawrence, N., Richardson, J., Li, L. (1995). Personal and behavioral predictors of automobile crash and injury severity. *Accident Analysis and Prevention* 27 4 (1995), pp. 469–481.

63 King K. (1995). Methods for analyzing the Cost-Effectiveness of Roadside Safety Features, Texas A&M University, Roadside Safety Issues, Transportation Research Circular n° 435.

64 KPMG II (2008). Estudo de Impacto Económico Global. Subconcessão Douro Interior KPMG II – Consultores de Negócios, S.A..Novembro de 2008.

65 Kuppala, S. (2004). Injury criteria for side impact dummies. National Transportation Biomechanics Research Center. National Highway Traffic Safety Administration

66 Liu, W.; Doong, J.; Tsai, S.; Lai, C.; Jeng M. (2009). Integrated model of simulated occupant injury risk and real medical costs. *Journal of Safety Research* 40. 461–468

67 Lord, D., Mannering, F. (2010) The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives, *Transportation Research Part A* 44 (2010), pp. 291–305.

68 Lynam D.A., Kennedy J.V. (2005). The Travel of Errant Vehicles after Leaving the Carriageway. PUBLISHED PROJECT REPORT PPR298. Version: 1. Prepared for: Project Record: 3/372/R14 Travel of Errant Vehicles after Leaving the Carriageway. TRL Limited May 2005.

69 Macário, R.; Carmona, M.; Caiado, G.; Rodrigues, A.; Martins, P.; Link, H.; Stewart, L.; Bickel, P.; Doll, C. (2003). UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Working Funded by 5th Framework RTD Programme. ITS, University of Leeds, Leeds.

70 Macário, M. R., Afonso, I. T., Costa, J. D., Rodrigues, M. J., Carmona, M. J., Diu, F.C. (2010). Relatório 2 Metodologias de custos e benefícios para avaliação de projectos de infra-estrutura rodoviária. Projecto Estrada. Estimação de custos e benefícios reais para a avaliação económica de projectos de investimento rodoviário em Portugal. Tis.pt.

71 Macário, M. R., Afonso, I. T., Costa, J. D., Rodrigues, M. J., Carmona, M. J., Diu, F.C. (2010). Relatório 4: Adaptação de métodos para o contexto português. Projecto Estrada. Estimação de custos e benefícios reais para a avaliação económica de projectos de investimento rodoviário em Portugal. Tis.pt.

72 Macário, M. R., Afonso, I. T., Costa, J. D., Rodrigues, M. J., Carmona, M. J., Diu, F.C. (2010). Relatório 5: Conclusões e recomendações. Projecto Estrada. Estimação de custos e benefícios reais para a avaliação económica de projectos de investimento rodoviário em Portugal. Tis.pt.

73 Macário, M. R., Afonso, I. T., Costa, J. D., Rodrigues, M. J., Carmona, M. J., Diu, F.C.

(2010). Relatório 6: Guia para o cálculo de custos e benefícios reais de Investimentos em infra-estruturas rodoviárias em Portugal. Tis.pt.

74 McDonald, T. (2012). Iowa's Traffic Safety Analysis Manual. Institute for Transportation. Iowa State University. Iowa Department of Transportation (InTrans Project 08-337).

75 Macedo, A.L.; Cardoso, J.L; Arsénio, E.; Dionísio, A; Vidigal, A. (1999). Participação do LNEC nos Estudos Sobre Imputação dos Encargos pela Utilização de Infraestruturas - Primeiro Relatório, Relatório 60/99 - NTSR, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

76 Macedo, A.L.; Cardoso, J.L; Arsénio, E.; Dionísio, A; Silva, A.F. (2000). Participação do LNEC nos Estudos Sobre Imputação dos Encargos pela Utilização de Infraestruturas - Segundo Relatório, Relatório 59/00 - NTSR, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

77 Macedo, A.L.; Cardoso, J.L.; Roque, C. (2011). Apoio à revisão da norma de traçado. Elaboração de “Documento Base” para normas de projecto rodoviário. Estudo realizado por solicitação do Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias, I.P. Relatório LNEC 358/2011, Lisboa.

78 Maciel, H.; Pereira, T. C.; Seabra, T.; Torres, P. (2011). Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990-2009. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Amadora, Agência Portuguesa do Ambiente.

79 Mackay M. (2005). The Contribution of Accident Investigation Research to Biomechanics. IUTAM Symposium on Impact Biomechanics: From Fundamental Insights to Applications. Solid Mechanics and Its Applications, Volume 124, Session 1, 3-16. Springer, The Netherlands. ISBN 1-4020-3796-1.

80 Mak K.K., Sicking D.L. (2003). Roadside Safety Analysis Program (RSAP) - Engineer's Manual. National Cooperative Highway Research Program. NCHRP REPORT 492. Washington D C, USA.

81 Mak, K. K.; Sicking, D. L.; Albuquerque F. D.; Coon, B. A. (2010). Identification of Vehicular Impact Conditions Associated with Serious Ran-off-Road Crashes. National Cooperative Highway Research Program. NCHRP Report 665 Project 17-22. Transportation Research Board. Washington, D.C., USA. ISBN 978-0-309-15507-6

82 McConnell C. R; Brue, S.L. ; Flynn, S.m. (2011) Microeconomics : principles, problems, and policies. McGraw-Hill Higher Education; 19 edition. ISBN: 978-0-07-733773-5.

83 McGee, H. W.; Hughes, W.E.; Daily, K. (1995). Effect of Highway Standards on Safety, NCHRP Report 374, Transportation Research Board.

84 McGinnis, R.G. (1999). Reexamination of roadside encroachment data (with discussion and closure). Transportation Research Record No. 1690, Paper No. 99-11380.

85 Miaou, S., Bligh, R. P., Lord, D. (2005). Developing Guidelines for Median Barrier Installation: Benefit-Cost Analysis with Texas Data. Transportation Research Record, Journal of Transportation Research Board.

86 Montella, A. (2000). Benefit/Cost Analysis for the selection of roadside safety alternatives, Road Safety on three Continents, Pretoria.

87 Montella, A. (2001). Selection of Roadside Safety Barrier Containment Level According to European Union Standards. Transportation Research Record 1743, Paper No. 01-2102, 104–110.

88 NCHRP (1993). NCHRP Report 350: Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features. Transportation Research Board. National Research Council. Washington, D.C.

89 NCHRP (1994). Severity Indices for Roadside Features – A Synthesis of Highway Practice, NCHRP Synthesis 202, National Research Council, Transportation Research Board.

90 NHTSA (1999). Preliminary Economic Assessment. Snprm. Fmvss N°. 208. Advanced Air Bags. Office of Regulatory Analysis & Evaluation Plans and Policy. National Highway Traffic Safety Administration. October, 1999.

91 OCDE (1997). Road safety principles and models: Review of descriptive, predictive, risk and accident consequence models.

92 OCDE (1998). IRTAD special report. Definitions and data availability - Compilation and evaluation of a-level roads and hospitalised victims in OECD countries - accident and injury definitions. OECD - RTR Road Transport Research Programme BAST Germany.

93 Odeck, J. (2004). Costs over runs in road construction — what are their sizes and determinants? *Transport Policy* 11(1), 43–53.

94 Pereira, T. C.; Seabra, T.; Maciel, H.; Torres, P. (2009). Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990-2007. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Amadora, Agência Portuguesa do Ambiente.

95 Mertz, H.J.; Prasad, P.; and Irwin, N.L. (1997). Injury risk curves for children and adults in frontal and rear collisions (SAE 973318). Proceedings of the 41st Stapp Car Crash Conference (P-315), 13-30. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

96 Ray, M. H.; Weir, J.A. (2001). Unreported Collisions with Post-and-Beam Guardrails in Connecticut, Iowa, and North Carolina. *Transportation Research Record* 1743, Paper N°. 01-2426,111-119.

97 Reis, J., P. Godinho, E. Barata e L. Cruz (2008). Estudo Integrado dos Impactes Económicos Globais associados às Concessões da AE Transmontana, Túnel do Marão e Douro Interior, FEUC, Coimbra.

98 Reis, J., P. Godinho, E. Barata e L. Cruz (2009). Estudo Integrado dos Impactes Económicos Globais associados às Concessões do Algarve Litoral e Baixo Alentejo

(Versão intermédia), FEUC, Coimbra.

99 Reurings, M., Janssen, T., Eenink, R., Elvik, R., Cardoso, J., Stefan, C. (2005). Accident Prediction Models and Road safety Impact Assessment: a state-of-the-art. Road Infrastructure Safety Protection – Core-Research and Development for Road Safety in Europe; Increasing safety and reliability of secondary roads for a sustainable Surface Transport. European Community R&TD Project, 6th Framework Priority 1.6, Project "RIPCORDER – ISEREST".

100 RISER (2005). D06: European Best Practice for Roadside Design: Guidelines for Roadside Infrastructure on New and Existing Roads. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme "Growth", Project "RISER" GRD2/2001/50088.

101 Rodrigues, M. J. (2007). Avaliação económica de projectos rodoviários em Portugal: Estimação de Custos e Benefícios para os utentes. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Território. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.

102 Roque, C.A.; Cardoso, J.L. (2010). Sistemas de retenção rodoviários de veículos. Recomendações para selecção e colocação. Estudo realizado por solicitação do Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias, I.P. Relatório LNEC 382/2010, Lisboa.

103 Roque, C.; Cardoso, J.L. (2010). Estado-da-Arte. 1º Relatório SAFESIDE - Sinistralidade Envolvendo a Área Adjacente à Faixa de Rodagem. Fundação para a Ciência e Tecnologia, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

104 Roque, C.; Cardoso, J.L.; Arsenio, E. (2011). Estimativa do Custo dos Acidentes por Saída da Faixa de Rodagem. 3º Relatório SAFESIDE - Sinistralidade Envolvendo a Área Adjacente à Faixa de Rodagem. Fundação para a Ciência e Tecnologia, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. Relatório LNEC 358/2011, Lisboa.

105 Roque, C.; Cardoso, J.L. (2012). WP4 - Definição de cenários tipo para acidentes envolvendo a área adjacente à faixa de rodagem. Relatório SAFESIDE - Sinistralidade Envolvendo a Área Adjacente à Faixa de Rodagem. Fundação para a Ciência e

Tecnologia, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. Relatório LNEC 358/2011, Lisboa.

106 ROSEBUD (2005). WP1: Screening of efficiency assessment experiences. Report “State of the art”. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme “Competitive and Sustainable Growth”, Project "ROSEBUD" Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making. GTC2/2000/33020.

107 ROSEBUD (2005). WP5: Recommendations. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme “Competitive and Sustainable Growth”, Project "ROSEBUD" Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making. GTC2/2000/33020.

108 Sælensminde, K. (2001). Verdsetting av trafikksikkerhet i ulike lands nyttekostnadsanalyser. Arbeidsdokument SM/1342. Transportøkonomisk institutt, Oslo.

109 Safety Standards for Road Design and Redesign – SAFESTAR Final Report, European Commission Under the Transport RTD Programme of the Fourth Framework Programme, 1998.

110 Salling, K.B. (2008). Assessment of Transport Projects: Risk Analysis and Decision Support. PhD Thesis, Department of Transport, DTU and relevant software manuals and print-outs.

111 Schmitt, K.; Niederer, P. F.; Muser, M. H.; Walz, F. (2007). Trauma Biomechanics. Accidental injury in traffic and sports. Second Edition. Springer Berlin Heidelberg New York. ISBN 978-3-540-73872-5.

112 Schoon, C. - Draft (1998). Criteria for Safe Roadside in Relation With the Installation of Safety Barriers (Steel and Concrete), SWOV Institute for Road Safety. Leidschendam.

113 Shojaati, M. (2003). Correlation between injury risk and impact severity index ASI, Proceedings of the 3rd Swiss Transport Research Conference Monte Verita/Ascona, March 19–21 (2003).

114 Sicking D L , Ross H.E. (1986). Benefit-cost analysis of roadside safety alternatives. Transportation Research Record 1065, pp 98-105. Washington D C, USA.

115 Smith, E.D., Szidarovszky, F., Karnavas W.J., Bahill, A.T. (2008). Sensitivity analysis, a powerful system validation technique. The Open Cybernetics and Systemics Journal, 2 , 39–56.

116 Sørensen, M.; Elvik R., (2005) Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks – Best Practice Guidelines and Implementation Steps. European Community R&TD Project, 6th Framework Priority 1.6, Project " RIPCORDER – ISEREST". WP6 - Best Practice Guidelines on Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks.

117 Sturt, R., Fell, C. (2009): The relationship of injury risk to accident severity in impacts with roadside barriers, International Journal of Crashworthiness, 14:2, 165-172.

118 SWOV (2007). Road crash costs. SWOV Fact sheet, March 2007. SWOV, Leidschendam.

119 SWOV (2007). The valuation of human costs of road deaths. SWOV Fact sheet, January 2007. SWOV, Leidschendam.

120 SWOV (2008). Cost-benefit analysis of road safety measures. SWOV Fact sheet, June 2008. SWOV, Leidschendam.

121 TIS (2008), Actualização do Estudo de Impactes Globais Económicos da Subconcessão da AE Transmontana, versão de 21/11/2008.

122 TIS (2009), Actualização do Estudo de Impactes Globais Económicos da Subconcessão do Baixo Alentejo, versão de 27/01/2009.

123 TRB (1987). Designing safer roads. Special Report SR 214, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.

124 TRL (2001). Cost-benefit analysis of measures for vulnerable road users. Final report of workpackage 5 in EU project PROMISING. Transport Research Laboratory, Crowthorne.

125 Vieira Gomes, S. (2010) Avaliação da Influência da Infra-estrutura na Segurança Rodoviária em Meio Urbano. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil na Especialidade de Urbanismo, Ordenamento do Território e Transportes. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

126 Washington, M. Karlaftis and F.L. Mannering, (2010). Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis. Second Edition, Chapman and Hall. ISBN 978-1-4200-8285-2.

127 Winkelbauer M.; Stefan, C. (2005). WP4: Testing the efficiency assessment tools on selected road safety measures. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme “Competitive and Sustainable Growth”, Project "ROSEBUD" Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making. GTC2/2000/33020.

128 Vlakveld, W.; Wesemann, P.; Devillers, E.; Elvik, R.; Veisten, K. (2005). Detailed cost-benefit analysis of potential impairment countermeasures. Research in the framework of the European research programme IMMORTAL. Leidschendam, SWOV Institute for Road Safety Research, The Netherlands.

129 Zaloshnja, E., Miller, T., Romano, E., Spicer, R., 2004. Crash costs by body part injured, fracture involvement, and threat-to-life severity. United States, 2000. *Accid. Anal. Prev.* 36 (3), 415–427.

130 Zaloshnja, E.; Miller, T.; Council, F.; Persaud, B. (2006). Crash costs in the United States by crash geometry. *Accident Analysis and Prevention* 38, 644–651.

131 Zegeer, C.V.; Cynecki, M.J (1984). Determination of Cost-Effective Roadway Treatments for Utility Pole Accidents, Safety Appurtenances and Utility Accommodation, Transportation Research Record n°970, Transportation Research Board.

132 Zegeer, C. V., Stewart, R. Reinfurt, D. Council, F. M. Newman, T. Hamilton, E. Miller, T. and Hunter W. (1990). Cost-Effective Geometric Improvements for Safety Upgrading of Horizontal Curves. Report No. FHWA-RD-90-021. Federal Highway Administration. Washington, DC. 1990.

ANEXOS

ANEXO I – Glossário das abreviaturas mais utilizadas

Abreviatura	Designação	
	Português	Inglês
AAFR	Área adjacente à faixa de rodagem	<i>Roadside</i>
AC	Autocarros	
ACB	Análise custo-benefício	<i>Cost-benefit analysis</i>
ACE	Análise custo-eficácia	<i>Cost-effectiveness analysis</i>
AIS	Escala Abreviada de Lesão	<i>Abbreviated Injury Scale</i>
ANSR	Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária	-
ASI	Índice de gravidade da aceleração	<i>Acceleration Severity Index</i>
AT	Automóveis	
BEAV	Boletim Estatístico de Acidentes de Viação	-
BT-GNR	Brigada de Trânsito da GNR	-
CEDR	Conferência Europeia de Directores Rodoviários	<i>Conference of European Directors of Roads</i>
CL	Comerciais Ligeiros	
CP	Comerciais Pesados	
DPM	Dispositivo de protecção para motociclistas	
EAD	Estudos antes-depois	
EDR	Gravadores de dados de eventos	<i>Event Data Recorders</i>
ESP	Veículos Especiais	
ETSC	Conselho Europeu de Segurança nos Transportes	<i>European Transport Safety Council</i>
EUA	Estados Unidos da América	-
FMA	Factor de Modificação de Acidentes	<i>Accident modification factor</i>
FRA	Factor de Redução de Acidentes	<i>Crash Reduction Factor</i>
GE	Gravidade do Embate	<i>Impact severity</i>
GNR	Guarda Nacional Republicana	-
HIC	Crítério de Ferimento na Cabeça	<i>Head Injury Criterion</i>
INE	Instituto Nacional de Estatística	
InIR	Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias	
ISS	Pontuação da Gravidade da Lesão	<i>Injury Severity Score</i>
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil	-
MAIS	Escala Abreviada de Lesão Máxima	<i>Maximum Abbreviated Injury Scale</i>
MC	Motociclos	
MEFA	Modelo de estimativa de frequência de acidentes	

Abreviatura	Designação	
	Português	Inglês
MLG	Modelos Lineares Generalizados	
NHTSA	-	<i>National Highway Traffic Safety Administration</i>
PHD	Desaceleração pós-impacto da cabeça	<i>Post-impact Head Deceleration</i>
PPC	Paridade do poder de compra	<i>Purchasing power parity</i>
PRN	Plano Rodoviário Nacional	-
PRP	Prevenção Rodoviária Portuguesa	-
PSP	Polícia de Segurança Pública	-
RBC	Rácio benefício-custo	<i>Benefit-cost ratio</i>
RRN	Rede Rodoviária Nacional	-
SRRV	Sistemas de retenção rodoviários de veículos	<i>Road restraint systems</i>
TFGA	Taxa de ferimentos graves por acidente	
TFLA	Taxa de ferimentos leves por acidente	
THIV	Velocidade de impacto da cabeça teórica	<i>Theoretical Head Impact Velocity</i>
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade	<i>Internal rate of return</i>
TM	Taxa de mortalidade	-
TMA	Taxa de mortalidade por acidente	
TMDA	Tráfego Médio Diário Anual	
TRB	-	<i>Transportation Research Board</i>
TSG	Taxa de sinistralidade grave	-
TSL	Taxa de sinistralidade leve	-
VAL	Valor Actual Líquido	<i>Net present value</i>
VCDI	Índice de deformação da cabina do veículo	<i>Vehicle Cockpit Deformation Index</i>
VVE	Valor da Vida Estatística	<i>Value of a Statistical Life</i>

