Disposições Normativas

Sistemas de Retenção Rodoviários

MANUAL DE APLICAÇÃO

Instituto de Infra-Estruturas
Rodoviárias IP

Sistemas de Retenção Rodoviários

Manual de Aplicação

DOCUMENTO BASE

Trabalho realizado para o InIR, no âmbito de um protocolo celebrado com o LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P.

SISTEMAS DE RETENÇÃO RODOVIÁRIOS DE VEÍCULOS. RECOMENDAÇÕES PARA SELECÇÃO E COLOCAÇÃO.

DOCUMENTO BASE

RELATÓRIO 0/**2010 - NPTS**

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES
Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança

Proc. 0703/1/17195

SISTEMAS DE RETENÇÃO RODOVIÁRIOS DE VEÍCULOS. RECOMENDAÇÕES PARA SELECÇÃO E COLOCAÇÃO.

Estudo realizado por solicitação do Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias, I.P.

LISBOA ● Novembro de 2010

I & D TRANSPORTES

RELATÓRIO 0/**2010 - NPTS**

DOCUMENTO BASE

SISTEMAS DE RETENÇÃO RODOVIÁRIOS DE VEÍCULOS
RECOMENDAÇÕES PARA SELECÇÃO E COLOCAÇÃO.

SUMÁRIO

O presente relatório foi elaborado no âmbito do estabelecimento de disposições normativas relativas aos sistemas de retenção rodoviários de veículos (SRRV) nas estradas da Rede Rodoviária Nacional, por solicitação do Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias, I.P.

Os SRRV são equipamentos instalados na estrada para fornecerem um determinado nível de retenção aos veículos descontrolados, impedindo que estes invadam zonas perigosas, sendo actualmente dimensionados para diferentes graus de funcionamento, os quais são definidos de acordo com as normas de desempenho em vigor.

No presente relatório são apresentadas recomendações para a selecção e colocação dos SRRV em estradas da Rede Rodoviária Nacional.

DOCUMENTO BASE

RECOMMENDATIONS FOR SELECTION AND INSTALATION OF ROAD VEHICLE RESTRAINT SYSTEMS.

ABSTRACT

This report was prepared by request of *the Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias*, I.P., to support the establishment of recommendations regarding the selection and installation of road vehicle restraint systems in the National Road Network,

Road vehicle restraint systems are installed on roads to provide a selected level of containment for errant vehicles, preventing their intrusion into hazardous roadside areas. Currently, these systems are designed to provide different levels of functioning, which are defined in accordance with current CEN performance standards.

In this report guidelines for selection and installation of road vehicle restraint systems in roads of the National Road Network are presented.

DOCUMENTO BASE

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO 1

2 CLASSIFICAÇÃO E FUNÇÃO 5

2.1 Barreiras de segurança 5

2.2 Terminais 6

2.3 Transições 7

2.4 Amortecedores de choque 7

2.5 Dispositivos de protecção para motociclistas 8

3 NORMAS DE DESEMPENHO 10

3.1 Aspectos para avaliação de desempenho, definição dos limites de aceitação e identificação das classes técnicas 12

3.1.1 Nível de retenção 13

3.1.2 Gravidade do embate 15

3.1.3 Deformabilidade 16

3.1.4 Verificação do comportamento do veículo 18

4 SELECÇÃO DE BARREIRAS DE SEGURANÇA 20

4.1 Método para selecção de sistemas de retenção de veículos 22

4.2 Identificação dos obstáculos perigosos 22

4.3 Avaliação da necessidade de colocação e selecção do nível de retenção 23

4.3.1 Critérios de decisão para estradas da RRN 30

4.4 Posicionamento lateral do sistema 36

4.5 Comprimento necessário 38

4.5.1 Generalidades 38

4.5.2 Metodologia adoptada no cálculo do comprimento necessário 40

4.5.3 Configuração longitudinal das barreiras 43

4.5.4 Taxa de afastamento 48

5 ASPECTOS PARTICULARES DE DIMENSIONAMENTO 54

5.1 Terminais 54

5.1.1 Critérios utilizados na Norma Europeia EN 1317 para avaliação de desempenho de terminais 55

5.1.2 Método para selecção de terminais para estradas da RRN 60

DOCUMENTO BASE

5.1.3 Requisitos específicos de colocação de terminais para estradas da RRN 61
5.2 Transições 62
5.2.1 Critérios utilizados na Norma Europeia EN 1317 para avaliação de desempenho de transições 63
5.2.2 Método para selecção de transições para estradas da RRN 63
5.3 Amortecedores de choque 64
5.3.1 Critérios utilizados na Norma Europeia EN 1317 para avaliação de desempenho de amortecedores de choque 64
5.3.2 Método para selecção de amortecedores de choque para estradas da RRN 70
5.3.3 Requisitos específicos de colocação de amortecedores de choque para estradas da RRN 71
6 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS 73
6.1 Aspectos estruturais das barreiras de segurança 73
6.2 Condições do solo de fundação 74
6.3 Presença de obstáculos perigosos no separador central 77
7 CONCLUSÕES 79
BIBLIOGRAFIA 83

DOCUMENTO BASE

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Critérios de embate do veículo de ensaio (adaptado de [23]). 14

Quadro 2 – Níveis de retenção de barreiras de segurança (adaptado de [23]). 14

Quadro 3 – Níveis de gravidade do embate de acordo com a EN 1317 (adaptado de [23]). 16

Quadro 4 – Níveis de largura útil de acordo com a EN 1317 (adaptado de [23]). 18

Quadro 5 – Distâncias para o critério da caixa de saída (adaptado de [23]). 19

Quadro 6 – Definição de critérios de selecção. 21

Quadro 7 – Exemplos de critérios para a colocação de barreiras de segurança 24

Quadro 8 – Critérios de necessidade de colocação e selecção de nível de retenção. 28

Quadro 9 – Selecção do nível de retenção. 29

Quadro 10 – Raio de curvatura horizontal a considerar para a definição de áreas com probabilidade acrescida de invasão por despiste (adaptado de [39]). 36

Quadro 11 – Comprimento necessário mínimo das barreiras de segurança metálicas 39

Quadro 12 – Taxas de afastamento das barreiras de segurança recomendadas. 49

Quadro 13 – Gravidade do embate (adaptado de [56]) 50

Quadro 14 – Critérios do ensaio de embate do veículo e classes de desempenho [36]. 56

Quadro 15 – Dimensões da caixa de saída Z_a e Z_d (adaptado de [36]) 58

Quadro 16 – Zonas de deslocação lateral permanente para terminais (adaptado de [36]). 59

Quadro 17 – Classes de gravidade do embate de acordo com a EN 1317 (adaptado de [36]). 60

Quadro 18 – Classes de desempenho para terminais de acordo com a Norma Europeia EN 1317-4. 60

Quadro 19 – Classes de desempenho para terminais (adaptado de [93]) 61

Quadro 20 – Níveis de retenção das transições entre duas barreiras (adaptado de [26]) 63

Quadro 21 – Critérios de ensaios de choque de veículos contra amortecedores de choque (adaptado de [35]) 65

Quadro 22 – Níveis de desempenho para amortecedores de choque redireccionantes 66

Quadro 23 – Níveis de desempenho para amortecedores de choque não redireccionantes 67

Quadro 24 – Classes de deslocamento lateral permanente para amortecedores de choque 68

DOCUMENTO BASE

Quadro 25 – Dimensões da zona de redireccionamento (Z_a e Z_d) para cada classe de Z 69

Quadro 26 – Níveis mínimos de desempenho dos amortecedores de choque (adaptado de [26], [47] e [49]) 70

Quadro 27 – Níveis de desempenho dos amortecedores de choque em função limite de velocidade para o caso de Portugal (adaptado de [26]). 71

Quadro 28 – Comprimento de despiste para o dimensionamento de barreiras de segurança (adaptado de [4]) 100

Quadro 29 – Comparação dos requisitos de ensaio da Norma Europeia EN 1317 e do NCHRP 350 (adaptado de ([23] e [50])) 106

DOCUMENTO BASE

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de sistemas (adaptado de [22]) 5

Figura 2 – Centro de gravidade do veículo de ensaio (adaptado de [22]). 12

Figura 3 – Valores medidos de deflexão dinâmica (D_m), largura útil (W_m) [23]. 17

Figura 4 – Trajectória do veículo de ensaio (adaptado de [23]). 19

Figura 5 – Necessidade de barreiras de segurança [37]. 26

Figura 6 – Distância crítica para estradas com limite de velocidade superior a 100 km/h (adaptado de [26]) 31

Figura 7 – Distância crítica para estradas com limite de velocidade igual ou superior a 80 km/h e não superior a 100 km/h (adaptado de [26]) 31

Figura 8 – Distância crítica para estradas com limite de velocidade igual ou superior a 60 km/h e não superior a 70 km/h (adaptado de [26]). 32

Figura 9 – Fluxograma 1 - Avaliação da necessidade e selecção do nível de retenção de barreiras de segurança na berma direita (adaptado de [26]) 33

Figura 10 – Fluxograma 2 - Avaliação da necessidade e selecção do nível de retenção de barreiras de segurança na berma esquerda (adaptado de [26]). 34

Figura 11 – Fluxograma 3 - Avaliação da necessidade e selecção do nível de retenção de barreiras de segurança na berma direita em obras-de-arte (adaptado de [26]). 34

Figura 12 – Fluxograma 4 - Avaliação da necessidade e selecção do nível de retenção de barreiras de segurança na berma esquerda em obras-de-arte (adaptado de [26]). 35

Figura 13 – Simulação das condições de uma estrada rural (adaptado de [60]) 37

Figura 14 – Distância livre necessária atrás de um sistema de retenção de veículos [31]. 38

Figura 15 – Comprimento do obstáculo e dimensões do sistema de retenção [62] 40

Figura 16 – Comprimento de aproximação para proteger obstáculos perigosos [62]. 41

Figura 17 – Ângulo de saída recomendado (adaptado de [74]). 41

Figura 18 – Análise de vários obstáculos perigosos [62] 42

Figura 19 – Trajectória do veículo em movimento por detrás da barreira de segurança [62] 43

Figura 20 – Soluções de projecto [62] 44

DOCUMENTO BASE

Figura 21 – Comprimento necessário a montante do obstáculo perigoso – barreira não afastada (adaptado de [62]) **45**

Figura 22 – Comprimento necessário a montante do obstáculo perigoso – barreira com afastamento. **46**

Figura 23 – barreira com afastamento (adaptado de [74]). **47**

Figura 24 – Comprimento necessário a montante do obstáculo perigoso – barreira com afastamento vs barreira normal. **48**

Figura 25 – Ensaio de uma barreira instalada com uma taxa de afastamento de 1:7 [56]. **49**

Figura 26 – Relação entre a gravidade do embate e o ângulo de afastamento **51**

Figura 27 – Ilusão de óptica causada pela orientação não paralela da barreira de segurança (adaptado de [53]) **52**

Figura 28 – Trajectórias de aproximação de veículo com duas formas alternativas de terminal (a e b) (adaptado de [36]). **57**

Figura 29 – Caixa de saída [36]. **58**

Figura 30 – Zonas de deslocamento lateral permanente do terminal (adaptado de [36]). **59**

Figura 31 – Divergência com uma barreira de segurança e terminal (adaptado de [26]) **61**

Figura 32 – Divergência com barreiras de segurança e terminais (adaptado de [26]). **62**

Figura 33 – Percursos de aproximação de veículos para os ensaios 1 a 5 [35] **66**

Figura 34 – Limites permanentes de deflexão do amortecedor de choque [35]. **68**

Figura 35 – Caixa de saída [35]. **69**

Figura 36 – Divergência com barreiras de segurança e amortecedor de choque (adaptado de [26]) **72**

Figura 36 – Capotamento motivado por falha na interacção entre o prumo e o solo de fundação [98]. **75**

Figura 37 – Representação esquemática do ensaio *in situ* para avaliação da resistência do terreno [20]. **76**

Figura 38 – Obstáculo perigoso no separador central (adaptado de [26]) **78**

Figura 39 – Parâmetros utilizados no cálculo do comprimento necessário do sistema de retenção [4]. **99**

Figura 40 – Comprimento necessário a montante do obstáculo perigoso – "Run-out Length Method". **101**

DOCUMENTO BASE

Figura 41 – Comprimento necessário a montante do obstáculo perigoso – comparação com o "Run-out Length Method". 102

DOCUMENTO BASE

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I – Método alternativo de cálculo do comprimento necessário **97**

Anexo II – Comparação da Norma Europeia EN 1317 com as normas NCHRP **103**

DOCUMENTO BASE

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de retenção de veículos são equipamentos instalados na estrada para fornecerem um determinado nível de retenção a um veículo descontrolado [22], impedindo que este invada zonas perigosas, sendo actualmente dimensionados para diferentes níveis de funcionamento, os quais são definidos, de acordo com as normas de desempenho em vigor ([22], [23], [35] e [36]), atendendo a três características: a retenção, a gravidade do impacto e a deformabilidade do dispositivo.

Na União Europeia (UE), morrem anualmente cerca de 37 300 pessoas e 1.6 milhões ficam feridas em acidentes rodoviários (dados de 2009). Os despistes e as colisões entre veículos e objectos fora da faixa de rodagem, tais como árvores ou postes de sinalização, são um problema de segurança rodoviária relevante. Por exemplo, no período de 2003 a 2007, registaram-se nas estradas portuguesas 55249 acidentes corporais do tipo atrás descrito, os quais originaram 1943 vítimas fatais. Estes valores correspondem a 29% dos acidentes e 37% dos mortos registados nas estradas do País no mesmo período. Acresce que o número de acidentes desta natureza não tem vindo a diminuir nos últimos anos, ao contrário do que aconteceu com a sinistralidade rodoviária em Portugal em termos globais.

Da análise destes números, importa salientar que este tipo de acidentes tem consequências particularmente graves, designadamente elevados números de feridos graves e índices de mortalidade.

De acordo com Hayes e Ross [30], apesar de nos Estados Unidos da América (EUA), durante o período de 1970 a 1995, se ter verificado uma diminuição no número anual de acidentes rodoviários mortais, morreram todos os anos, cerca de 40.000 pessoas em consequência de acidentes rodoviários. Deste total, aproximadamente 30% resultou de despistes e colisões entre veículos e objectos fora da faixa de rodagem ([3] e [30]).

A demonstrar a preocupação nos EUA com a problemática da influência da "área adjacente à faixa de rodagem" (AAFR) na segurança, existe no *Transportation Research Board* um comité

DOCUMENTO BASE

denominado "*Roadside Safety Design*", que é parte integrante do "*Design and Construction Group*", com mais de 25 membros, que lhe é dedicado exclusivamente.

De facto, sendo a infra-estrutura rodoviária um elemento muito importante do sistema de transporte rodoviário, é fundamental o correcto dimensionamento da mesma, como forma de, por um lado, reduzir os erros humanos (o que, por sua vez, conduz a uma diminuição dos acidentes verificados) e, por outro, minorar a gravidade das consequências dos acidentes que ocorram (o que diminui o número de mortos e feridos resultantes desses acidentes).

A intervenção ao nível do projecto de estradas novas ou da beneficiação de estradas existentes pode contribuir significativamente para a redução da sinistralidade rodoviária e das suas consequências. Uma das formas de atingir estes objectivos é assegurar que a zona da estrada adjacente à faixa de rodagem esteja disponível para que os condutores recuperem o controlo das viaturas, caso a invadam (zona livre[1]). Outra forma, a considerar caso não seja possível eliminar os obstáculos, consiste em proteger o tráfego dos obstáculos perigosos na AAFR, mediante sistema de retenção de veículos.

As intervenções para melhoria da segurança rodoviária da AAFR terão de contemplar – em determinados trechos ou pontos singulares do traçado, onde não seja eficiente disponibilizar uma zona livre adequada – a instalação de dispositivos de retenção que evitem a entrada de veículos em zonas mais perigosas que os próprios dispositivos.

O interesse do estabelecimento de critérios para a instalação de sistemas de retenção de veículos é, pois, elevado.

Não obstante, os sistemas de retenção de veículos deverão ser usados como último recurso para proteger o tráfego dos obstáculos perigosos existentes na AAFR. A presença destes dispositivos representa a aceitação pelo projectista de que a eliminação de um obstáculo perigoso é prática ou economicamente inviável, e que é necessário proteger o tráfego desse mesmo obstáculo. O elevado número de mortos em acidentes com objectos fixos, nos quais as colisões com barreiras de segurança são consideradas a situação mais frequente [65],

[1] Área adjacente à faixa de rodagem, disponível para uso seguro por veículos descontrolados

DOCUMENTO BASE

demonstra que esta protecção não é uma solução totalmente eficaz do ponto de vista da segurança.

É, pois, importante reter que estes sistemas representam obstáculos que podem ser atingidos por um veículo. Contundo, são concebidos, construídos e testados para garantir que qualquer colisão com estes sistemas será menos grave do que uma colisão, de características dinâmicas equivalentes, com um obstáculo perigoso localizado na AAFR.

No presente documento apresenta-se um conjunto de critérios a seguir para selecção e dimensionamento geral de sistemas de retenção de veículos a instalar em estradas da Rede Rodoviária Nacional (RRN). Com as devidas adaptações, os critérios apresentados podem ser aplicados em estradas de outros tipos de redes rodoviárias, designadamente as municipais. Refira-se ainda que o presente documento constitui a primeira fase do estudo encetado pelo LNEC para o InIR relativo à sinistralidade na AAFR. Assim o presente documento é elaborado em articulação com um segundo onde é apresentado um conjunto de critérios a seguir para avaliação dos efeitos das características da AAFR sobre a sinistralidade em estradas da Rede Rodoviária Nacional (RRN).

O presente documento está organizado em sete capítulos, sendo este o primeiro.

No Capítulo 2 é feito um enquadramento dos diferentes tipos de sistemas de retenção de veículos, destacando as suas principais características.

No Capítulo 3 são analisadas as actuais normas de desempenho em vigor para estes sistemas na Europa, nomeadamente no que diz respeito às exigências em matéria de retenção, deformabilidade e gravidade do embate. É ainda descrita a prática actualmente em vigor nos Estados Unidos da América e em diversos outros países que adoptam normas similares, em matéria de normas de desempenho para os referidos sistemas.

O Capítulo 4 é dedicado às metodologias actualmente existentes para selecção dos diferentes sistemas disponíveis, focando os aspectos a considerar na sua transposição para as estradas

DOCUMENTO BASE

da Rede Rodoviária Nacional (RRN). Neste âmbito, é descrita de forma detalhada a metodologia utilizada no cálculo do comprimento necessário para as barreiras de segurança.

No Capítulo 5 são descritos os aspectos particulares de dimensionamento de diversos sistemas de retenção de veículos, de acordo com as recomendações de diferentes países europeus.

No Capítulo 6 são focadas as questões relacionadas com as disposições construtivas a ter em consideração na instalação destes equipamentos.

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

Tendo por base a metodologia descrita nos capítulos 4, 5 e 6 foi desenvolvido um software de apoio ao projecto designado "Determinação das Características dos Sistemas de Retenção Rodoviários de Veículos" (DCSRRV), o qual automatiza grande parte dos procedimentos de selecção de sistemas de retenção descritos no presente relatório.

DOCUMENTO BASE

2 CLASSIFICAÇÃO E FUNÇÃO

De acordo com as normas europeias CEN ([22] e [23]), podem distinguir-se duas classes de sistemas de retenção rodoviários em função do tipo de elemento a proteger: os de retenção de veículos, objecto de análise neste estudo, e os de retenção para peões (ver Figura 1). Os primeiros englobam as barreiras de segurança; os muros de guarda para veículos; os amortecedores de choque; e os respectivos terminais e transições. Os sistemas de retenção para peões incluem muros de guarda para peões e guarda-corpos para peões.

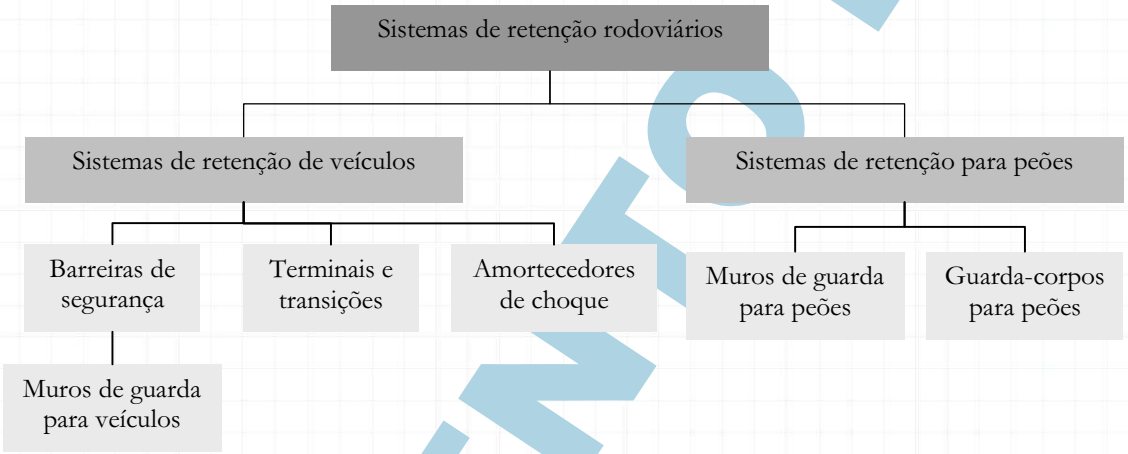


Figura 1 – Tipos de sistemas (adaptado de [22]).

No presente capítulo são apresentadas as diferentes categorias dos sistemas de retenção de veículos e é fornecida informação geral acerca do seu funcionamento e locais de instalação.

2.1 Barreiras de segurança

As barreiras de segurança são instaladas longitudinalmente ao longo da AAFR ou do separador central de uma estrada, com o objectivo de conter ou, em alternativa, conter e redireccionar veículos desgovernados que saiam da faixa de rodagem, impedindo-os de embater em obstáculos perigosos ou de invadir a faixa contrária. As barreiras de segurança são concebidas unicamente para embates laterais.

DOCUMENTO BASE

As barreiras de segurança podem ser designadas:

- Barreiras no lado direito, concebidas para embates laterais apenas num dos lados da barreira e instaladas para lá do limite exterior da berma;
- Barreiras no lado esquerdo, concebidas para embates laterais, num ou em ambos os lados da barreira e instaladas entre faixas de rodagem de sentidos opostos;
- Barreiras de segurança em obras de arte, especialmente concebidas para serem instaladas nos tabuleiros de obras de arte.

As barreiras de segurança podem igualmente ser divididas em função da sua vida útil na infra-estrutura: barreiras permanentes ou temporárias. As principais diferenças entre estes dois sistemas encontram-se no tipo de ancoragem no leito de pavimento e no nível de retenção da barreira de segurança [62]. As barreiras temporárias são quase exclusivamente instaladas em zonas de trabalhos onde a largura das vias e os limites de velocidade máxima impostos condicionam a gravidade das eventuais colisões.

2.2 Terminais

Os terminais que, de acordo com a Norma Europeia EN 1317 [36], são definidos como sendo o tratamento das extremidades de uma barreira de segurança, estabelecem uma transição suave da situação de ausência de retenção para a da retenção da barreira, sem introduzir perigo adicional para o condutor nas colisões envolvendo essas zonas.

O desenvolvimento de terminais seguros e económicos para as barreiras de segurança tem sido uma preocupação desde há mais de três décadas. As primeiras barreiras foram concebidas com um final brusco, capaz de trespassar os veículos embatidos causando ferimentos graves ou mesmo a morte aos seus ocupantes. A fim de resolver este problema foram desenvolvidos terminais que correspondem a barreiras viradas para o solo, dobradas e enterradas no solo ou numa sapata de betão. Contudo, verificou-se que – em diversos casos e especialmente no caso dos veículos de menores dimensões – estes terminais funcionam como rampas de lançamento resultando frequentemente destas colisões o capotamento do veículo desgovernado [13].

DOCUMENTO BASE

Assim, os terminais deverão ser concebidos para colisões laterais e frontais, podendo o seu funcionamento:

- Reduzir a velocidade de um veículo descontrolado;
- Permitir uma penetração controlada do veículo para lá da barreira de segurança;
- Reter e redireccionar o veículo;
- Combinar as três funções anteriormente descritas.

2.3 Transições

Uma transição pode ser definida como uma estrutura que faz a ligação entre duas barreiras de segurança diferentes (em termos de características geométricas, nível de retenção ou deformação lateral). As transições são concebidas para evitar alterações bruscas no desempenho das barreiras, no caso de um veículo descontrolado atingir a área compreendida entre dois sistemas diferentes. Os locais mais comuns para a sua implantação são as ligações entre os muros de guarda para veículos e as barreiras de segurança.

2.4 Amortecedores de choque

Um amortecedor de choque, é um dispositivo destinado, fundamentalmente, a imobilizar um veículo descontrolado com uma desaceleração tolerável para os seus ocupantes, evitando desta forma a colisão com um obstáculo pontual.

Ao contrário das barreiras de segurança, os amortecedores de choque são concebidos para embates com a zona terminal da sua estrutura, bem como com as suas zonas laterais. Se a colisão com um amortecedor de choque for frontal, a energia cinética do veículo, deverá ser absorvida pelo dispositivo e o veículo imobilizar-se-á na berma, de forma a não representar um perigo para os restantes veículos da corrente de tráfego. No caso de um impacto lateral, a maior parte dos amortecedores de choque funciona como uma guarda de segurança [64].

DOCUMENTO BASE

Se obstáculos fixos e isolados ao longo da berma não podem ser retirados, a instalação de amortecedores de choque pode ser uma solução de protecção do tráfego. O desempenho destes sistemas em impactos laterais é utilizado para os dividir em duas categorias [35]:

− Reencaminhante (R): Amortecedores de choque que retêm e reencaminham veículos; são concebidos para colisões laterais e frontais e podem funcionar como uma barreira de segurança em pequenos trechos;
− Não-reencaminhante (NR): Amortecedores de choque que retêm mas não reencaminham veículos, não sendo concebidos para serem alvo de colisões laterais.

Os amortecedores de choque são aplicados em locais de elevado risco de colisão frontal com ângulos próximos de 90º. Em auto-estradas são usados principalmente em duas situações distintas: nas zonas de divergência dos nós, nos ramos de saída, muitas vezes no princípio de uma guarda de segurança; e nas bermas e separador central para protecção em relação a objectos rígidos isolados.

Actualmente, em vários países só excepcionalmente é permitida a utilização destes sistemas em estradas novas ([31] e [51]) realçando, desta forma, a importância crescente do conceito de "AAFR tolerante[2]".

2.5 Dispositivos de protecção para motociclistas

Devem ainda ser referidos os dispositivos de protecção para motociclistas (DPM) pela sua capacidade de redução da gravidade do embate de motociclistas com barreiras de segurança, para os quais ainda não há norma europeia de avaliação do funcionamento, No entanto, com esse objectivo, encontra-se em fase de discussão pública a EN 1317-8, relativa aos sistemas de retenção rodoviários para veículos de duas rodas.

Refira-se ainda neste âmbito, ao nível nacional, a Lei n.º 33/2004, de 28 de Julho, que torna obrigatória a colocação de protecções para motociclistas nas barreiras de segurança

[2] AAFR livre de obstáculos que possam causar danos consideráveis aos ocupantes de um veículo descontrolado.

DOCUMENTO BASE

existentes nos designados pontos negros[3] e em outros pontos de maior risco das vias públicas, integradas ou não na rede rodoviária nacional. Nos termos do referido diploma, os DPM devem ainda ser colocadas, nas vias a construir, em toda a extensão das respectivas barreiras de segurança.

Posteriormente, através do Decreto Regulamentar n.º 3/2005 de 10 de Maio, procedeu-se à regulamentação necessária para a plena aplicabilidade da Lei n.º 33/2004 estabelecendo, nomeadamente, as normas de colocação dos DPM e demais regras para a sua instalação. Assim, de acordo com este Decreto Regulamentar n.º 3/2005, para além dos pontos negros, os DPM deverão ser colocados nos seguintes locais:

- Guardas de segurança das vias rodoviárias nos casos em que a existência de obstáculos fixos e rígidos a menos de 2 m do limite da faixa de rodagem se revele susceptível de provocar danos superiores aos causados pelo embate nos mesmos, nomeadamente encontros de pontes, pilares, muros, postes e árvores de grande porte.
- Auto-estradas, itinerários principais, itinerários complementares e circulares e variantes, sempre que se considere necessário, e, em especial, nos pontos referidos nas subalíneas i) a viii) da alínea a) do n.º 2 do artigo 3.o da Lei n.º 33/2004.
- Em estradas nacionais, regionais e municipais, nos pontos referidos nas subalíneas i) a viii) da alínea a) do n.º 2 do artigo 3.o da Lei n.º 33/2004 e ainda quando a via seja ladeada de precipícios e declives acentuados.

Em alinhamento curvo, os dispositivos de protecção podem ser colocados apenas nas guardas existentes no extradorso. Neste caso, os DPM têm início a meio da curva de transição que antecede a curva circular ou 50 m a montante do início da curva circular, caso não exista a referida curva de transição, e desenvolvendo-se até, pelo menos, 50 m depois do ponto médio da curva de transição que se segue à curva circular ou, caso não exista essa curva de transição, até pelo menos 50 m após o final da curva circular, caso nessas extensões adjacentes ao alinhamento curvo ainda exista guarda de segurança.

[3] Lanços de estrada com o máximo de 200 m de extensão, no qual se registaram, pelo menos, cinco acidentes com vítimas, no ano em análise, cuja soma de indicadores de gravidade é superior a 20. O valor do indicador de gravidade (IG) para cada acidente é obtido através da fórmula IG=100 × (número de mortos)+ 10 × (número de feridos graves) +3×(número de feridos leves)

DOCUMENTO BASE

3 NORMAS DE DESEMPENHO

Actualmente, as barreiras de segurança instaladas na rede rodoviária são previamente submetidas a ensaios de choque, no âmbito das respectivas homologações à luz das normas CEN. Esta medida tem permitido uma redução nos valores da gravidade das consequências dos acidentes envolvendo este tipo de equipamento. Apesar disso, é necessário realçar que as condições ideais de instalação e impacto simuladas nas pistas de testes correspondem a conjuntos de características dinâmicas dos embates que raramente se verificam exactamente nos acidentes que ocorrem na rede. Por outro lado, subsistem muitos quilómetros de barreiras antiquadas, colocadas antes da aprovação das actuais normas e que são susceptíveis de serem substituídas ou beneficiadas.

Os objectivos das Normas Europeias EN 1317 – "Sistemas de retenção das estradas" [22, 23, 35, 36] e EN 12767 – "Segurança passiva das estruturas de suporte do equipamento rodoviário" [24], são, por um lado, fornecer um sistema comum de teste e informação acerca dos sistemas de retenção das estradas e, por outro, fornecer informação clara acerca das características de funcionamento dos sistemas, relevantes quer para o projecto de estradas quer para a previsão da gravidade dos ferimentos nos ocupantes dos veículos que com eles embatam.

A actual Norma Europeia EN 1317 é composta pelas seguintes Partes:

- Parte 1: Terminologia e critérios gerais dos métodos de ensaio;
- Parte 2: Classes de desempenho, critérios de aceitação do ensaio de choque e métodos de ensaio para barreiras de segurança;
- Parte 3: Amortecedores de choque – classes de desempenho, critérios de aceitação dos ensaios de choque e métodos de ensaio;
- Parte 4 – Classes de desempenho, critérios de aceitação dos ensaios de choque e métodos de ensaio para terminais e transições de barreiras de segurança;
- Parte 5 – Requisitos, durabilidade e avaliação da conformidade dos Produtos;
- Parte 6 – Sistemas de retenção para peões, guardas de protecção para peões.

DOCUMENTO BASE

A Norma Europeia EN 1317 compreende, assim, seis partes, das quais cinco são relevantes para o dimensionamento dos sistemas de retenção de veículos susceptíveis de instalação na AAFR. As partes 1 a 4 descrevem como é determinado o nível de desempenho de diferentes sistemas de retenção de veículos de acordo com os ensaios de choque de veículos a que são sujeitos. A parte 5 diz respeito à durabilidade e avaliação da conformidade dos produtos que compõem os sistemas de retenção. A parte 6 aplica-se na protecção dos peões relativamente ao tráfego.

Encontram-se actualmente em preparação duas novas partes desta norma:

- Parte 7 – Classes de desempenho, critérios de aceitação dos ensaios de choque e métodos de ensaio para terminais de barreiras de segurança (que substituirá a EN 1317-4 no que diz respeito aos terminais);
- Parte 8 – Sistemas de retenção rodoviários de motociclos (incidindo sobre os sistemas para reduzir a gravidade do embate de motociclistas com barreiras de segurança).

A Norma Europeia EN 12767, por seu lado, define os métodos de ensaio de choque e os requisitos para testar a segurança passiva das estruturas de suporte do equipamento rodoviário, como, por exemplo, postes de iluminação ou pórticos de sinalização.

De acordo com o Regulamento Interno do CEN[4]/CENELEC, são obrigados a adoptar esta Norma Europeia os organismos nacionais de normalização dos seguintes países, onde também se inclui Portugal: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Irlanda, Islândia, Itália, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Baixos, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça [36].

[4] Comité Europeu de Normalização

DOCUMENTO BASE

3.1 Aspectos para avaliação de desempenho, definição dos limites de aceitação e identificação das classes técnicas

Os aspectos utilizados na Norma Europeia EN 1317 para avaliação de desempenho dos sistemas de retenção de veículos, para definição dos seus limites de aceitação e para identificação das classes técnicas dos mesmos são os seguintes:

- Nível de retenção;
- Nível de gravidade do embate;
- Deformabilidade;
- Verificação do comportamento do veículo.

Para a aplicação dos referidos aspectos são realizados ensaios de choque com veículos correntes cujas características se encontram dentro de gamas de valores definidos na referida norma. Dependendo da finalidade do sistema, a massa do veículo de ensaio pode variar entre 900 kg e 38000 kg. Outras características do veículo, tal como a altura do seu centro de gravidade, são especificadas para cada tipo de veículo. A velocidade e o ângulo de embate são igualmente definidos para as diferentes categorias de ensaio e para os diferentes tipos de veículos.

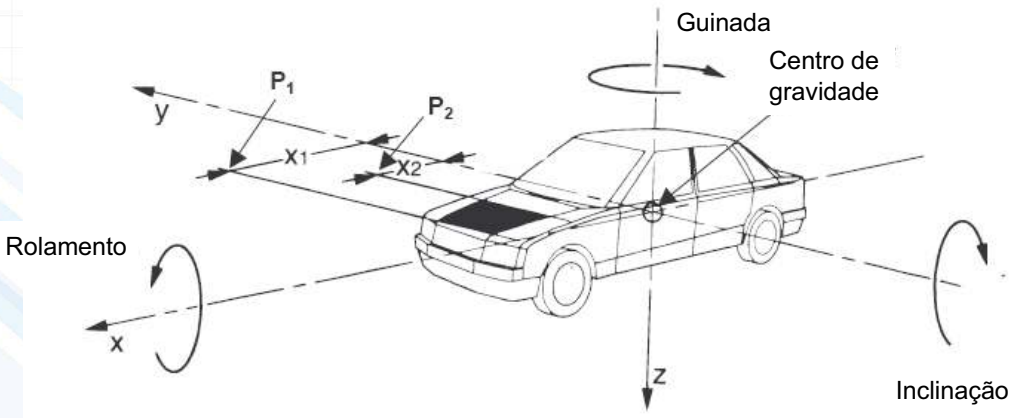


Figura 2 – Centro de gravidade do veículo de ensaio (adaptado de [22]).

3.1.1 Nível de retenção

O nível de retenção corresponde à capacidade do sistema para redireccionar um veículo de ensaio com uma determinada massa, velocidade e ângulo de embate. Refira-se que o nível de retenção indica, em termos de energia cinética, a máxima capacidade de carga do sistema, ou seja, corresponde ao ensaio com o veículo mais pesado.

Complementarmente, é feito um ensaio com um veículo de pequenas dimensões (900 kg) de forma a garantir protecção adequada aos ocupantes de um veículo ligeiro.

O adequado comportamento do sistema pressupõe que o veículo de ensaio nunca o penetra ou ultrapassa. O sistema deve, ainda, conter ou redireccionar o veículo de ensaio de forma previsível e controlada.

A Norma Europeia EN 1317 estabelece que um sistema de retenção de veículos testado e que cumpra o nível de retenção pretendido também é aplicável em níveis de menor retenção. O nível de retenção de um sistema pode ser determinado a partir das condições de ensaio descritas nos dois quadros seguintes.

No Quadro 1 é feita a descrição das configurações de teste para os diferentes tipos de veículo, de velocidade e de ângulo de embate. O Quadro 2 fornece as combinações de testes que definem os diferentes níveis de retenção de barreiras de segurança. A Norma Europeia EN 1317 contém ainda informação semelhante para amortecedores de choque, terminais e transições de barreiras de segurança.

DOCUMENTO BASE

Quadro 1 – Critérios de embate do veículo de ensaio (adaptado de [23]).

Teste	Velocidade de embate (km/h)	Ângulo de embate (º)	Massa do veículo (kg)	Tipo de veículo
TB 11	100	20	900	Automóvel
TB 21	80	8	1300	Automóvel
TB 22	80	15	1300	Automóvel
TB 31	80	20	1500	Automóvel
TB 32	110	20	1500	Automóvel
TB 41	70	8	10000	Veículo pesado rígido
TB 42	70	15	10000	Veículo pesado rígido
TB 51	70	20	13000	Autocarro
TB 61	80	20	16000	Veículo pesado rígido
TB 71	65	20	30000	Veículo pesado rígido
TB 81	65	20	38000	Veículo pesado articulado

Quadro 2 – Níveis de retenção de barreiras de segurança (adaptado de [23]).

Nível de retenção	Ensaio de aceitação
Retenção num ângulo fechado (1)	
T1	TB 21
T2	TB 22
T3	TB 41 e TB 21
Retenção normal	
N1	TB 31
N2	TB 32 e TB 11
Retenção mais elevada	
H1	TB 42 e TB 11
H2	TB 51 e TB 11
H3	TB 61 e TB 11
Retenção muito elevada	
H4a	TB 71 e TB 11
H4b	TB 81 e TB 11
(1) Nota 1: Só devem ser utilizados em guardas de segurança temporárias.	
Nota 2: Com excepção dos níveis N1 e N2, que não incluem T3, a satisfação de um nível de retenção, pressupõe a satisfação dos níveis mais baixos.	
Nota 3: Os níveis H4a e H4b não têm relação hierárquica	

3.1.2 Gravidade do embate

A gravidade do embate é definida como o risco de lesão para os ocupantes do veículo. São utilizadas três variáveis na avaliação deste risco, baseadas essencialmente nas acelerações medidas no centro de gravidade do veículo. Para além destas variáveis é fornecido um outro valor – índice de deformação da cabina do veículo (VCDI) – que serve como informação ao utilizador final, para que este possa conhecer melhor o desempenho do sistema.

A gravidade do embate é calculada pelos índices seguintes:

- *Índice de gravidade da aceleração* (ASI), que representa a relação entre velocidade de uma viatura no momento do impacto e a gravidade de uma possível colisão de um ocupante do veículo, sentado na proximidade de um determinado ponto, com um objecto que aí estivesse. O ASI é também função do tempo de duração do embate, calculada utilizando uma equação baseada nos valores limites de aceleração (para o Ser Humano) durante um intervalo de tempo de 50 ms.
- *Velocidade de impacto da cabeça teóri*ca (THIV), que permite avaliar a gravidade para um ocupante do impacto da viatura: considera-se a cabeça do ocupante como um objecto com possibilidade de movimento livre que, à medida que a velocidade da viatura diminui durante o impacto com um obstáculo, continua a mover-se até embater no interior do habitáculo, com uma determinada velocidade que corresponde àquele critério. O objectivo do THIV é o de indicar o risco de lesão para um ocupante sem cinto de segurança dentro do veículo, procurando desta forma recriar os movimentos da sua cabeça.
- *Desaceleração pós-impacto da cabeça* (PHD), que decorre da continuação do cenário descrito para o cálculo do THIV: admite-se que após o impacto da cabeça com o interior do habitáculo esta fica em contacto com a superfície embatida e que, por isso, a partir desse momento, é sujeita às mesmas desacelerações que o habitáculo. Assim, na altura em que o THIV é calculado, as desacelerações do veículo são monitorizadas, sendo registados os valores máximos da aceleração lateral e longitudinal do veículo. O objectivo do PHD é medir a intensidade da força sobre o ocupante na fase do choque em que este está em contacto com a cabina.

DOCUMENTO BASE

Complementarmente é medida a deformação da cabina, através *do índice de deformação da cabina do veículo* (VCDI). Este índice descreve o quanto as superfícies interiores da cabina são deformadas para o interior do veículo em direcção aos ocupantes. Esta redução do espaço do compartimento reservado aos ocupantes do veículo está fortemente relacionada com as lesões por eles sofridas.

A Norma Europeia EN 1317 classifica a gravidade do embate em três classes, de acordo com o Quadro 3:

Quadro 3 – Níveis de gravidade do embate de acordo com a EN 1317 (adaptado de [23]).

Nível de gravidade do embate	Valores dos índices	
A	ASI ≤ 1,0	THIV ≤ 33km/h
B	ASI ≤ 1,4	
C	ASI ≤ 1,9	
O nível A confere um nível de segurança para os ocupantes maior do que o nível B, e o nível B maior nível de segurança que o nível C. Sob igualdade de outras condições, deve ser preferido o maior nível de segurança.		

3.1.3 Deformabilidade

A deformabilidade de um sistema de retenção de veículos é expressa pelas suas largura útil e deflexão dinâmica, sendo estas variáveis registadas durante o ensaio de choque. A Figura 3 ilustra os parâmetros de interesse durante um ensaio de choque. A largura útil (W_m) é a distância entre o lado do sistema de retenção virado para o tráfego e a posição dinâmica lateral máxima de qualquer parte importante desse sistema em consequência do embate. Se a carroçaria do veículo se deformar sobre o sistema de retenção, impossibilitando que este possa ser usado com a finalidade de medir a largura útil, a posição lateral máxima de qualquer parte do veículo deve ser tomada como alternativa.

DOCUMENTO BASE

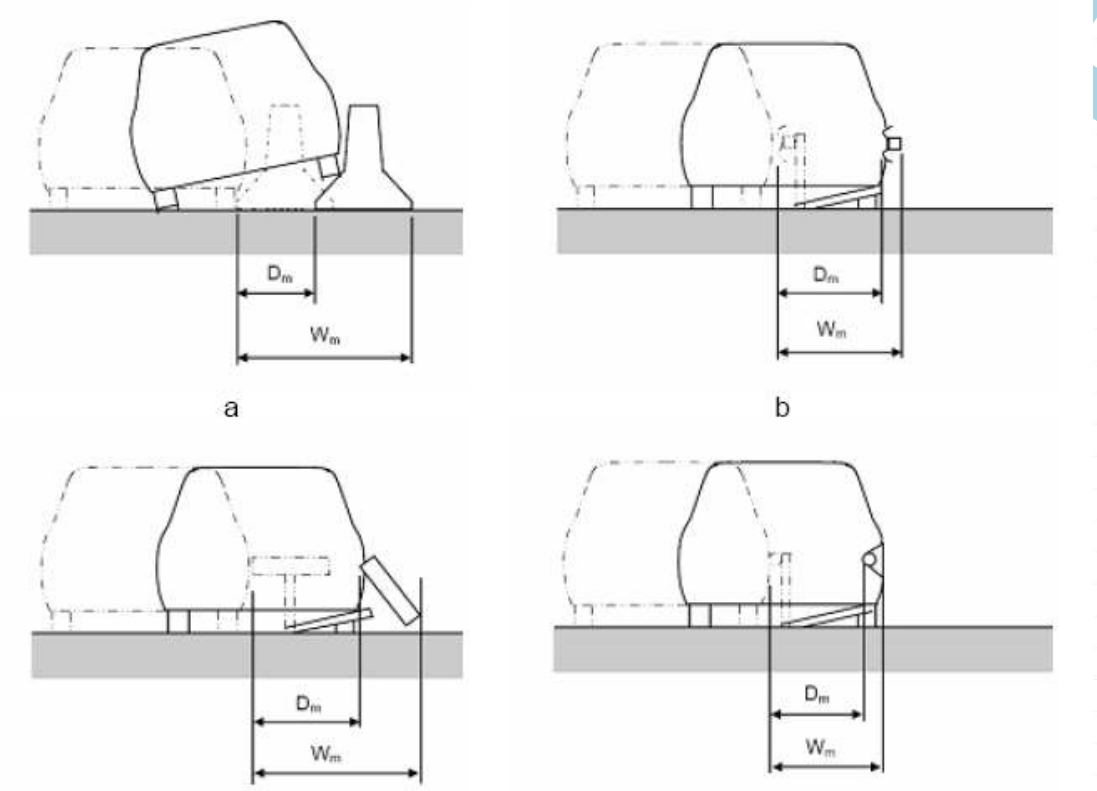


Figura 3 – Valores medidos de deflexão dinâmica (D_m), largura útil (W_m) [23].

Durante os ensaios de choque que envolvem autocarros e veículos pesados de mercadorias, as posições da extremidade lateral do sistema e da extremidade lateral do veículo de ensaio são registadas separadamente no relatório de ensaio. A deflexão dinâmica (D_m) é o deslocamento dinâmico lateral máximo do sistema de retenção no lado virado para o tráfego. Para os sistemas de retenção mais estreitos, a deflexão dinâmica pode ser difícil de medir e, se for esse o caso, pode ser tomada a largura útil como valor para a deflexão dinâmica. O objectivo destas medidas é o de identificar o espaço lateral necessário para que o sistema funcione adequadamente. Caso contrário, se o sistema estiver instalado na proximidade de um obstáculo perigoso – estando este dentro da largura útil do sistema – poderá não proteger adequadamente os veículos do obstáculo, por contacto com este durante um embate.

A Norma Europeia EN 1317 classifica os níveis de largura útil de um sistema em oito classes, de acordo com o Quadro 4:

Quadro 4 – Níveis de largura útil de acordo com a EN 1317 (adaptado de [23]).

Classes de níveis de largura útil	Níveis de largura útil (m)
W1	W ≤ 0,6
W2	W ≤ 0,8
W3	W ≤ 1,0
W4	W ≤ 1,3
W5	W ≤ 1,7
W6	W ≤ 2,1
W7	W ≤ 2,5
W8	W ≤ 3,5
Nota 1: Pode ser especificada uma classe de nível de largura útil l inferior a W1	
Nota 2: A deflexão dinâmica e a largura útil permitem determinar as condições necessárias à instalação de cada sistema de retenção (por exemplo as distâncias livres entre obstáculos e a guarda)	
Nota 3: A deformação depende do tipo de sistema de retenção e das características do ensaio de colisão	

3.1.4 Verificação do comportamento do veículo

Sendo a finalidade de um sistema de retenção de veículos a retenção e o redireccionamento de um veículo descontrolado, não faria sentido que dos movimentos do mesmo durante o ensaio resultassem condições perigosas para os seus ocupantes.

Assim, o comportamento do veículo durante um ensaio de choque deve cumprir os seguintes requisitos:

- O centro de gravidade do veículo não deve cruzar o eixo do sistema deformado;
- O veículo não pode capotar durante ou após o embate, apesar de serem aceitáveis deslizamentos, perdas de contacto com o solo e guinadas moderadas.

Após o embate, o veículo deve sair da barreira de segurança de modo a que as suas rodas se encontrem dentro de uma área de saída previamente delimitada (correspondente à extensão da "caixa de saída" na Figura 4). Esta caixa de saída é determinada tendo por base os pontos de contacto na barreira e o tamanho do veículo de ensaio.

DOCUMENTO

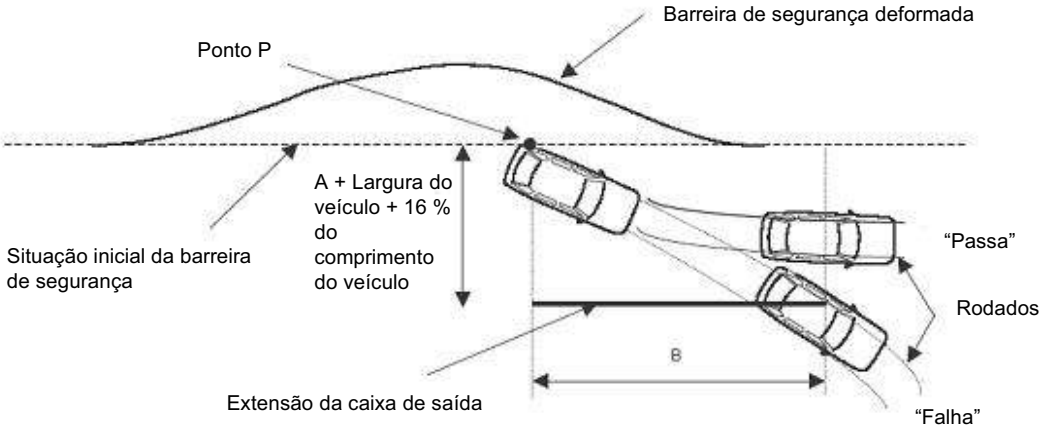


Figura 4 – Trajectória do veículo de ensaio (adaptado de [23]).

Os valores das distâncias A e B encontram-se tabelados no Quadro 5.

Quadro 5 – Distâncias para o critério da caixa de saída (adaptado de [23]).

Tipo de veículo	A [m]	B [m]
Automóvel ligeiro	2,2	10
Outros veículos	4,4	20

4 SELECÇÃO DE BARREIRAS DE SEGURANÇA

Os sistemas de retenção de veículos são utilizados para proteger os ocupantes dos veículos do embate contra obstáculos perigosos ou contra os veículos a circular na faixa de rodagem contrária. A Norma Europeia EN 1317, anteriormente referida, resulta da investigação realizada na Europa ao longo de vários anos e que permitiu desenvolver uma forma padronizada de ensaiar e avaliar o desempenho destes sistemas. A Norma Europeia EN 1317 permite a comparação entre sistemas ensaiados sob as mesmas condições e actua como um teste para determinar e distinguir o âmbito de aplicação de cada sistema de retenção.

Contudo, nenhum impacto de um veículo contra uma barreira é igual a outro. Os veículos diferem em massa, forma, rigidez e embatem nos sistemas a velocidades e ângulos diferentes. O teste de uma barreira de acordo com a Norma Europeia EN 1317 não permite descrever o seu comportamento quando colidida por todos os veículos descontrolados; mas indicia qual será o seu desempenho na maioria dos casos. O desempenho de uma barreira em caso de choque varia de acordo com um conjunto de parâmetros contextuais, nomeadamente o local de instalação, as condições do solo e as considerações ambientais, sendo igualmente importante considerar o ciclo de vida da barreira.

A necessidade da instalação de sistemas de retenção de veículos é habitualmente determinada em função de um conjunto de características da estrada e da envolvente rodoviária, em que estes sistemas se integram. Exemplos destas características são: a velocidade média do tráfego, a largura do separador central, a altura e inclinação dos taludes laterais e a largura e tipo de berma. Também o tipo de ocupação da AAFR ou a presença de obstáculos fixos nesta área contribuem para esta necessidade.

Diversos países desenvolveram recomendações para apoiar a avaliação da necessidade de colocação destes sistemas, principalmente no que diz respeito às barreiras de segurança, e para a selecção dos equipamentos mais vantajosos em cada situação. Neste âmbito, em vários países europeus as normas e recomendações encontram-se ajustados à Norma Europeia EN 1317, definindo os critérios de colocação, de selecção do nível de retenção e de

DOCUMENTO BASE

comprimento mínimo das guardas em função das características da estrada e do ambiente rodoviário de acordo com as mesmas.

Os critérios de selecção podem assim englobar três aspectos:

- Necessidade de colocação;
- Escolha do nível de retenção;
- Determinação do comprimento de guardas de segurança necessário.

No Quadro 6 são listados os tipos de aspectos considerados na normativa internacional analisada ([4], [6], [8], [15], [16], [18], [19], [20], [26], [31], [34], [37], [43], [47], [48], [49], [51], [68], [73], [74], [83], [85] e [94]).

Quadro 6 – Definição de critérios de selecção.

País	**Necessidade de colocação**	**Nível de retenção**	**Comprimento necessário**
Alemanha	•	•	•
Espanha	•	•[a]	•
França	•	•	•
Holanda	•	•	•
Irlanda	•	•	•
Itália	•	•	•
Noruega	•	•	•
Portugal[b]	•		
Reino Unido	•	•	•
Suécia	•	•	•
África do Sul	•		•
Austrália	•	•	•
Canadá	•		•
EUA	•	•	•
Nova Zelândia	•	•	

[a] Definido de acordo com a EN 1317 apenas para barreiras de segurança metálicas
[b] De acordo com a Norma de Traçado de 1994 [37],

No quadro anterior – e nos Quadro 8 a Quadro 11 – os países analisados foram organizados em dois grupos: o primeiro corresponde aos países que adoptaram a Norma Europeia EN 1317 e o segundo àqueles que seguem a norma NCHRP 350.

DOCUMENTO BASE

4.1 Método para selecção de sistemas de retenção de veículos

A metodologia que se preconiza para selecção de sistemas de retenção de veículos comporta quatros passos:

- Identificação dos obstáculos perigosos que devem ser considerados. Este passo é determinante na avaliação da necessidade de instalação de um sistema de retenção e na definição da sua tipologia, nomeadamente na distinção entre a protecção de um perigo pontual ou linear;
- Determinação do nível de retenção do sistema;
- Determinação da largura útil do sistema, através da localização transversal dos obstáculos perigosos;
- Determinação do comprimento do sistema com base nas dimensões do obstáculo perigoso.

Esta metodologia resulta da análise das práticas adoptadas nos vários países analisados e das propostas resultantes do projecto RISER ([59] e [62]), a partir das quais foi possível delinear um conjunto de procedimentos para a abordagem do problema da colocação de sistemas de retenção em estradas da RRN. Os procedimentos descritos só se aplicam quando o obstáculo perigoso a ser intervencionado não pode ser removido da área de recuperação ou substituído por uma estrutura frágil (isto é, passivamente segura).

4.2 Identificação dos obstáculos perigosos

Um aspecto importante no dimensionamento de uma AAFR tolerante corresponde à identificação dos obstáculos perigosos que podem ser atingidos por veículos descontrolados [62]. Para além da segurança dos ocupantes dos veículos, as lesões ou danos provocados em terceiros requerem uma atenção especial. Vias-férreas, edifícios particularmente sensíveis (por exemplo, escolas ou hospitais) e armazéns com mercadorias perigosas encontram-se, frequentemente, próximos de estradas e susceptíveis de serem colididos por veículos descontrolados. O impacto de um veículo com estas estruturas pode levar a lesões e danos que vão para além daqueles que dizem respeito aos ocupantes do veículo. O tipo de

DOCUMENTO BASE

obstáculo perigoso (como, por exemplo, uma árvore ou um poste de iluminação) também influencia os critérios de instalação dos sistemas de retenção.

As principais informações que devem ser obtidas são as seguintes:

- Onde se encontram localizados os obstáculos e áreas sensíveis em relação à estrada?
- Quais são as consequências do impacto com esse obstáculo para os passageiros de um veículo descontrolado?
- Quais são as dimensões do obstáculo?
- Quais são as consequências da ruína do obstáculo ou da invasão da zona por um veículo?

A distância dos obstáculos relativamente à faixa de rodagem é a primeira questão a ser analisada. Para tal, a zona de livre para o trecho de estrada em análise deverá ser previamente identificada, permitindo desta forma focar a atenção no levantamento de todos os obstáculos perigosos existentes nesses corredores adjacentes à faixa de rodagem.

Em caso de colisão, as características do obstáculo perigoso influenciam directamente o risco de lesões e danos materiais, afectando dessa forma a selecção do nível de retenção do sistema.

4.3 Avaliação da necessidade de colocação e selecção do nível de retenção

Após a identificação dos obstáculos perigosos que podem ser atingidos por um veículo descontrolado é necessário estabelecer critérios para determinar a necessidade de colocação dos sistemas de retenção de veículos. O Quadro 7 sumariza alguns desses critérios, referentes a diversos países.

DOCUMENTO BASE

Quadro 7 – Exemplos de critérios para a colocação de barreiras de segurança (adaptado de [54]).

País	**Critério**
África do Sul	Em estradas rurais, as barreiras são utilizadas em taludes mais íngremes que 1:4 (v:h) quando justificado por uma análise económica.
Alemanha	Os factores a considerar incluem o traçado, as características da AAFR, a distância ao obstáculo, e as características e tipo de obstáculo.
China	Utilizam-se barreiras quando a velocidade de projecto é igual ou superior a 80 km/h.
Dinamarca	A justificação para a colocação de barreiras de segurança inclui objectos fixos com uma zona livre inferior a 3.0 m para velocidades iguais ou inferiores a 80 km/h ou a 9 m para velocidades iguais ou superiores a 90 km/h; diminuição da cota superior a 1.0 m ou uma profundidade de água superior a 1.0 m; os mesmos critérios são utilizados para linhas de caminhos-de-ferro, aterros, etc.
EUA	A justificação para a colocação de barreiras de segurança baseia-se na velocidade dos veículos, nos volumes de tráfego, nas características da zona livre, no tipo de obstáculo perigoso, no número e gravidade de acidentes esperados, ponderados em análise custo-eficácia.
Grécia	Utiliza as normas alemãs, a experiência, ou a recomendação do projectista ou da polícia.
Japão	A decisão da instalação é baseada nas condições da estrada e do tráfego para: – Certas combinações de altura e inclinação de aterro; – Saliências rochosas na face do talude, e – Proximidade do mar, lago, rio, canal, etc.
Polónia	A utilização de barreiras é limitada aos locais onde uma potencial colisão com uma barreira seja menos severa do que uma colisão com um aterro existente ou com uma obstrução lateral.
Reino Unido	A justificação para barreiras de segurança inclui separadores centrais em todas as auto-estradas e itinerários principais, alturas de aterros superiores a 4.0 m, e água ou outro obstáculo perigoso existente até 4.5 m da estrada pavimentada.
República Checa	A justificação inclui altura superior a 4.0 m, talude com inclinação superior a 1:3 (v:h) em zonas de aterro, proximidade de lagos, etc.
Suécia	A instalação das barreiras é fundamentada nas estimativas de acidentes previsíveis e das respectivas consequências, considerando o traçado da estrada e a envolvente. A justificação para a colocação de barreiras de segurança depende da velocidade de projecto e das diferentes categorias de taludes, diminuições da cota, cursos de água, rochas e objectos rígidos.

Até agora em Portugal, de acordo com a Norma de Traçado, publicada em 1994 pela então Junta Autónoma de Estradas [37], a colocação de barreiras de segurança nas bermas tem sido aconselhada para evitar a colisão com obstáculos situados a menos de 3.5 metros da faixa de

rodagem. Além disso, considera-se que devem ser colocadas barreiras de segurança sempre que a inclinação dos taludes seja superior a 2:3 e a sua altura superior a 3.0 metros.

De acordo com a mesma norma, nos casos em que existam cursos de água, vias-férreas ou estradas adjacentes aos taludes de aterro, devem também ser previstas guardas de segurança.

Ainda de acordo com a referida norma, a necessidade de barreiras de segurança pode ser fixada com base no ábaco da Figura 5, em função da inclinação do talude, da altura do aterro, das características do traçado e das condições climáticas mais desfavoráveis previsíveis. De acordo com este ábaco, são de prever barreiras de segurança nos taludes de aterro desde que:

- TMD $\leq$ 2000 e IS $\geq$ 70
- TMD $>$ 2000 e IS $\geq$ 50

em que IS (índice de segurança) é determinado pelo mesmo ábaco.

DOCUMENTO BASE

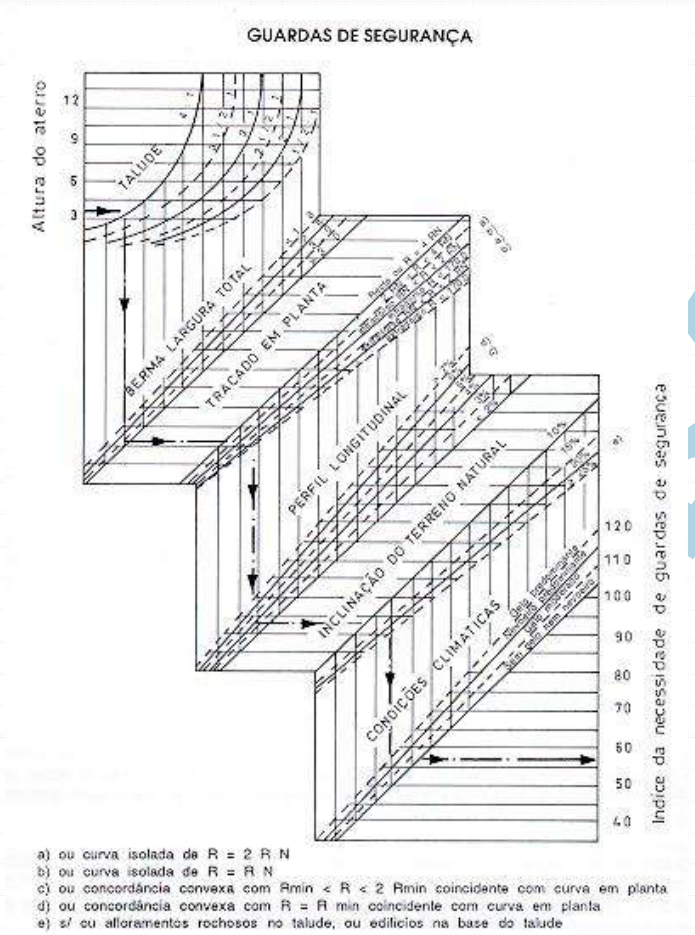


Figura 5 – Necessidade de barreiras de segurança [37].

Assim a necessidade de barreiras de segurança é, de acordo com a referida norma, função não só das características descritas anteriormente, mas também do volume de tráfego da estrada em análise.

A par com a definição de critérios para avaliação da necessidade de colocação, importa estabelecer o nível de retenção adequado para cada situação em análise. O nível de retenção é uma das características mais importantes de um sistema de retenção de veículos, pois define a aptidão do sistema para redireccionar um veículo, impedindo a invasão de uma área sensível ou perigosa. O nível de retenção é especificado pelas condições do ensaio de choque (massa do veículo, velocidade de embate e ângulo de embate) conforme referido em 3.1.1. Um maior nível de retenção corresponde a um sistema de retenção de veículos mais resistente.

A principal preocupação na determinação do nível de retenção consiste na avaliação do risco de um veículo descontrolado de determinadas características colidir violentamente com o sistema, bem como de, em consequência, penetrar ou atravessar o mesmo, invadindo a área sensível. Assim, o nível de retenção deve ser estabelecido tendo em consideração os seguintes aspectos:

- Tipo de veículos que circulam na estrada (normalmente, a percentagem ou o TMDA de veículos pesados);
- Categoria de estrada (auto-estrada, estrada rural ou arruamento);
- Velocidade de circulação;
- Informação local que possa afectar o risco de acidente (condições climatéricas, geometria do traçado, etc.)
- Factores adicionais de risco (acima identificados em termos de danos em terceiros).

Neste âmbito destaca-se a norma alemã RPS 2008 [26] que apresenta um algoritmo para selecção do nível de retenção que contém todos os elementos acima identificados, sendo, do ponto de vista formal, o mais desenvolvido e detalhado de todos aqueles que foram analisados.

Assim, no que diz respeito aos critérios de colocação e selecção de nível de retenção, os parâmetros considerados nas normas e recomendações analisadas podem ser agrupados da seguinte forma:

- Velocidade (limite de velocidade[5] ou velocidade média);
- Análise económica das alterações a introduzir;
- Características do tráfego (total e pesados);
- Características da estrada (tipo de estrada, traçado, largura das vias, etc.);
- Características da zona envolvente (zonas urbanas, proximidade de vias férreas, etc.);
- Características dos taludes (altura, inclinação, etc.);
- Presença de obstáculos perigosos na AAFR;
- Condições climatéricas.

[5] Nalguns países é recomendado que o limite de velocidade corresponda ao valor do percentil 85 da distribuição de velocidades não impedidas (V_{85}).

DOCUMENTO BASE

O Quadro 8 apresenta uma síntese da análise das normas e recomendações recolhidas no presente trabalho, de onde se destacam, para além da Alemanha já anteriormente referida, três países – Reino Unido, Austrália e Estados Unidos da América – como sendo aqueles em que os critérios de colocação e selecção do nível de retenção dos sistemas são mais rigorosos.

Quadro 8 – Critérios de necessidade de colocação e selecção de nível de retenção.

País	Veloc.	Anál. Econ.	Tráfego		Caract. da estrada	Caract. da envolvente	Taludes	Obst. na AAFR	Condições climatéricas
			Total	Pes.					
Alemanha	•		•	•	•	•	•	•	
Espanha	•		•	•[a]		•	•	•	
França	•		•	•	•		•	•	
Holanda	•				•	•	•	•	
Irlanda	•		•	•	•	•	•	•	
Itália	•		•	•	•	•	•	•	
Noruega	•		•	•		•	•	•	
Portugal[b]			•		•	•	•	•	•
Reino Unido	•	•	•	•	•	•	•	•	
Suécia	•		•		•	•	•	•	
África do Sul	•		•		•		•	•	
Austrália	•	•	•	•	•	•	•	•	
Canadá	•	•	•		•	•	•		•
EUA	•	•	•	•	•	•	•	•	
Nova Zelândia			•	•	•	•	•		

[a] Aplicável apenas a barreiras de segurança metálicas
[b] De acordo com a Norma de Traçado de 1994 [37],

De referir ainda que no caso de Portugal [37] os parâmetros indicados dizem respeito apenas a critérios de colocação, não havendo na normativa existente qualquer referência ao nível de retenção a considerar.

Outros países, como a Itália ([49] e [87]) ou a Nova Zelândia ([83] e [84]), consideram alguns destes parâmetro apenas como critérios de necessidade de colocação e outros como critérios de escolha do nível de retenção. Na maioria dos países analisados, os parâmetros anteriormente referidos são utilizados quer para identificar os locais onde é necessário o sistema de retenção, quer para seleccionar o seu nível de retenção.

Verifica-se igualmente alguma uniformidade em termos dos níveis mínimos e máximos de retenção considerados. No Quadro 9 são apresentados esses valores para todos os países

analisados, de acordo com a Norma Europeia EN 1317 [23] e o NCHRP 350 [50], e complementarmente a mesma informação é apresentada convertendo para a classificação da Norma Europeia EN 1317 os valores referentes aos países que adoptam como norma a NCHRP 350.

Quadro 9 – Selecção do nível de retenção.

País	Mínimo	Máximo
Alemanha	N2	H4b
Espanha	N2 [a]	H4 [a]
França	N1	H4
Holanda	T1	H2
Irlanda	N2	H2 [b]
Itália	N1	H4
Noruega	N1 [c]	H4
Portugal [d]	-	-
Reino Unido	N2	H4a
Suécia	N1	H4
África do Sul	-	-
Austrália	TL2 (< N1) [e]	TL6 (H4b) [e]
Canadá	-	-
EUA	TL2 (< N1) [e]	TL5 (H4b) [e]
Nova Zelândia	TL3 (N2) [e]	TL6 (H4b) [e]

[a] Aplicável apenas a barreiras de segurança metálicas

[b] Poderá ser superior em condições excepcionais

[c] Poderá ser inferior (T1 a T3) em situações temporárias

[d] De acordo com a Norma de Traçado de 1994 [37],

[e] Valor corrigido

Nota : Os níveis H4a e H4b não têm relação hierárquica pelo que aparecem em alguns países apenas com a referência H4

Nos quadros anteriores é de destacar que apenas num dos documentos analisados se prevê a utilização dos níveis mais baixos de retenção, denominados de retenção num ângulo fechado (T1, T2 e T3), facto contudo explicável pelos mesmos só deverem ser utilizados em barreiras de segurança temporárias. Mesmo a norma holandesa [15] apenas considera a hipótese de utilização do nível de retenção T1 em zonas residenciais. Complementarmente, a quase totalidade dos países prevê só em situações muito particulares a instalação de sistemas de retenção muito elevada (H4a ou H4b).

4.3.1 Critérios de decisão para estradas da RRN

Os critérios de decisão que se preconizam para o caso das estradas da RRN comportam dois passos: o cálculo das distâncias críticas e a aplicação dos fluxogramas de selecção do nível de retenção.

A avaliação da necessidade de colocação das barreiras de segurança depende da distância a que os obstáculos perigosos ou áreas vulneráveis se encontram do limite da faixa de rodagem. Esta avaliação é particularmente importante no caso da berma direita fora das obras-de-arte.

Reconhecendo a importância da protecção de terceiros e o facto destes, geralmente, sofrerem efeitos particularmente graves resultantes de acidentes envolvendo veículos descontrolados, definiram-se duas distâncias críticas abaixo das quais é necessária a instalação de barreiras de segurança. A distância **AV** é aplicável a áreas vulneráveis que necessitam de protecção especial (níveis de risco 1 e 2), e a distância **OP** é aplicável aos obstáculos perigosos (níveis de risco 3 e 4). As distâncias críticas **AV** e **OP** dependem do limite de velocidade local e da altura do talude (com sinal positivo para taludes de escavação e negativo para taludes de aterro). Os níveis de risco 1, 2, 3 e 4 correspondem, respectivamente, a perigos especiais para terceiros, riscos para terceiros, obstáculos especiais na AAFR e perigos para os ocupantes do veículo.

Para estradas com limite de velocidade superior a 100 km/h as distâncias críticas são as definidas na Figura 6.

DOCUMENTO BASE

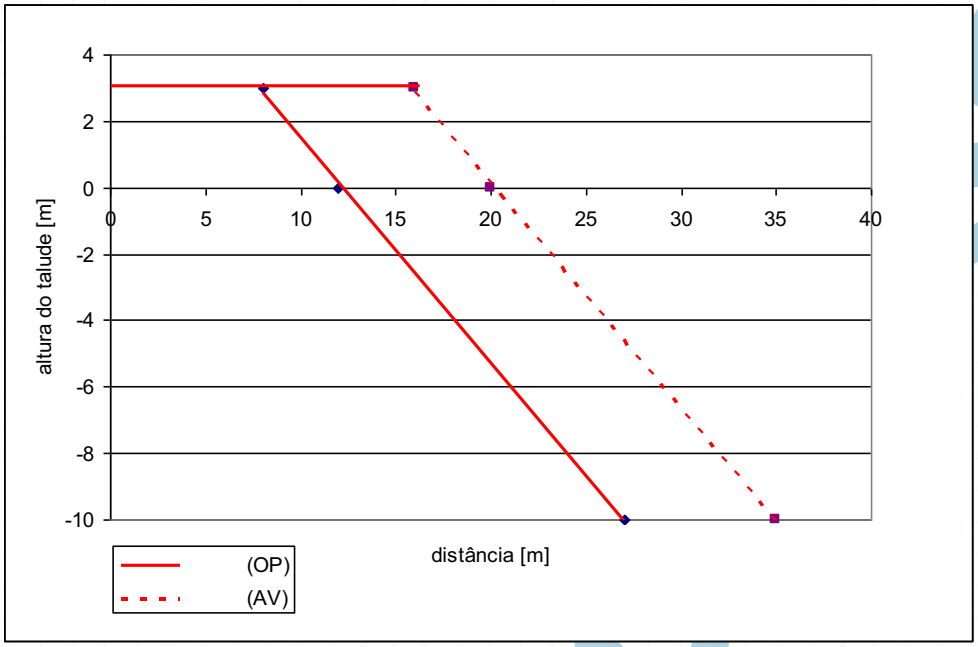


Figura 6 – Distância crítica para estradas com limite de velocidade superior a 100 km/h (adaptado de [26]).

Para estradas com limite de velocidade igual ou superior a 80 km/h e não superior a 100 km/h as distâncias críticas são as definidas na Figura 7.

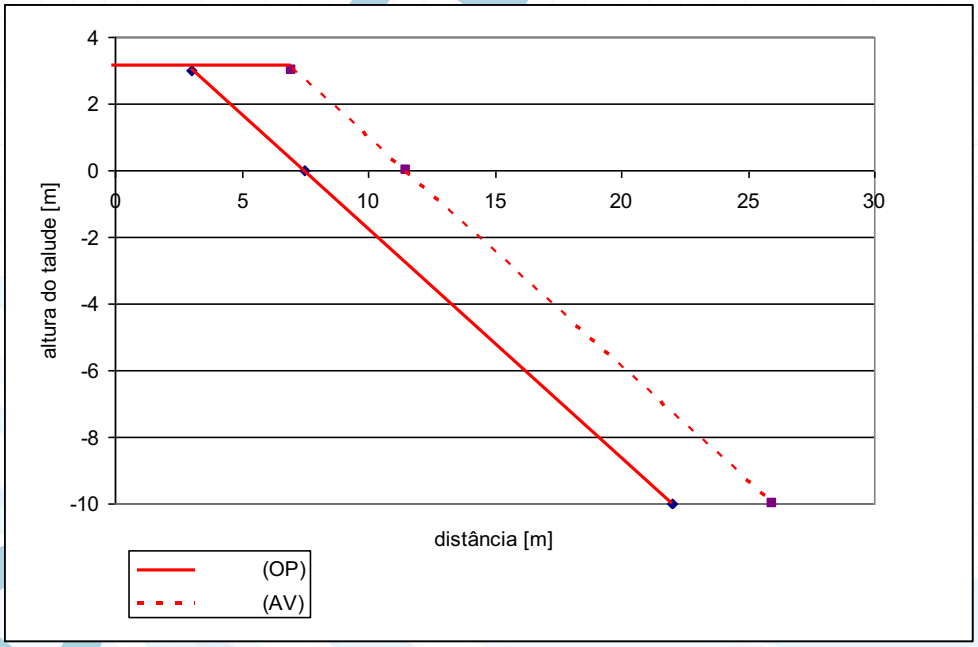


Figura 7 – Distância crítica para estradas com limite de velocidade igual ou superior a 80 km/h e não superior a 100 km/h (adaptado de [26]).

Para estradas com limite de velocidade igual ou superior a 60 km/h e não superior a 70 km/h as distâncias críticas são as definidas na Figura 8.

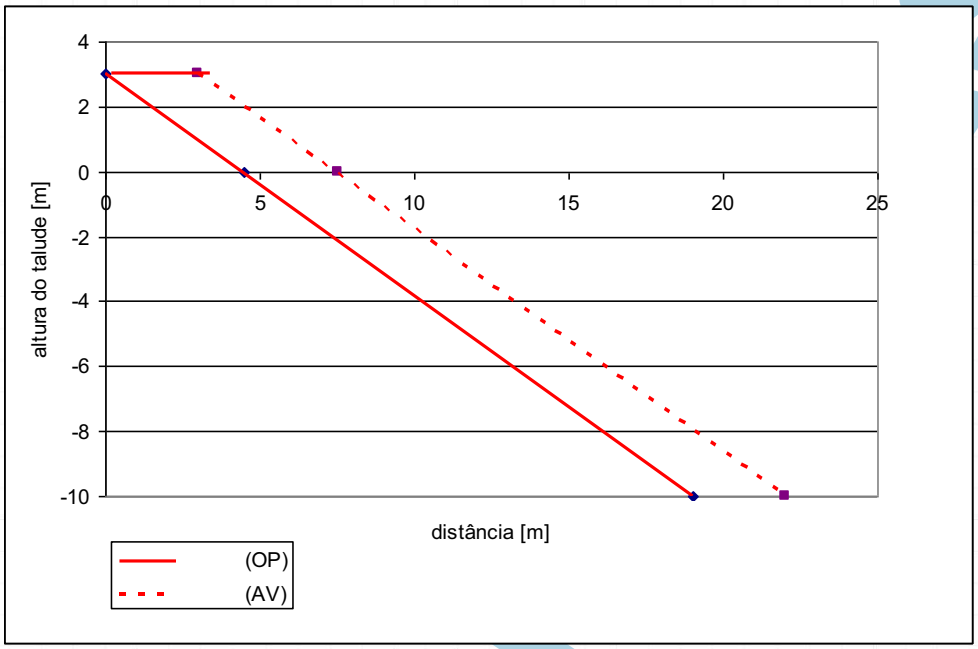
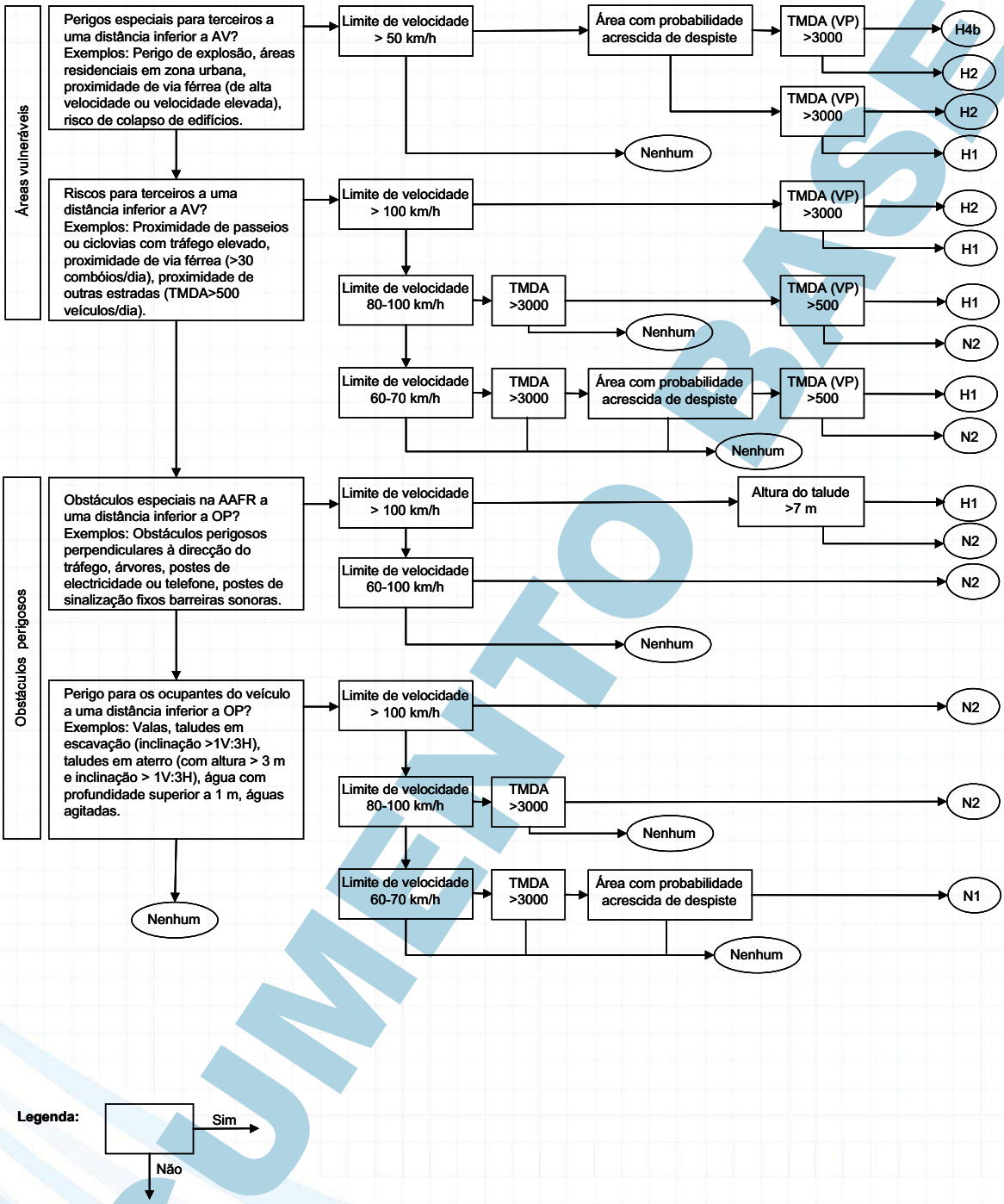


Figura 8 – Distância crítica para estradas com limite de velocidade igual ou superior a 60 km/h e não superior a 70 km/h (adaptado de [26]).

Os fluxogramas para avaliação da necessidade e selecção do nível de retenção dizem respeito a quatro situações distintas:

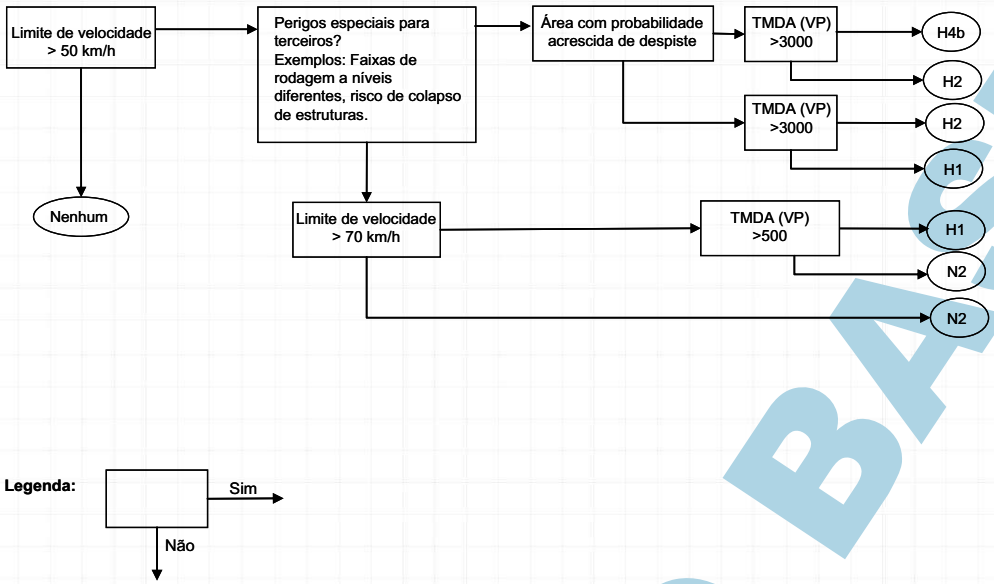
1. Barreiras de segurança na berma direita (ver Figura 9);
2. Barreiras de segurança na berma esquerda (ver Figura 10);
3. Barreiras de segurança na berma direita em obras-de-arte (ver Figura 11);
4. Barreiras de segurança na berma esquerda em obras-de-arte (ver Figura 12).



Nota: No que diz respeito à gravidade do embate do veículo, não se deverá exceder a classe B. A classe de nível de largura útil W deverá ser compatível com o espaço disponível.

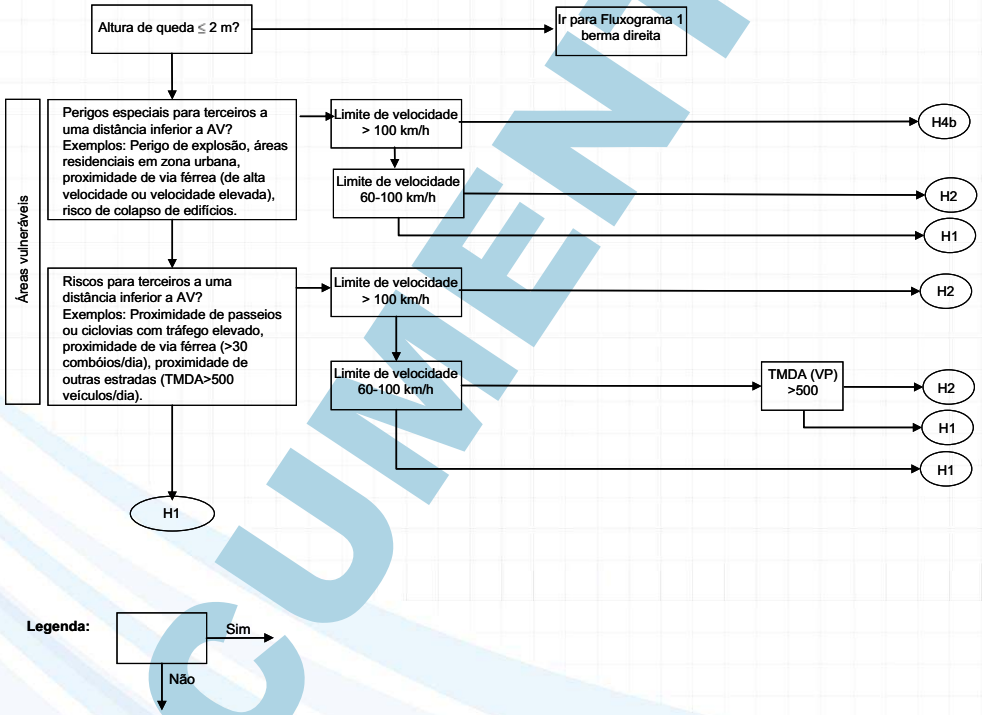
Figura 9 – Fluxograma 1 - Avaliação da necessidade e selecção do nível de retenção de barreiras de segurança na berma direita (adaptado de [26]).

DOCUMENTO BASE



Nota: No que diz respeito à gravidade do embate do veículo, não se deverá exceder a classe B. A classe de nível de largura útil W deverá ser compatível com o espaço disponível.

Figura 10 – Fluxograma 2 - Avaliação da necessidade e selecção do nível de retenção de barreiras de segurança na berma esquerda (adaptado de [26]).



Nota: No que diz respeito à gravidade do embate do veículo, não se deverá exceder a classe B. A classe de nível de largura útil W deverá ser compatível com o espaço disponível.

Figura 11 – Fluxograma 3 - Avaliação da necessidade e selecção do nível de retenção de barreiras de segurança na berma direita em obras-de-arte (adaptado de [26]).

DOCUMENTO BASE

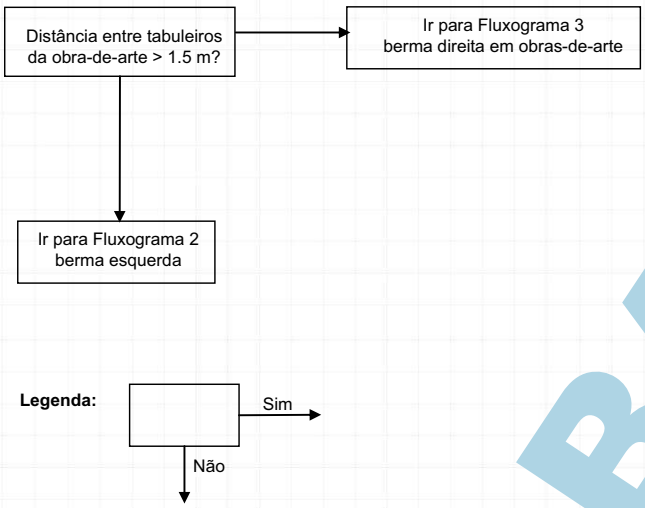


Figura 12 – Fluxograma 4 - Avaliação da necessidade e selecção do nível de retenção de barreiras de segurança na berma esquerda em obras-de-arte (adaptado de [26]).

Após identificação do aspecto a considerar (área vulnerável ou obstáculo perigoso), o processo começa no lado esquerdo dos fluxogramas com o tipo de obstáculo perigoso (como, por exemplo, árvores, postes de electricidade ou barreiras sonoras) ou área vulnerável (por exemplo, perigo de explosão, proximidade de via férrea ou risco de colapso de edifícios). De seguida, o tipo de estrada é definido pelo limite de velocidade e TMDA. Condições específicas que possam conduzir a um maior risco de acidentes são igualmente consideradas, bem como a influência dos veículos pesados.

São exemplos de áreas com probabilidade acrescida de invasão por despiste, a AAFR em trechos com curvas com raios de curvatura inferiores ao mínimo definido no Quadro 10, com duas curvas sucessivas de raios inferiores a uma vez e meia o mínimo definido no mesmo quadro ou com alteração brusca nas características do perfil transversal relativamente aos trechos adjacentes.

DOCUMENTO BASE

Quadro 10 – Raio de curvatura horizontal a considerar para a definição de áreas com probabilidade acrescida de invasão por despiste (adaptado de [39]).

Velocidade base	Terreno plano	Terreno ondulado e montanhoso
50	85	95
60	125	140
70	180	200
80	250	280
90	330	370
100	425	(480)*
110	530	(600)*
120	650	(740)*
130	790	(890)*

*valores teóricos

Para além do nível de retenção, importa definir o nível de gravidade do embate do veículo e o de largura útil das barreiras de segurança: no primeiro caso, não se deverá exceder a classe B ([26], [31], [47], [69] e [74]); no segundo, a classe deverá ser compatível com o espaço disponível conforme definido na Norma Europeia EN 1317 [23].

4.4 Posicionamento lateral do sistema

O posicionamento de qualquer sistema de retenção de veículos na proximidade da faixa de rodagem deve ter em consideração a influência do mesmo sobre as condições de circulação do tráfego e as implicações em matéria de manutenção da infra-estrutura. Grande número das barreiras de segurança está localizado muito perto do limite da faixa de rodagem. No âmbito do projecto europeu RISER [60] foi simulada, entre outras, a influência do posicionamento lateral destas barreiras no comportamento dos condutores.

DOCUMENTO EM FASE

Figura 13 – Simulação das condições de uma estrada rural (adaptado de [60]).

De acordo com este estudo, quando uma via de emergência[6] é colocada entre a barreira de segurança e as vias de tráfego, os condutores tendem a conduzir mais perto da guia. Daqui pode concluir-se que o posicionamento lateral da barreira de segurança pode afectar o posicionamento lateral do tráfego. É por esta razão, conveniente a existência de uma berma pavimentada que faça a separação entre o tráfego e a barreira de segurança; disponibilizando espaço para recuperar o controlo de viaturas nas situações menos graves de incursão na AAFR.

A distância livre de obstáculos atrás de uma barreira de segurança (ou de outro sistema de retenção de veículos que se deforme) é matéria de extraordinária importância para o correcto funcionamento do sistema de retenção. De acordo com o descrito anteriormente, a largura útil e a deflexão dinâmica são determinadas a partir de ensaios de choque. Estas distâncias devem ser consideradas aquando da escolha de uma barreira de segurança, de forma a garantir que há espaço livre suficiente por trás do sistema que lhe permita a necessária deformação para adequado funcionamento. A Figura 14 ilustra a necessidade de haver espaço suficiente para que, durante um embate, a deflexão da barreira de segurança e o basculamento do veículo durante o impacto não impliquem o contacto deste com os obstáculos perigosos colocados atrás da mesma.

[6] Berma pavimentada com largura não inferior a 2.5 metros

DOCUMENTO BASE

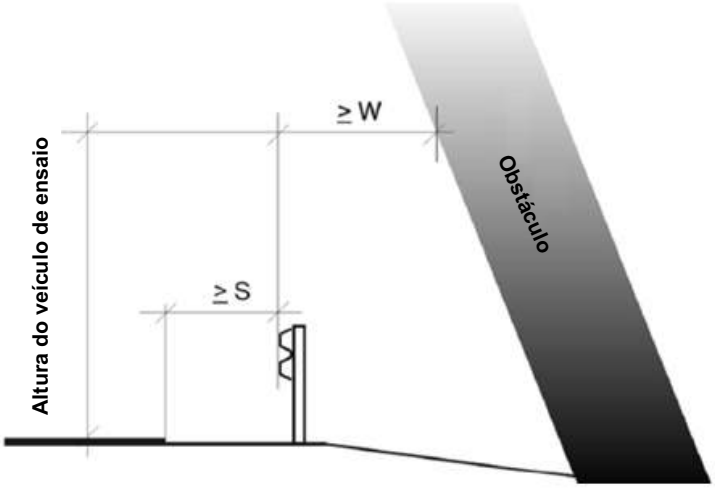


Figura 14 – Distância livre necessária atrás de um sistema de retenção de veículos [31].

A barreira de segurança será escolhida de modo que a largura útil (W) seja menor ou igual à distância entre a face frontal da barreira de segurança e a aresta frontal do obstáculo perigoso.

4.5 Comprimento necessário

4.5.1 Generalidades

Outro aspecto fundamental para qualquer sistema de retenção de veículos, em particular no caso das barreiras de segurança, é o seu comprimento de instalação. O comprimento necessário de um sistema de retenção depende de três factores:

- Características do próprio sistema, especificando o comprimento mínimo para o correcto funcionamento do mesmo. Este corresponde ao comprimento considerado no relatório de ensaio da ficha de homologação, de acordo com a Norma Europeia EN 1317, correspondendo assim ao comprimento mínimo de instalação da barreira de segurança;
- Condições esperadas de embate, função do ângulo e da velocidade de embate esperados.
- Características da AAFR, nomeadamente dimensões do obstáculo, e que favoreçam a possibilidade de circulação do veículo descontrolado por detrás da barreira;

DOCUMENTO CASE

O comprimento necessário deve ser entendido como o comprimento adequado de um sistema de retenção de veículos excluindo terminais ou fixações. Este comprimento corresponde à secção de barreira que deverá ser atingida por um veículo descontrolado, susceptível de invadir a zona perigosa, ao sair da faixa de rodagem. Os terminais, podendo igualmente ser atingidos por um veículo descontrolado, não são considerados como fazendo parte da secção principal da barreira, tanto mais que o nível de retenção que disponibilizam é inferior ao desta.

No Quadro 11 são descritos os comprimentos necessários mínimos para barreiras de segurança metálicas, descontando o comprimento dos terminais, constantes em normas e recomendações nacionais ([4], [6], [8], [15], [16], [18], [19], [20], [26], [31], [34], [37], [43], [47], [48], [49], [51], [68], [73], [74], [83], [85] e [94]), na Norma Europeia EN 1317 [23] e na NCHRP 350 [50].

Quadro 11 – Comprimento necessário mínimo das barreiras de segurança metálicas.

País	**Comprimento mínimo das guardas metálicas**
Portugal[a]	-
Espanha	28 m a 60 m (em função da velocidade de projecto)
Itália	Definido pelo certificado de homologação
Reino Unido	37,5 m a 63 m (em função do nível de retenção e dos dados do fabricante)
Irlanda	45 m (ou 20 m em casos especiais)
França	60 m
Suécia	95 m (para uma velocidade de 110 km/h)
Noruega	45 m a 165 m (em função do limite de velocidade)
Holanda	75 m
Alemanha	70 m a 280 m
Austrália [b]	24 m
Canadá [b]	42,4 m a 104,9 m
África do Sul [b]	Calculado através do "*Run-out Length Method*"
EUA [b]	Calculado através do "*Run-out Length Method*"
Nova Zelândia [b]	Calculado através do "*Run-out Length Method*"
EN 1317	Definido pelo fabricante
NCHRP 350	30 m

[a] De acordo com a Norma de Traçado de 1994 [37],
[b] País que segue a norma NCHRP 350

De destacar que são vários os países a utilizar o "*Run-out Length Method*" desenvolvido no âmbito do *Roadside Design Guide* [4], o qual é analisado de forma detalhada no Anexo I do presente documento.

4.5.2 Metodologia adoptada no cálculo do comprimento necessário

Em termos de cálculo, o comprimento de instalação do sistema também depende das características dos elementos da AAFR que devem ser isolados do tráfego. Na Figura 15 ilustra-se a protecção do tráfego relativamente a um obstáculo perigoso presente na AAFR com uma barreira de segurança. O comprimento "*a*" corresponde à extensão prevista do obstáculo perigoso ao longo da estrada, sendo sempre inferior ao comprimento mínimo de instalação do sistema. O comprimento "*b*" é necessário para proteger um veículo que, circulando na via mais próxima do obstáculo, possa sair descontroladamente da estrada a montante do mesmo. O comprimento "*b*" depende do ângulo e da velocidade de saída esperados. Do mesmo modo, "*c*" representa o comprimento da barreira de segurança para proteger um veículo que, circulando em sentido oposto, atravesse toda a faixa de rodagem e embata no obstáculo perigoso. Assim, o comprimento necessário do sistema é definido pelos comprimentos *a, b* e *c*. Os comprimentos "*d*" representam os terminais do sistema necessários à resistência estrutural do mesmo. Estes terminais têm igualmente por função a protecção dos veículos em relação às extremidades das barreiras de segurança (quando estas não são expressamente concebidas para poderem ser embatidas sem perigo).

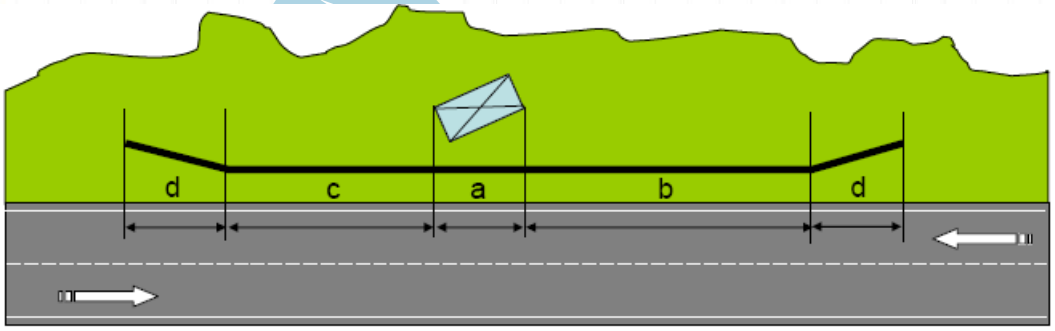


Figura 15 – Comprimento do obstáculo e dimensões do sistema de retenção [62].

DOCUMENTO BASE

O princípio de dimensionamento para *b* e *c* é ilustrado na Figura 16. O ângulo α é determinado a partir de ângulos de saída previstos para o trecho de estrada em análise e não corresponde ao ângulo utilizado nos ensaios de choque da EN 1317. A velocidade a que o veículo atinge o obstáculo depois de sair da faixa de rodagem é outro parâmetro fundamental, uma vez que o efeito de travagem motivado pela deslocação do veículo fora da zona pavimentada pode ser considerável, reduzindo dessa forma o comprimento necessário para *b*.

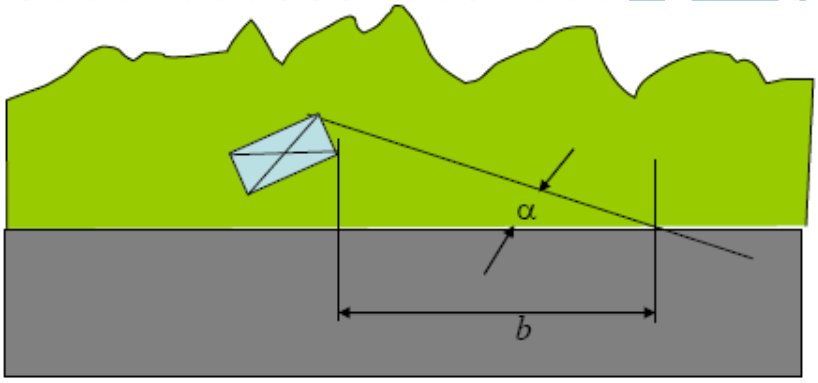


Figura 16 – Comprimento de aproximação para proteger obstáculos perigosos [62].

Estes ângulos de saída e velocidade provável de embate devem ser determinados para as condições locais. Diversos estudos ([62] e [74]) referem o valor de 5º como referência aconselhada para α (ver Figura 17).

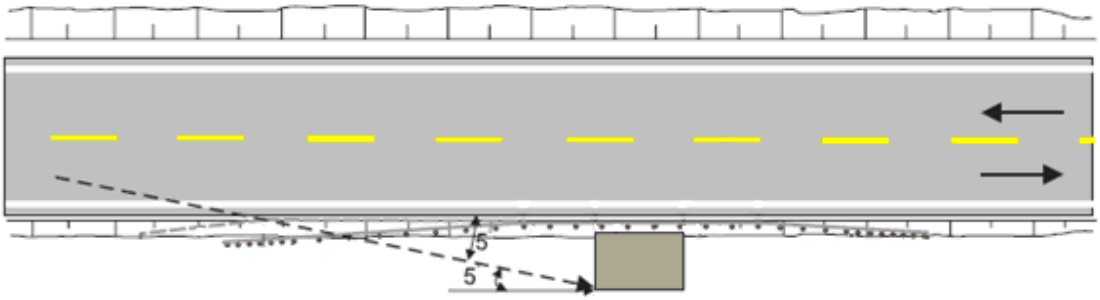


Figura 17 – Ângulo de saída recomendado (adaptado de [74]).

No dimensionamento do comprimento necessário do sistema deve ainda verificar-se se existem outros obstáculos nas proximidades do previamente identificado, podendo essa análise levar ao redimensionamento do comprimento de instalação.

A Figura 18 ilustra o exemplo da existência de quatro obstáculos perigosos na AAFR. Sempre que se considerar um raio de influência em torno de cada obstáculo, é possível identificarem-se os casos em que os vários perigos pontuais podem ser agrupados. Neste caso, os elementos *c* e *d* devem ser tratados como um obstáculo único. Uma análise económica da AAFR permitirá avaliar qual das soluções é a mais benéfica: uma barreira de segurança que se estenda de *a* até *d* ou, em alternativa, a protecção individual dos obstáculos *a* e *b* (sendo que neste caso são necessários dois amortecedores de choque adicionais).

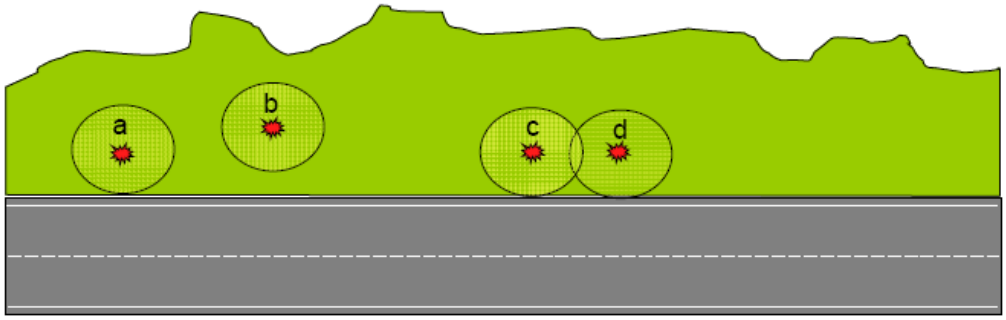


Figura 18 – Análise de vários obstáculos perigosos [62].

Em qualquer caso, o comprimento mínimo entre barreiras interrompidas deverá ser de 50 m ([20] e [32]).

Como já foi referido anteriormente, deve ser considerada a possibilidade de um veículo desgovernado se deslocar por detrás do sistema. Vários estudos alertam para a possibilidade de ocorrência de acidentes em que os veículos saem da estrada antes do início da barreira de segurança e atingem um obstáculo perigoso ou área vulnerável existente por trás da barreira ([4], [62] e [31]). Quando o terreno a montante da barreira é relativamente plano, e o comprimento da barreira é demasiado pequeno, o veículo pode deslocar-se com facilidade por detrás da barreira, atingindo o obstáculo perigoso (ver Figura 19). Esta situação é particularmente relevante em pilares de viadutos ou nas bocas de aquedutos existentes nos separadores centrais das auto-estradas. Na análise de acidentes feita no projecto RISER [61],

verificaram-se diversos casos em que barreiras de segurança com comprimentos de instalação a montante do obstáculo perigoso de 50 a 60 m foram insuficientes para proteger os veículos contra esse tipo de colisão.

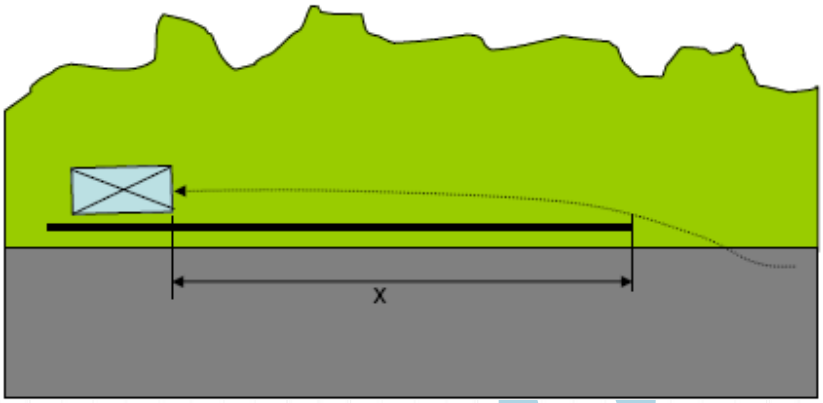


Figura 19 – Trajectória do veículo em movimento por detrás da barreira de segurança [62].

4.5.3 Configuração longitudinal das barreiras

Duas soluções podem ser adoptadas para mitigar o problema anteriormente descrito, (ver Figura 20):

a. Prolongar a barreira a montante do perigo (linha preta tracejada). Ainda assim o veículo poderá deslocar-se por detrás da barreira. Contudo, a distância de travagem disponível permite que o embate, a ocorrer, seja de menor gravidade.
b. Afastar a barreira da estrada, denominada *barreira com afastamento* – indicado na Figura 20 com a linha vermelha tracejada. Daqui resultará um impacto do veículo com o terminal de barreira, situação de menor gravidade quando comparada com o embate no obstáculo perigoso.

DOCUMENTO SE

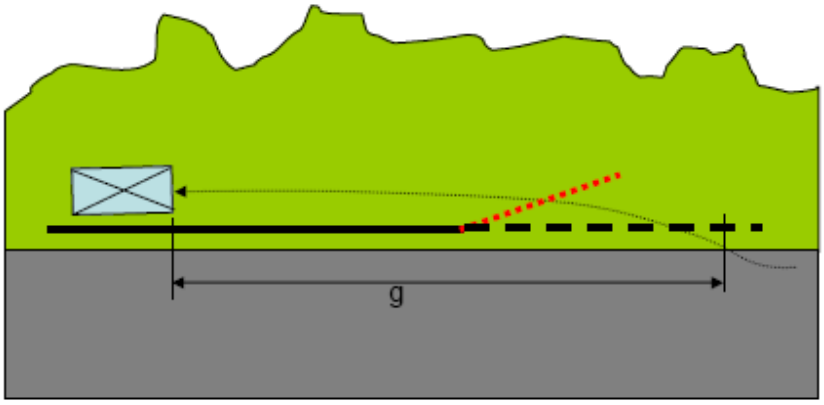


Figura 20 – Soluções de projecto [62].

O cálculo do comprimento de barreira necessário para proteger um veículo deve atender às condições de saída dos veículos em despistes e colisões com obstáculos fora da faixa de rodagem.

a. Para **barreiras sem afastamento**, o comprimento necessário a montante do obstáculo, em taludes de aterro, deverá ser determinado a partir da seguinte equação (adaptado de [62]):

$$Comprimento = \frac{v_{saída}^{2} - v_{embate}^{2}}{2 \cdot g \cdot (\mu \cdot \cos(\varphi) - \sin(\varphi))} \cdot \cos(\alpha) - a \cdot \cot(\alpha) \qquad \textbf{(4-1)}$$

Em que:

$v_{saída}$ = velocidade de saída da faixa de rodagem [m/s]

v_{embate} = velocidade de embate no obstáculo perigoso [m/s]

α = ângulo de saída da faixa de rodagem [°]

μ = Coeficiente de atrito mobilizável na AAFR

g = aceleração da gravidade [9,81 m/s ²]

φ = inclinação do talude [°]

a = distância da barreira ao limite da faixa de rodagem [m]

Na Figura 21, apresentam-se os valores do comprimento mínimo em função da velocidade de saída da faixa de rodagem para as situações de imobilização do veículo antes de embater no obstáculo (desejável) e de embate à velocidade de 50 km/h (mínimo).

DOCUMENTO BASE

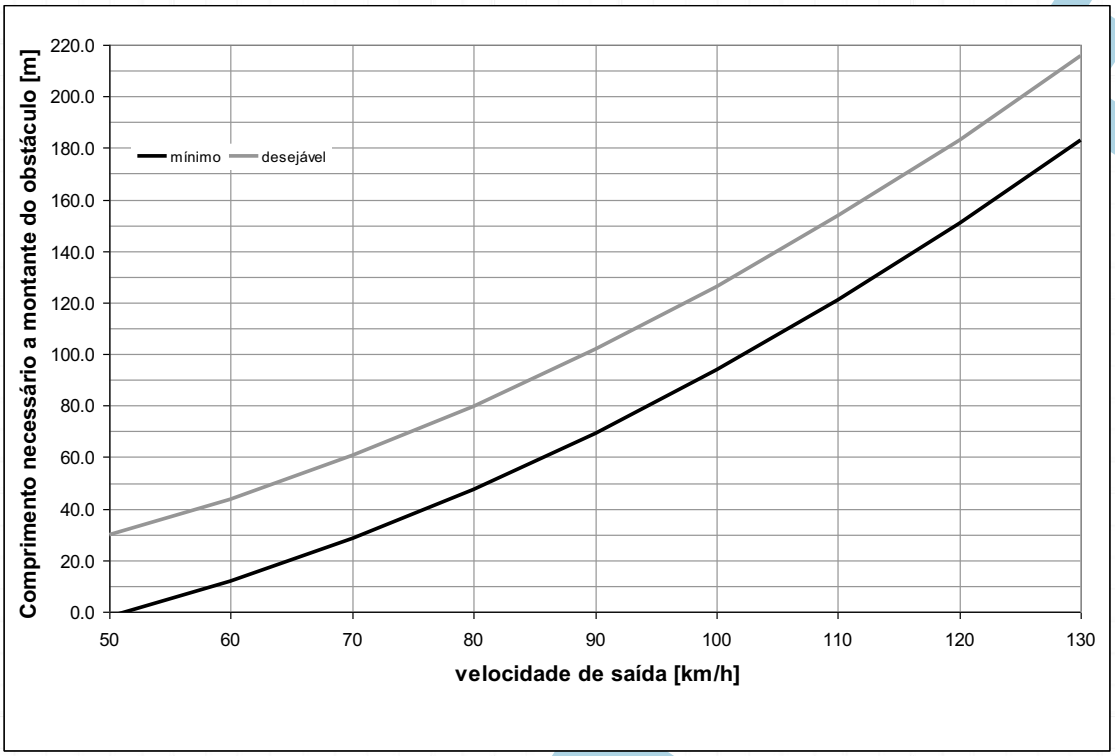


Figura 21 – Comprimento necessário a montante do obstáculo perigoso – barreira não afastada (adaptado de [62])

b. Para o caso de **barreiras com afastamento**, o comprimento necessário a montante do obstáculo, em taludes de aterro, deverá ser determinado com a seguinte equação:

$$Comprimento = dist \cdot \cos(\alpha) - a \cdot \cot(\alpha) - \frac{\left(dist \cdot \cos(\alpha) - a \cdot \cot(\alpha) - b\right) \cdot \tan(\beta)}{\tan(\alpha) \cdot \tan(\beta)} \qquad \textbf{(4-2)}$$

Em que:

$$dist = \frac{v_{saída}^{2} - v_{embate}^{2}}{2 \cdot g \cdot \left(\mu \cdot \cos(\varphi) - \sin(\varphi)\right)} = \text{Distância de travagem [m]} \qquad \textbf{(4-3)}$$

$v_{saída}$ = velocidade de saída da faixa de rodagem [m/s]

v_{embate} = velocidade de embate no obstáculo perigoso [m/s]

α = ângulo de saída da faixa de rodagem [º]

μ = Coeficiente de atrito mobilizável na AAFR

g = aceleração da gravidade [9,81 m/s²]

φ = inclinação do talude [°]

β = ângulo de afastamento da barreira [°]

a = distância da guarda ao limite da faixa de rodagem [m]

b = comprimento imediatamente a montante do obstáculo em que não há afastamento da barreira [m]

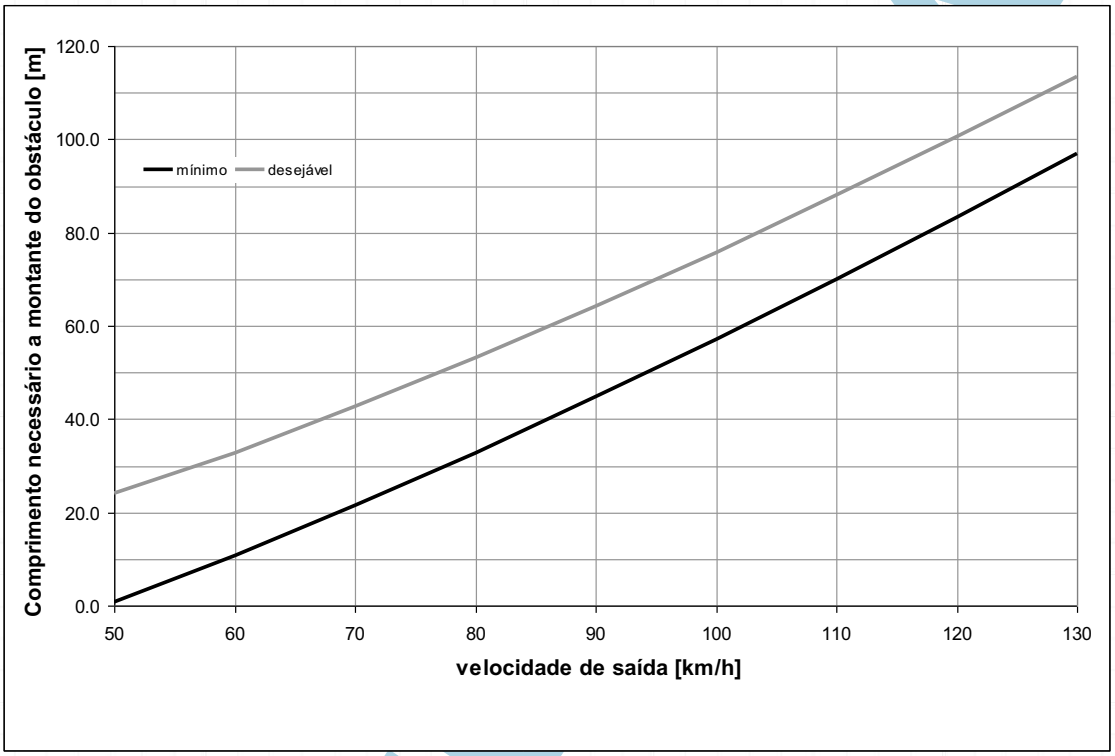


Figura 22 – Comprimento necessário a montante do obstáculo perigoso – barreira com afastamento.

Na Figura 22, apresentam-se os valores do comprimento mínimo em função da velocidade de saída da faixa de rodagem, mantendo-se os pressupostos anteriores, mas com a adopção de barreiras com afastamento com uma taxa de afastamento de 1:10 (correspondente a um ângulo de afastamento de 5.7°) e com um comprimento de 8 m imediatamente a montante do obstáculo em que não há afastamento (ver Figura 23).

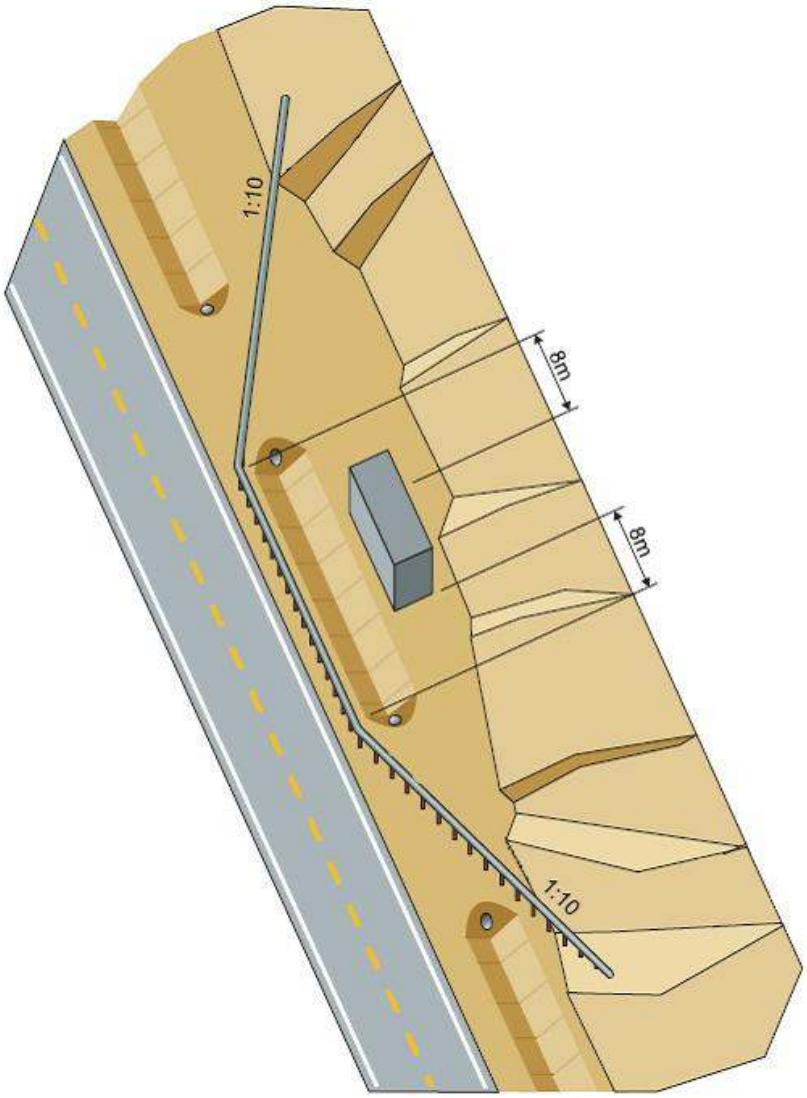


Figura 23 – barreira com afastamento (adaptado de [74]).

É possível verificar na Figura 24 que a diferença entre comprimentos necessários, quando comparadas as duas soluções (barreira normal e barreira com afastamento) é cada vez maior à medida que aumenta a velocidade de saída do veículo descontrolado. Daqui, pode concluir-se que esta solução é tanto mais interessante quanto mais elevada for a velocidade dos veículos em circulação.

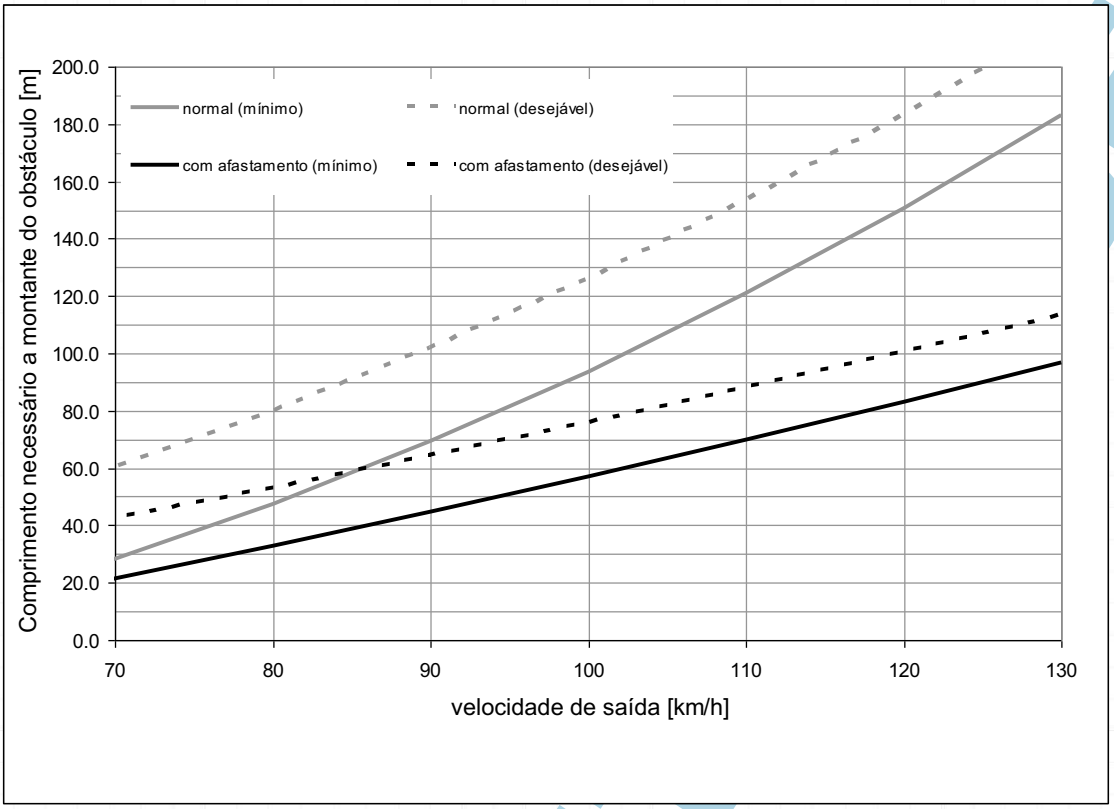


Figura 24 – Comprimento necessário a montante do obstáculo perigoso – barreira com afastamento vs barreira normal.

4.5.4 Taxa de afastamento

A Norma Europeia EN 1317 define as regras a que os sistemas de retenção devem obedecer a fim de serem aprovados para instalação na rede viária. Isto não significa, porém, que a instalação das barreiras de tráfego tenha necessariamente de ser idêntica à das condições dos ensaios de choque. Assim as referidas barreiras podem, de acordo com a normativa internacional (ver Quadro 12), ser instaladas com taxas de afastamento – que podem ir, por exemplo, até 1:10 [74] ou 1:15 [4] – em oposição às barreiras paralelas utilizadas durante a avaliação dos ensaios de choque.

Quadro 12 – Taxas de afastamento das barreiras de segurança recomendadas.

País	Taxa de afastamento
Portugal [a]	-
Espanha	1:20
Itália	-
Reino Unido	Na berma direita apenas nos terminais (e de acordo com as indicações do fabricante). Na berma esquerda 1:16 ou 1:20 para barreiras flexíveis ou rígidas, respectivamente.
Irlanda	Até 1:20
França	1:20
Suécia	1:20 para 110 km/h, 1:15 para 90 km/h e 1:10 para velocidades inferiores.
Noruega	1:10
Alemanha	1:20 (1:12 em casos excepcionais)
Austrália	1:10 a 1:30 (função da velocidade de projecto, localização e tipo de barreira)
Canadá	1:16.2 a 1:19.8 (função da velocidade de projecto e do TMDA)
África do Sul	1:7 a 1:50 (função da velocidade de projecto, localização e tipo de barreira)
EUA	1:7 a 1:15 (função da velocidade de projecto e do tipo de barreira)
Nova Zelândia	1:10 a 1:30 (função da velocidade de projecto ou velocidade de operação, localização)

[a] De acordo com a Norma de Traçado de 1994 [37],

O uso de uma barreira de segurança com afastamento permite reduzir o comprimento necessário da mesma, resultando numa diminuição dos custos de construção e manutenção das barreiras, e na redução da frequência de embates. Sempre que a barreira de segurança permita ângulos de embate mais elevados – com ligeiros aumentos em termos de gravidade dos acidentes – os custos totais dos acidentes serão diminuídos.

Figura 25 – Ensaio de uma barreira instalada com uma taxa de afastamento de 1:7 [56].

Contudo, a utilização de barreiras com afastamento aumenta efectivamente a gravidade do embate de todas as colisões na AAFR, pelo aumento do ângulo de embate entre o veículo descontrolado e a barreira de tráfego (ver Figura 26).

A desvantagem de aumentar a taxa de afastamento relaciona-se assim com o facto de a gravidade do acidente estar directamente relacionada com o ângulo de embate. Analisando o Quadro 13 verifica-se um significativo aumento da gravidade do embate quando comparada a situação de uma barreira paralela à corrente de tráfego com a de uma barreira com uma taxa de afastamento de 1:20 (taxa de afastamento utilizada em vários dos países analisados – ver Quadro 12). A partir deste ponto, o aumento moderado da taxa de afastamento não provoca um aumento tão acentuado da gravidade do embate (ver Figura 26).

Quadro 13 – Gravidade do embate (adaptado de [56]).

Taxa de afastamento	**Ângulo de afastamento**	**TB 11 (EN 1317)**			**TB 22 (EN 1317)**		
		Massa = 900 kg Velocidade = 100 km/h			**Massa = 1500 kg Velocidade = 80 km/h**		
		Ângulo de embate (º)	Gravidade do embate (kJ)	% de aumento da gravidade	Ângulo de embate (º)	Gravidade do embate (kJ)	% de aumento da gravidade
Nula	0	20	40.6	–	15	21.5	–
1:20	2.9	22.9	52.4	29	17.9	30.2	40
1:19	3.0	23.0	53.1	31	18.0	30.7	43
1:18	3.2	23.2	53.8	32	18.2	31.2	45
1:17	3.4	23.4	54.6	34	18.4	31.9	48
1:16	3.6	23.6	55.5	37	18.6	32.6	51
1:15	3.8	23.8	56.6	39	18.8	33.4	55
1:14	4.1	24.1	57.8	42	19.1	34.3	60
1:13	4.4	24.4	59.2	46	19.4	35.4	65
1:12	4.8	24.8	60.9	50	19.8	36.7	71
1:11	5.2	25.2	62.9	55	20.2	38.3	78
1:10	5.7	25.7	65.3	61	20.7	40.1	87
1:9	6.3	26.3	68.4	68	21.3	42.5	98
1:8	7.1	27.1	72.2	78	22.1	45.5	112
1:7	8.1	28.1	77.2	90	23.1	49.5	130
1:6	9.5	29.5	84.0	107	24.5	55.0	156
1:5	11.3	31.3	93.8	131	26.3	63.1	193

Como ficou demonstrado no ponto anterior (ver Figura 24), o aumento da taxa de afastamento (expressa em deslocamento lateral da barreira para o comprimento de

instalação) é acompanhado pela redução do comprimento necessário da barreira de segurança. Essa redução no comprimento da barreira deverá conduzir a uma redução proporcional do número de embates na mesma [56]. Por outro lado, o uso de uma barreira com afastamento aumenta o ângulo de embate do veículo contra a barreira, sendo por isso recomendadas taxas de afastamento reduzidas ([4], [6], [8], [16], [18], [19], [26], [31], [43], [48], [51], [56], [57], [62], [74], [83] e [94]).

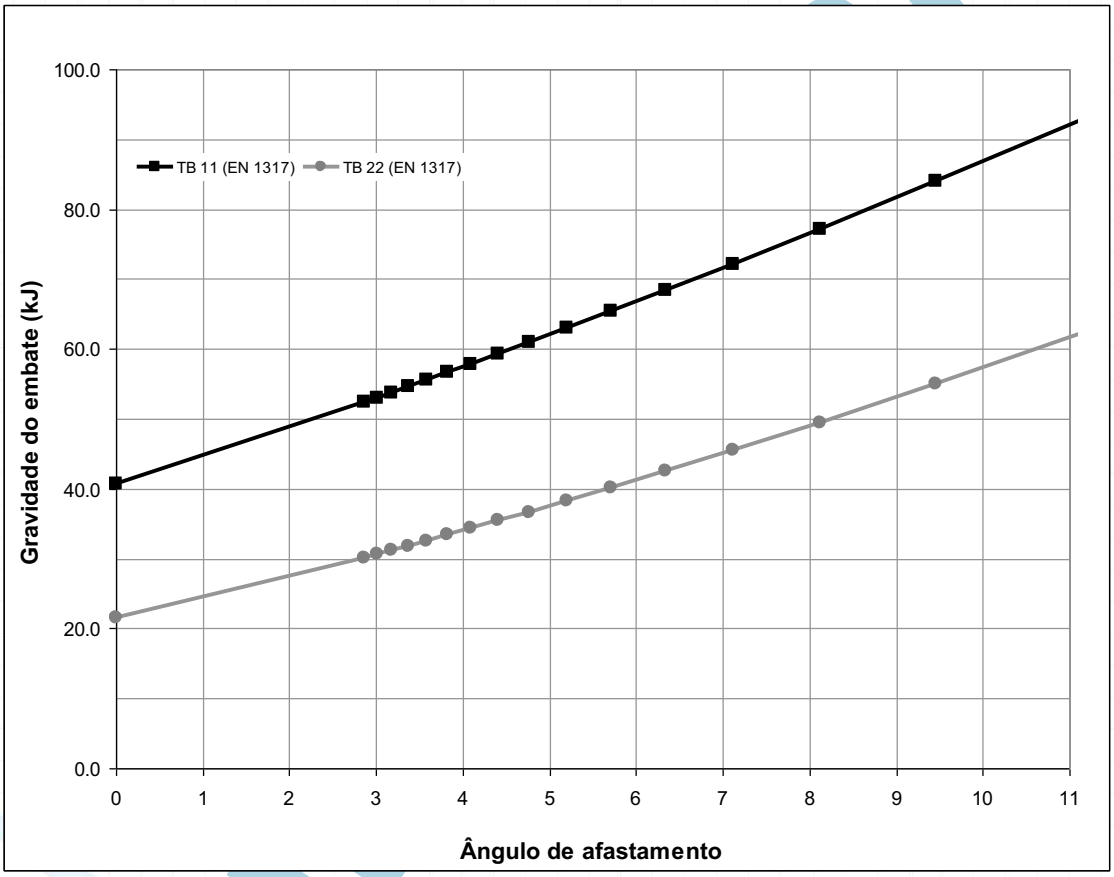


Figura 26 – Relação entre a gravidade do embate e o ângulo de afastamento

Um aspecto relevante a atender nas decisões acerca da colocação de barreiras com afastamento variável prende-se com a possibilidade de ocorrerem erros de percepção, de distância ou de raios de curvatura, fenómenos explicáveis com recurso à ergonomia. Com efeito, a aplicação da ciência dos factores humanos à segurança rodoviária indica que há combinações de características da estrada que influenciam o comportamento dos condutores e a sua adequação às situações prevalecentes em cada momento e local.

Neste contexto é da maior importância o designado "regra do campo de visão" [53] segundo o qual uma estrada deve oferecer um campo de visão seguro.

Segundo a referida regra, a condução de veículos motorizados altera o campo de visão de forma muito mais significativa do que qualquer outro movimento. Periferias monótonas ou de alto contraste, má orientação ou ilusões de óptica, prejudicam a qualidade da condução. Na realidade, o campo de visão pode estabilizar ou desestabilizar o condutor, podendo fatigá-lo ou estimulá-lo. Uma estrada tolerante e auto-explicativa evita, por exemplo, a monotonia, linhas ópticas orientadoras, que não são paralelas ao limite da faixa de rodagem, ou linhas ópticas orientadoras com interrupções.

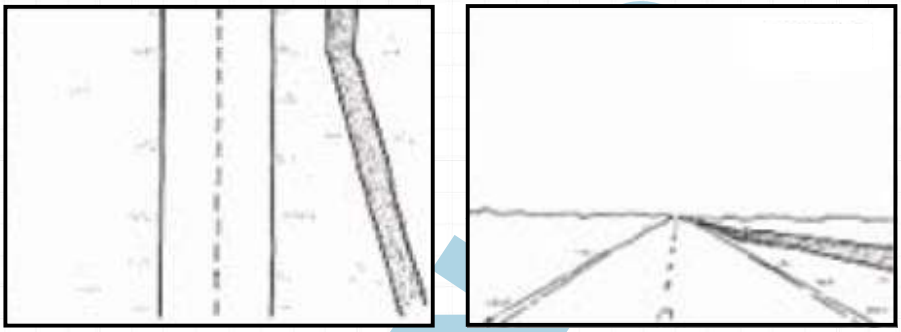


Figura 27 – Ilusão de óptica causada pela orientação não paralela da barreira de segurança (adaptado de [53]).

Desta forma, linhas de orientação não paralelas fornecidas ao condutor, por exemplo, por barreiras de segurança *afastadas*, podem levar a uma sobre-estimação das distâncias, ou, no caso de curvas induzir erros de percepção do raio de curvatura, à semelhança do que se verifica com os alinhamentos de árvores não paralelas ao eixo da estrada.

Como conclusão poderá afirmar-se que o nível de segurança geral do sistema será aumentado pela utilização de barreiras não paralelas, desde que nem a capacidade de barreira, nem o campo de visão do condutor sejam comprometidos pelas suas taxas de afastamento.

DOCUMENTO BASE

Assim a taxa de afastamento deve estar de acordo com o ensaio da barreira realizado pelo fabricante, não devendo exceder, em qualquer dos casos, 1:20 em estradas com limites de velocidade superiores a 80 km/h e 1:10 nos restantes casos.

DOCUMENTO BASE

5 ASPECTOS PARTICULARES DE DIMENSIONAMENTO

5.1 Terminais

Os diversos tipos de terminais de barreiras de segurança têm como elemento comum a necessidade de impedir o embate de veículos descontrolados com o topo das barreiras. Esta necessidade é especialmente importante nas extremidades que podem estar sujeitas a impactos frontais (as extremidades de montante no caso de estradas com dupla faixa de rodagem e um separador materializado, ou ambas nos outros casos).

Existem actualmente duas formas de proteger os veículos descontrolados dos topos das barreiras de segurança. A primeira consiste na utilização de um trecho de barreira afastada, eliminando assim o risco de impacto com o final da barreira. Para tal, é necessário que o final da secção afastada não represente por si só um novo obstáculo perigoso para o veículo. Uma abordagem possível deste problema consiste na deslocação do final da secção afastada para fora da zona livre.

Uma segunda solução consiste na instalação de um terminal capaz de absorver parte da energia cinética do veículo junto ao final da barreira. Esta é uma solução eficaz quando o topo da barreira de segurança tem de ser colocado próximo do tráfego. Os terminais têm níveis de retenção e de deformabilidade semelhantes aos das barreiras de segurança, sendo estes os parâmetros a utilizar na selecção do terminal mais adequado para o trecho de estrada em análise.

Preferencialmente deve ser adoptada a primeira solução.

Em Portugal, os terminais normalmente utilizados consistem na amarração da viga de segurança por encastramento progressivo no solo (enterramento), de modo a que a extremidade de montante comece o mais afastada possível do limite da plataforma. São possíveis, neste caso, dois tipos de amarração: extremidade de montante enterrada a cota constante, quando a guarda começa na continuidade de uma zona em escavação – situação

DOCUMENTO BASE

preferencial; e extremidade de montante enterrada a cota variável, com afastamento progressivo da extremidade da faixa de rodagem, em situações de aterro.

Nestes casos, e sempre que seja possível, deverá amarrar-se a extremidade de montante em zona de escavação, mesmo que para tal seja necessário prolongar até 50 m a extensão da barreira em consideração. Deve utilizar-se a amarração a cota constante, por ser mais segura do que a alternativa a cota variável, a qual, dado o efeito de rampa que promove, pode provocar o capotamento de um veículo descontrolado.

5.1.1 Critérios utilizados na Norma Europeia EN 1317 para avaliação de desempenho de terminais

De acordo com a Norma Europeia EN 1317-4 [36], o desempenho dos terminais é classificado segundo os seguintes critérios:

- Classe de desempenho,
- Classe da caixa de saída,
- Classes de deslocação lateral permanente,
- Classes de gravidade do embate do veículo.

Os terminais deverão ser ensaiados em conformidade com o Quadro 14 e a Figura 28.

DOCUMENTO BASE

Quadro 14 – Critérios do ensaio de embate do veículo e classes de desempenho [36].

Classe de desempenho	Localização		Ensaios				
			Aproximação	Referência de aproximação	Massa do veículo [kg]	Velocidade [km/h]	Código ensaio [1)]
P1	A		Frontal descentrado de ¼ relativamente à margem	2	900	80	TT 2.1.80
P2	A	U	Frontal descentrado de ¼ relativamente à margem	2	900	80	TT 2.1.80
			Lateral, 15º 2/3 L	4	1 300	80	TT 4.2.80
		D	Lateral, 165º 1/2 L	5	900	80	TT 5.1.80
P3	A	U	Frontal descentrado de ¼ relativamente à margem	2	900	100	TT 2.1.100
			Frontal centrado	1	1 300	100	TT 1.2.100
			Lateral, 15º 2/3 L	4	1 300	100	TT 4.2.100
		D	Lateral, 165º 1/2 L	5	900	100	TT 5.1.100
P4	A	U	Frontal descentrado de ¼ relativamente à margem	2	900	100	TT 2.1.100
			Frontal centrado	1	1 500	110	TT 1.3.110
			Lateral, 15º 2/3 L	4	1 500	110	TT 4.3.110
		D	Lateral, 165º 1/2 L	5	900	100	TT 5.1.100

[1)] A notação dos códigos do ensaio é a seguinte:

TT	1	2	100
Ensaio de Terminal	Aproximação	Massa do veículo ensaiado	Velocidade de embate

NOTA 1: Para evitar ambiguidades, a numeração do percurso de aproximação no Quadro 14 e na Figura 28 é a mesma que na Norma Europeia EN 1317-3. A aproximação 3 está presente na Norma Europeia EN 1317-3 como ensaio 3 para amortecedores de choque, mas não é requerida para terminais.
NOTA 2: O ensaio com aproximação 5 não é efectuado para um terminal alargado quando, no ponto de embate relevante, o ângulo (α) do percurso do veículo em relação ao sentido do trânsito é menor que 5º.

De referir que, no quadro anterior a letra U corresponde a um terminal na posição a montante, a letra D a um terminal na posição a jusante e a letra A a um terminal na posição a montante e a jusante. L representa o comprimento do terminal ou transição.

A instalação ensaiada com sucesso numa determinada classe de desempenho será normalmente considerada como reunindo a condição das classes inferiores.

DOCUMENTO

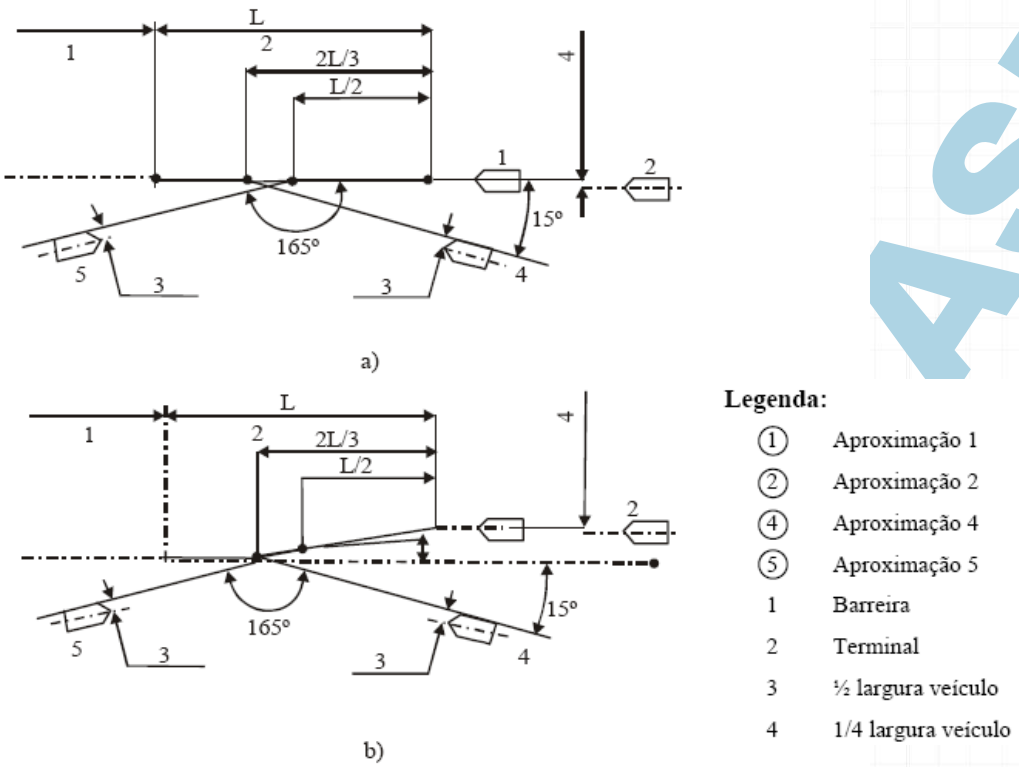
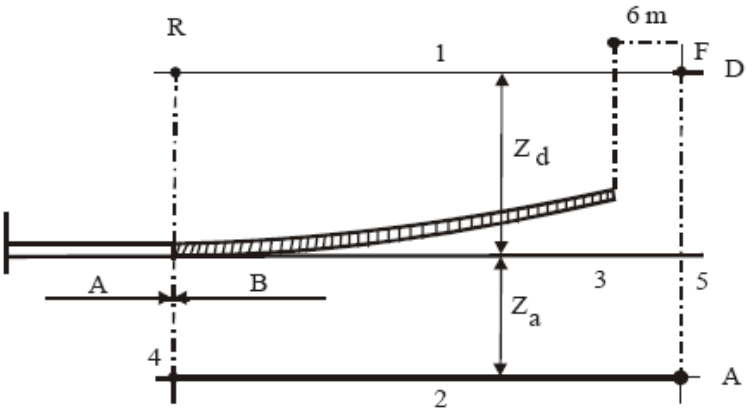


Figura 28 – Trajectórias de aproximação de veículo com duas formas alternativas de terminal (a e b) (adaptado de [36]).

A caixa de saída (Figura 29) é definida da seguinte forma:

- A linha de ricochete F, perpendicular à superfície da barreira virada para o trânsito, 6 m à frente da extremidade do terminal;
- As duas linhas laterais A e D paralelas à superfície da barreira virada para o trânsito, à distância Za e Zd. A linha R perpendicular à superfície da barreira virada para o trânsito na extremidade do terminal define o fim das linhas A e D.

DOCUMENTO BASE



Legenda:

1	Lado de saída	5	Linha de ricochete
2	Lado da aproximação	A	Barreira
3	Superfície da barreira virada para o trânsito	B	Terminal
4	Extremidade do terminal		

Figura 29 – Caixa de saída [36].

As classes de dimensões da caixa de saída (Z) são ordenadas de acordo com as distâncias Za e Zd representadas na Figura 29 e indicadas no Quadro 15.

Quadro 15 – Dimensões da caixa de saída Z_a e Z_d (adaptado de [36]).

Classes de Z	Lado de aproximação Z_a [m]	Lado de partida Z_d [m]
Z_1	4	4
Z_2	6	6
Z_3	4	Sem limite
Z_4	6	Sem limite

O deslocamento lateral permanente do terminal será medido perpendicularmente à superfície da barreira virada para o trânsito e registado no relatório de ensaio.

Para obter uma das classes de Z, o terminal, em todos os ensaios exigidos pelas suas classes de desempenho, deve permanecer dentro das distâncias D_a e D_d (Figura 30) relativamente à superfície da barreira virada para o trânsito, como indicado no Quadro 16.

Quadro 16 – Zonas de deslocação lateral permanente para terminais (adaptado de [36]).

Código da classe		Deslocação [m]	
x	1	D_a	0.5
	2		1.5
	3		3.0
y	1	D_d	1.0
	2		2.0
	3		3.5
	4		>3.5

As distâncias D_a e D_d são indicadas pelas linhas A_a e A_d na Figura 30.

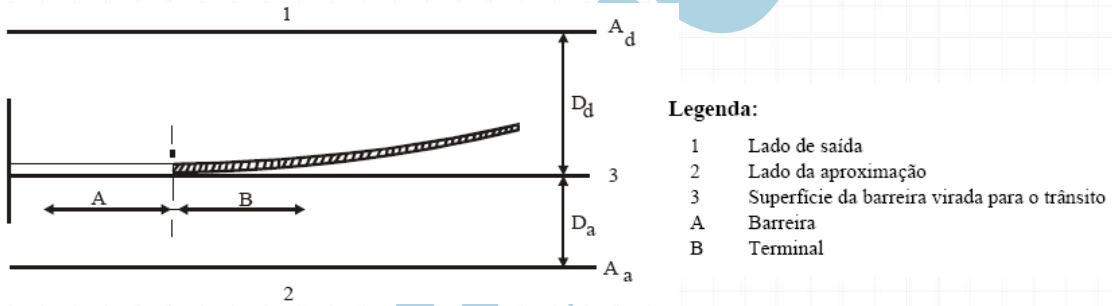


Figura 30 – Zonas de deslocamento lateral permanente do terminal (adaptado de [36]).

A gravidade do embate no terminal do ocupante do veículo deve ser analisada pelos índices ASI, THIV e PHD descritos em 3.1.2. Os níveis de gravidade devem ser determinados em conformidade com o Quadro 5 como função do valor dos índices ASI, THIV e PHD.

DOCUMENTO BASE

Quadro 17 – Classes de gravidade do embate de acordo com a EN 1317 (adaptado de [36]).

Nível de gravidade do embate	Valores dos índices		
A	ASI ≤ 1,0	THIV < 44 km/h no ensaio 1 e 2	PHD ≤ 20 g
B	ASI ≤ 1,4	THIV < 33 km/h no ensaio 4 e 5	

NOTA 1: A Classe de gravidade de embate A permite um nível de segurança mais elevado para os ocupantes de um veículo desgovernado do que para a classe B e é preferido quando outras considerações são as mesmas.

NOTA 2: O valor limite para o THIV é mais elevado nos ensaios 1 e 2 porque a experiência demonstrou que valores mais altos podem ser tolerados pelos ocupantes em colisões frontais (e também devido a melhor segurança passiva nesta direcção). Esta diferença na exactidão humana entre colisões frontais e laterais já é considerada no índice ASI, que por essa razão, não precisa de ser alterado.

5.1.2 Método para selecção de terminais para estradas da RRN

Os valores mínimos para as classes de desempenho dos terminais, assim como os critérios para a sua selecção, em diferentes países, de acordo com a normativa europeia analisada ([20], [26], [31], [37], [48], [49], [51], [68], [73], [74] e [94]), são resumidos no Quadro 18.

Quadro 18 – Classes de desempenho para terminais de acordo com a Norma Europeia EN 1317-4.

País	Mínimo	Critérios de selecção			
		Limite de velocidade	Orientação face ao tráfego	Nível de retenção da barreira adjacente	Não existe/Não especificado
Alemanha	P2				•
Espanha	-				•
França	-				•
Irlanda	P1 ou P4		•		
Itália	P1	•			
Noruega	P2			•	
Portugal[a]	-				•
Reino Unido	P1 ou P4	•	•		
Suécia	P2	•			

[a] De acordo com a Norma de Traçado de 1994 [37],

Para estradas da RRN, o critério de decisão preconizado para as classes de desempenho dos terminais baseia-se no limite de velocidade, tal como se encontra descrito no Quadro 19.

Quadro 19 – Classes de desempenho para terminais (adaptado de [92])

Limite de velocidade no local	Classe de desempenho
v ≤ 70 km/h	P2
70 < v ≤ 90 km/h	P3
v >90 km/h	P4

A classe da caixa de saída e a classe de deslocação lateral permanente deverão ser determinadas de acordo com a situação local, utilizando os critérios atrás definidos.

No que diz respeito à gravidade do embate do veículo, não se deverá exceder a classe B ([26], [31], [47], [69] e [74]).

5.1.3 Requisitos específicos de colocação de terminais para estradas da RRN

As barreiras de segurança devem estar sempre protegidas com um terminal (ver Figura 31).

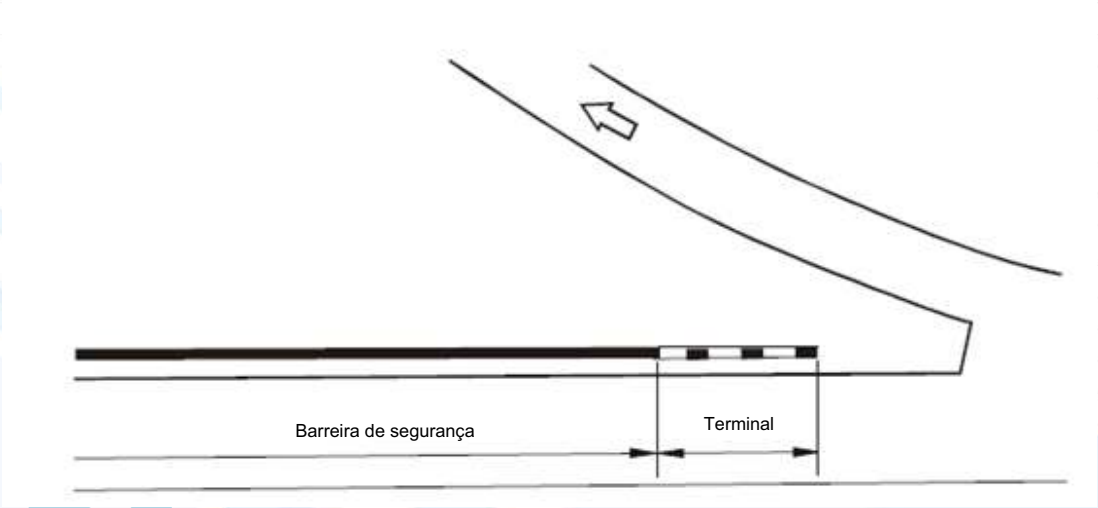


Figura 31 – Divergência com uma barreira de segurança e terminal (adaptado de [26]).

Em divergências, se as barreiras de segurança são necessárias em ambos os lados da faixa de rodagem, a distância entre os terminais deve ser de, pelo menos, 3 m (ver Figura 32).

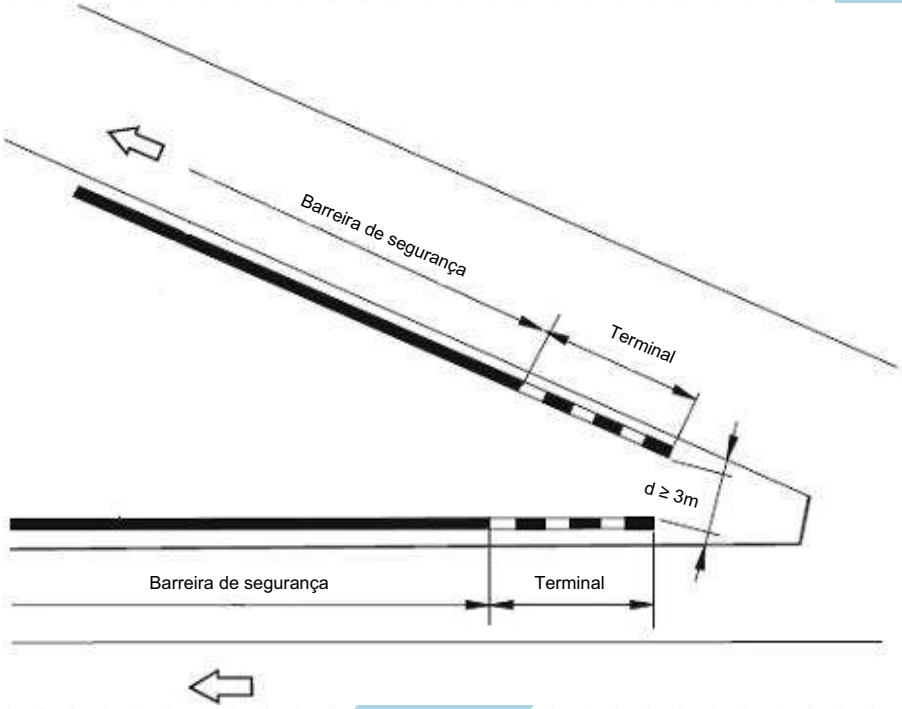


Figura 32 – Divergência com barreiras de segurança e terminais (adaptado de [26]).

5.2 Transições

Em diversas situações importa assegurar a continuidade entre barreiras de segurança com características diferenciadas (em termos de nível de retenção, configuração estrutural, etc.). A transição entre sistemas de barreiras de segurança diferentes deve ser ensaiada de acordo com a EN 1317-4 [36] para assegurar o bom desempenho das barreiras em caso de colisão na zona de transição.

DOCUMENTO SE

5.2.1 Critérios utilizados na Norma Europeia EN 1317 para avaliação de desempenho de transições

De acordo com a Norma Europeia EN 1317-4 [36], o desempenho das transições é classificado segundo os seguintes critérios:

- Classe de retenção,
- Classe de largura útil
- Classes de gravidade do embate do veículo.

As classes de retenção, de largura útil e de gravidade do embate do veículo encontram-se descritas em 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3.

De acordo com a Norma Europeia EN 1317-4 [36], a classe de retenção de uma transição não poderá ser inferior à classe de retenção inferior, nem superior à classe de retenção superior, das duas barreiras ligadas por essa transição, e a sua largura útil não poderá ser maior do que a maior largura útil das duas barreiras.

Em Espanha, o critério é o de garantir para a transição um nível de retenção equivalente ao mais baixo dos dois que vão ser ligados [20]. Na Irlanda é aplicado o critério definido na Norma Europeia EN 1317-4 [36], de acordo com o descrito em *5.2.1* [51]. No caso da Alemanha, os níveis de retenção exigidos [26] correspondem, em algumas situações, a níveis de retenção intermédios entre os das barreiras ligadas.

5.2.2 Método para selecção de transições para estradas da RRN

Para as estradas da RRN preconizam-se os níveis de retenção descritos no Quadro 20.

Quadro 20 – Níveis de retenção das transições entre duas barreiras (adaptado de [26]).

	N2	**H1**	**H2**	**H4b**
N2	N2	N2	H1	H2
H1	N2	H1	H1	H2
H2	H1	H1	H2	H2
H4b	H2	H2	H2	H4b

DOCUMENTO BASE

A escolha da classe de largura útil máxima de uma transição depende da situação local e está sujeita às regras estabelecidas no capítulo 3.1. Por outro lado, a classe de gravidade de uma transição não deve ser superior à mais elevada classe das barreiras de segurança a serem ligadas.

A selecção dos componentes de uma transição entre barreiras de segurança deve ser feita em conjunto com os fabricantes dos equipamentos de modo a garantir a compatibilidade das estruturas seleccionadas.

5.3 Amortecedores de choque

O projecto de estradas pode requerer a instalação de amortecedores de choque em certos locais, por motivos de segurança. Estes são projectados para proteger os veículos de obstáculos pontuais presentes na AAFR.

5.3.1 Critérios utilizados na Norma Europeia EN 1317 para avaliação de desempenho de amortecedores de choque

De acordo com a Norma Europeia EN 1317-3 [35], o desempenho dos amortecedores de choque é classificado segundo os seguintes critérios:

- Classes de desempenho e de velocidade,
- Classe de zona de deslocamento lateral permanente para amortecedores de choque,
- Classe de dimensões da zona de redireccionamento,
- Classe de gravidade do embate do veículo.

A classe de desempenho de um amortecedor de choque é função dos seguintes parâmetros de desempenho:

- Gravidade de embate do veículo;
- Trajectória do veículo;
- Projecção e distribuição de fragmentos do veículo e do amortecedor de choque ensaiado;

DOCUMENTO BASE

– Nível de contenção;

– Deflexão do amortecedor de choque.

Os critérios para os ensaios de choque de veículos contra amortecedores de choque devem ser estabelecidos de acordo com o Quadro 21.

Quadro 21 – Critérios de ensaios de choque de veículos contra amortecedores de choque (adaptado de [35]).

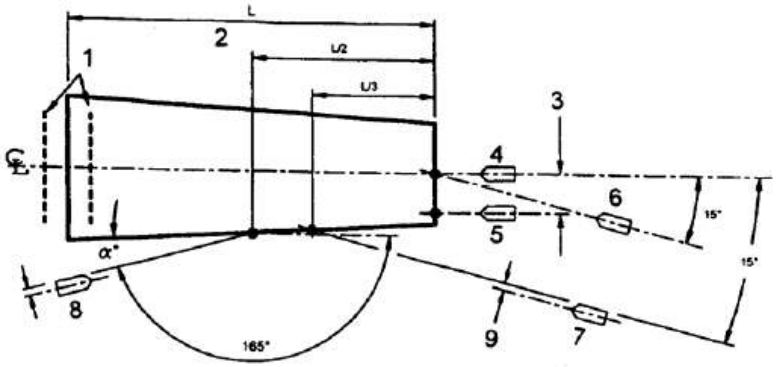
Ensaio [1)]	**Modo de aproximação**	**Massa total do veículo [kg]**	**Velocidade [km/h]**	**Figura 33 N.º do ensaio**
TC 1.1.50 TC 1.1.80 TC 1.1.100	Frontal	900	50 80 100	1
TC 1.2.80 TC 1.2.100		1300	80 100	1
TC 1.3.110		1500	110	1
TC 2.1.80 TC 2.1.100	Frontal,descentrado de ¼ da largura do veículo	900[2)]	80 100	2
TC 3.2.80 TC 3.2.100 TC 3.3.110	Frente (centro do veículo), a 15º	1300 1300 1500	80 100 110	3
TC 4.2.50 TC 4.2.80 TC 4.2.100 TC 4.3.110	Embate lateral a 15º	1300 1300 1300 1500	50 80 100 110	4
TC 5.2.80 TC 5.2.100 TC 5.3.110	Embate lateral a 165º	1300 1300 1500	80 100 110	5

[1)] A simbologia dos ensaios é a seguinte:

TC	1	2	80
Ensaio de amortecedor de choque	Modo de aproximação	Massa do veículo ensaiado	Velocidade de embate

[2)] Para este ensaio, o manequim deve ser colocado na posição mais longínqua da linha central do amortecedor de choque.

NOTA 1: As características do veículo e respectivas tolerâncias são especificadas na Norma Europeia EN 1317-1.
NOTA 2: O ensaio 5 não deverá ser realizado para os amortecedores de choque de formato não paralelo quando, no ponto de embate relevante, o ângulo (α) da trajectória do veículo em relação à face do amortecedor de choque virada para o tráfego é menor do que 5º.



Legenda

1 Localizações alternativas para a face frontal do obstáculo
2 Amortecedor de choque
3 Desvio de ¼ da largura do veículo para o ensaio 2
4 Ensaio 1
5 Ensaio 2
6 Ensaio 3
7 Ensaio 4
8 Ensaio 5
9 ½ Largura do veículo

Figura 33 – Percursos de aproximação de veículos para os ensaios 1 a 5 [35].

Os níveis de desempenho dos amortecedores de choque devem estar em conformidade com o referido nos Quadro 22 e Quadro 23. Estes níveis estão ordenados de acordo com uma crescente capacidade de absorção da energia. Um amortecedor de choque ensaiado com êxito num determinado nível de desempenho, deve ser considerado como tendo cumprido as condições dos ensaios de mais baixo nível, a não ser que esteja presente um dispositivo que pode não funcionar em condições aceitáveis a uma velocidade de embate mais baixa. Neste caso, é requerido um ensaio adicional para demonstrar o seu desempenho.

Quadro 22 – Níveis de desempenho para amortecedores de choque redireccionantes (adaptado de [35]).

Nível	Ensaios de aceitação					
50	TC 1.1.50	-	-	-	TC 4.2.50	-
80/1	-	TC 1.2.80	TC 2.1.80	-	TC 4.2.80	-
80	TC 1.1.80	TC 1.2.80	TC 2.1.80	TC3.2.80	TC 4.2.80	
100	TC 1.1.100	TC 1.2.100	TC 2.1.100	TC 3.2.100	TC 4.2.100	TC 5.2.100*
110	TC 1.1.100	TC 1.3.110	TC 2.1.100	TC 3.3.110	TC 4.3.110	TC 5.3.110*

NOTA 1: Ensaios marcados com (*) não serão referidos para dispositivos a instalar em locais onde a trajectória de aproximação dos veículos não é possível (ex. quando o tráfego circula num só sentido ou em portagem /portão).
NOTA 2: Para a classe 80/1 a quantidade de ensaios requeridos é menor e o Índice de Severidade da Aceleração, a deformação do amortecedor de choque e o comportamento do veículo não são comparáveis aos da classe 80.

Quadro 23 – Níveis de desempenho para amortecedores de choque não redireccionantes (adaptado de [35]).

Nível	Ensaios de aceitação			
50	TC 1.1.50	-	-	-
80/1	-	TC 1.2.80	TC 2.1.80	-
80	TC 1.1.80	TC 1.2.80	TC 2.1.80	TC3.2.80
100	TC 1.1.100	TC 1.2.100	TC 2.1.100	TC 3.2.100
110	TC 1.1.100	TC 1.3.110	TC 2.1.100	TC 3.3.110
NOTA 1: Para a classe 80/1 a quantidade de ensaios requeridos é menor e o Índice da Severidade da Aceleração, a deformação do amortecedor de choque e o comportamento do veículo não são comparáveis aos da classe 80.				

Os amortecedores de choque podem ser redireccionantes (aqueles que retêm e redireccionam veículos) ou não-redireccionantes (aqueles que apenas retêm veículos descontrolados)

As classes de velocidade a considerar são:

- 50 Km/h;
- 80 Km/h;
- 100 Km/h;
- 110 Km/h.

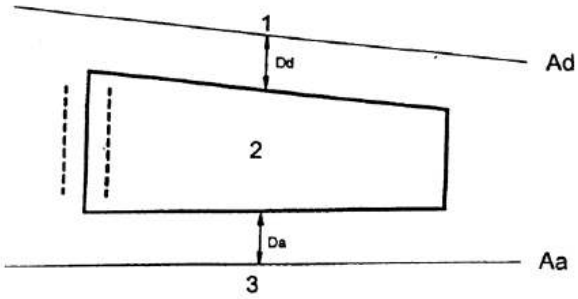
As oito classes para a deslocação lateral permanente do amortecedor de choque, devem estar em conformidade com o Quadro 24. A deslocação lateral permanente deve ser medida e registada no relatório de ensaio. Para pertencer às classes D1 a D4, o amortecedor de choque a testar nos ensaios 1, 2, 3, 4 e 5, deve permanecer dentro das distâncias D_a e D_d do "invólucro de projecto". As deslocações D_a e D_d são representadas pelas linhas A_a e A_d na Figura 34.

DOCUMENTO BASE

Quadro 24 – Classes de deslocamento lateral permanente para amortecedores de choque (adaptado de [35]).

Classes	Deslocamento	
	D_a [m]	D_d [m]
D1	0.5	0.5
D2	1.0	1.0
D3	2.0	2.0
D4	3.0	3.0
D5	0.5	≥ 0.5, ensaio 3, Figura 33
D6	1.0	≥ 1.0, ensaio 3, Figura 33
D7	2.0	≥ 2.0, ensaio 3, Figura 33
D8	3.0	≥ 3.0, ensaio 3, Figura 33

Para as classes D5 a D8, o amortecedor de choque deve cumprir as mesmas condições de ensaio que as classes D1, D2, D3 e D4 com excepção de que, para o ensaio 3, o amortecedor de choque pode mover-se numa distância não especificada no lado de saída (ver Figura 34).

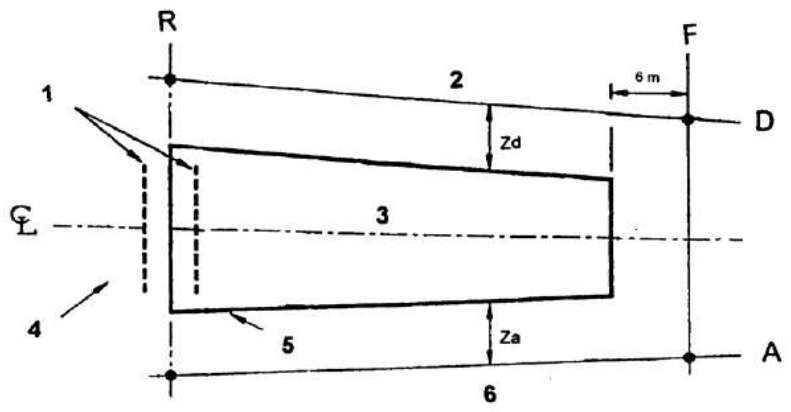


Legenda

1 Lado de saída
2 Invólucro de projecto para o amortecedor de choque
3 Lado de aproximação

Figura 34 – Limites permanentes de deflexão do amortecedor de choque [35].

O desenho em planta do amortecedor de choque a ensaiar deve estar inscrito dentro de um invólucro trapezoidal tendo um mínimo de área plana como mostra a Figura 35, e qualquer estrutura de suporte essencial deve estar incluída nesse invólucro.



Legenda

1	Localizações alternativas para a parte da frente do obstáculo	4	Grelha de referência no chão
2	Lado de saída	5	Invólucro contendo o amortecedor de choque
3	Linha central do amortecedor de choque	6	Lado de aproximação

Figura 35 – Caixa de saída [35].

As classes de dimensões da zona de redireccionamento (Z) devem ser ordenadas de acordo com as distâncias Z_a e Z_d referidas no Quadro 25 e conforme ilustrado na Figura 35.

Quadro 25 – Dimensões da zona de redireccionamento (Z_a e Z_d) para cada classe de Z (adaptado de [35]).

Classes de Z	Deslocamento	
	Z_a [m]	Z_d [m]
Z1	4	4
Z2	6	6
Z3	4	≥ 4, ensaio 3, Figura 33
Z4	6	≥ 4, ensaio 3, Figura 33

Tal como acontece com os terminais e com as transições, a gravidade do embate do ocupante do veículo deve ser analisada pelos índices ASI, THIV e PHD descritos em 3.1.2. Os níveis de gravidade devem ser determinados em conformidade com o Quadro 17 em função do valor dos índices ASI, THIV e PHD.

5.3.2 Método para selecção de amortecedores de choque para estradas da RRN

Os níveis de desempenho dos amortecedores de choque são definidos, nas diferentes normas analisadas, em função do limite de velocidade imposto para o local onde será instalado o sistema.

As normas italiana e francesa, por exemplo, prevêem o uso dos níveis de desempenho para os amortecedores de choque constantes do Quadro 26.

Quadro 26 – Níveis mínimos de desempenho dos amortecedores de choque (adaptado de [26], [47] e [49]).

Limite de velocidade no local [km/h]	Nível de desempenho		
	Itália	França	Alemanha
50	50	80/1	50
60	50	80/1	80
70	50	80/1	80
80	50	80	80
90	80	80	100
100	80	100	100
110	80	100	110
120	80	110	-
≥130	100	110	-

O critério de decisão preconizado para Portugal segue uma orientação semelhante à da normativa alemã, definindo-se as exigências para os níveis de desempenho dos amortecedores de choque de acordo com o Quadro 27.

DOCUMENTO BASE

Quadro 27 – Níveis de desempenho dos amortecedores de choque em função limite de velocidade para o caso de Portugal (adaptado de [26]).

Limite de velocidade [km/h]	Nível de desempenho			
	50	80	100	110
50	•			
60		•		
70		•		
80		•		
90			•	
100			•	
110				•
120				•

A classe de deslocação lateral permanente (D8 como requisito mínimo) e a classe de redireccionamento das dimensões de zonas (Z4 como requisito mínimo) deverão ser indicadas no relatório de ensaio e os requisitos deverão ser determinados de acordo com a situação que se verifica no local [26]. A forma geométrica do amortecedor de choque deverá ser adaptada à configuração dessa mesma situação local.

Os amortecedores de choque e qualquer barreira de segurança, quando unidos, devem ser correctamente ligados para que as suas propriedades funcionais (incluindo as acções de tensão na viga da barreira de segurança, a segurança passiva do amortecedores de choque e a transmissão de carga) não tenham um efeito conjugado negativo. O fabricante dos amortecedores de choque deverá demonstrar as propriedades funcionais dos sistemas ligados desta forma.

5.3.3 Requisitos específicos de colocação de amortecedores de choque para estradas da RRN

Podem ser necessários amortecedores de choque sempre que os obstáculos perigosos se encontrem localizados dentro da distância crítica (ver secção 4.3.1 e Figura 36) e os

DOCUMENTO EM FASE

comprimentos necessários das barreiras de segurança (definidos na secção 4.5.2) não possam ser observados.

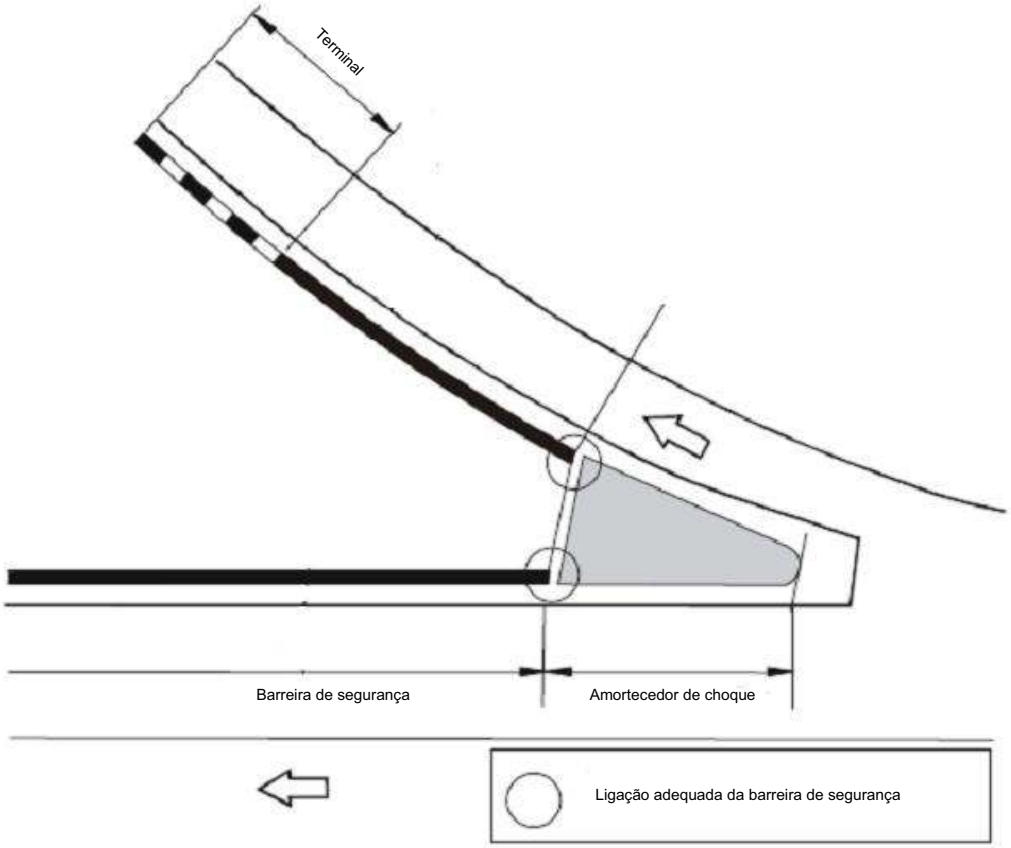


Figura 36 – Divergência com barreiras de segurança e amortecedor de choque (adaptado de [26]).

6 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

6.1 Aspectos estruturais das barreiras de segurança

De acordo com o anteriormente descrito, o comprimento necessário de uma barreira de segurança corresponde ao comprimento total de uma barreira longitudinal indispensável para proteger os veículos descontrolados de obstáculos ou áreas perigosas. Contudo, o comprimento instalado também deve assegurar a capacidade estrutural necessária para as condições de embate. Assim, o comprimento da barreira de segurança a ser instalado deverá ser maior que o comprimento ensaiado para demonstrar o cumprimento da EN 1317 [62].

O comprimento corrente de instalação dos ensaios de choque é de 60 m a que acresce o comprimento dos terminais. O ponto de impacto é a cerca de um terço do comprimento, ou seja, 20 m a contar do fim do terminal inicial. Nesta situação, todo o sistema recebe as cargas provocadas pelo impacto do veículo durante o ensaio. As forças de impacto são distribuídas ao longo dos elementos da barreira e transferidas para o solo. No entanto, os acidentes que ocorrem em condições reais, não reproduzem as condições do ensaio de choque da EN 1317, podendo por isso resultar em distribuições de força diferentes das observadas nos ensaios.

No âmbito do projecto europeu RISER [62] foram realizadas análises de colisões utilizando barreiras de segurança metálicas. As simulações foram realizadas primeiro de acordo com um ensaio de choque padrão da EN 1317 e, num segundo caso, deslocando o ponto de impacto para uma zona mais próxima do terminal. Os resultados indicaram que foram observadas maiores forças de tracção no segundo tipo de ensaio. Neste caso, é fundamental que as ancoragens da barreira possam resistir a estas solicitações, o que está dependente do dimensionamento do sistema, da resistência dos materiais e do processo de instalação. Se as secções finais da barreira não amarrarem adequadamente o sistema, haverá uma elevada probabilidade da barreira deflectir excessivamente ou de se destacar do solo, sendo incapaz de reter o veículo desgovernado. Esta é, pois, uma evidência da necessidade de um comprimento de instalação de barreira superior ao ensaiado na EN 1317. Caso contrário, uma barreira que seja ensaiada ao choque com sucesso, de acordo com a EN 1317 [23]

DOCUMENTO BASE

poderá ter as suas ancoragens colapsadas devido a impactos junto de um terminal. Uma falha deste tipo não é devida a deficiente concepção da barreira mas à instalação inadequada.

Nos acidentes analisados no âmbito do referido projecto europeu [62], foram identificadas como possíveis causas para mau funcionamento das barreiras em que se verificou falência das ancoragens das mesmas, o facto das barreiras terem um comprimento inferior ao estruturalmente necessário e a verificação de falhas nas condições de amarração. Estes foram casos em que o veículo atingiu a barreira perto do seu final e o sistema de retenção foi incapaz de o reter.

6.2 Condições do solo de fundação

É comum em Portugal a utilização de barreiras de segurança metálicas, cujos prumos e vigas deformáveis são capazes de absorver parte da energia cinética do veículo. Para garantir que a deformação da barreira tenha o comportamento desejado em situação de embate, é necessário garantir uma correcta interacção entre o solo de fundação e o prumo. Uma fraca resistência do solo à movimentação e deformação do prumo pode causar um comportamento indesejado da barreira e, consequentemente, resultar em acidentes fatais.

Os sistemas de retenção de veículos funcionam por transferência das forças de impacto a que são sujeitos para o terreno em que estão instalados, podendo a fundação dos prumos ser de betão, de cimento, ou betuminoso, ou estes assentarem directamente em solos de diferentes composições e graus de compactação. Devido à sua resistência durante a deformação, um solo tem capacidade para absorver parte da energia do embate. No entanto, o mecanismo de funcionamento das barreiras de segurança compreende a deformação combinada dos elementos da barreira (vigas e prumos) e do solo.

DOCUMENTO BASE

Figura 37 – Capotamento motivado por falha na interacção entre o prumo e o solo de fundação [98].

Como já foi referido anteriormente, o desempenho dos sistemas de retenção de veículos é descrito pelo seu comportamento nos ensaios realizados de acordo com a Norma Europeia EN 1317. É de salientar que nos ensaios de choque as condições do solo são controladas e registadas. Assim, as propriedades da estrada e do solo devem ser definidas cuidadosamente, para que possam corresponder às características que são exigidas para o adequado funcionamento da barreira em caso de embate.

Do que atrás ficou dito, é possível depreender que o desempenho do sistema não depende apenas do desenho da barreira, mas também das características do solo e do processo construtivo que lhe está associado.

Para determinar se o solo tem resistência adequada, para barreiras de segurança metálicas, preconiza-se a realização do ensaio *in situ* que seguidamente se descreve [20].

O ensaio consiste em aplicar, sobre um prumo isolado e cravado directamente no solo, uma força normal à direcção de circulação na faixa de rodagem adjacente e dirigida para o exterior da estrada. O ponto de aplicação da força encontra-se localizado 55 cm acima do nível do solo.

Após a aplicação da força, é medido o deslocamento (L) deste ponto e o da secção do prumo ao nível da superfície do terreno (L_o). A força aplicada será aumentada até que o deslocamento ao nível do ponto de aplicação (L) seja de 45 cm.

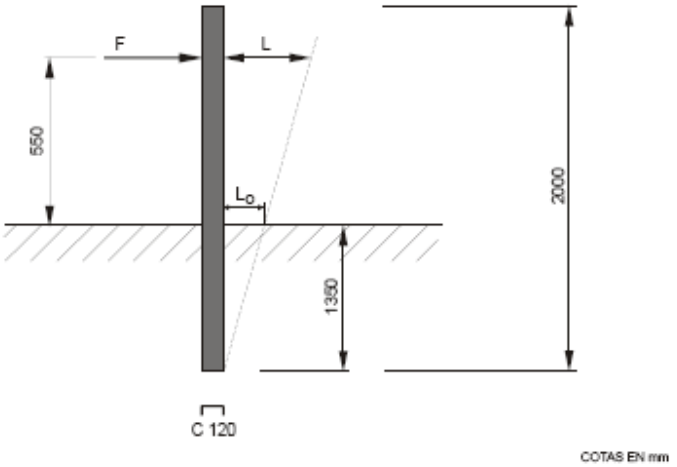


Figura 38 – Representação esquemática do ensaio *in situ* para avaliação da resistência do terreno [20].

Considera-se a resistência do terreno adequada sempre que se cumprirem simultaneamente as duas condições seguintes:

- A força que produz um deslocamento L de 25 cm do ponto de aplicação é superior a 8 kN;
- Para um deslocamento L de 45 cm do ponto de aplicação, o deslocamento do poste ao nível do solo (L_o) é inferior a 15 cm.

É da maior importância a operação de cravação dos prumos. Em geral a ancoragem dos prumos é feita por cravação directa no solo [38]. Existem no entanto duas situações em que a cravação directa não é possível:

- Quando a dureza do solo é muito elevada, necessitando de perfuração prévia;
- Quando a dureza do solo é muito baixa, não garantindo condições que permitam a ancoragem por cravação.

Para estes casos excepcionais, propõe-se os seguintes procedimentos (idênticos aos da norma espanhola):

- Em solos de fraca resistência pode optar-se por aumentar o comprimento do prumo ou efectuar a abertura de uma caixa ao longo do eixo da guarda. Nesta caixa, que deverá ser armada, será betonada *in situ* uma viga onde serão deixados orifícios quadrados no centro da viga para cravação dos prumos. Após a instalação dos prumos, estes orifícios serão cheios de areia e cobertos de material impermeabilizante. Serão igualmente consideradas juntas transversais de betonagem na viga.
- Em solos demasiado duros para a cravação directa dos prumos, propõe-se que o prumo seja colocado no interior de um orifício com um diâmetro e profundidade adequados. Este orifício poderá ser obtido por perfuração em maciços rochosos, ou moldando um tubo num maciço cúbico de betão nos restantes casos. O prumo será ajustado com cunhas e os vazios serão preenchidos com areia com uma capa superior de material impermeabilizante, evitando-se em qualquer caso o enchimento com betão.

6.3 Presença de obstáculos perigosos no separador central

No separador central, sempre que é necessário afastar ou aproximar uma barreira de segurança do limite da faixa de rodagem, a mudança de alinhamento faz-se com um bisel cuja taxa de afastamento máxima é de 1:20 [26]. A montante e a jusante do obstáculo deverá haver um alinhamento paralelo à faixa de rodagem com um comprimento mínimo de 30 m. Em qualquer dos casos este alinhamento não poderá ser inferior ao comprimento mínimo definido na ficha de homologação de acordo com a EN 1317 (ver Figura 39).

DOCUMENTO BASE

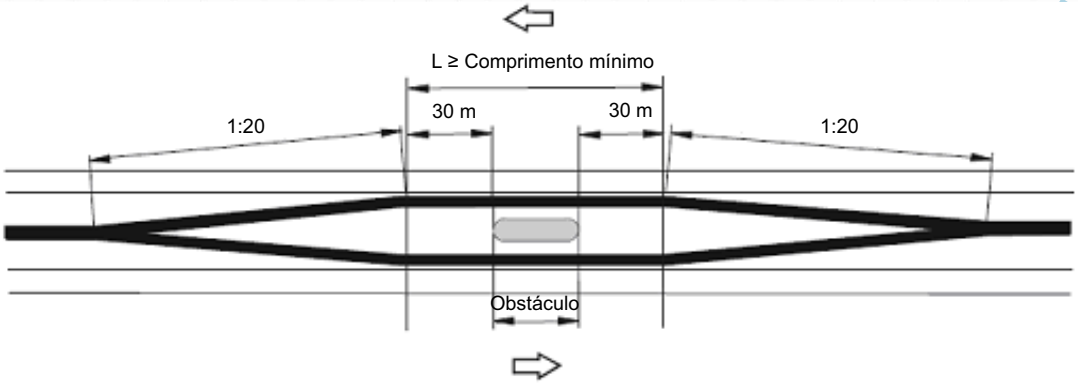


Figura 39 – Obstáculo perigoso no separador central (adaptado de [26]).

DOCUMENTO B

7 CONCLUSÕES

No presente documento descrevem-se os resultados da análise das características dos sistemas de retenção de veículos relacionadas com a segurança rodoviária e apresenta-se uma síntese das práticas actuais nesta matéria.

Nesta primeira fase do estudo encetado pelo LNEC para o InIR, ficou demonstrado que, tal como acontece desde há várias décadas nos EUA, grande parte dos países europeus tem, hoje em dia, definidas orientações claras sobre os sistemas de retenção de veículos, adoptando medidas concretas em relação a estes, no âmbito das prioridades definidas por cada Estado e dos recursos disponibilizados para o efeito.

Dentro deste quadro, foi dada particular atenção ao processo de selecção dos sistemas de retenção de veículos (em particular das barreiras de segurança).

O primeiro passo deste processo consiste na identificação dos obstáculos perigosos que devem ser analisados. Isto irá determinar qual o tipo de sistema de retenção mais adequado se não forem possíveis outras soluções que evitem a necessidade da sua instalação.

O segundo passo na selecção de sistemas de retenção de veículos consiste na determinação do nível de retenção, ou da resistência do sistema. As barreiras de segurança são classificadas pelo tamanho do maior veículo utilizado no programa de ensaios de choque, permitindo identificar a capacidade estrutural do sistema.

O terceiro passo para a escolha do equipamento consiste na identificação do espaço disponível para o desempenho dinâmico dos sistemas. Este é definido pela proximidade dos obstáculos perigosos a proteger. Esta localização é necessária para se determinar a largura útil e a deflexão dinâmica admissível para barreiras de segurança e as classes de deslocamento lateral permanente dos amortecedores de choque.

DOCUMENTO BASE

No último passo é calculado o comprimento do sistema. Este passo é mais relevante para o caso das barreiras de segurança e é determinado pelo tamanho e posição dos obstáculos perigosos e pelas tipologias de acidentes esperadas no local em análise.

A experiência tem demonstrado que, tipicamente, os problemas mais frequentemente associados ao deficiente funcionamento dos sistemas de retenção rodoviários são os seguintes:

- Comprimento insuficiente dos sistemas para proteger os veículos descontrolados dos obstáculos perigosos.
- Instalação de sistemas que protegem os veículos ligeiros descontrolados dos obstáculos perigosos negligenciando os perigos que representam os veículos pesados.
- Distâncias livres de obstáculos por detrás dos sistemas insuficientes para o regular funcionamento dos mesmos.
- Terminais e transições das barreiras de segurança inadequados.

Qualquer sistema de retenção de veículos utilizado para proteger os veículos descontrolados dos obstáculos perigosos deve ser testado de acordo com os requisitos de ensaio europeus, conforme especificado nas normas europeias EN 1317.

No presente documento, o qual constitui a primeira fase do estudo encetado pelo LNEC para o InIR relativo à sinistralidade na AAFR, foram elaboradas recomendações para a selecção de selecção e colocação dos sistemas de retenção em estradas da RRN (em resultado do levantamento da prática internacional na matéria em apreço). No segundo documento são elaboradas recomendações para o dimensionamento da AAFR em estradas portuguesas.

Finalmente, salienta-se que nesta primeira fase do estudo foi desenvolvido um software de apoio designado "Determinação das Características dos Sistemas de Retenção Rodoviários de Veículos" (DCSRRV), o qual permite realizar de forma automática a maioria das recomendações de projecto aqui apresentadas.

DOCUMENTO BASE

Lisboa, LNEC, Novembro de 2010

VISTOS

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

AUTORIAS

Carlos Roque
Bolseiro de Projecto FCT

João Lourenço Cardoso
Investigador Principal de Habilitação
Chefe do Núcleo de Planeamento Tráfego e Segurança

DOCUMENTO BASE

DOCUMENTO BASE

BIBLIOGRAFIA

1 American Association of State Highway and Transportation Officials (2004). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Fifth Edition. Washington, D.C. ISBN: 1-56051-263-6

2 American Association of State Highway and Transportation Officials (1974). Highway Design and Operational Practices Related to Highway Safety, Second Edition. Washington, D.C.

3 American Association of State Highway and Transportation Officials (1996). Roadside Design Guide. Washington, D.C.

4 American Association of State Highway and Transportation Officials (2002). Roadside Design Guide. Washington, D.C.

5 American Association of State Highway and Transportation Officials (2009). Manual for Assessing Safety Hardware. Washington, D.C.

6 Australian/New Zealand Standard (1999). AS/NZS 3845:1999 Road safety barrier systems. Published jointly by: Standards Australia.1 The Crescent, Homebush NSW 2140 Australia. Standards New Zealand. Level 10, Radio New Zealand House,155 The Terrace, Wellington 6001 New Zealand. ISBN 0 7337 2293 8

7 Braimaister, L. G. (1998). Specific Safety Measures for Emergency Lanes and Shoulders of Motorways, SWOV Institute for Road Safety, Netherlands.

8 British Columbia Transportation and Infrastructure (2007).B.C. Supplement to TAC Geometric Design Guide 2007 Edition. Queen's Printer Online Publications. ID Stock Number 7610003312. Canada.

9 Cardoso, J.L.; Roque, C.A. (2001). Área Adjacente à Faixa de rodagem de Estradas Interurbanas e Sinistralidade. Relatório LNEC, Lisboa.

DOCUMENTO BASE

10 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, Lisboa.

11 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, Lisboa.

12 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. Paris, France.

13 Coon, Brian A., Reid, John D. (2006). Reconstruction techniques for energy-absorbing guardrail end terminals. Accident Analysis and Prevention 38 (2006) 1–13.

14 Craus, J.; Moshe, L.; Ishai, I. (1991). Effect of Pavement and Shoulder Condition on Highway Accidents, Highway Systems Human Performance, and Safety, Transportation Research Record nº1318, Transportation Research Board.

15 CROW (2004). Handboek veilige inrichting van bermen; Niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom. Publicatie 202. CROW Kenniscentrum voor verkeer, vervoer en infrastructuur, Ede. Netherlands.

16 CSIR Transportek (2001). Geometric Design Guidelines. Council for Scientific and Industrial Research. South African National Road Agency Limited. South Africa.

17 David Milne (2008). Designing safer roadsides. A Handbook for Highway Engineeres. Published by Hemming Information Services in association with The Passive Revolution and Traffic Engineering & Control. England. ISBN 0 7079 7099 7.

18 Dirección General de Carreteras (1995).Orden Circular 321/95 - Recomendaciones sobre sistemas de contención de veículos. Secretaría de Estado de Infraestructuras. Ministerio de Fomento, Madrid.

DOCUMENTO BASE

19 Dirección General de Carreteras (2008).Recomendaciones sobre criterios de aplicación de pretiles metálicos en carreteras. Secretaría de Estado de Infraestructuras. Ministerio de Fomento, Madrid.

20 Dirección General de Carreteras (2009). Orden Circular 28/2009 sobre Criterios de Aplicación de Barreras de Seguridad Metálicas. Secretaría de Estado de Infraestructuras. Ministerio de Fomento, Madrid.

21 Elvik, R., Vaa, T. (2004). The Handbook of Road Safety Measures. Elsevier Science, Oxford.

22 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.

23 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.

24 European Committee for Standardization (2007). EN 12767 Road Passive safety of support structures for road equipment - Requirements and test methods. CEN/TC 226, Brussels.

25 European Transport Safety Council (1998). Forgiving Roadsides. Brussels.

26 FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2008). RPS 2008 – Guidelines for Passive Protection on Roads using Vehicle Restraint Systems. Road and Transport Research Association. Traffic Management Working Group, Germany.

27 FHWA (1992). Safety Effectiveness of Highway Design Features (Vol. I-VI), Publication Nº. FHWA-RD-91-044 to 049, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

28 Glennon, J. C. (1974). NCHRP Report No. 148: Roadside Safety Improvement Programs on Freeways—A Cost-Effective Priority Approach, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D. C.

DOCUMENTO BASE

29 Hall, L.E.; Powers, R.D.; Turner, D.S.; Brilon, W.; Hall, J.W. (1998). Overview of Cross Section Design Elements, in International Symposium on Highway Geometric Design Practices, Conference Proceedings, Texas Transportation Institute. Texas.

30 Hayes E.; Ross,Jr. (1995). Evolution of Roadside Safety, in Roadside Safety Issues, Transportation Research Circular nº435, Transportation Research Board.

31 Highway Agency (2006).TD 19/06 - Requirement for road restraint systems. Design manual for roads and bridges, volume 2 Highway structures. Secretary of State for Transport, Local Government and the Regions. England.

32 Highways Agency (2002). To Review the Standards for the Provision of Nearside Safety Fences on Major Roads. Report of the Highways Agency Working Group to Review the Standards for the Provision of Nearside Safety Fences on Major Roads. England.

33 http://termino.piarc.org/ acedido em 19.02.2010

34 http://www.eurorail.nl/geleiderail/geleiderailprestatieklassen.htm

35 Instituto Português da Qualidade. (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. Portugal.

36 Instituto Português da Qualidade. (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. Portugal.

37 Junta Autónoma de Estradas (1994). Norma de Traçado. Almada.

38 Junta Autónoma de Estradas (1998). Caderno de Encargos. Direcção de Serviços de Apoio Técnico, Junta Autónoma de Estradas. Almada.

39 Lamm, R., Psarianos, B. Mailaender T. (1999). Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook. McGraw-Hill Professional Publishing. ISBN: 0-07-038295-6

DOCUMENTO BASE

40 Macedo, A.L. (1984). Estudos relativos ao equipamento de segurança da estrada. Guardas de Segurança (3º Relatório). Relatório do Proc.º 93/11/7487. LNEC, Lisboa.

41 Macedo, A.L.; Castilho, A.J. (1979). Estudos relativos ao equipamento de segurança da estrada. Guardas de Segurança (1º Relatório). Relatório do Proc.º 56/15/5298. LNEC, Lisboa.

42 Macedo, A.L.; Castilho, A.J. (1979). Estudos relativos ao equipamento de segurança da estrada. Guardas de Segurança (2º Relatório). Relatório do Proc.º 56/15/5298. LNEC, Lisboa.

43 Main Roads Western Austrália (2006). Assessment of Roadside Hazards. Government of Western Austrália. Road and Traffic Engineering. Technology and Environment. Directorate. File No. 05/9104. Document D06#26105. Austrália.

44 Matena S., Louwerse W., Schermers. G., Vaneerdewegh P., Pokorny P., Gaitanidou L. (HIT), Elvik R. (TOI), Cardoso J. (2005). Best Practice on Self-explaining and Forgiving Roads. RIPCORD-ISEREST Report D3, Federal Highway Research Institute (BASt), Bergisch Gladbach, Germany.

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

46 Ministére de l'Équipement, des Transports et du Logement (1999). Accidents Mortels Contre Obstacles Fixes – CEESAR, France.

47 Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire (2009). Arrêté du 2 mars 2009 relatif aux performances et aux règles de mise en service des dispositifs de retenue routiers soumis à l'obligation de marquage CE. NOR: DEVS0904864A. France.

48 Ministero dei lavori pubblici (1998). Ulteriore aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e delle prescrizioni tecniche per le prove ai fini dell'omologazione. (testo coordinato con le modifiche del D.M. 11 giugno 1999). Gazzetta Ufficiale n. 253 del 3 giugno 1998. Italia.

DOCUMENTO BASE

49 Ministero dei lavori pubblici (2004). Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e le prescrizioni tecniche per le prove delle barriere di sicurezza stradale . DECRETO 21 giugno 2004. Italia.

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

51 National Roads Authority (2009). TD 19/09 - Safety Barriers. NRA DESIGN MANUAL FOR ROADS AND BRIDGES Volume 2 Section 2 Part 8A . St. Martin's House, Waterloo Road, Dublin.Ireland.

52 Parliament of Victoria (2005). Road Safety Committee Inquiry into Crashes Involving Roadside Objects. Parliamentary Paper No. 119 Session 2003-05. Australia. ISBN - 0-9751534-0 -4

53 PIARC (2008). Human Factors Guideline for Safer Road Infrastructure. Piarc Technical Committee C3.1 Road Safety. France. ISBN : 2-84060-215-6

54 Powers R.D.; Hall, J.W.; Hall, L.E.; Turner, D.S. (1998). The "Forgiving Roadside" Design of Roadside Elements, in International Symposium on Highway Geometric Design Practices, Conference Proceedings, Texas Transportation Institute. Texas.

55 Ray, M.H.; Carney, J.F.; Opiela, K.S. (1995). Workshop Summary, in Roadside Safety Issues, Transportation Research Circular nº435, Transportation Research Board.

56 Reid, J. D., Kuipers, B. D., Sicking D. L., Faller R. K. (2009). Impact performance of W-beam guardrail installed at various flare rates. International Journal of Impact Engineering 36 (2009) 476–485

57 Reid, J.D., Kuipers, B.D., Sicking, D.L., and Faller, R.K. (2007). Guardrail Flare Rates, Paper No. 07-0517, Presented at the Annual Meeting of the Transportation Research Board and Published in the Compendium of Papers CD-ROM, TRB AFB20 Committee

DOCUMENTO BASE

on Roadside Safety Design, Transportation Research Board, Washington D.C., January 2007.

58 Rijkswaterstaat (2007). Nieuwe Ontwerprichtlijn Autosnelwegen. Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management. Netherlands. ISBN 90 3693 636 5

59 RISER (2003). D05: Summary of European Design Guidelines for Roadside Infrastructure. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme "Growth", Project "RISER" GRD2/2001/50088.

60 RISER (2005). D04: Identify envelope of vehicle and driver response prior to collisions, European Community R&TD Project, 5th Framework Programme "Growth", Project "RISER" GRD2/2001/50088, 2005

61 RISER (2006). D03: Critical vehicle and infrastructure interactions, European Community R&TD Project, 5th Framework Programme "Growth", Project "RISER" GRD2/2001/50088.

62 RISER (2006). D06: European Best Practice for Roadside Design. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme "Growth", Project "RISER" GRD2/2001/50088.

63 Roque, C.A. (2001). Influência das Características da Área Adjacente à Faixa de rodagem na Sinistralidade Rodoviária. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Transportes, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

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

65 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.

66 Schoon, C.C. (1997). Roadside design in the Netherlands for enhancing safety. Contribution to the conference 'Traffic Safety on Two Continents', Lisbon, Portugal,

DOCUMENTO BASE

September 22-24, 1997. D-97-20. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

67 Service d'Études Techniques des Rourtes et Autoroutes (1995). Highway Design Guide. Ministére de l'Équipement, des Transports et du Logement. France.

68 Service d'Études Techniques des Rourtes et Autoroutes (2007). Handling lateral obstacles on main roads in open country. Ministére de l'Écologie, du Dévelopment et de l'Aménagement durables. France.

69 SETRA (1999). Barrières de sécurité pour la retenue des poids lourds. Barrières de niveau H2 ou H3 - Collection du guide technique GC. France.

70 SETRA (2000). ICTAAL (Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison) National Instruction on Technical Design Requirements for Rural Motorways. Ministry of Public Works, Directorate of Roads, Transport and Housing. Roads and Motorways Engineering Department. Centre for Safety and Road Engineering. France.

71 SETRA (2001). Barrières de sécurité pour la retenue des véhicules légers - Barrières de niveau N en accotement - Aménagement en TPC - Collection du guide technique GC. France.

72 SETRA (2002). Choix d'un dispositif de retenue en bord libre d'un pont en fonction du site - Collection du guide technique GC. France.

73 Sétra (2004).Guide technique Géfra – Jumelage des plates-formes ferroviaires et routières ou autoroutières. Aide à la définition des dispositifs de protection anti-pénétration. France.

74 Statens vegvesen (2003). Rekkverk. Nr. 231 i Vegvesenets håndbokserie Forsidetegning: Siv. ark., landskapsark. Rolf Gulbrandsen. August 2003. Vegdirektoratet. ISBN 82-7207-545-8. Oslo, Norway.

DOCUMENTO BASE

75 SUPREME (2007). Resumo e Publicação das Melhores Práticas em Matéria de Segurança Rodoviária nos Estados-Membros. Melhores Práticas De Segurança Rodoviária. Manual De Medidas Nacionais. KfV (Austrian Road Safety Board).

76 SUPREME (2007). Summary and Publication of Best Practices. In Road Safety in The Member States Thematic Report: Infrastructure. KfV (Austrian Road Safety Board).

77 Swedish National Road and Transport Research Institute (1990). Strategic Highway Research Program (SHRP) and Traffic Safety on Two Continents. Sweden.

78 Swedish National Road and Transport Research Institute (1993). Strategic Highway Research Program (SHRP) and Traffic Safety on Two Continents. Sweden.

79 Swedish National Road and Transport Research Institute (1997). Traffic Safety on two Continents – Roadside design. Sweden.

80 SWOV – Institute for Road Safety Research (2006). Advancing Sustainable Safety: National Road Safety Outlook for 2005-2020. Leidschendam. Netherlands.

81 SWOV – Institute for Road Safety Research (2007). Safe road shoulders. Leidschendam. Netherlands.

82 SWOV (2007). Safe road shoulders. SWOV Fact sheet. Leidschendam, Netherlands.

83 Transit New Zealand (2002).TNZ M/23 : 2002 - Specification for Road Safety Barrier Systems. New Zealand.

84 Transit New Zealand (2005). STATE HIGHWAY GEOMETRIC DESIGN MANUAL. SECTION 7: ROADSIDE FEATURES.Revised Draft: 12 May 2005

85 Transit New Zealand (2005).TNZ M/23 Notes : December 2005 - Notes on Specification for Road Safety Barrier Systems. New Zealand.

86 Transportation Research Board (1975). Roadside Hazards and Safety Improvements, Transportation Research Record nº543.

DOCUMENTO BASE

87 Transportation Research Board (1986). Roadside Safety, Transportation Research Record nº1065.

88 Transportation Research Board (1991). Roadside Safety Features, Transportation Research Record nº1302.

89 Transportation Research Board (1992). Development and Evaluation of Roadside Safety Features, Transportation Research Record nº1367.

90 Transportation Research Board (1995). Geometric Design, Roadside Safety Features, Roadside Hardware Monitoring, and Scenic Loop Tours, Transportation Research Record nº1500,

91 Transportation Research Board (1996). Roadside Safety Issues Revisited, Transportation Research Circular nº453.

92 Transportation Research Board (1997). Strategies for Improving Roadside Safety, Research Result Digest 220.

93 Turner, D.S. (1987). A Primer on the Clear Zone, Geometric Design and Operational Effects, Transportation Research Record nº1122, Transportation Research Board.

94 Vägverket (2000). Sidoutformning, Vägutformningsdagarna 2000 - Arbetsmaterial. Swedish National Road Administration. SE-781 87 Borlänge, Sweden.

95 Vägverket (2001). VU 94 ROAD DESIGN, English summary, Swedish design guidelines for state roads. Swedish National Road Administration. SE-781 87 Borlänge, Sweden.

96 Vägverket (2006). SAFE TRAFFIC Vision Zero on the move. Swedish Road Administration. SE-781 87 Borlänge, Sweden.

97 Washington State Department of Transportation (2008).Design Manual. Washington D.C.

DOCUMENTO BASE

98 Wu, W; Thomson, R. (2007). A study of the interaction between a guardrail post and soil during quasi-static and dynamic loading, International Journal of Impact Engineering 34(5): 883–898.

99 Zegeer, C.V.; Deacon, J.A. (1987). Effect of Lane Width, Shoulder Width, and Shoulder Type on Highway Safety, Relationship Between Safety and Key Highway Features, National Research Council, Transportation Research Board State of Art Report 6.

DOCUMENTO BASE

DOCUMENTO BASE

ANEXOS

DOCUMENTO BASE

DOCUMENTO BASE

Anexo I – Método alternativo de cálculo do comprimento necessário

DOCUMENTO BASE

DOCUMENTO BASE

São vários os países a utilizar como método de cálculo do comprimento necessário das barreiras de segurança, o denominado "*Run-out Length Method*" (ver Quadro 11) desenvolvido nos EUA no âmbito do *Roadside Design Guide* [4]. De acordo com este método há duas variáveis fundamentais a considerar para o cálculo do comprimento mínimo do sistema, a saber (ver Figura 40):

- Extensão lateral da área de estudo, L_A;
- Comprimento de despiste (*run-out length*), L_R.

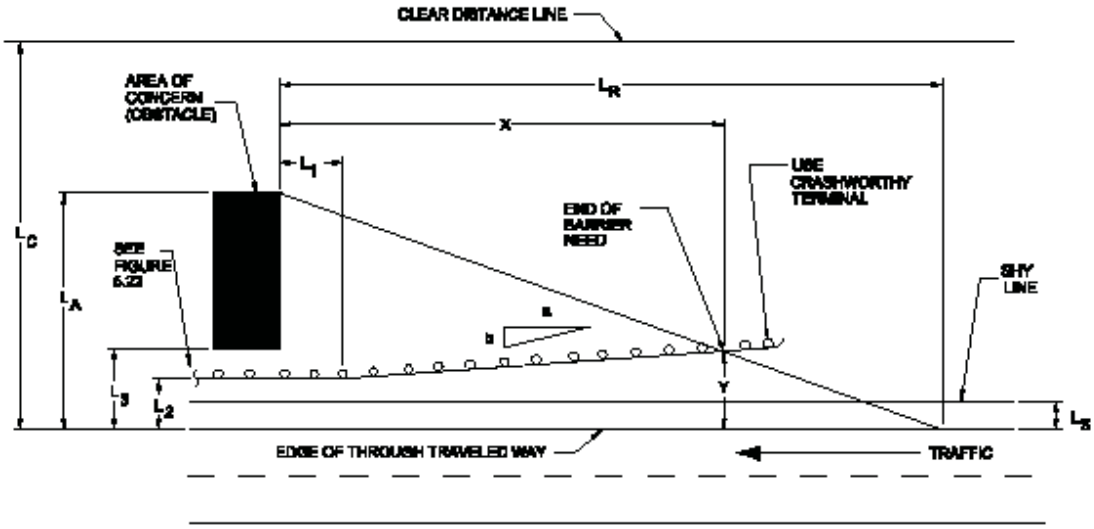


Figura 40 – Parâmetros utilizados no cálculo do comprimento necessário do sistema de retenção [4].

A extensão lateral da área de estudo, L_A, é a distância que vai do limite da faixa de rodagem à extremidade mais afastada a montante do obstáculo perigoso. O comprimento de despiste, L_R, é a distância teórica de que um veículo que invadiu a AAFR necessita para parar. Esta distância é medida, ao longo da estrada, a partir da extremidade mais afastada do obstáculo perigoso até ao ponto em que é assumido que o veículo deixa a faixa de rodagem. O comprimento necessário depende do comprimento (de uma barreira não *afastada*) necessário a montante do obstáculo, L_1, da distância lateral entre a faixa de rodagem e a barreira, L_2, e da taxa de afastamento, a: b (ver Figura 40).

Os valores tabelados para o comprimento de despiste L_R são apresentados no Quadro 28.

Estes valores são os necessários para parar um veículo descontrolado que sai da estrada, em função da sua velocidade, do atrito entre os pneus e o solo e do tempo esperado de reacção do condutor. Complementarmente, estes comprimentos são modificados de forma a minorar o comprimento necessário para as barreiras de segurança em estradas rurais com baixos volumes tráfego e em vias urbanas.

Quadro 28 – Comprimento de despiste para o dimensionamento de barreiras de segurança (adaptado de [4]).

Velocidade de projecto [km/h]	**Tráfego Médio Diário Anual**			
	Mais de 6000 veículos/dia	**2000 a 6000 veículos/dia**	**800 a 2000 veículos/dia**	**Menos de 800 veículos/dia**
	Comprimento de despiste L_R [m]			
110	145	135	120	110
100	130	120	105	100
90	110	105	95	85
80	100	90	80	75
70	80	75	65	60
60	70	60	55	50
50	50	50	45	40

Assim o comprimento necessário a montante do obstáculo é determinado a partir da seguinte equação:

$$X = \frac{L_A + (b/a) \cdot L_1 - L_2}{(b/a) + (L_A / L_R)} \qquad \textbf{(A-1)}$$

Em que:

L_A = extensão lateral da área de estudo [m]

L_R = comprimento de despiste [m] (ver Quadro 28)

b/a = taxa de afastamento

L_1 = comprimento imediatamente a montante do obstáculo em que não há afastamento da barreira [m]

L_2 = distância lateral entre a faixa de rodagem e a barreira [m]

Na Figura 41 são apresentados os resultados para um obstáculo com os seguintes parâmetros:

- L_A = 6 m
- b/a = 10:1
- L_1 = 8 m
- L_2 = 3.5 m

Definiu-se ainda que L_R é variável, de acordo com o Quadro 28 para um TMDA superior a 6000 veíc./dia e para velocidades de projecto entre 50 km/h e 110 km/h.

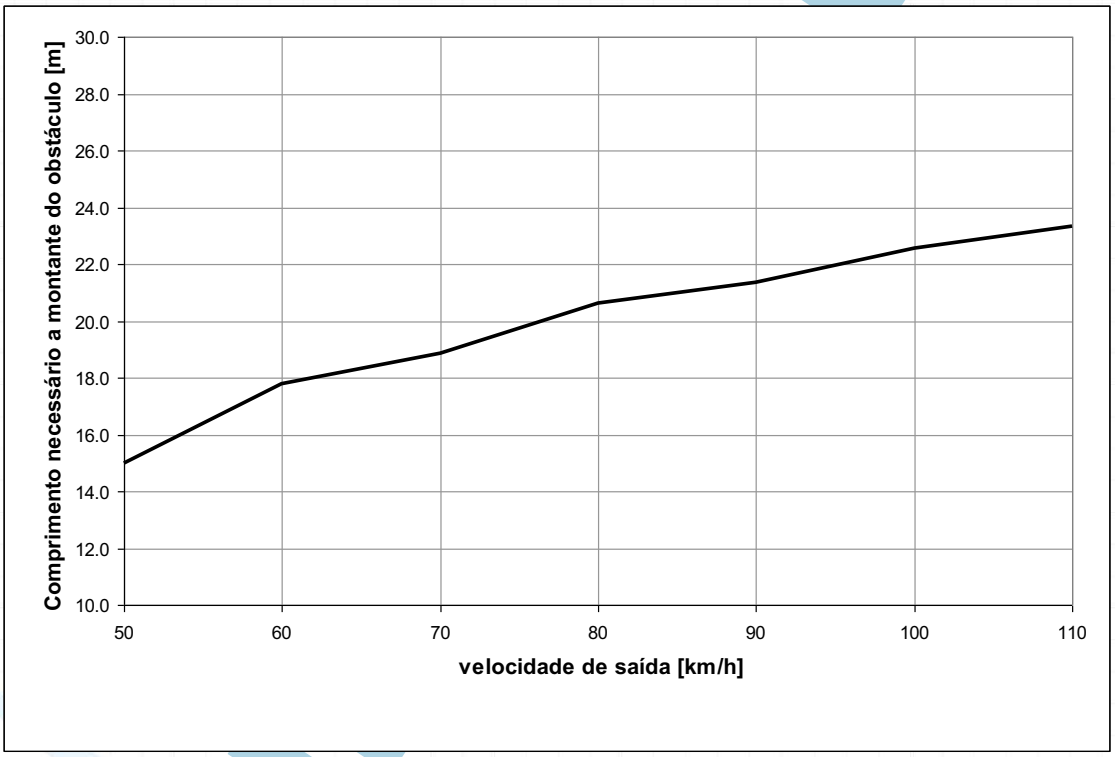


Figura 41 – Comprimento necessário a montante do obstáculo perigoso – "*Run-out Length Method*".

Tendo em vista a comparação do presente método com a metodologia proposta no capítulo 4.2, calculou-se o comprimento necessário a montante de um obstáculo perigoso de acordo com os dois métodos (ver Figura 42). Mantiveram-se os pressupostos adoptados para as Figura 22, Figura 23 e Figura 41, adoptando-se barreiras afastadas com uma taxa de afastamento de 1:10 (correspondente a um ângulo de afastamento de 5.7°) e com um

comprimento de 8 m imediatamente a montante do obstáculo em que não há afastamento. Adicionalmente, calculou-se – para cada uma das velocidades de saída consideradas (50 km/h a 110 km/h) – a extensão lateral da área de estudo, L_A, necessária para garantir ângulos de saída idênticos aos utilizados na metodologia alternativa. Ou seja, em vez de se fixar a extensão lateral da área de estudo, L_A, fixou-se a relação (L_A / L_R) forçando a mesma a corresponder ao ângulo de saída teórico máximo, *NY*, de forma a poderem ser comparados os dois métodos em análise.

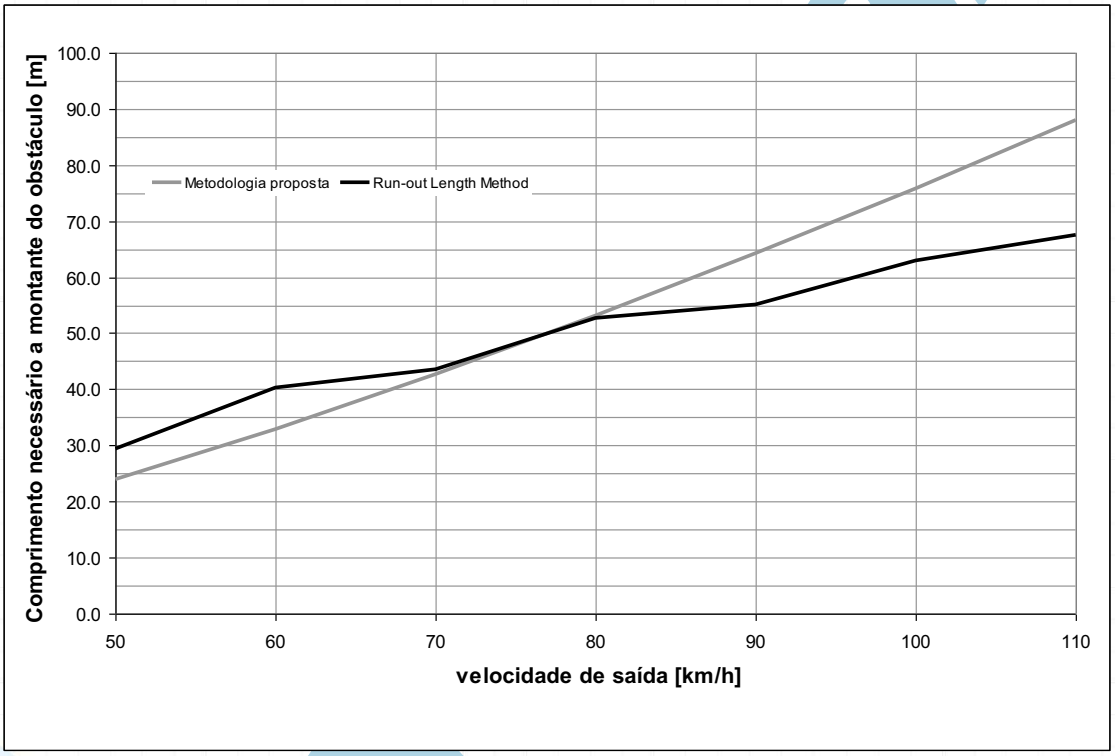


Figura 42 – Comprimento necessário a montante do obstáculo perigoso – comparação com o "*Run-out Length Method*".

Verifica-se que os valores obtidos para o comprimento necessário por este método são, de uma maneira geral, semelhantes aos anteriormente apresentados. Contudo, pode afirmar-se que a metodologia apresentada no *Roadside Design Guide* [4] é mais conservadora para velocidades de saída abaixo de 70 km/h, situação que se inverte para velocidades de saída superiores a 80 km/h – para idênticos ângulos de saída.

Anexo II – Comparação da Norma Europeia EN 1317 com as normas NCHRP

DOCUMENTO BASE

DOCUMENTO BASE

Em simultâneo com a primeira versão da Norma Europeia EN 1317, na década de 1990, o *National Cooperative Highway Research Program*7 (NCHRP) produziu, nos Estados Unidos da América, um relatório com características semelhantes, denominado NCHRP 350 [50]. Posteriormente, a *Federal Highway Administration* (FHWA), aprovou o documento como norma através de processo legislativo federal. À data, foram promovidos encontros entre o CEN e o NCHRP com o objectivo de encontrar maneiras de harmonizar estes dois documentos. No entanto, os prazos de entrega dos documentos, previamente agendados, impediram o desenvolvimento de um acordo de fundo. Ainda assim, com base no interesse manifestado pelos organismos envolvidos, espera-se que, pelo menos para certos elementos do processo de ensaio e avaliação, venham a ser adoptadas no futuro normas comuns. É igualmente de referir que são vários os países que seguem ao NCHRP 350, nomeadamente, Austrália e Nova Zelândia [6], Canadá [8] e África do Sul [16].

No Quadro 29 é feita uma análise comparativa dos requisitos de ensaio da Norma Europeia EN 1317 e do NCHRP 350 no que diz respeito aos níveis de retenção dos sistemas.

DOCUMENTO BASE

7 Entidade administrada pelo Transportation Research Board (TRB) e patrocinada pelos "member departments" da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), em cooperação com a Federal Highway Administration (FHWA).

Quadro 29 – Comparação dos requisitos de ensaio da Norma Europeia EN 1317 e do NCHRP 350 (adaptado de ([23] e [50])).

EN 1317					NCHRP 350				
Nível de retenção	Massa do veículo (kg)	Velocidade de embate (km/h)	Ângulo de embate (º)	Energia cinética do embate (kJ)	Nível de retenção	Massa do veículo (kg	Velocidade de embate (km/h)	Ângulo de embate (graus)	Energia cinética do embate (kJ)
T1	1300	80	8	6.2					
T2	1300	80	15	21.5					
T3	1300	80	8	6.2					
	10000	70	8	36.6					
					0	820	50	20	9.3
						1600	50	25	27.6
					1	820	50	20	9.3
						2000	50	25	34.5
					2	820	70	20	18.1
						2000	70	25	67.5
N1	1500	80	20	43.3					
N2	900	100	20	40.6	3	820	100	20	37
	1500	110	20	81.9		2000	100	25	137.8
					4	820	100	20	37
						8000	80	15	132.3
H1	900	100	20	40.6					
	10000	70	15	126.6					
H2	900	100	20	40.6					
	13000	70	20	287.5					
H3	900	100	20	40.6					
	16000	80	20	462.1					
H4a	900	100	20	40.6					
	30000	65	20	572					
					5	820	100	20	37
						36000	80	15	595.4
H4b	900	100	20	40.6	6	820	100	20	37
	38000	65	20	724.6		36000	80	15	595.4

Refira-se que no âmbito do Project 22-14 "*Improvement of Procedures for the Safety-Performance Evaluation of Roadside Features*" do NCHRP, foi recentemente conduzida uma análise aprofundada do NCHRP 350, para determinar a necessidade de alterações ao documento (por exemplo, a revisão de alterações na frota dos veículos de ensaio a partir dos dados de vendas de veículos nos E.U.A.) e propor aditamentos aos procedimentos de avaliação de desempenho. Foi igualmente realizada uma avaliação dos efeitos esperados associados a estas alterações.

O projecto foi parcialmente concluído em 2008 e da revisão dos procedimentos dos ensaios de choque resultou um documento AASHTO publicado em 2009 e intitulado "*Manual for Assessing Safety Hardware*" (MASH) [5]. O MASH define regras uniformizadas para ensaios de

choque de sistemas de retenção de veículos (permanentes e temporários) e estabelece recomendações de critérios de avaliação para os resultados dos ensaios.

O MASH é uma actualização do NCHRP 350, substituindo-o na avaliação de novos sistemas de retenção de veículos. O MASH não substitui quaisquer recomendações técnicas para o dimensionamento destes sistemas, informação que está contida no *Roadside Design Guide* [4] da AASHTO. De acordo com o plano de aplicação do MASH, aprovado conjuntamente pelos estados pertencentes à AASHTO e pelo FHWA, só os sistemas que não foram previamente ensaiados e avaliados de acordo com o NCHRP 350 deverão utilizar o MASH para os ensaios de choque e respectiva avaliação.

São enumeradas de seguida algumas das principais diferenças entre o MASH e o NCHRP 350:

- O ângulo de embate para os automóveis de menores dimensões é aumentado de 20 para 25 graus, de forma a coincidir com o ângulo de embate utilizado nos ensaios dos camiões de menores dimensões;
- A velocidade de embate para o ensaio relativo a camiões sem reboque é aumentada de 80 para 90 km/h, permitindo uma melhor distinção entre os ensaios TL-4 e TL-3;
- O ângulo de embate para o ensaio relativo ao comprimento necessário de terminais e amortecedores de choque é aumentado de 20 para 25 graus, de forma a coincidir com o das barreiras de segurança;
- Um ensaio frontal com o automóvel de tamanho médio é adicionado para simular o funcionamento dos amortecedores de choque;
- Especificações para o solo, baseadas no seu desempenho, são adicionadas às já existentes, para garantir a resistência do mesmo;
- Os requisitos relativos ao comprimento mínimo de instalação são especificados de forma mais clara;
- O tamanho e o peso dos veículos de ensaio são aumentados de modo a reflectir o aumento das dimensões da frota de veículos:
  - O veículo de ensaio 820C é substituído pelo 1100C;
  - O veículo de ensaio 2000P é substituído pelo 2270P;

DOCUMENTO BASE

  - O peso do camião sem reboque é aumentado de 8000 kg para 10 000 kg;
  - O camião sem reboque de ensaio deve ter um centro de gravidade com uma altura mínima de 28 polegadas.
- Os critérios de avaliação dos danos no pára-brisas são quantitativos, em vez de qualitativos e são aplicados em sistemas permanentes, em complemento aos já utilizados em zonas de trabalhos temporários;
- Os critérios de avaliação dos danos na cabine são quantitativos, em vez de qualitativos;
- Todos os critérios de avaliação serão do tipo "aprovação / reprovação", eliminando-se a hipótese de aprovação "marginal".

DOCUMENTO BASE