

SP 01/95

NT 186/95

Barreiras de Tráfego I:

Conceitos

Engº José Tadeu Braz

1. Introdução

Existe uma necessidade por parte dos engenheiros de projeto para escolha dos sistemas de segurança eficazes para o tráfego nas vias em geral. Embora o problema seja um dos que atualmente recebe ampla atenção nos países de Primeiro Mundo, o Brasil deu seus primeiros passos nos idos dos anos 70 através da implantação de defensas metálicas.

1.1 Um risco em si própria

Devido ao fato de ser reconhecido que as barreiras e defensas são um risco em si mesmas, é colocada ênfase na redução do número de tais instalações a apenas aquelas que possam ser solidamente justificadas.

2. Definições

Barreiras de Tráfego são apêndices na via que fornecem um grau relativo de proteção aos ocupantes dos veículos em função das características de risco da margem da estrada e dos veículos errantes que criam possibilidades de risco.

As barreiras de tráfego são classificadas em dois grupos básicos de acordo com a função:

- Longitudinais e
- Frontais (Figura 1)

2.1. Barreiras Longitudinais

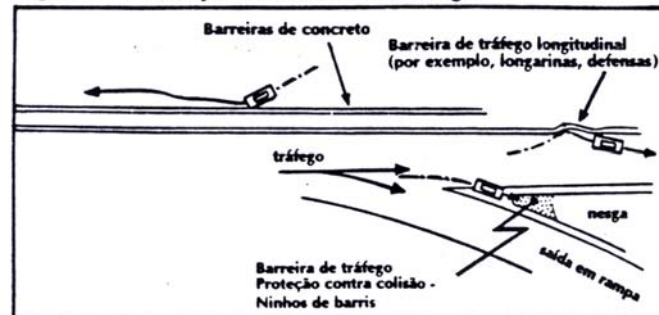
As barreiras de tráfego longitudinais têm como função principal o redirecionamento dos veículos errantes fora da margem da via. Exemplos de barreiras longitudinais são as de aço (*guard rail*) e de concreto, barreiras médias.

2.2. Barreiras Frontais

As barreiras frontais de proteção contra colisões funcionam principalmente para desaceleração dos veículos errantes até uma parada, dessa forma reduzindo a gravidade do impacto frontal com objetos fixos, existentes em áreas com nevas fora da rampa. Entretanto para desviar dos impactos juntamente com a lateral das barreiras, a proteção contra colisão precisa também funcionar como uma barreira

longitudinal. Exemplos de proteções são as configurações de barris metálicos, ninhos de armadilhas e uma fila de *containers* cheios de areia ou água.

Figura 1 - Definição de barreira de tráfego



3. Desempenho dinâmico de uma barreira ou defesa

3.1 Funções benéficas (para longitudinais e frontais)

- evitar danos a pessoas fora do veículo;
- impedir que os veículos leves e pesados penetrem em áreas perigosas
- fazer com que os esforços a que sejam submetidos os ocupantes do veículo se mantenham dentro de limites suportáveis
- minimizar o custo dos danos.

3.1.1. Para as longitudinais

- Uma barreira longitudinal precisa refrear o veículo selecionado. (O veículo selecionado é aquele que é representativo de uma grande maioria da população de veículos). Isto implica que um veículo selecionado de peso, dimensões, velocidade e ângulo de enfoque especificados, quando colidir com uma barreira não subirá, quebrará ou penetrará a instalação.
- Desviar o veículo que atinja a barreira, obrigando-o a seguir uma trajetória sensivelmente paralela à direção da barreira de segurança.
- Uma barreira longitudinal ou proteção contra colisão deve redirecionar ou parar o veículo selecionado, de tal forma a minimizar o risco para acompanhar ou ficar adjacente ao tráfego. De modo ideal, o veículo deve permanecer próximo à instalação da barreira ou defesa e não deve ser direcionado de volta ao fluxo de tráfego.
- Durante o impacto, a barreira longitudinal ou proteção contra colisão precisa funcionar de tal modo que não gere fragmentos que possam vir a comprometer as pessoas envolvidas direta ou indiretamente no acidente. Deve também garantir que o tráfego oposto e adjacente (mesmo sentido), não sejam danificados pelos fragmentos da barreira, que poderiam adentrar no compartimento de passageiros ou serem depositados no leito da via, evitando assim que haja um potencial gerador de novos acidentes.

3.1.2. Para as frontais

- a) A proteção contra colisão precisa desacelerar um veículo selecionado que impacta diretamente contra ela, de tal forma que os ocupantes refreados pelo cinto de segurança possam sobreviver com pouco ou nenhum dano físico.
- b) Resistir ao impacto de um veículo e a própria barreira não converter em ameaça para o tráfego.

3.1.3. Beleza, funcionalidade e custo

Deve reger a ordem de implantação de barreira ou defesa os seguintes aspectos, na seqüência:

- Segurança
- Custo
- Ética

A segurança deve constituir o argumento acima de qualquer suspeição estética para um sistema de proteção. Quanto ao custo, uma comparação dos benefícios tanto econômico como social deve ser feito. Quando possível, deve haver uma posição de equilíbrio entre os três.

3.1.4. Critérios de desempenho

Em um projeto convencional, a resistência estrutural é o critério básico do projeto. As cargas são impostas analiticamente num esquema estrutural, cujos elementos são escolhidos de modo que as tensões não excedam àquelas permitidas. Um sistema de barreiras de tráfego poderia ser projetado de forma similar, se a resistência estrutural fosse apenas o critério do projeto.

Por exemplo, pode ser necessário reduzir a rigidez de um sistema a fim de diminuir a rudeza e gravidade de um impacto, portanto melhorando a segurança.

Entretanto, a segurança dos ocupantes dos veículos que impactam com outro tráfego é também a principal necessidade de projeto e, os dois fatores – segurança dos ocupantes e resistência estrutural – mesmo sendo independentes, precisam ser considerados simultaneamente no projeto do sistema para atingir um desempenho ótimo para o tráfego para a defesa ou barreira.

4. Aspectos mais importantes da segurança

Os aspectos de segurança de uma barreira são assegurados segundo:

- A probabilidade dos ocupantes do veículo sobreviverem à colisão de barreira de tráfego, com pouco ou nenhum dano físico.
- A probabilidade da posição do veículo, após o impacto, não provocar uma colisão subsequente de carros com o tráfego adjacente

No primeiro, a tolerância humana à colisão hipotética é projetada com base na desaceleração do veículo. No segundo, a trajetória de pós-impacto do veículo é analisada com relação à geometria do leito da estrada. Infelizmente estes aspectos de segurança não podem ser teoricamente determinados com grau aceitável de confiança, e, portanto, ser determinado pelos métodos experimentais de custo mais elevado.

Os critérios de desempenho dinâmico de barreira de tráfego são formulados, para testes de colisão veicular, em escala natural dos sistemas de barreiras candidatos, onde, tanto a resistência quanto a segurança são simultaneamente avaliadas. Estes critérios são compostos de:

- Características de impacto de veículo
- Necessidades de resposta das barreiras, apresentadas na forma de desaceleração e trajetória do veículo.

Se o sistema de barreira contém o veículo em movimento (isto é, resistência estrutural), as desacelerações do veículo são julgadas dentro do nível de tolerância humana e, se a trajetória pós-impacto do veículo é aceitável, a barreira candidata é considerada aceitável para uso experimental em serviço. Após o sistema ter sido cuidadosamente monitorado e avaliado no serviço e sua eficácia ter sido estabelecida, o sistema é julgado como operacional.

4.1. Critério do desempenho dinâmico

4.1.1 Integridade estrutural

Para a barreira longitudinal, a primeira necessidade de desempenho dinâmico é refrear o veículo selecionado de outra forma, não pode efetivamente proteger a característica de margem de estradas (isto é, caída lateral, objeto físico, etc.). Uma barreira longitudinal que não evita a penetração do veículo (isto é, por salto, transposição ou penetração por trilha) pode ser um risco maior devido ao seu comportamento relativo do que devido à característica da margem da estrada para proteger. Portanto, apenas os sistemas de barreiras longitudinais, que refreiam o veículo selecionado, são aceitáveis para uso operacional.

No redirecionamento ou parada do veículo, a barreira longitudinal ou proteção contra colisão precisam desempenhar ou funcionar de tal forma a minimizar o risco do compartimento do passageiro ser invadido por peças ou elementos do sistema. Por exemplo, o projeto de instalação deve minimizar a chance de um cilindro entrar no veículo ou o sistema se fragmentar em projéteis letais.

Tabela 1 - Características de impacto do veículo

Tipo de Barreira de Tráfego	Características de Impacto de Veículo			Ponto de Impacto da Barreira
	Peso (Kg)	Velocidade (Km/h)	Ângulo (grau)	
Longitudinal	2.000	100	25	A*
Proteção contra Colisão	900	100	0	B
	2.000	100	0	B
	2.000	100	15	C
	2.000	100	25	C

*A - meio do caminho entre postes; B - ponta de barreira;
C - junto à lateral da barreira.
Apenas para avaliação da resistência estrutural

4.2 Característica de Impacto de Veículo

As características de impacto são apresentadas na Tabela anterior para todos os sistemas de barreira de tráfego. Embora existam outras propriedades dos veículos que afetam o desempenho dinâmico de uma barreira, os mais significativos são:

- peso
- velocidade
- ângulo de enfoque
- ponto de impacto

Os valores de parâmetros escolhidos representam uma colisão severa, ao invés de típica. Para os veículos de passageiro de peso padrão, estas características são: veículos de 2000kg em colisão com o sistema candidato a 96km/h em um ângulo de 25°.

Nas proteções contra acidentes são avaliadas para veículos de peso leve 900 kg e peso padrão de 2000kg, que impactam diretamente na barreira. Além disso, para proteções contra colisão que estão sujeitas às colisões angulares, dois conjuntos adicionais de condições de testes são impostos: ângulos de 15° e 25° em colisão.

O teste de proteção contra colisão com ângulo de 15° é avaliado de acordo com os critérios de desempenho estabelecidos para uma barreira longitudinal, considerando que o teste de proteção contra colisão em 25° é atualmente avaliado apenas para a resistência estrutural da barreira. (*).

(*) É desejável ter proteção contra colisão que desempenharão em todos os sentidos a 100km/h a ângulo de 25°, entretanto, a atual geração de projetos não tem esta capacidade. Portanto, até que esta capacidade seja desenvolvida, o impacto a 25° é considerado como critério mínimo de teste, onde o desempenho de redirecionamento é avaliado.

4.2. Desaceleração do veículo

O objetivo de uma barreira de tráfego de um sistema viário é reduzir o número de fatalidades e a gravidade dos danos físicos dos ocupantes em veículos fora da via. O dano físico aos ocupantes e a fatalidade são usualmente relacionados com:

- Gravidade do acidente (isto é, intensidade e duração da desaceleração do veículo);
- Condições psicológicas dos passageiros antes da colisão;
- Grau de refreamento dos passageiros; e
- A probabilidade de colisão do veículo.

Entretanto, destes fatores, apenas a gravidade do acidente fica afetada pelo desempenho dinâmico de uma barreira de tráfego. O principal desempenho de tráfego é avaliado na desaceleração induzida no veículo durante uma colisão. Ao comparar o desempenho de dois ou mais sistemas de barreiras de tráfego, aquele que induz o nível mais baixo de desaceleração no veículo que colide é geralmente o preferido. Determinado por teste de colisão em escala natural conforme Tabela 1

4.2.1. Barreiras longitudinais

Os valores de parâmetro, para desaceleração máxima do veículo (no centro da massa) são apresentados na Tabela 2 de acordo com os eixos de referência do veículo e três classificações de desempenho. O procedimento utilizado para estabelecer os valores de desaceleração dados na Tabela 2 não estão

precisamente descritos na referência original. Entretanto, os pesquisadores sugeriram a utilização da média de desaceleração em mais de 50 milissegundos que ocorre próxima ao centro da massa do veículo durante o impacto, conforme Gráfico 1.

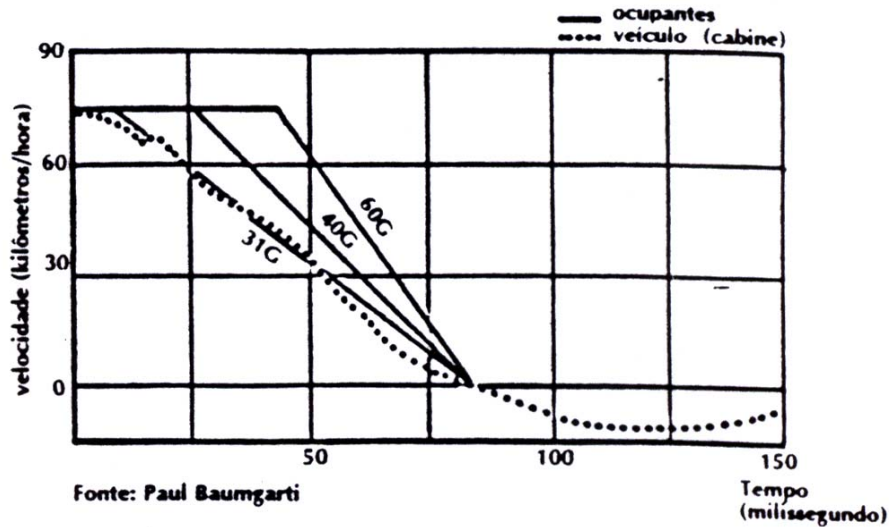
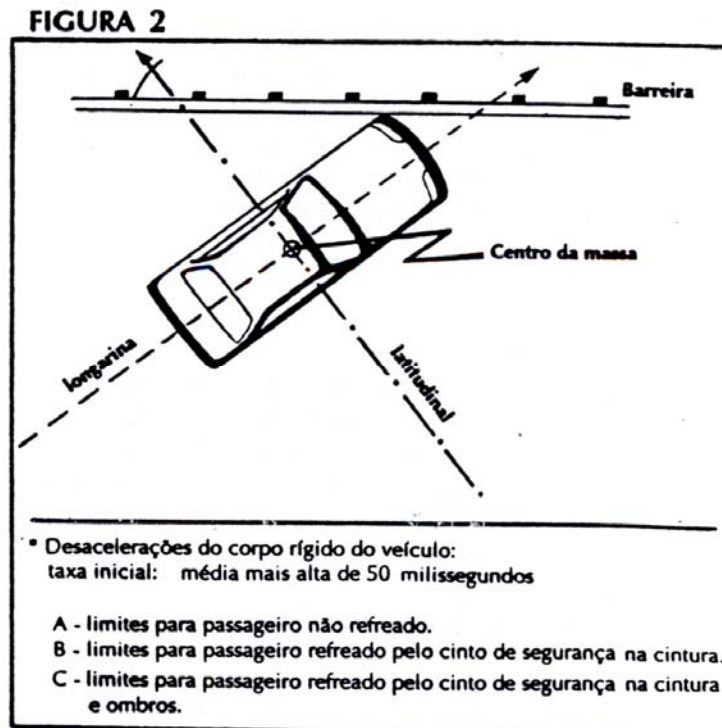


Gráfico 1

Os limites de desaceleração aqui fornecidos não são limites nominais para “sem dano físico”, mas, ao invés, são limites máximos além dos quais um dano físico ou fatalidade podem ser esperados. A ordem de preferências é a Classificação A, B e C. As barreiras, com valores de desaceleração de teste de colisão em escala total dentro dos limites da Tabela 2 são consideradas como tendo satisfeito a necessidades de desaceleração.

Tabela 2 - Desacelerações máximas do veículo

Classificação de Desempenho de Barreiras	Desaceleração Máxima do Veículo (G) *			Observações
	Lateral	Longitudinal	Total	
A	3	5	6	Escopo preferido
B	5	10	12	
C	15	25	25	



4.2.2. Barreiras de proteção contra colisão

Para testes de proteção contra colisão (onde a aceleração do veículo é mínima), uma desaceleração média máxima permitida de veículos é de 12g como calculada a partir da velocidade de impacto do veículo e distância de parada, conforme equação 1:

Equação 1

$$G = \frac{V^2}{2g \cdot X}$$

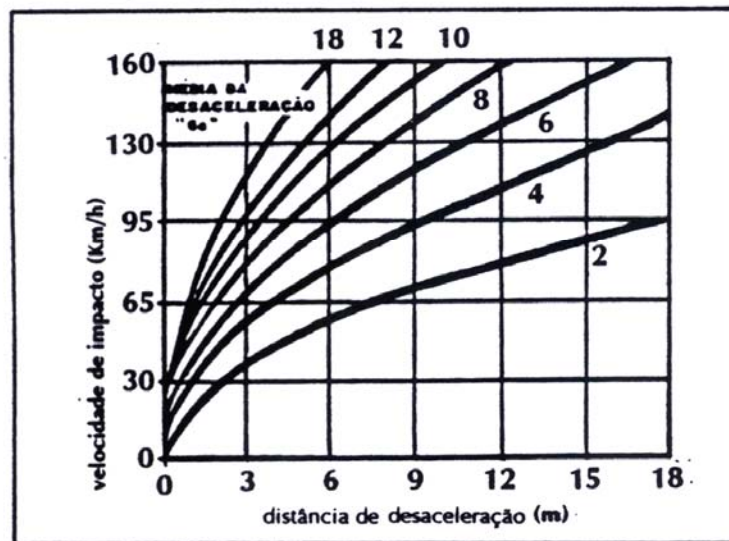
G = gravidade do impacto

V = velocidade de impacto do veículo

g = aceleração devido à gravidade

x = distância de penetração do veículo (ou parada)

Gráfico 2 - Relacionamento teórico entre: distância de desaceleração e velocidade



Neste nível de desaceleração, a evidência existente indica que danos físicos podem ser esperados na maioria das colisões. Menores níveis de desaceleração são desejáveis na medida em que estes reduzirão a gravidade e o número de danos físicos que produzem acidentes. Para os impactos laterais, o critério de desaceleração da barreira longitudinal (Tabela 2) é aplicável.

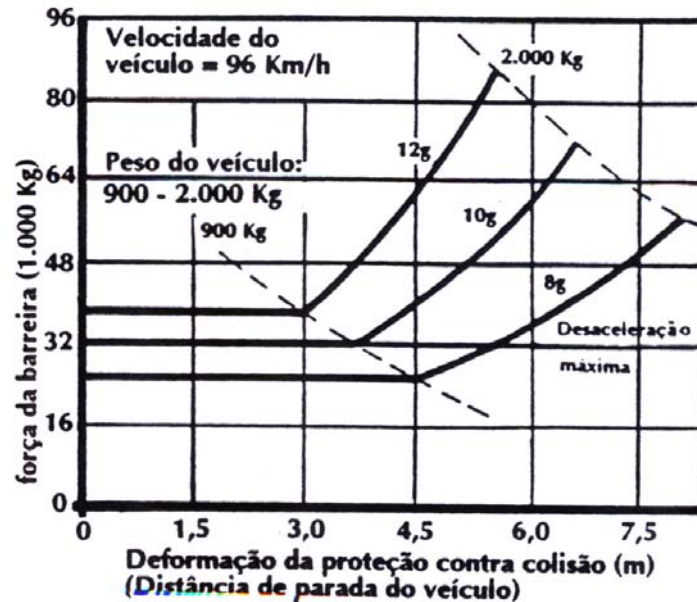
4.2.3. Trajetória de pós-impacto do veículo

A fim de minimizar a possibilidade de envolver outro veículo, o terceiro critério de desempenho é para veículos que impactam longitudinais ou as laterais de proteção contra colisão a serem redirecionadas em uma trajetória praticamente paralela à borda do pavimento. Para colisões normais ou angulares na ponta da proteção contra colisão, a trajetória pós-impacto do veículo é julgada satisfatória se o veículo não é ricocheteado nos fluxos principais de tráfego.

Os acidentes nos quais um veículo é redirecionado no trânsito e torna-se envolvido em uma colisão de carros múltiplos parecem ser em pequeno número. Conforme a trajetória pós-impacto é uma consideração de desempenho que está reservada para fazer uma seleção entre os sistemas que são compatíveis com as características de resistência estrutural e as desacelerações produzidas durante o redirecionamento do veículo.

As desacelerações longitudinais, transversais ou verticais são funções diretas da velocidade lateral de impacto.

Gráfico 3 - Relacionamento teórico entre: deformação e força da barreira



5. Modo de atuação da barreira

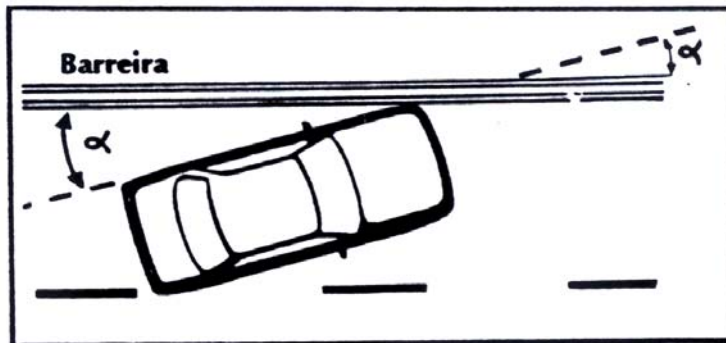
A forma geral da barreira rígida de concreto é mostrada nas Figuras 4, 5, e 6 à frente que atua o veículo desgovernado, da forma descrita a seguir.

5.1. Meio-fio A

Trecho vertical com altura compreendida entre 5 e 7,5cm (2 a 3 polegadas) e é o primeiro elemento de redirecionamento do veículo.

Para pequena combinação de velocidade (V) e ângulo de impacto (α) e, talvez para pequenos valores da componente lateral da velocidade ($V \sin \alpha$), apenas este elemento é suficiente para reconduzir o veículo à pista sem qualquer outro problema, o atrito de rodas com este ressalto também desacelera o veículo, como mostrado na Figura 3.

FIGURA 3



A altura deste meio-fio deve ser limitada para não reter as rodas do veículo, no caso de grandes valores da velocidade lateral, evitando assim o capotamento.

A altura deste meio fio deve ser limitada para não reter as rodas do veículo, no caso de grandes valores da velocidade lateral, evitando assim o capotamento.

Figura 4

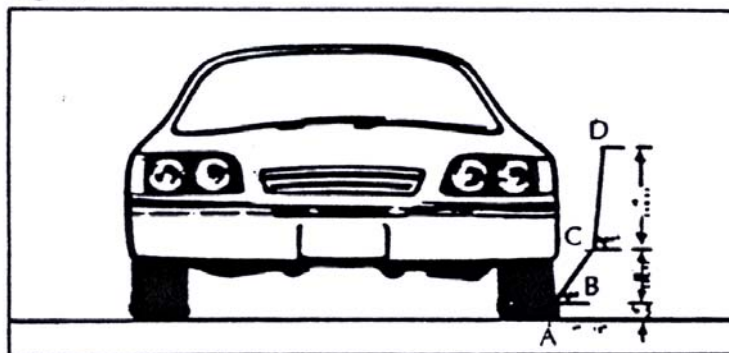
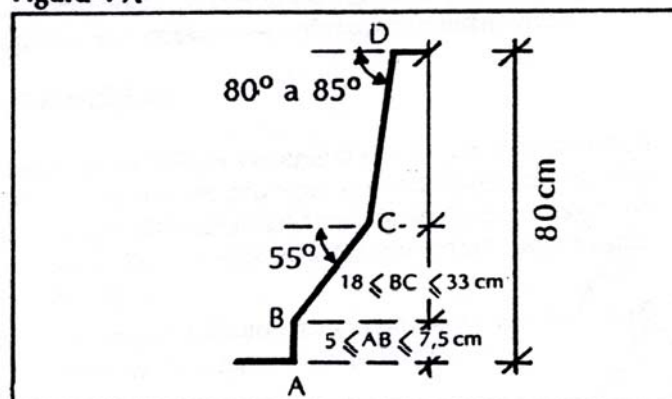


Figura 4 A

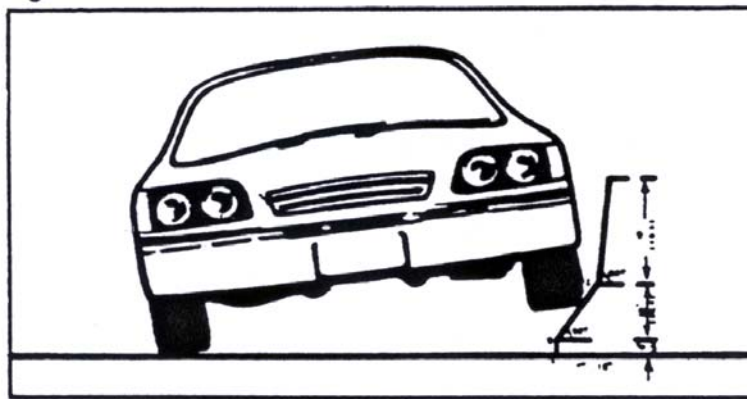


5.2. Rampa BC

Esta rampa tem inclinação de 55° e a altura varia de 18 a 33 cm (7 a 13 polegadas). Este elemento da barreira de tem por finalidade a absorção da energia cinética do veículo, por efeito da deformação do seu sistema de suspensão (molas e amortecedores). Parte da energia cinética do veículo se transforma em energia potencial, devido à elevação do seu centro de gravidade e, em energia cinética, a rotação em torno do seu eixo longitudinal (rolagem). O veículo começa a inclinar para dentro da pista.

Esta rolagem é contrária à tendência de capotamento pelo encontro com o meio-fio. A roda dianteira ao encontrar a rampa é forçada energicamente para o interior da pista, o que constitui uma segunda tentativa de recondução do veículo.

Figura 5



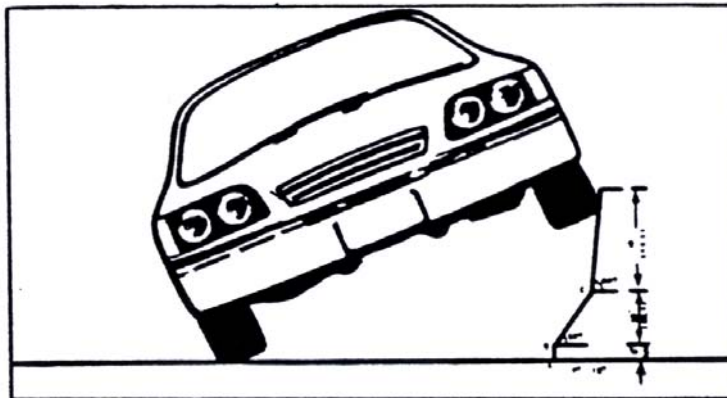
5.3. Mureta CD

Esta parede quase vertical (o ângulo com a horizontal é de 80° a 85°), atua lateralmente sobre as rodas do veículo, praticamente sem possibilidades de ser escalada. Se o ângulo de impacto for grande (superior a 10°) o pára-choque e o pára-lama dianteiro podem bater contra a mureta, reconduzindo o veículo à pista sem qualquer outro problema.

A inclinação máxima (rolagem) é atingida neste momento, mas é contrária à tendência de capotamento devido à ação de recondução do veículo à pista. Essa inclinação evita, ou pelo menos reduz os estragos à carroceria do veículo, pois esta não só é atingida em casos de grande valor da componente lateral da velocidade ou em casos de ângulos de impacto superiores à ordem dos 10° .

Do ponto de vista de preservação do veículo, é neste ponto que reside a principal diferença entre este tipo de barreiras e a que atua lateralmente, pois a segunda atua imediata e diretamente sobre as partes laterais do veículo causando estragos, mesmo em casos de pequena componente lateral de velocidade.

Figura 6



6. Funcionamento da defesa metálica

Figura 7-A

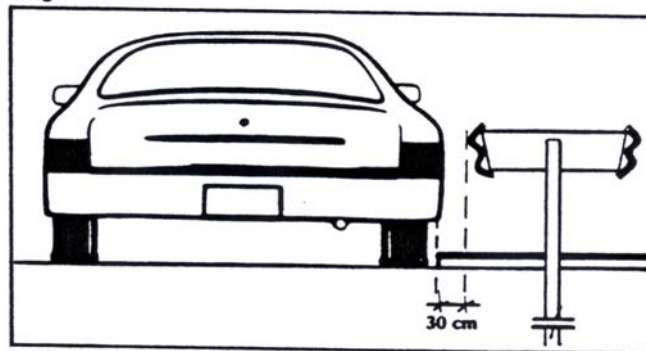
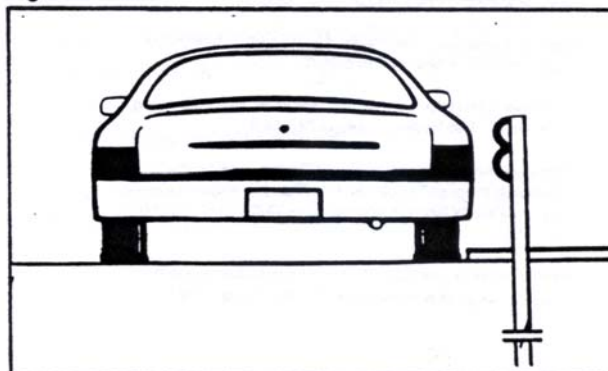


Figura 7-B



6.1. Ângulo de retorno

Este dado é muito importante, pois um ângulo de retorno pode resultar em choque entre veículos que trafegam no mesmo sentido.

No choque com barreiras rígidas, o ângulo de retorno observado tem sido bem pequeno, ao contrário do que ocorre com as barreiras deformáveis (defensas).

Ao se chocar com uma barreira rígida, a frente (lado de impacto) do veículo é jogada energicamente para o lado oposto ao do impacto; o veículo começa a sofrer um movimento de rotação em torno de um eixo vertical; a dianteira se afasta e a traseira se aproxima da barreira; logo em seguida, a traseira (também lado do impacto) se choca, praticamente com o mesmo ponto da barreira, interrompendo-se aquela rotação quando o veículo estiver paralelo à pista.

Nos casos em que a barreira se deforma, após impacto com a dianteira do veículo, o movimento de rotação continua até que a sua traseira bata no mesmo ponto da barreira, deslocado pela deformação, o que implica em uma rotação maior, ou seja, recondução do veículo à pista num ângulo maior.

Figura 8 Barreira rígida (concreto)

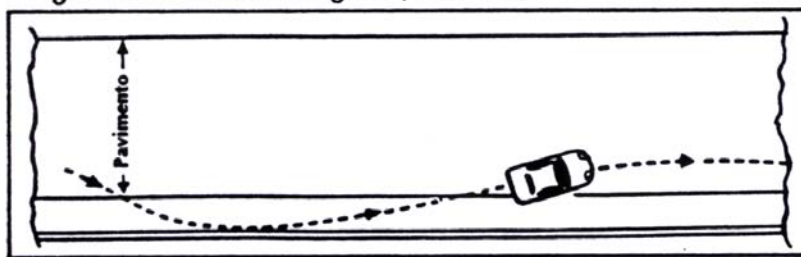
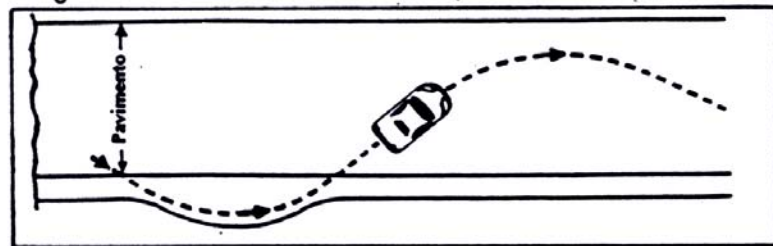


Figura 9 Barreira deformável (defensa metálica)



Referência Bibliográfica

- 1) Curso de Segurança no Trânsito – CET: apostila
- 2) Dirigente Construtor. São Paulo 12 (10): 63-5, 67-9, jul. ago. set. out. e Nov. de 1976
- 3) Giammusso, salvador Eugênio. *Barreiras de Segurança* – 2ª edição Rev. Atual. São Paulo, ABCP, 1979 – 36p.
- 4) Highway Research Board – National Cooperative Highway research Program. *Location, selection and maintenance of highway traffic barriers*. Washington C.C., 1971 (NCHRP nº 118)
- 5) Lehfeld, Gilberto Monteiro – *Segurança veicular: parte II* – Revista Pesquisa e Tecnologia – FEI nº 13, Nov. 1992

Engº José Tadeu Braz

Gerência de Projetos Viários / Superintendência de Projetos / Diretoria de Operações

Colaboradores:

Carlos Alberto Saraiva Cossadeira

José Luiz Augusto

Edlene Carneiro

Vanda Menezes Ferreira.

Revisão Técnica:

Arq. Edison de Oliveira Viana Jr. (GPV/SPR)