Campus de São Carlos

**GEOMETRIA E DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE PARA
FRENAGEM EM CURVAS HORIZONTAIS
DE RODOVIAS**

PLINIO DA COSTA TEMBA

ORIENTADOR:

PROF. DR. JOSÉ BERNARDES FELEX

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**GEOMETRIA E DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE
PARA FRENAGEM EM CURVAS HORIZONTAIS
DE RODOVIAS**

DEDALUS - Acervo - EESC

31100013598

Plinio da Costa Temba

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Transportes.

Orientador: Prof.Dr.José B. Felex

São Carlos
1995

Class.	70se-88SC
Cut.	5982
Tombo	063/95

Transportes

ST 0741921

Temba, Plinio da Costa

Geometria e distância de visibilidade para frenagem em curvas horizontais de rodovias/Plinio da Costa Temba.

São Carlos, 1995.

1v.

Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos-
Universidade de São Paulo, 1995

Orientador: Prof.Dr.José Bernardes Felex

1.Engenharia de Transportes-Infra-estrutura viária.1.Título

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	v
I. INTRODUÇÃO	1
1.1. A distância de visibilidade nas curvas	3
1.2. Estimativa da distância mínima de visibilidade necessária para frenagem	4
II. RELAÇÕES GEOMÉTRICAS ENTRE DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE E PARÂMETROS DAS CURVAS HORIZONTAIS CIRCULARES	9
2.1. Distância de visibilidade, na hipótese 1 - Observador e objeto na curva horizontal	11
2.2. Distância de visibilidade na hipótese 2-Observador antes do início e objeto na curva horizontal	13
2.3. Distância de visibilidade para a hipótese 3 -Observador na curva e objeto além do fim da curva (na tangente)	15
2.4. Distância de visibilidade na hipótese 4 - Observador antes do início e objeto na tangente, além do fim da curva	16
2.5. Generalização do procedimento de cálculo da distância de visibilidade em curvas horizontais circulares	17
2.6. A distância de visibilidade e a distância percorrida pelos veículos	22

III. A DISTÂNCIA RADIAL LIVRE DE OBSTÁCULOS VISUAIS	23
3.1. Relações geométricas da distância radial livre de obstáculos	23
3.2. A área livre de obstáculos visuais	25
3.3. Área livre de obstáculos e a AASHTO	29
IV - SOBRE RECOMENDAÇÕES DO DNER E A DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE PARA FRENAGEM	30
4.1. A distância de visibilidade para frenagem segundo o DNER (1972)	31
4.2. A distância de visibilidade para frenagem segundo o DNER (1979)	33
4.3. Afastamentos laterais para atender a visibilidade nas curvas, (DNER, 1979)	36
V. DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE PARA FRENAGEM DO DNER (1972, 1979) DE PONTOS DE VISTA DA AASHTO (1990)	38
5.1. Coeficientes de atrito longitudinal pneu-pavimento	39
5.2. As distâncias mínimas de visibilidade necessárias para frenagem	40
5.3. A distância de visibilidade e as rampas	42
5.4. A área lateral livre de obstáculos laterais	46
VI. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	47
6.1. Distância de visibilidade e geometria	47
6.2. O DNER e a distância de visibilidade para frenagem	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

Lista de figuras

	Página
Figura 1.1 - Ilustração do processo de visibilidade em curvas horizontais	3
Figura 2.1. Representação e notação do estudo da hipótese 1. Observador e objeto na curva horizontal circular	11
Figura 2.2. Representação e notação do estudo da hipótese 2. Observador antes do PC e objeto na curva horizontal	13
Figura 2.3. Representação e notação do estudo da hipótese 3. Observador na curva horizontal circular e objeto além do fim da curva	15
Figura 2.4. Representação e notação do estudo da hipótese 4. Observador antes do início e objeto além do fim da curva	16
Figura 3.1. O afastamento lateral livre de obstáculos visuais	26
Figura 3.2. Área livre de obstáculos visuais	27
Figura 3.3. Área livre de obstáculos para $S > L$.	28
Figura 4.1. Hipóteses e notação utilizadas pelo DNER (1979) para estudos de afastamentos laterais de obstáculos visuais	37
Figura 5.1. Comparação entre os coeficientes de atrito propostos pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990)	39
Figura 5.2. Comparação entre as distâncias mínimas de visibilidade para frenagem, estimadas pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990) - valores mínimos	40
Figura 5.3. Comparação entre as distâncias mínimas de visibilidade para frenagem, estimadas pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990) - valores máximos	40
Figura 5.4. Comparação entre os acréscimos às distâncias de visibilidade estimadas pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990), devido às descidas - valores mínimos, em metros	42
Figura 5.5. Comparação entre os acréscimos às distâncias de visibilidade estimadas pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990), devido às descidas - valores máximos, em metros	43
Figura 5.6. Comparação entre os acréscimos às distâncias de visibilidade estimadas pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990), devido às subidas - valores máximos, em metros	44
Figura 5.7. Comparação entre os acréscimos às distâncias de visibilidade estimadas pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990), devido às subidas - valores máximos, em metros	44
Figura 5.8. Comparação entre os decréscimos às distâncias de visibilidade estimadas pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990), devido às subidas - valores mínimos, em metros	45

Lista de tabelas

	Páginas
Tabela 1.1. Coeficiente de atrito longitudinal entre pneu e pavimento. (AASHTO, 1990, página 120)	5
Tabela 1.2. Distância de visibilidade necessária para a frenagem, para segmentos planos. (AASHTO, 1990, página 120)	6
Tabela 1.3. Efeito do perfil longitudinal na distância de visibilidade para frenagem. (AASHTO, 1990, página 125)	7
Tabela 1.4. Distâncias de visibilidade para decisão e manobras de evasão. (AASHTO, 1990, página 127)	8
Tabela 2.1 - Notação adotada para estudos de relações geométricas entre distância de visibilidade e parâmetros das curvas horizontais	10
Tabela 2.2. Generalização do procedimento de cálculo da distância de visibilidade conforme a fórmula (2.10)	17
Tabela 4.1. Classificação de rodovias brasileiras segundo o DNER	30
Tabela 4.2.a. Velocidade de projeto para novas rodovias no Brasil (<i>km/h</i>). (DNER, 1974, página 1972-9-2/30)	31
Tabela 4.2.b. Velocidade de projeto para rodovias existentes no Brasil (<i>km/h</i>). (DNER, 1974, página 1972-9-2/30)	31
Tabela 4.3. Distância mínima de visibilidade para frenagem em rodovias novas no Brasil (<i>m</i>). (DNER, 1974, página 1972-9-12/30)	31
Tabela 4.4. Distância mínima de visibilidade para frenagem nas rodovias existentes no Brasil (<i>m</i>). (DNER, 1974, página 1972-9-13/30)	31
Tabela 4.5. Coeficientes de atrito segundo o DNER. (DNER, 1974, página 1972-9-13/30)	32
Tabela 4.6. Largura de faixas de trânsito para rodovias novas no Brasil (<i>m</i>). (DNER, 1974, página 1972-9-15/30).	32
Tabela 4.7. Largura de faixas de trânsito para rodovias existentes no Brasil (<i>m</i>). (DNER, 1974, página 1972-9-22/30).	32
Tabela 4.8. Largura de acostamentos para rodovias existentes no Brasil (<i>m</i>). (DNER, 1974, página 1972-9-22/30).	33
Tabela 4.9. Velocidades para estimativa da distância mínima de visibilidade para frenagem (<i>km/h</i>). (DNER, 1979, página 42)	33
Tabela 4.10. Coeficientes que exprimem o processo de frenagem. (DNER, 1979, página 43)	34
Tabela 4.11: Valores da distância mínima de visibilidade para frenagem, estimados pelo DNER (1979, página 43) - trechos planos.	34
Tabela 4.12. Correções nas distâncias mínimas de visibilidade para frenagem (<i>m</i>). Valores mínimos. (DNER, 1979, página 45)	35
Tabela 4.13. Correções nas distâncias mínimas de visibilidade para frenagem (<i>m</i>). Valores máximos. (DNER, 1979, página 45)	35
Tabela 4.14. Afastamento lateral mínimo de obstáculos fixos em trechos em tangentes (<i>m</i>). DNER (1979, página 58)	36
Tabela 5.1. Distâncias de visibilidade para frenagem - comparação entre carros e caminhões (OLSON et alii, 1984 - página 22)	45
Tabela 5.2. Propostas para a distância lateral livre de obstáculos. (OLSON et alii, 1984)	46

RESUMO

Nesse trabalho, mostrou-se que há relações geométricas entre parâmetros que caracterizam uma curva horizontal circular de uma via e a distância de visibilidade necessária para a operação de frenagem durante a condução de veículos. Mostrou-se, outrossim, que é possível, através de estudos de geometria das curvas caracterizar “áreas que devem ser mantidas livres de obstáculos visuais nas laterais de curvas das vias” para assegurar, aos motoristas, as condições de visibilidade para frenagem. Dessa forma, mostrou-se que o estudo das distâncias de visibilidade nas curvas horizontais circulares das vias pode ser efetuado adotando-se formulações exatas, tanto para a capacidade de frenar com segurança os veículos, como para assegurar aos motoristas a necessária distância lateral livre de obstáculos à visão. Além disso, discutiram-se alguns tópicos sobre as recomendações do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, visando esclarecer aspectos sobre os resultados de aplicação de processos propostos para estudos da distância de visibilidade para frenagem, sua qualidade e grau de atualização.

ABSTRACT

It was shown that there are geometric relationships among the characteristics of the elements of a horizontal circular roadway curve and the necessary stopping sight distance during the operation of vehicles. Also it was shown that it is possible the definition of offsets to sight obstructions offering to the driver the needed stopping sight distance on curves. So the study of sight distances on curves should be done by using exactly mathematical formulation. After that it was discussed some topics from the standards of the National Highway Department (Brazil) to clear on their results, quality and actualization.

Geometria e distância de visibilidade para frenagem em curvas horizontais de rodovias

Plínio da Costa Temba

I. Introdução

Para evitar a colisão com um objeto na via, o processo de frenagem para a parada de um veículo contém principalmente as operações de:

- a. Percepção do objeto, pelo condutor do veículo;
- b. Reação do condutor e início da frenagem com o acionamento dos freios do veículo;
- c. Deslocamento do veículo, durante os intervalos de tempo para percepção do obstáculo e decisão (reação) pelo condutor;
- d. Deslocamento do veículo após o acionamento dos freios (frenagem propriamente dita), até a parada do veículo.

A capacidade do condutor ver à frente é de extrema importância para a operação segura de veículos nas vias. A trajetória e a velocidade dos veículos nas ruas e rodovias são controlados pelos motoristas, que possuem habilidade, treinamento e experiências diferenciadas. Para segurança das vias, elas devem possuir distâncias de visibilidade de comprimento suficiente para permitir aos condutores os espaços e tempos de operação do veículo adequados para evitar as colisões com objetos presentes na trajetória dos veículos, sobre a via.

Distância de visibilidade é o comprimento, a frente na via, visível ao condutor. A *distância mínima de visibilidade necessária para frenagem* (D_f ou SD) pode ser definida como o menor comprimento de uma linha de visada do condutor a um objeto na trajetória do veículo, que trafegue à velocidade de projeto da via, e que permite a execução de todas as operações para a parada do veículo antes do objeto. Ou seja, é a distância mínima para que um veículo, trafegando na velocidade de projeto, possa ser operado para parar com segurança antes de atingir um objeto em sua trajetória.

A distância de visibilidade para frenagem (D_f ou SD) é um dos mais importantes critérios da geometria de vias porque afeta a operação dos veículos e a segurança do tráfego. Uma via deve ter condições e distâncias de visibilidade para que os condutores possam ver objetos nas trajetórias dos veículos em condições de frear, com segurança, antes de colidir com tais obstáculos.

Nesse trabalho, mostrar-se-á que há relações geométricas entre parâmetros que caracterizam uma curva horizontal circular de uma via e a distância de visibilidade necessária para a operação de frenagem durante a condução de veículos. Mostrar-se-á, outrossim, que é possível, através de estudos de geometria das curvas caracterizar “áreas que devem ser mantidas livres de obstáculos nas laterais de curvas das vias” para assegurar, aos motoristas, as condições de visibilidade para frenagem. E, que o estudo de distâncias de visibilidade nas curvas pode ser efetuado através de formulações exatas. Além disso, discutir-se-ão alguns tópicos sobre as recomendações do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER, 1972, 1984), visando esclarecer aspectos sobre os resultados de aplicação de processos propostos para estudos da distância de visibilidade para frenagem, sua qualidade e grau de atualização.

Nesse trabalho nos fixaremos sobre a distância de visibilidade para frenagem porque, apesar de também necessários, os estudos sobre distância de visibilidade aplicados à ultrapassagem contêm muitos aspectos ligados à operação de rodovias, que podem ser objetos de outras linhas de pesquisa e análise.

A distância de visibilidade para frenagem e a frenagem para evitar a colisão com objetos na via depende de fatores humanos, do veículo, da rodovia e do ambiente, além das velocidades de operação. Por isso, é uma variável de difícil análise e entendimento. E, vem sendo estudada há pelo menos oitenta anos através de experiências práticas, deduções teóricas, análises estatísticas, etc.

HALL & TURNER (1989) comentam que os trabalhos sobre a distância de visibilidade publicados entre 1914 e 1940 ressaltaram a importância do tópico para a segurança das vias, mas, não contribuíram muito para o seu entendimento. Durante esse período, a ênfase foi em estudar as condições para que um condutor pudesse ver outro veículo em tempo de tomar uma ação evasiva.

Os conceitos de estudo sobre a distância de visibilidade para frenagem mudaram drasticamente com a publicação do processo de estimativa da distância mínima de visibilidade para frenagem proposto pela AASHO (1940), que se tornou clássico e faz referências específicas a velocidades, objetos, altura dos olhos do observador, e tempos de percepção e reação dos motoristas. A partir daí (AASHTO, 1954, 1965, 1971, 1984; COQUAND, 1956; DNER, 1972; OLSON et alii, 1984; etc.) os processos de análise da distância de visibilidade para frenagem foram gradualmente assimilando e aperfeiçoando o uso das propostas da AASHO (1940): a ênfase nas pesquisas sobre o assunto passou então a ser em melhor quantificar e qualificar os parâmetros propostos e modificá-los para maior acurácia ao refletir os eventos durante a frenagem para evitar colisões.

Há uma clara relação entre os impactos da distância de visibilidade para frenagem e a segurança das vias. Entretanto isso é de difícil quantificação e qualificação porque (OLSON et alii, 1984; CLEVELAND, 1985) é difícil separar os efeitos atribuíveis à distância de visibilidade dos relacionados a outros componentes da via e manter controles apropriados para os estudos das variáveis que qualificam a segurança.

1.1. A distância de visibilidade nas curvas

Quando estudamos a “*distância de visibilidade para frenagem nas curvas horizontais*” temos a tecer comentários sobre dois processos distintos - sobre a “visualização do objeto pelo motorista” e sobre o “percurso, pelo veículo na curva, da distância de visibilidade para frenagem”:

Figura 1.1 - Ilustração do processo de visibilidade em curvas horizontais

A figura (1.1) ilustra os dois processos usados no estudo da distância de visibilidade para frenagem nas curvas horizontais. A reta que une o obstáculo visual ao objeto a ser visualizado define a reta de visualização do objeto pelo motorista. A *distância de visibilidade ao objeto* é, através da curva de centro O , para o observador (motorista), S . O percurso dos olhos do observador SD é (AASHTO, página 219), no centro da faixa de tráfego interna a curva, adotado como o percurso do veículo de estudo.

Adotando-se a hipótese de que o percurso dos olhos do motorista seja o mesmo que o do veículo, caso a distância S , uma corda da curva sob análise, corresponda a uma distância de percurso através da linha central da faixa interna da curva pelo veículo, arco SD , de desenvolvimento igual à distância mínima necessária para frenagem do veículo a partir do instante em que o motorista visualize o objeto, diremos que S é “*corda de visibilidade para frenagem na curva horizontal*”.

Em relação ao tempo de percurso, à corda S , correspondente à distância mínima necessária para frenagem na curva horizontal, corresponderia a um tempo de percurso do veículo na curva igual ao tempo de percurso na distância para frenagem prevista para a reta nas rodovias.

E, ainda usaremos o termo “*distância de visibilidade para frenagem na curva horizontal*” para designar o desenvolvimento (ou comprimento) do arco SD .

1.2. Estimativa da distância mínima de visibilidade necessária para frenagem

Por considerarmos que, no presente momento das normas vigentes no meio técnico, as propostas contidas nas recomendações da AASHTO (AASHTO, 1990, páginas 117-140) são as que melhor refletem o atual “estado da arte” dos estudos e pesquisas aplicados ao processo de estimativa da mínima distância de visibilidade necessária para a frenagem durante a operação de veículos nas rodovias, exporemos detalhes e comentários sobre tal procedimento, o principal método de estimativa da distância de visibilidade para frenagem.

Segundo a AASHTO (1990) a distância mínima de visibilidade necessária para a frenagem pode ser estimada através da soma de duas distâncias: a percorrida pelo veículo a partir do instante em que o motorista visualiza um objeto, aos instantes em que os freios são aplicados e o veículo percorre a distância necessária para parar após a ação dos freios. As distâncias percorridas são chamadas, respectivamente, de “percepção e reação”, e de “frenagem”.

“*Tempo de percepção e reação*” é o intervalo de tempo decorrido entre o instante em que o motorista percebe o objeto e aquele onde aplica o freio ao veículo. Esse intervalo inclui o tempo para que o motorista tome a decisão de parar o veículo. A AASHTO (1990) recomenda a adoção de um tempo de percepção e reação de 2.5 segundos.

Entretanto, convém frisar que o tempo de percepção e reação varia de motorista a motorista nas vias: depende da cor, tipo e distância em que está o objeto, da condição de movimento do objeto - se estacionário, ou movendo-se a pequena velocidade; da perícia do condutor, da capacidade de reação do motorista, das condições atmosféricas, do tipo e estado da via. A velocidade do veículo e as condições ambientais da via também interferem no tempo de percepção e reação - os condutores que trafegam a velocidades altas estão mais alertas que os que trafegam a velocidades baixas. Um motorista na área urbana se defronta com maior número de conflitos que o que estiver nas áreas rurais.

O tempo 2.5 segundos para a percepção e reação é considerado pela AASHTO (1990), por OLSON et alii (1984) e CLEVELAND et alii (1985), adequado para a maioria das situações com que defronta um motorista. Entretanto, são necessárias novas considerações sobre casos especiais como: intersecções complexas, término de faixas de entrada ou saída, etc. .

A fórmula 1.1. resume, em unidades métricas, a expressão proposta pelo AASHTO (1990) para estimativa da distância mínima de visibilidade necessária para a frenagem nas rodovias, quando se adota o tempo de percepção e reação de 2.5 segundos:

$$D_f = 0.7V + 0,0039 \frac{V^2}{f + i} \quad (\text{fórmula 1.1})$$

Onde: D_f = distância mínima de visibilidade necessária para frenagem, em metros;
 V = velocidade do veículo em km/h ;
 f = coeficiente de atrito longitudinal entre o pneu e o pavimento;
 i = declividade longitudinal da via em metros por metros, com sinal positivo (+) para as rampas em subida e negativo (-) para as rampas em descida.

Nos estudos para projeto de vias, a velocidade a ser adotada para análise da distância para frenagem é a “velocidade de projeto da via”. Em vias de baixo volume de tráfego, ou projetos de manutenção, ou reconstrução, há que se pensar em utilizar a velocidade média de operação na rodovia estudada - entretanto, por precaução deve-se considerar que muitos motoristas dirigem no limite de segurança, por exemplo, tão rápido no pavimento molhado, quanto no seco. CLEVELAND et alii (1985), OLSON et alii (1984) expõem resultados de pesquisas no campo que comprovam estas afirmativas.

O coeficiente de atrito longitudinal entre o pneu e o pavimento varia com a velocidade; pressão, tipo, composição, desenho e profundidade dos sulcos dos pneus do veículo; tipo e condições da superfície do pavimento, condições atmosféricas, etc. Considerando que os menores coeficientes de atrito ocorrem quando pavimento está molhado, a AASHTO (1990) propõe, como síntese das experiências até a década dos 90, os valores para o coeficiente de atrito f expostos na tabela 1.1.

A AASHTO (1990) comenta que os valores adotados para o coeficiente de atrito longitudinal entre o pneu e o pavimento (tabela 1.1.) são adequados para a maioria das condições: pneus quentes, ou frios; novos, ou velhos; e para a maioria dos desenhos e composições dos pneus dos Estados Unidos. Também, as experiências para determinação do coeficiente incluíram as diferenças entre os veículos e motoristas.

Tabela 1.1 - Coeficiente de atrito longitudinal entre pneu e pavimento
(AASHTO, 1990, página 120)

Velocidade para projeto (km/h)	Velocidade real (km/h)	Coeficiente de atrito longitudinal entre o pneu e o pavimento, f
30	30 - 30	0.40
40	39 - 40	0.38
50	45 - 48	0.35
55	52 - 56	0.34
65	58 - 64	0.32
70	64 - 72	0.31
80	71 - 80	0.30
90	77 - 89	0.30
95	84 - 96	0.29
105	89 - 105	0.29
115	93 - 115	0.28

Durante estudos deve-se ter especial atenção aos pavimentos com revestimentos novos, verificando-se os coeficientes de atrito resultantes, e evitando-se o uso de distâncias de visibilidade para frenagem calculadas com coeficientes que não refletem a vida do pavimento.

Também, o uso do coeficiente de atrito depende da maneira com que o motorista aciona os freios: o movimento do veículo não é uniformemente desacelerado, porque além das ações dos freios não serem constantes, a pressão nos freios exercida pelos motoristas é inicialmente suave e tende a aumentar conforme a proximidade do obstáculo.

A tabela 1.2. resume, em unidades métricas e estimativas arredondadas numericamente, as conclusões da AASHTO (1990) sobre aplicações de estimativas da distância de visibilidade para frenagem para obtenção dos seus intervalos de variação, em segmentos planos, e usando resultados obtidos em estudos sobre várias experiências e observações práticas.

Tabela 1.2 - Distância de visibilidade necessária para a frenagem, para segmentos planos (AASHTO, 1990, página 120)

Velocidade (km/h)	Distância percorrida durante o tempo de percepção e reação (m)	Distância para parada do veículo (m)	Distância de visibilidade necessária para frenagem (arredondada) - (m)
30	22.3 - 22.3	10.1 - 10.1	38 - 38
40	26.8 - 28.0	22.2 - 24.7	46 - 46
45	31.3 - 31.5	22.8 - 26.1	61 - 61
50	35.8 - 39.1	30.6 - 36.6	69 - 76
60	40.2 - 44.7	41.1 - 50.8	84 - 100
70	44.7 - 50.3	52.4 - 66.4	100 - 122
80	49.2 - 55.9	65.6 - 84.7	122 - 145
90	53.6 - 61.5	78.0 - 102.4	137 - 168
100	58.1 - 67.1	94.7 - 126.1	160 - 210
110	61.5 - 72.6	106.6 - 148.0	145 - 220
120	64.8 - 78.2	122.1 - 177.8	190 - 260

Em princípio (AASHTO, 1990), a ocorrência de qualquer dos valores estimados para a distância de visibilidade contidos nos intervalos de variação das estimativas da distância de visibilidade para frenagem, expostos na tabela 1.2, pode ser aceitável para dada velocidade nas rodovias. Entretanto, os valores iguais, ou acima, dos máximos dos intervalos são os mais recomendados quando as condições permitirem - o uso de valores máximos aumenta a segurança e facilita a operação de veículos na via, principalmente quando o pavimento estiver molhado.

Também, a AASHTO (1990) recomenda as correções para as distâncias de visibilidade para frenagem atribuídas aos perfis longitudinais expostos na tabela 1.3., em unidades métricas e arredondadas.

Tabela 1.3. Efeito do perfil longitudinal na distância de visibilidade para frenagem.
(AASHTO, 1990, página 125)

Velocidade do veículo (km/h)	Acréscimo na distância para frenagem devido a descida (m)			Velocidade assumida para as subidas (km/h)	Decréscimo na distância para frenagem devido a subida (m)		
	3%	6%	9%		3%	6%	9%
50	3	6	10	45	-	3	6
60	6	12	21	56	3	6	10
80	10	21	-	70	6	10	-
100	15	35	-	85	10	15	-
110	20	40	-	88	10	20	-
120	25	50	-	93	15	25	-

As estimativas para a distância mínima de visibilidade para frenagem da AASHTO (1990) são adequadas para os automóveis. Quando se tratar dos caminhões, ou assemelhados, é necessário questionar os resultados obtidos. Especialmente as unidades de grandes dimensões e peso, que requerem maiores distâncias para frenagem que os automóveis na mesma velocidade. Embora o motorista do caminhão possa enxergar o objeto a maior distância, porque o caminhão é mais alto, tenha, até o presente instante, feito a maioria dos estudiosos a usar os mesmos valores estimados da distância de visibilidade para frenagem dos automóveis como a “distância mínima para frenagem necessária aos caminhões” (AASHTO, 1990).

Entretanto, há uma situação onde se deve adotar a distância de visibilidade para frenagem para os caminhões maior que os valores usuais: quando ocorrerem obstruções visuais no fim de rampas descendentes, que não permitam ao motorista do caminhão aproveitar-se da altura do seu assento para aumentar a sua distância de visibilidade - isso pode ser crítico em aclives longos onde a velocidade dos caminhões é igual, ou maior que a dos carros.

Em condições normais, a mínima distância de visibilidade para frenagem estimada com os critérios já expostos é suficiente para assegurar que os motoristas médios e alertas estejam aptos a frear seus veículos nas solicitações normais. Entretanto, essas distâncias são, muitas vezes, inadequadas quando os motoristas necessitam tomar decisões muito rápidas, ou complexas, quando as informações são difíceis de perceber, e, quando são necessárias manobras inesperadas ou não usuais. São exemplos: entradas de praças de pedágio, mudanças de seção transversal do pavimento, locais com excesso de informações, semáforos, áreas com sinalização de advertência, trechos com variação na demanda, etc.

Na hipótese de condições especiais para a necessidade de maiores valores para a distância de visibilidade para frenagem é de se esperar que os motoristas usem manobras evasivas ao invés das paradas, o que pode ser menos prejudicial que uma parada desastrosa. Isso faz pensar que, em muitos casos, pode ser prudente prever distâncias de visibilidade além dos limites propostos nas tabelas 1.1 e 1.2 - nessas circunstâncias, a distância prevista pode ser maior do que aquela que o motorista necessita teoricamente.

Define-se “*distância de visibilidade para decisão*” como a distância necessária para que o motorista detecte um inesperado ou difícil-de-perceber objeto, ou informação, ou obstáculo no ambiente da rodovia, reconheça esse problema e o perigo potencial, decida-se sobre a velocidade ou trajeto seguro para o veículo, inicie e complete a adequada manobra de evasão, de maneira segura e eficiente.

Considerando que as distâncias de visibilidade para decisão devem conter componentes para erros e espaço para manobra dos veículos, seus comprimentos são maiores do que os comprimentos da mínima distância de visibilidade necessária para a frenagem.

A AASHTO (1990, páginas 125, 126, 127) propõe critérios para a adoção de distâncias de visibilidade para decisão, aplicáveis para a maioria das manobras evasivas usuais na operação de veículos nas rodovias. As propostas são resultados de estudos empíricos sobre resultados de pesquisas conduzidas por aquele órgão (McGEE et alii, 1978 McGEE, 1989). A tabela 1.4 resume as distâncias de visibilidade para decisão e manobras de evasão recomendadas, em unidades métricas e arredondadas numericamente.

Tabela 1.4. Distâncias de visibilidade para decisão e manobras de evasão
(AASHTO, 1990, página 127)

Velocidade do veículo (km/h)	Distância de visibilidade para decisão e manobras de evasão (m)				
	Para parada em rodovia rural	Para parada em rodovia urbana	Para mudança de trajetória, ou velocidade em rodovia rural	Para mudança de trajetória, ou velocidade em rodovia urbana	Para mudança de trajetória, ou velocidade em rodovia suburbana
50	70	150	140	150	200
65	105	220	185	220	250
80	150	300	230	280	310
100	210	400	310	350	390
115	280	470	340	400	450

II. Relações geométricas entre distância de visibilidade e parâmetros das curvas horizontais circulares

OLSON et alii (1984) relatam uma série de conclusões de estudos sobre relações geométricas entre os fatores que afetam a variação da distância de visibilidade a um único objeto situado em várias posições relativas de curvas horizontais circulares. Tentando explicar todos os casos possíveis, foram adotadas quatro hipóteses para estudo das posições relativas do observador (motorista) e do objeto:

- Hipótese 1: O observador e o objeto estão na curva horizontal;
- Hipótese 2: O observador está antes da secção de entrada na curva (PC), ou seja na tangente, e o objeto na curva horizontal;
- Hipótese 3: O observador está na curva horizontal e o objeto antes da secção de saída da curva (PT);
- Hipótese 4: O observador antes do PC e o objeto além do PT , na tangente.

Posteriormente, os estudos foram estendidos para explicar nove hipóteses: mostra-se que as conclusões podem ser usadas para quaisquer posições relativas do observador, objeto e obstáculo visual e deduz-se uma fórmula geral para estimativa da distância de visibilidade na linha de visada do observador (motorista).

As deduções foram divididas em três partes:

- a) Determinação da componente da distância de visibilidade (S_e), distância entre o observador e um obstáculo visual;
- b) Determinação da componente da distância de visibilidade (S_o) entre o obstáculo visual e o objeto na via;
- c) Determinação da distância total de visibilidade necessária para frenagem (S),
 $S = S_o + S_e$.

Deve-se destacar que as deduções efetuadas são válidas também para obstáculos visuais não teóricos, tais como defensas, taludes, cercas, etc, porque os valores mínimos estimados para a distância de visibilidade para frenagem mantêm-se constantes para a linha de visada dos olhos do observador.

A tabela (2.1) abaixo resume a notação usada por OLSON et alii (1984).

Tabela 2.1 - Notação adotada para estudos de relações geométricas entre distância de visibilidade e parâmetros das curvas horizontais.

Notação	Elemento da curva
O	Centro da curva circular
R	Raio da curva horizontal, correspondente à trajetória dos olhos do motorista
I	Ângulo central da curva horizontal
CL	Trajetoória dos olhos do observador (motorista)
I₁	Ângulo central da linha de visada, corresponde a componente da linha entre o observador e obstáculo
I₂	Ângulo central da linha de visada, corresponde à componente da linha de visada de K ao obstáculo. Note-se, nas figuras de 2.1 a 2.4, que K-O é perpendicular à linha de visada
I_{ob}	Ângulo central da linha de visada, corresponde à distância do observador ao fim da curva (PT)
L	Desenvolvimento da curva
L_{ob}	Distância, através da curva, do observador ao fim da curva, PT
L₀₁	Distância entre o observador e o obstáculo, para o observador situado na curva
L₀₂	Distância entre o observador ao obstáculo, para o observador situado antes, ou no PC
L₂₁	Distância entre o observador e o PT, para o observador antes do PT
L₂₂	Distância entre o PT e o objeto, para o objeto situado além do PT
m	Largura mínima de área livre de obstáculos visuais, medida do centro da faixa de rolamento, em relação à linha de visada do observador
S_e	S ₁ +S ₂ , componente da distância de visibilidade, correspondente à distância do observador ao obstáculo
S_o	Componente da distância de visibilidade correspondente à distância do obstáculo ao objeto
S	S _e +S _o , distância total de visibilidade

2.1. Distância de visibilidade, na hipótese 1 Observador e objeto na curva horizontal

Figura 2.1. Representação e notação do estudo da hipótese 1.
Observador e objeto na curva horizontal circular

A análise da figura (2.1) nos permite escrever:

$$S_1 = R \operatorname{sen}(I_1 - I_2)$$

$$S_2 = R_1 \operatorname{sen}(I_2) = (R - m) \operatorname{sen}(I_2)$$

Ou seja :

$$S_e = R \operatorname{sen}(I_1 - I_2) + (R - m) \operatorname{sen}(I_2)$$

Onde:

$$I_1 = 180 \left(\frac{L_{01}}{\pi R} \right) \quad (\text{fórmula 2.1})$$

E, I_2 pode ser obtido a partir da determinação de h , a menor distância entre o centro da curva à linha de visada:

$$h = R \cos(I_1 - I_2)$$

E,

$$h = (R - m) \cos(I_2)$$

Que, resolvida a equação $h = R \cos(I_1 - I_2) = (R - m) \cos(I_2)$ para I_2 , leva a:

$$\operatorname{tg}(I_2) = \frac{S_2}{h} = \frac{R[1 - \cos(I_1)] - m}{R \operatorname{sen}(I_1)} \quad , \text{ ou,}$$

$$I_2 = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{R[1 - \cos(I_1)] - m}{R \operatorname{sen}(I_1)} \right\} \quad (\text{fórmula 2.2})$$

Assim, pode-se estimar a componente da distância de visibilidade (S_o), do obstáculo ao objeto (figura 2.1)

$$S_o = S_1 - S_2$$

$$S_o = R \operatorname{sen}(I_1 - I_2) - (R - m) \operatorname{sen}(I_2)$$

E, a distância de visibilidade para observador e objeto na curva horizontal, S :

$$S = S_e + S_o$$

$$S = 2R \operatorname{sen}(I_1 - I_2) \quad (\text{fórmula 2.3})$$

Onde:

I_1 e I_2 são obtidos através das fórmulas (2.1) e (2.2).

2.2. Distância de visibilidade na hipótese 2

Observador antes do PC e objeto na curva horizontal

Figura 2.2. Representação e notação do estudo da hipótese 2.
Observador antes do início e objeto na curva horizontal

Analisando-se a figura (2.2)

$$S_1 = (R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} \operatorname{sen}(I_1 - I_2) \text{ , onde:}$$

L_{21} é a distância do observador ao PC.

$$S_2 = R_1 \operatorname{sen}(I_2) = (R - m) \operatorname{sen}(I_2)$$

E então:

$$S_e = (R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} \operatorname{sen}(I_1 - I_2) + (R - m) \operatorname{sen}(I_2)$$

A trigonometria nos permite escrever:

$$I_1 = 180 \left(\frac{L_{02}}{\pi R} \right) + \operatorname{arctg} \left(\frac{L_{21}}{R} \right) \quad (\text{fórmula 2.4})$$

E, I_2 pode ser obtido a partir de h , na figura 2.2:

$$h = \frac{S_1}{\operatorname{tg}(I_1 - I_2)} = \frac{(R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} \operatorname{sen}(I_1 - I_2)}{\operatorname{tg}(I_1 - I_2)} = (R^2 + (L_{21})^2)^{\frac{1}{2}} \cos(I_1 - I_2)$$

e,

$$h = \frac{S_2}{\operatorname{tg}(I_2)} = \frac{(R - m)}{\operatorname{tg}(I_2)} \operatorname{sen}(I_2) = (R - m) \cos(I_2)$$

Ou seja,

$$(R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} \cos(I_1 - I_2) = (R - m) \cos(I_2)$$

Que, resolvido para I_2 fornece:

$$I_2 = \arctg \left\{ \frac{R - m - (R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} \cos(I_1)}{(R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} \operatorname{sen}(I_1)} \right\} \dots\dots\dots (\text{fórmula 2.5})$$

A componente S_o da distância de visibilidade, do obstáculo ao objeto pode ser obtida:

$$S_o = z - S_2$$

Onde:

$$z = (R^2 - h^2)^{\frac{1}{2}} = \left[R^2 - (R^2 + L_{21}^2) \cos^2(I_1 - I_2)^{\frac{1}{2}} \right]$$

Ou seja:

$$S_o = \left[R^2 - (R^2 + L_{21}^2) \cos^2(I_1 - I_2)^{\frac{1}{2}} \right] - (R - m) \operatorname{sen}(I_2)$$

E,

$$S_o = \left[R^2 - (R^2 + L_{21}^2) \operatorname{sen}^2(I_1 - I_2) - L_{21}^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (R - m) \operatorname{sen}(I_2)$$

E, a distância de visibilidade total S :

$$S = S_e + S_o$$

$$S = (R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} \operatorname{sen}(I_1 - I_2) + (R - m) \operatorname{sen}(I_2) + \left[R^2 - (R^2 + L_{21}^2) \operatorname{sen}^2(I_1 - I_2) - L_{21}^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (R - m) \operatorname{sen}(I_2)$$

$$S = (R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} \operatorname{sen}(I_1 - I_2) + \left[R^2 - (R^2 + L_{21}^2) \operatorname{sen}^2(I_1 - I_2) - L_{21}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{fórmula 2.6})$$

Onde, I_1 e I_2 são calculados através das fórmulas (2.4) e (2.5).

2.3. Distância de visibilidade para a hipótese 3 Observador na curva e objeto além do fim da curva (na tangente)

Figura 2.3. Representação e notação do estudo da hipótese 3.
Observador na curva horizontal circular e objeto além do fim da curva

Analogamente, adotando-se a figura (2.3):

$$S_e = R \operatorname{sen}(I_1 - I_2) + (R - m) \operatorname{sen}(I_2) \quad , \text{ com:}$$

$$I_1 = 180 \left(\frac{L_{01}}{\pi R} \right)$$

E,

$$I_2 = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{R[1 - \cos(I_1)] - m}{R \operatorname{sen}(I_1)} \right\}$$

E, a componente S_o :

$$S_o = z - S_2 = \left[R^2 \operatorname{sen}^2(I_1 - I_2) + L_{22}^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (R - m) \operatorname{sen}(I_2)$$

E, a distância de visibilidade para a hipótese 3:

$$S = S_e + S_o = R \operatorname{sen}(I_1 - I_2) + \left[R^2 \operatorname{sen}^2(I_1 - I_2) + L_{22}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{fórmula 2.7})$$

Onde, I_1 e I_2 são obtidos pelas fórmulas (2.1) e (2.2).

2.4. Distância de visibilidade na hipótese 4

Observador antes do início e objeto na tangente, além do fim da curva

Figura 2.4. Representação e notação do estudo da hipótese 4.
Observador antes do início e objeto além do fim da curva

E, analogamente, adotando-se a figura (2.4):

$$S_1 = (R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} \operatorname{sen}(I_1 - I_2)$$

$$S_2 = R_1 \operatorname{sen}(I_2) = (R - m) \operatorname{sen}(I_2)$$

$$S_e = S_1 + S_2 = (R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} \operatorname{sen}(I_1 - I_2) + (R - m) \operatorname{sen}(I_2)$$

Com:

$$I_1 = \frac{180(L_{02})}{\pi R} + \operatorname{arctg}\left(\frac{L_{21}}{R}\right) \quad (\text{fórmula 2.8})$$

e,

$$I_2 = \operatorname{arctg}\left\{ \frac{R - m - (R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} \cos(I_1)}{(R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} \operatorname{sen}(I_1)} \right\} \dots\dots\dots (\text{fórmula 2.9})$$

Onde: L_{02} é a distância do PC ao obstáculo.

A componente S_0 , do obstáculo ao objeto é:

$$S_0 = z - S_2 = (R^2 + L_{22}^2 - h^2)^{\frac{1}{2}} - S_2 = \left[R^2 + L_{22}^2 - (R^2 + L_{21}^2) \cos^2(I_1 - I_2) \right]^{\frac{1}{2}} - S_2$$

Donde:

$$S_0 = \left[L_{22}^2 - L_{21}^2 + (R^2 + L_{21}^2) \operatorname{sen}^2(I_1 - I_2) \right]^{\frac{1}{2}} - (R - m) \operatorname{sen}(I_2)$$

E, por fim a distância de visibilidade para a hipótese 4, observador antes do *PC* e objeto na tangente, além do *PT*, é (fórmula 2.10):

$$S = S_e + S_o = (R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} \operatorname{sen}(I_1 - I_2) + \left[L_{22}^2 - L_{21}^2 + (R^2 + L_{21}^2) \operatorname{sen}^2(I_1 - I_2) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Onde, I_1 e I_2 são obtidos pelas fórmulas (2.8) e (2.9).

2.5. Generalização do procedimento de cálculo da distância de visibilidade em curvas horizontais circulares

As condições previstas nas hipóteses de 1 a 4 podem ser generalizadas a partir da fórmula (2.10), substituindo-se valores para os “ L ”, conforme o exposto na tabela (2.2):

Tabela 2.2 - Generalização do procedimento de cálculo da distância de visibilidade conforme a fórmula (2.10)

Hipótese	Definição	Condição na equação (2.10)
1	Observador e objeto na curva horizontal	$L_{21}=L_{22}=0$
2	Observador antes do <i>PC</i> e objeto na curva horizontal	$L_{22}=0$
3	Observador na curva horizontal e objeto além do <i>PT</i>	$L_{21}=0$

Em resumo: A fórmula (2.10), com as condições resumidas na tabela (2.2) permite o cálculo da distância de visibilidade em todas as hipóteses previstas no estudo de OLSON et alii (1984). Mas, os mesmos autores propõem um roteiro prático exposto abaixo:

OLSON et alii (1984) propõem um processo de estimativa da distância de visibilidade em curvas circulares que consta de 4 fases e se subdivide em três hipóteses de cálculo para a posição do observador:

- a) Observador antes do *PC* (ou *PT*)
- b) Observador no *PC* (ou *PT*)
- c) Observador na curva

Para estas três posições do observador, o objeto pode ter três posições:

- d) Objeto além do PT (ou PC), ou seja na tangente
- e) Objeto em posição oposta ao PT (ou PC)
- f) Objeto na curva

As quatro fases de cálculo propostas são:

- I. Determinar os ângulos I_1 e I_2
- II. Determinar I_{ob} (ver figuras (2.3) e (2.4))
- III. Verificar a posição do objeto em relação ao PT
- IV. Determinar a distância total de visibilidade, S

Para o cálculo da distância de visibilidade S :

- a) As características geométricas da curva horizontal - R , L , m e I - devem ser conhecidas, ou medidas;
- b) Análogamente, para uma desejada distância de visibilidade para frenagem mínima, SSD , pode ser calculada a área lateral livre de obstáculos, m , para dados R e L ;
- c) Ou, em projetos, os raios mínimos R podem ser calculados, se dados m , S e I

As fases para cálculo da distância de visibilidade para frenagem, segundo OLSON et alii (1984) podem ser resumidos:

Fase I - Determinação de I_1 e I_2

- a. Observador antes do PC , $L_{21} > 0$

$$I_1 = \frac{180L_{02}}{\pi R} + \arctg\left(\frac{L_{21}}{R}\right)$$

$$I_1 = \arctg\left\{\frac{R - m - (R^2 - L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} \cos(I_1)}{(R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} \sin(I_1)}\right\}$$

- b. Observador no PC

$$I_1 = \frac{180L_{02}}{\pi R}$$

$$I_2 = \arctg\left\{\frac{R(1 - \cos(I_1)) - m}{R \sin(I_1)}\right\}$$

c. Observador na curva horizontal ($L_{2l}=0$)

$$I_1 = \frac{180L_{01}}{\pi R}$$

$$I_2 = \arctg\left\{\frac{R[1 - \cos(I_1)] - m}{R \sin(I_1)}\right\}$$

Fase II- Cálculo de I_{ob} (I_{ob} , ângulo central correspondente ao arco L_{ob} , posição do observador)

a. Observador antes do PC ($L_{2l}>0$)

$$I_{ob} = \frac{180L}{\pi R} + \arctg\left(\frac{L_{2l}}{R}\right) \quad (\text{fórmula 2.11})$$

b. Observador PC

$$I_{ob} = \frac{180L}{\pi R} \quad (\text{fórmula 2.12})$$

c. Observador na curva horizontal

$$I_{ob} = \frac{180L_{ob}}{\pi R} \quad (\text{fórmula 2.13})$$

Fase III. Teste para a posição relativa do objeto em relação ao PT

a. O objeto está além do PT se, e, só se:

$$I_{ob} < 2(I_1 - I_2) \quad (\text{fórmula 2.14})$$

b. O objeto está no PT se, e, só se:

$$I_{ob} = 2(I_1 - I_2) \quad (\text{fórmula 2.15})$$

c. o objeto está na curva se, e só se:

$$I_{ob} > 2(I_1 - I_2) \quad (\text{fórmula 2.16})$$

Fase IV - Cálculo da distância total de visibilidade necessária para a frenagem usando a “expressão geral para a distância de visibilidade para frenagem”

a. Observador antes do PC

- Adote o valor de L_{21} igual à distância entre o observador e o PC;
- Se o objeto estiver além do PT, calcule L_{22} :

$$L_{22} = \left\{ \frac{R \cos(I_x) - h}{\sin(I_x)} \right\} \quad (\text{fórmula 2.17})$$

Onde:

$$I_x = I_{ob} - (I_1 - I_2) \quad , \quad e, \quad h = (R - m) \cos(I_2) \quad , \quad e,$$

I_{ob} é obtido da equação (2.11), e,
 I_1 e I_2 das fórmulas (2.8) e (2.9)

- Em caso contrário, faça $L_{22}=0$ e obtenha I_1 e I_2 das fórmulas (2.8) e (2.9)

b. Observador no PC

- Adote o valor de $L_{21}=0$
- Se o objeto estiver além do PT, calcule L_{22} :

$$L_{22} = \left\{ \frac{R \cos(I_x) - h}{\sin(I_x)} \right\}$$

Onde:

$$I_x = I_{ob} - (I_1 - I_2) \quad , \quad e, \quad h = (R - m) \cos(I_2) \quad , \quad e,$$

I_{ob} é obtido da equação (2.12), e,
 I_1 e I_2 das fórmulas (2.4) e (2.2)

- Em caso contrário, faça $L_{22}=0$ e obtenha I_1 e I_2 das fórmulas (2.4) e (2.2)

c. Observador na curva

Adote o valor de $L_{21}=0$

Se o objeto estiver além do PT, calcule L_{22} :

$$L_{22} = \left\{ \frac{R \cos(I_x) - h}{\sin(I_x)} \right\}$$

Onde:

$$I_x = I_{ob} - (I_1 - I_2) \quad ,$$

$$h = (R - m) \cos(I_2) \quad , \text{ e,}$$

I_{ob} é obtido da equação (2.13),

E, I_1 e I_2 das fórmulas (2.1) e (2.2)

- Em caso contrário, faça $L_{22}=0$ e obtenha I_1 e I_2 das fórmulas (2.1) e (2.2)

A formulação exposta neste capítulo pode ser utilizada para a verificação de curvas horizontais quanto a possibilidade de visibilidade para frenagem em distâncias maiores que uma estimada distância de visibilidade D_f , necessária a um projeto de curva na rodovia.

2.6. A distância de visibilidade e a distância percorrida pelos veículos

WAISSI e CLEVELAND (1987), dentre outros estudos, analisaram o uso da fórmula (2.10) para transformar a distância de visibilidade através da linha de visada do observador em “distância percorrida pelo veículo no eixo da faixa de rolamento, SD , que é mais fácil de ser relacionada com a distância de visibilidade para frenagem porque representa o processo de movimento do veículo pela curva”. Em resumo:

a. Para o observador e o objeto na curva circular

Analisando a figura 2.1, com $L_{22}=L_{21}=0$, a distância percorrida pelo veículo, arco correspondente à corda S é:

$$SD = (I_1 - I_2) \frac{\pi R}{90} \dots\dots\dots \text{fórmula (2.18)}$$

Onde: I_1 e I_2 são calculados pelas fórmulas 2.1 e 2.2.

b. Para o observador antes do PC e o objeto na curva horizontal

Raciocínio análogo, $L_{22}=0$, leva a:

$$SD = L_{21} - [2(I_1 - I_2) - I_3] \left(\frac{\pi R}{180} \right) \dots\dots\dots \text{fórmula (2.19)}$$

Onde: I_1 e I_2 são obtidos através das fórmulas (2.4) e (2.5) e

$$I_3 = \arctg\left(\frac{L_{21}}{R}\right), \text{ fórmula (2.20)}$$

c. Para o observador na curva e o objeto além do PT

$$SD = L_{22} + [2(I_1 - I_2) - I_4] \left(\frac{\pi R}{180} \right) \dots\dots\dots \text{fórmula (2.21)}$$

Onde: I_1 e I_2 são estimados pelas fórmulas (2.1) e (2.2) e $I_4 = \arctg\left(\frac{L_{22}}{R}\right)$, fórmula (2.22)

d. Para o observador antes do PC e o objeto além do PT

$$SD = L_{21} + [2(I_1 - I_2) - I_3 - I_4] \left(\frac{\pi R}{180} \right) + L_{22} \dots\dots\dots \text{fórmula (2.23)}$$

Onde: I_1 , I_2 , I_3 , I_4 são obtidos através das fórmulas (2.4), (2.5), (2.20) e (2.22).

A fórmula (2.23) é a “equação geral da distância percorrida pelo veículo na curva até o objeto na linha de visada do observador, à distância S ”. Com essa relação, SD pode ser calculada para qualquer combinação das posições do observador e dos obstáculos visuais na curva horizontal. Recordemos que quando SD é a “distância de visibilidade para frenagem”, S é a “distância de visibilidade através da curva”.

III. A distância radial livre de obstáculos visuais

Se, numa curva horizontal circular, um motorista necessita de uma distância de visibilidade para frenagem SD para a condução segura do veículo, a essa distância corresponde uma distância radial, livre de obstáculos visuais, m , pertencente à linha de visada pelo observador e alinhada com o centro da curva e o obstáculo visual estudado. A essa distância radial livre de obstáculos dá-se usualmente o nome de “afastamento”.

Mostraremos que existem relações geométricas entre m , SD (arco percorrido pelo veículo, igual a distância para frenagem), R (raio da curva), I (ângulo central) e L (desenvolvimento da curva) que permitem resolver problemas tais como “dados SD , R e L , obter o m necessário para que na curva sempre tenhamos distância de visibilidade para frenagem maior, ou igual a SD ”, ou “dados m , SD e I , obter o raio mínimo necessário para que se tenha a distância de visibilidade para frenagem maior, ou igual a SD ”. O relato abaixo tenta sintetizar e sistematizar as deduções contidas em OLSON et alii (1984), WAISSI & CLEVELAND (1987), CLEVELAND et alii (1985) e explicitar as soluções dos problemas citados.

3.1. Relações geométricas da distância radial livre de obstáculos

Estudando-se as figuras de 2.1 a 2.4 e as equações contidas no capítulo II:

a. Para o observador e o objeto na curva horizontal

Analisando a figura 2.1 e a fórmula (2.2)

$$m = R[1 - \cos(I_1) - \operatorname{tg}(I_2)\operatorname{sen}(I_1)] \quad (\text{fórmula 3.1})$$

Onde, se L_{01} é a distância entre o observador e o obstáculo:

$$I_1 = 180 \left(\frac{L_{01}}{\pi R} \right) \quad (\text{fórmula 2.1})$$

E, observando-se que na fórmula (2.18):

$$SD = (I_1 - I_2) \frac{\pi R}{90}$$

$$I_2 = I_1 - \frac{90(SD)}{\pi R} \dots\dots\dots (\text{fórmula 3.2})$$

b. Observador antes do início da curva, PC , e objeto na curva horizontal

Se L_{02} é a distância entre o observador e o obstáculo e L_{21} é a distância entre o observador e o PT (para o observador antes do PT), analisando-se a figura 2.2. e resolvendo a fórmula (2.5) para m :

$$m = R - (R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} [\cos(I_2) + \operatorname{tg}(I_2) \operatorname{sen}(I_1)] \dots\dots\dots (\text{fórmula 3.3})$$

Onde:

$$I_1 = \frac{180(L_{02})}{\pi R} + \operatorname{arctg}\left(\frac{L_{21}}{R}\right) \dots\dots\dots (\text{fórmula 2.8})$$

e,

$$I_2 = I_1 - 90 \left[\left(SD - \frac{L_{21}}{\pi R} \right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{L_{21}}{R}\right) \right] \dots\dots\dots (\text{fórmula 3.4})$$

c. Observador na curva horizontal e objeto além do PT

Da equação (2.2):

$$m = R [1 - \cos(I_1) - \operatorname{tg}(I_2) \operatorname{sen}(I_1)] \dots\dots\dots (\text{fórmula 3.5})$$

Onde :

I_1 é calculado pela fórmula (2.1), e,

$$I_2 = I_1 - 90 \left(\left(SD - \frac{L_{22}}{\pi R} \right) - \frac{1}{2} \operatorname{arctg}\left(\frac{L_{22}}{R}\right) \right) \dots\dots\dots (\text{fórmula 3.6})$$

E, L_{22} é a distância entre o PT e o objeto, para objeto além do PT .

d. observador antes do início da curva, PC e objeto além do fim da curva, PT

Da fórmula (2.5):

$$m = R - (R^2 + L_{21}^2)^{\frac{1}{2}} [\cos(I_2) + \operatorname{tg}(I_2) \operatorname{sen}(I_1)] \dots\dots\dots (\text{fórmula 3.7})$$

Onde:

$$I_1 = \frac{180(L_{02})}{\pi R} + \operatorname{arctg}\left(\frac{L_{21}}{R}\right) \dots\dots\dots (\text{fórmula 2.8})$$

e,

$$I_2 = I_1 - 90 \left((SD) - L_{21} - \frac{L_{22}}{\pi R} \right) - \frac{1}{2} \left[\operatorname{arctg}\left(\frac{L_{21}}{R}\right) + \left(\frac{L_{22}}{R}\right) \right] \dots\dots\dots (\text{fórmula 3.8})$$

3.2. A área livre de obstáculos visuais

Para manter as condições de segurança da via, dentre outros aspectos, à menor distância de visibilidade S , inscrita numa curva de raio R , deve corresponder um percurso para os veículos (SD) maior que a necessária distância de visibilidade para frenagem conforme exposto no capítulo I.

A cada par “raio R ” e “distância mínima de visibilidade para frenagem, SD ”, na curva horizontal circular de centro O , pode-se definir uma área, que deve ser livre de obstáculos, para garantir a existência da distância de visibilidade para frenagem na curva e onde os valores de m são a máxima proximidade que os obstáculos podem ter da linha de visada do observador (motorista).

Quando dados R , SD (ou S) e I , se adotarmos os processos expostos por OLSON et alii (1984), aperfeiçoados por WAISSI & CLEVELAND (1987), e aqui detalhados quanto a alguns conceitos básicos da matemática e ajuste de notação, teremos o seguinte processo para estudo do afastamento lateral crítico:

Seja:

SD = arco cujo comprimento é a distância de visibilidade necessária para frenagem;

I_y = ângulo central correspondente ao arco SD ;

I = ângulo central da curva horizontal circular estudada.

Figura 3.1. O afastamento lateral livre de obstáculos visuais

Estudando-se a figura 3.1. teremos três hipóteses possíveis para SD e I_y :

- a. $SD < L$ e $I_y < I$
- b. $SD = L$ e $I_y = I$
- b. $SD > L$ e $I_y > I$

O valor de m , o afastamento lateral livre de obstáculos visuais pode então ser estimado:

- a. $SD < L$ e $I_y < I$

Da figura (3.1):

$$SD = \frac{\pi R I_y}{180}, \text{ para } I_y < I \dots\dots\dots (\text{fórmula 3.9})$$

$$R_1 = R - m$$

$$\text{e,} \quad m = R \left[1 - \cos\left(\frac{I_y}{2}\right) \right]$$

ou,

$$m = R \left[1 - \cos\left(\frac{(SD)}{2}\right) \right] \quad (\text{fórmula 3.10})$$

A variação de m entre zero, no início da curva e um máximo calculado conforme a fórmula (3.10).

Figura 3.2. Área livre de obstáculos visuais

A figura (3.2) ilustra a associação da variação de m a uma curva de transição cujo raio varie de $R = \infty$ a $R = R_1$.

O ponto onde ocorre o afastamento m máximo, X_s , tem uma distância à tangente:

$$h = R - R_1 \cos\left(\frac{I_y}{2}\right) \dots\dots\dots(\text{fórmula 3.11})$$

b. $SD = L \text{ e } I_y = I$

Da figura (3.2):

$$SD = \frac{\pi R I}{180}, \text{ para } I_y = I \quad (\text{fórmula 3.12})$$

$$R_1 = R - m \quad \text{e,}$$

$$m = R \left[1 - \cos\left(\frac{I}{2}\right) \right]$$

ou,

$$m = R \left[1 - \cos\left(\frac{(SD)}{2}\right) \right] \quad (\text{fórmula 3.13})$$

A variação de m está entre zero, no início da curva e um máximo calculado conforme a fórmula (3.3). A figura (3.2) ilustra a associação da variação de m a uma curva de transição cujo raio varie de $R = \infty$ a $R = R_1$. O ponto onde ocorre o afastamento m máximo tem uma distância à tangente:

$$h = R - R_1 \cos\left(\frac{I}{2}\right) \dots\dots\dots(\text{fórmula 3.14})$$

c. $SD > L$ e $I_j > I$

Figura 3.3. Área livre de obstáculos para $S > L$.

Da figura (3.3): $SD = S_s + \frac{\pi RI}{180}$, para $I_y < I$ (fórmula 3.15)

$$R_1 = R - m$$

 $e,$

$$m = R \operatorname{tg} \left[\frac{I_y - I}{2} \right] \operatorname{sen} \left(\frac{I}{2} \right) + R \left[1 - \cos \left(\frac{I}{2} \right) \right] \dots\dots\dots (\text{f3.16})$$

Onde, S_s é a componente da distância de visibilidade na tangente, $SD - L$.

A variação de m está entre zero, no início da curva e um máximo calculado conforme a fórmula (3.16). A figura (3.3) ilustra a associação da variação de m a uma curva de transição cujo raio varie de $R = \infty$ a $R = R_1$. O ponto onde ocorre o afastamento m máximo tem uma distância à tangente:

$$h = R - R_1 \cos\left(\frac{I}{2}\right) \dots\dots\dots(\text{fórmula 3.17})$$

IV - Sobre recomendações do DNER e a distância de visibilidade para frenagem

O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) é o órgão brasileiro que fixou o maior número de especificações para o projeto e análise de rodovias no País. Há vários documentos, decretos e assembléados regulamentando o projeto e construção de rodovias no Brasil, mas principalmente o DNER é o autor mais divulgado no Brasil. Por isso, escolhemos o que consideramos os principais documentos de síntese dos padrões brasileiros para estudos e projetos de rodovias (DNER, 1974; DNER, 1979) para buscar dados sobre a distância para frenagem e suas aplicações nas vias do Brasil.

As rodovias brasileiras são estudadas em função do seu volume de tráfego, de acordo com a classificação técnica de rodovias adotada no DNER, resultados de aplicação das portarias do DNER de número 19 (de 10/01/1949), 3602 (de 24/10/69) e 2618 (23/12/70), conforme resumido na tabela 4.1.

Tabela 4.1. Classificação de rodovias brasileiras segundo o DNER

Classe de rodovia		Características	Critério de classificação
Especial, ou 0		Via expressa, com controle de acesso	Decisão administrativa
I	A	Pista dupla com controle parcial de acesso	O volume de tráfego previsto para o décimo ano de projeção e análise reduziria o nível de serviço de uma rodovia de pista simples para abaixo do nível "C"
	B	Pista simples	Volume horário de projeto previsto maior que 200 veículos, e volume diário médio maior que 1400 veículos por dia
II		Pista simples	Volume diário médio entre 700 e 1400 veículos por dia para o décimo ano de projeção e análise
III		Pista simples	Volume diário médio para o décimo ano de projeção e análise entre 300 e 700 veículos por dia
IV		Pista simples	Volume diário médio para o décimo ano de projeção e análise entre veículos por dia menor que 300

As características técnicas das rodovias brasileiras são escolhidas, em função da velocidade de projeto (DNER, 1974, página 1972-9-2/30), conforme os dados contidos nas tabelas 4.2.a, e 4.2.b.

Tabela 4.2.a. Velocidade de projeto para novas rodovias no Brasil (*km/h*)
(DNER, 1974, página 1972-9-2/30)

Tipo de região	Classe especial	Classe I	Classe II	Classe III
Plana	120	100	80	60
Ondulada	100	80	60	40
Montanhosa	80	60	40	30

Tabela 4.2.b. Velocidade de projeto para rodovias existentes no Brasil (*km/h*)
(DNER, 1974, página 1972-9-2/30)

Tipo de região	Classe especial	Classe I	Classe II	Classe III
Plana	100	100	80	60
Ondulada	80	80	60	40
Montanhosa	60	60	40	30

4.1. A distância de visibilidade para frenagem segundo o DNER (1972)

A distância mínima de visibilidade para frenagem das rodovias brasileiras deveriam ser escolhidas, em função da velocidade de projeto (DNER, 1974, página 1972-9-12/30), conforme os dados contidos nas tabelas 4.3. e 4.4

Tabela 4.3. Distância mínima de visibilidade para frenagem em rodovias novas no Brasil (*m*). (DNER, 1974, página 1972-9-12/30)

Tipo de região	Classe especial	Classe I	Classe II	Classe III
Plana	210	150	110	75
Ondulada	150	110	75	50
Montanhosa	110	75	50	-

Tabela 4.4. Distância mínima de visibilidade para frenagem nas rodovias existentes no Brasil (*m*). (DNER, 1974, página 1972-9-13/30)

Tipo de região	Classe especial	Classe I	Classe II	Classe III
Plana	150	150	100	75
Ondulada	100	100	75	50
Montanhosa	75	75	50	-

Os valores expostos nas tabelas 4.3 e 4.4 deverão ser corrigidos conforme a fórmula 4.1 e com os coeficientes de atrito f sugeridos na tabela 4.5. (DNER, 1974, página 1972-9-13/30):

Tabela 4.5 - Coeficientes de atrito segundo o DNER
(DNER, 1974, página 1972-9-13/30)

Tipo de região	Classe especial	Classe I	Classe II	Classe III
Plana	0.28	0.29	0.31	0.34
Ondulada	0.29	0.30	0.34	0.38
Montanhosa	0.30	0.38	0.38	0.38

Sugere também o DNER que, nas curvas horizontais a distância de visibilidade deve ser verificada com o veículo hipoteticamente percorrendo o eixo da faixa de trânsito interna da via.

As tabelas 4.6 e 4.7 resumem as larguras das faixas de trânsito recomendadas pelo DNER (DNER, 1974, página 1972-9-15/30).

Tabela 4.6. Largura de faixas de trânsito para rodovias novas no Brasil (m)
(DNER, 1974, página 1972-9-15/30).

Tipo de região	Classe especial	Classe I	Classe II	Classe III
Plana	3.75	3.60	3.50	3.50
Ondulada	3.75	3.60	a	a
Montanhosa	3.75	3.60	3.25	3.25

Tabela 4.7. Largura de faixas de trânsito para rodovias existentes no Brasil (m)
(DNER, 1974, página 1972-9-22/30).

Tipo de região	Classe especial	Classe I	Classe II	Classe III
Plana	3.75	3.50	3.50	3.50
Ondulada	3.75	3.50	a	a
Montanhosa	3.75	3.50	3.00	3.00

A tabela 4.8 resume as larguras de acostamentos recomendados pelo DNER (1974).

Tabela 4.8. Largura de acostamentos para rodovias existentes no Brasil (m)
(DNER, 1974, página 1972-9-22/30).

	Classe especial		Classe I		Classe II		Classe III	
Tipo de região	Nova	Existente	Nova	Existente	Nova	Existente	Nova	Existente
Plana	3.50	3.00	3.00	2.50	2.50	2.00	2.00	1.50
Ondulada	3.00	2.00	a	1.50	a	1.50	a	1.20
Montanhosa	2.50	1.50	2.50	1020	2.00	1.20	1.20	1.00

4.2. A distância de visibilidade para frenagem segundo o DNER (1979)

Entretanto, em 1979 (DNER, 1979), um novo documento foi emitido pelo DNER visando modernizar suas instruções para o projeto geométrico de rodovia. Segundo o DNER (1979, páginas 41 e 42), há dois grupos de valores mínimos de distâncias de visibilidade para frenagem: os *mínimos* e os *excepcionais*. Para estimativas dos valores mínimos da distância de visibilidade para frenagem admitiu-se que, sob chuva, os motoristas reduzem a velocidade de operação para um valor abaixo da velocidade de projeto, conforme exposto na tabela 4.9.

Tabela 4.9. Velocidades para estimativa da distância mínima de visibilidade para frenagem (km/h). (DNER, 1979, página 42)

Velocidade de projeto (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
Velocidade na chuva	30	38	46	54	62	71	79	86

Recomenda o DNER (1979, página 42) que se adote estimativa da distância mínima de visibilidade para frenagem conforme a fórmula 4.1, que é uma variante da fórmula (1.1).

$$d = 0,7V + \frac{V^2}{255(f + i)} \quad \text{fórmula 4.1}$$

Onde:

d = distância mínima de visibilidade para frenagem em metros;

V = velocidade em km/h;

f = coeficiente que exprime a atuação do processo de frenagem, seja a eficiência do sistema de freios do veículo, seja o esforço reativo longitudinal decorrente do atrito entre o pneu e pista na frenagem, considerando o pavimento molhado, com rugosidade normal, em condições superficiais razoáveis e não especialmente lamacento e escorregadio. Adota-se os valores expostos na tabela 4.10.

i = greide, em m/m (positivo no sentido ascendente e negativo no sentido descendente)

Tabela 4.10. Coeficientes que exprimem o processo de frenagem.
(DNER, 1979, página 43)

Velocidade de projeto (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
Coeficiente f	0.40	0.37	0.35	0.33	0.31	0.30	0.29	0.28

Os valores da distância mínima de visibilidade para frenagem, estimados pelo DNER (1979), estão expostos na tabela 4.11. O texto do DNER usa o termo “recomendada” no lugar de “mínima”. Declara-se que altura dos olhos do observador adotada é 1.15 metros e que a altura do objeto é 0.15 metros.

Mais ainda, o DNER (1979, página 44) dá a entender que não é necessário corrigir os valores sugeridos da influência das rampas na distância de visibilidade para frenagem para as curvas verticais convexas. Sugere-se a adoção de acréscimos/decrécimos à distância de visibilidade nas curvas verticais convexas e nas rodovias de pista dupla. As sugestões constam das tabelas 4.12 e 4.13.

Tabela 4.11: Valores da distância mínima de visibilidade para frenagem, estimados pelo DNER (1979, página 43) - trechos planos.

Velocidade de projeto (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
Distância de visibilidade para frenagem (m)								
Mínima	30	45	60	75	90	110	130	155
Excepcional	30	45	65	85	110	140	175	210

O DNER (1979) comenta que as distâncias sugeridas na tabela 4.11 refletem condições limite, passíveis de ser atendidas pelo motorista médio em circunstâncias pré-estabelecidas. Em longos percursos não é recomendável sujeitar o motorista a essa condições limite e sugere-se adotar distâncias de visibilidade superiores aos valores expostos na tabela 4.11.

Tabela 4.12. Correções nas distâncias mínimas de visibilidade para frenagem (*m*)
Valores mínimos. (DNER, 1979, página 45)

Inclinação longitudinal	-6%	-4%	-2%	+2%	+4%	+6
Velocidade (km/h)						
40	+3	+2	+1	-1	-1	-2
50	+5	+3	+1	-1	-2	-3
60	+7	+5	+2	-2	-4	-5
80	+15	+9	+4	-4	-7	-10
100	+24	+15	+7	-6	-11	-16

Tabela 4.13. Correções nas distâncias mínimas de visibilidade para frenagem (*m*)
Valores máximos. (DNER, 1979, página 45)

Inclinação longitudinal	-6%	-4%	-2%	+2%	+4%	+6
Velocidade (km/h)						
40	+3	+2	+1	-1	-2	-2
50	+6	+4	+2	-2	-3	-4
60	+10	+6	+3	-2	-4	-6
80	+21	+13	+6	-5	-10	-14
100	+38	+23	+11	-9	-18	-25

4.3. Afastamentos laterais para atender a visibilidade nas curvas (DNER, 1979)

O DNER (1979, páginas 57 a 62) recomenda que se estude os afastamentos laterais dos obstáculos visuais ao lado da via. Em curvas, a linha de visão do motorista deve poder acompanhar, sem obstruções visuais a corda do arco da curva até interceptar a pista à distância de visibilidade de parada. Onde houver acostamentos, estes muitas vezes proporcionarão o afastamento necessário. Onde tal não ocorrer, outras medidas necessitarão ser tomadas, tais como, alargar cortes, afastar obstáculos visuais, adotar raios de curva maiores, ou em pistas duplas deslocar defensas, ou separadores, em trechos em curva.

A tabela 4.14 resume os valores de orientação para os afastamentos laterais de obstáculos mais comuns nas vias, recomendados pelo DNER (1979, página 58) para as tangentes.

Tabela 4.14. Afastamento lateral mínimo de obstáculos fixos em trechos em tangentes (m). DNER (1979, página 58)da

Tipo	Referência	Afastamento lateral (m)
Obstáculos isolados - pilares, postes, protuberâncias rochosas, etc.	Bordo do acostamento	0.50 a 1.50
Obstáculos contínuos - muros, paredes, barreiras, etc	Meio-fio, sem fluxo de pedestres	0.30 a 0.50
	Meio fio, com fluxo de pedestres	1.50
Meio-fio, ou sarjeta contínuos	Bordo de pista adjacente sem acostamento	0.30 a 0.50
Meio-fio sem continuidade	Bordo de pista adjacente sem acostamento	0.50

Para as curvas, o DNER (1979, páginas 58 a 63) recomenda a verificação de necessidades específicas de afastamento lateral de obstáculos visuais através da adoção de nomogramas. A figura 4.1 resume a notação e os conceitos adotados pelo DNER (1979). Na figura 4.1, d é o arco de desenvolvimento igual a distância mínima de visibilidade para frenagem e R , o raio da curva correspondente ao percurso dos olhos do motorista e f é o afastamento lateral do obstáculo.

Os valores para o afastamento (DNER, 1979) só se aplicam para a hipótese de que o desenvolvimento do trecho circular seja superior à distância mínima de visibilidade para frenagem.

Figura 4.1. Hipóteses e notação utilizadas pelo DNER (1979) para estudos de afastamentos laterais de obstáculos visuais

Na figura 4.1: f = distância radial livre de obstáculos, R = raio da curva correspondente ao percurso dos olhos do observador, d = distância mínima de visibilidade para frenagem.

Os nomogramas expostos (DNER, 1979) são resultados de estimativas da distância mínima de visibilidade para frenagem obtidas com aplicação das velocidades expostas na tabela 4.11 e aplicação da fórmula 4.2:

$$f = R \left[1 - \cos \left(\frac{28.65d}{R} \right) \right] \quad (\text{fórmula 4.2})$$

A fórmula 4.2 é uma variante da fórmula (3.10), deduzida (item 3.2, a) com a hipótese de que o arco percorrido pelos olhos do observador através da curva tem desenvolvimento maior do que a distância mínima de visibilidade necessária para a frenagem do veículo.

V. Distância de visibilidade para frenagem do DNER (1972, 1979) de pontos de vista da AASHTO (1990)

Uma série de comentários podem ser efetuados durante a comparação de critérios para estudos da distância de visibilidade para frenagem pela AASHTO (1990) e pelo DNER (1974, 1979). Nesse capítulo relataremos conclusões obtidas pela análise de alguns deles.

Primeiro, é necessário observar que, em 1974, as propostas do DNER sobre a distância de visibilidade (DNER, 1974) tiveram como referência mais básica a classificação técnica de vias vigente e as condições de relevo atravessados pelas rodovias. É certo que muito dos critérios adotados já se amarravam com as propostas da AASHTO (1965, 1971), mas a redação adotada levou a amarrar os critérios de visibilidade da via à sua classificação técnica. Ver tabelas 4.1 a 4.9.

Segundo, um detalhamento um pouco melhor de critérios de visibilidade foi exposto pelo DNER (1974, páginas 1972-16-27/137 e 17/138), aplicável ao projeto de “ramais”.

Há que se pensar que as propostas do DNER (1974), se aplicadas ao pé da letra, provocariam o meio técnico brasileiro para usar conceitos e números associados à distância mínima de visibilidade para frenagem que pouco discutiam da segurança que as vias devem oferecer aos usuários. Isso não ocorreu porque a transferência de tecnologia e o convívio com centros onde as pesquisas sobre o assunto eram mais avançadas e frequentes levaram ao raciocínio sobre e à análise da distância mínima de visibilidade para frenagem como um elemento indispensável à segurança da via - a classificação técnica é muito mais um elemento de uso para decisão sobre o volume de investimentos nas rodovias.

Uma prova da veracidade das afirmativas acima é a evolução dos conceitos para análise da distância de visibilidade adotada pelo DNER em 1979 (DNER, 1979), emitindo instruções de projeto e análise de vias que tentavam conter novos parâmetros e aplicar resultados de pesquisas e especificações recentes que melhor refletissem o estado da arte do projeto, operação e manutenção de vias.

Entretanto, a evolução tecnológica dos veículos e vias, e os estudos sobre a distância de visibilidade para frenagem, que supomos esteja refletida nas especificações da AASHTO (1990), tende a ser um conjunto de fatos mais genéricos que podem resultar em contribuições à segurança e melhoria das condições operacionais das rodovias - aí está um conjunto de justificativas para que continuemos as comparações entre os processos de estimativa da distância de visibilidade para frenagem do DNER e da AASHTO.

Além do mais, o DNER (1979) não relata dados para velocidades maiores que 100 km/h. Isso reflete o conjunto de restrições à velocidade máxima nas vias brasileiras (limitada a 100 km/h após a crise de fornecimento e acréscimo de preços do petróleo em 1973). Se, por um lado a restrição de velocidade foi um elemento adotado para segurança e economia de combustíveis, de outro é discutível a sua extensão aos estudos e projetos.

5.1. Coeficientes de atrito longitudinal pneu-pavimento

Figura 5.1. Comparação entre os coeficientes de atrito propostos pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990)

A análise dos dados resumidos na figura 5.1 nos indica que:

- O DNER (1979) tende, nas velocidades mais baixas, a adotar coeficientes de atrito pneu-pavimento similares aos da AASHTO;
- Entretanto, nas velocidades mais altas, a tendência é coeficientes de atrito de valores menores que os da AASHTO (1990).

Buscando justificativas para as diferenças encontradas tentamos verificar se isso refletia as condições de pavimentos, frota e pneus existentes no Brasil - a conclusão foi um “não”, pela ausência de experiências e pesquisas no País. Apenas e tão só restou-nos sugerir que as diferenças numéricas encontradas refletiam isso e a falta de atualização de dados quanto aos valores de coeficiente de atrito que melhor refletissem as ações pneu-pavimento.

Analizando-se dados relatados por OLSON et alii (1974, páginas 17 a 26) concluímos que a AASHTO (1990) anexou, aos dados sobre o coeficiente de atrito adotados em suas especificações, resultados de pesquisas sobre a distância para frenagem que mostraram que a parada do veículo depende da habilidade do motorista, dos sistemas de freios, e das novas relações pneu-pavimento provenientes das modificações nos veículos.

Mas, o DNER (1974), precisa anexar resultados de pesquisas relatadas por OLSON et alii (1984), que mostram que o uso do coeficiente de atrito máximo não é comum para os motoristas - o condutor tenta controlar o veículo para evitar o travamento de rodas na frenagem, e os pneus não têm as condições ideais (ser novo, ter pressão correta, etc.)

E, para os caminhões é necessário lembrar que a capacidade de atrito dos pneus é 70% dos valores encontrados para os automóveis. Caminhões pesados e descarregados têm pequena eficiência durante a frenagem - exigem maiores distâncias de visibilidade. O DNER (1974, 1979) não faz referências sobre o assunto.

5.2. As distâncias mínimas de visibilidade necessárias para frenagem

Figura 5.2. Comparação entre as distâncias mínimas de visibilidade para frenagem, estimadas pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990) - valores mínimos

A figura 5.2 resume os valores sugeridos para as distâncias mínimas de visibilidade para frenagem (DNER, 1979; AASHTO, 1990) - os mínimos sugeridos para as condições operacionais das vias.

Analisando-se os dados da figura 5.2 conclui-se que a AASHTO (1990) recomenda valores mínimos maiores do que o DNER (1979).

Figura 5.3. Comparação entre as distâncias mínimas de visibilidade para frenagem, estimadas pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990) - valores máximos

A figura 5.3 resume os valores sugeridos para as distâncias mínimas de visibilidade para frenagem (DNER, 1979; AASHTO, 1990) - os máximos sugeridos para o estudo das condições operacionais das vias.

Analisando-se os dados da figura 5.3 conclui-se que a AASHTO (1990) recomenda valores mínimos maiores do que o DNER (1979) nas velocidades até 80 km/h. Para velocidades maiores que 80 km/h, até 100 km/h, há uma relativa igualdade entre os valores propostos.

OLSON et alii (1984, páginas 28-33) discutem as especificações da AASHTO (1971) e concluem que, até os 50 km/h, essas normas não refletem resultados de experiências sobre a percepção e reação do motorista que indicam a possibilidade de redução da adotada distância percorrida pelo veículo em 60 a 80% dos valores adotados pela AASHTO. Entretanto, o DNER (1979) adotou dados de acordo com sua tendência, reduzir os valores para a distância de visibilidade.

Para 120 km/h, seria conveniente observar que a AASHTO (1990) propõe um valor para controle do máximo de 260 m, e o DNER (1974), 210 m. Isso refletiria (OLSON et alii, 1984) a tendência de aumento do comprimento das distâncias adotadas para controle da visibilidade existente nos Estados Unidos - a justificativa são experiências e estudos para controle de rodovias existentes e relações entre visibilidade e segurança.

OLSON et alii (1984, páginas 17 a 26) comentam que as experiências sobre os valores da distância para frenagem para velocidades maiores que 80 km/h indicam que os motoristas tendem a iniciar a frenagem com uma tentativa de controle do veículo, evitando o travamento das rodas e aumentando a distância necessária para a frenagem porque não se utilizam do valor máximo do coeficiente de atrito pneu-pavimento - essa deve ser uma das tendências dos estudos sobre a magnitude da distância para frenagem.

Outrossim temos que nos lembrar que, nas curvas, a força de aceleração aplicada aos veículos pode ser decomposta em duas componentes, a centrípeta e a tangencial. Durante a frenagem, isso implica que, durante a frenagem, há uma redução da força disponível para desaceleração do veículo - tanto as especificações do DNER (1974, 1979), como as da AASHTO (1990) não contêm referências ao fato.

Infelizmente, quando comparamos os textos escritos nas especificações do DNER (1972 e 1979) com os da AASHTO (1954, 1965, 1971, 1985, 1990) observamos que:

- a. Os textos expostos pelo DNER (1972, 1979) refletem uma tentativa de fazer o leitor adotar, preferencialmente, valores para a distância mínima de visibilidade para frenagem os menores possíveis - a preocupação dos autores parece ser diminuir o custo das rodovias, fato que pode provocar a redução da segurança ao tráfego;
- b. Nas sugestões pela AASHTO (1954, 1965, 1971, 1985, 1990), a análise dos valores indica uma tendência de crescimento dos mínimos para a distância de visibilidade para frenagem advinda de estudos que tentam relacionar a segurança e a distância de visibilidade nas vias. Isso é exposto, e repetido, por vários autores (CLEVELAND, 1985; McGEE, 1989; GLENNON, 1987; GLENNON, 1989; McGEE et alii, 1978; OLSON et alii, 1984; NEUMAN et alii, 1984).

5.3. O distância de visibilidade e as rampas

Figura 5.4. Comparação entre os acréscimos às distâncias de visibilidade estimadas pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990), devido às descidas - valores mínimos, em metros

A figura 5.4 resume as sugestões de valores para acréscimo à distância mínima de visibilidade para frenagem devido às descidas, valores mínimos, do DNER (1979) e da AASHTO (1990).

Uma análise dos dados expostos na figura 5.4 permite verificar que o DNER propõe acréscimos menores que a AASHTO. É de conhecimento público que a frota de caminhões no Brasil possui tecnologia inferior que nos Estados Unidos. Também, que a manutenção e condições dos veículos brasileiros é pior que a americana. Assim, ao adotar o exposto pelo DNER, estaremos colocando um maior risco na operação de veículos nas rodovias brasileiras.

A figura 5.5 resume as sugestões de valores para acréscimos à distância mínima de visibilidade para frenagem devido às descidas, do DNER (1979) e da AASHTO (1990). Uma análise dos dados expostos na figura 5.5 permite verificar que o DNER propõe acréscimos, valores mínimos, similares a AASHTO.

Há que se ressaltar que ao leitor do texto do DNER (1974, 1979) pode parecer que a orientação daquele órgão é procurar reduzir a distância de visibilidade oferecida ao mínimo: aparece mais uma vez a tendência do DNER de recomendar as menores distâncias de visibilidade para frenagem, que pode deixar como resultado alguma economia nas obras, mas também pode prejudicar a segurança ao tráfego oferecida pelas rodovias.

A figura 5.5. é um resumo comparativo entre os valores do acréscimo sugeridos pelo DNER (1974, 1979) e pela AASHTO(1990). Os números expostos indicam que o DNER sugere valores similares aos da AASHTO - exceção feita às velocidades altas, onde pode parecer que o DNER sugere valores maiores, o que pode ser favorável à segurança.

Figura 5.5. Comparação entre os acréscimos às distâncias de visibilidade estimadas pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990), devido às descidas - valores máximos, em metros

A figura 5.6. é um resumo comparativo entre os valores de redução à distância de visibilidade mínima para frenagem devido a subidas, valores mínimos, sugeridos pelo DNER(1974, 1979) e pela AASHTO(1990). Os números expostos indicam que o DNER sugere, a partir de 60 km/h, valores maiores que os da AASHTO - nas velocidades altas, o DNER sugere valores maiores, o que pode ser favorável à segurança.

Figura 5.6. Comparação entre os reduções às distâncias de visibilidade estimadas pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990), devido às subidas - valores máximos, em metros

A figura 5.7. é um resumo comparativo entre os valores de decréscimo à distância de visibilidade mínima para frenagem, devido às subidas, valores máximos, sugeridos pelo DNER(1974, 1979) e pela AASHTO(1990). Os números expostos indicam que praticamente o DNER sugere valores similares aos da AASHTO até os 80 km/h. Para velocidades mais altas, o DNER sugere valores maiores, o que pode ser contrário à segurança de tráfego dos veículos.

Figura 5.7. Comparação entre os decréscimos às distâncias de visibilidade estimadas pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990), devido às subidas - valores máximos, em metros

A figura 5.8. é um resumo comparativo entre os valores de decréscimo à distância de visibilidade mínima para frenagem devido a subidas, valores mínimos, sugeridos pelo DNER(1974, 1979) e pela AASHTO(1990). Os números expostos indicam que o DNER sugere, a partir de 60 km/h, valores maiores que os da AASHTO - nas velocidades altas, o DNER sugere valores maiores, o que pode ser contrário à segurança do tráfego de veículos.

Figura 5.8. Comparação entre os decréscimos às distâncias de visibilidade estimadas pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990), devido às subidas - valores mínimos, em metros

As diferenças entre os valores expostos nos gráficos 5.4 a 5.8 também poderiam ser atribuídas às diferenças existentes entre as velocidades operacionais adotadas pelo DNER (1979) e pela AASHTO (1990). A AASHTO (OLSON et alii, 1984) mantém, em todos os estados americanos, pesquisas constantes para verificar as velocidades operacionais dos veículos pelas rodovias americanas - na prática o DNER adotou apenas um desses resultados.

Também, o texto do DNER (1979) continua, nesse item, a refletir a tendência do órgão: há uma confusão em se tentar recomendar a velocidade tida como a real média dos veículos em cada segmento da via, ou seja, a declarada “velocidade operacional”, menor que a velocidade de projeto, para as estimativas dos valores mínimos para a distância de visibilidade para frenagem - mais uma vez há, no DNER, um compromisso com a redução de custos de obras em prejuízo para a segurança de tráfego dos veículos pela via

Entretanto, tanto o DNER (1974, 1979), quanto a AASHTO (1990) são pouco claros ao propor o estudo de alterações nos valores sugeridos para a distância de visibilidade para frenagem para os caminhões. As avaliações relatadas por OLSON et alii (1984, páginas 21 a 24) podem contribuir para esclarecer um pouco mais o tratamento da visibilidade para frenagem:

- a. A distância para frenagem para os caminhões é em torno de 35% maior que para os automóveis. A tabela 5.1 resume as sugestões para as distâncias mínimas para frenagem para os caminhões.

Tabela 5.1. Distâncias de visibilidade para frenagem - comparação entre carros e caminhões (OLSON et alii, 1984 - página 22)

Velocidades dos veículos (km/h)	30	50	60	80	100	110	120
Distância para frenagem dos automóveis (m)	10	23	45	77	120	180	250
Distância para frenagem para os caminhões (m)	14	33	63	107	164	235	319

- b. Os modelos adotados para estudo da frenagem dos automóveis sem o travamento da roda não são adequados para os caminhões.
- c. A altura dos bancos de motorista nos caminhões pode resultar, quando testados nas mesmas condições que os automóveis (altura do objeto, etc.), em acréscimos da ordem de 40% nos valores adotados para as distâncias percorridas durante os tempos de percepção e reação do motorista ante a presença do obstáculo.

De outro lado, as propostas dos dois órgãos (DNER, 1974, 1979; AASHTO, 1990) são rígidas e não contém por exemplo:

- d. Possibilidade de variar o tipo de veículo adotado no projeto - uma camioneta pode ser melhor para o projeto numa área rural que outro veículo;
- e. Considerações sobre a dificuldade operacional de veículos nas curvas; o modelo adotado só considera “rodas travadas”, esquece-se da perda de controle do veículo.

5.4. A área lateral livre de obstáculos laterais

As sugestões do DNER (1979), e da AASHTO (1990), quanto ao tratamento das distâncias laterais livres de obstáculos são similares em termos matemáticos. Se aplicadas para as mesmas condições (raios, distâncias mínimas de visibilidade para frenagem, etc.), levam praticamente aos mesmos resultados. Entretanto, ambas as propostas estão sujeitas ao mesmo tipo de crítica:

- a. As experiências de verificação no campo (OLSON et alii, 1984, página 43) indicam que, para velocidades maiores que 80 km/h, é necessário adotar valores para a distância mínima de visibilidade para frenagem e distância lateral livre de obstáculos maiores que as preconizadas pela AASHTO (1990) e pelo DNER (1979). A tabela 5.2 resume algumas das propostas.

Tabela 5.2. Propostas para a distância lateral livre de obstáculos
(OLSON et alii, 1984)

Velocidade do veículo (km/h)	Grau de curva típico	AASHTO (1990)		Recomendado para velocidades altas	
		Distância de visibilidade (m)	Distância lateral livre de obstáculos máxima (m)	Distância de visibilidade (m)	Distância lateral livre de obstáculos máxima (m)
80	8	145	12	170	16
100	5	210	14	256	24
115	4	260	19	370	38
130	3	335	24	500	55

- b. As formulações adotadas não permitem observar que, no início e no fim das curvas, pode haver uma redução na necessidade de distância lateral livre de obstáculos.

OLSON et alii (1984, páginas 42 e 43) relatam resultados de experiências que indicam que até uma distância na tangente, antes da entrada da curva, equivalente à metade da distância de visibilidade, pode haver acréscimos na distância lateral livre de obstáculos. Isso pode ser confirmado graficamente, ou usando as fórmulas deduzidas no item 3.2.

- c. A formulação adotada pela AASHTO e pelo DNER não permitem estimativas da distância lateral livre de obstáculos laterais quando o comprimento da distância mínima necessária para frenagem é maior do que o comprimento (desenvolvimento) da curva horizontal.

Mas, nas curvas de pequeno raio, as distâncias laterais livres de obstáculos podem ser importantes, mas possuir pequenas dimensões. OLSON et alii (1984) relatam exemplo onde comprovam que há reduções de 25% nos comprimentos da distância livre de obstáculos, quando a distância de visibilidade tem um comprimento igual ao dobro do desenvolvimento da curva.

VI. Conclusões e sugestões

A distância mínima de visibilidade para frenagem é um dos mais críticos e importantes elementos característicos da geometria de rodovias. A disponibilidade de distâncias de visibilidade adequadas e que assegurem aos motoristas condições de operação dos veículos para frenagem antes de objetos na via é um fator de segurança em toda a rodovia: a primeira razão para aumentar a distância de visibilidade nas vias são os benefícios à segurança do tráfego.

6.1. Distância de visibilidade e geometria

Nesse trabalho, mostrou-se que há relações geométricas entre parâmetros que caracterizam uma curva horizontal circular de uma via e a distância de visibilidade necessária para a operação de frenagem durante a condução de veículos.

As deduções relatadas no capítulo II mostram que é possível expressar relações entre as posições de observador, obstáculo visual e objetos numa curva horizontal de rodovia que permitem relacionar as distâncias percorridas pelos veículos durante o processo de frenagem, as cordas que se constituem em linhas de visada dos motoristas e os elementos característicos das curvas (raio, desenvolvimento, etc.) para qualquer seja a posição relativa entre eles. Nos ativemos às expressões geométricas exatas dessas relações.

Também, as expressões discutidas mostram que é possível generalizar o processo de estimativa da distância de visibilidade em curvas horizontais circulares quando as características geométricas da curva são conhecidas, ou podem ser medidas (item 2.5). E, que é possível expressar, de maneira genérica, a distância percorrida pelos veículos durante o processo de frenagem em função das características da curva (item 2.6).

Mostrou-se, outrossim, que é possível, através de estudos de geometria das curvas caracterizar “áreas que devem ser mantidas livres de obstáculos nas laterais de curvas das vias” para assegurar, aos motoristas, as condições de visibilidade para frenagem apesar de obstáculos laterais à via (capítulo III).

Mostrou-se que existem relações geométricas entre m (distância radial livre de obstáculos), SD (arco percorrido pelo veículo, igual a distância para frenagem), R (raio da curva), I (ângulo central) e L (desenvolvimento da curva) que permitem resolver problemas tais como “dados SD , R e L , obter o m necessário para que na curva sempre tenhamos distância de visibilidade para frenagem maior, ou igual a SD ”, ou “dados m , SD e I , obter o raio mínimo necessário para que se tenha a distância de visibilidade para frenagem maior, ou igual a SD ”.

A cada par “raio R ” e “distância mínima de visibilidade para frenagem, SD ”, na curva horizontal circular de centro O , mostrou-se que pode-se definir uma área, que deve ser livre de obstáculos, para garantir a existência da distância de visibilidade para frenagem na curva e onde os valores dos afastamentos são a máxima proximidade que os obstáculos podem ter da linha de visada do observador (motorista) (item 3.2).

Dessa forma, o estudo das distâncias de visibilidade nas curvas horizontais circulares das vias pode ser efetuado adotando-se formulações exatas, tanto para a capacidade de frenar com segurança os veículos que trafegam pela curva, como para assegurar aos motoristas a necessária distância lateral livre de obstáculos à visão.

6.2. O DNER e a distância de visibilidade para frenagem

Além dos itens expostos em 6.1, discutiram-se alguns tópicos sobre as recomendações do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER, 1974, 1979) visando esclarecer aspectos sobre os resultados de aplicação de processos propostos pela AASHTO (1990), para estudos da distância de visibilidade para frenagem, sua qualidade e atualização.

Formalmente, as especificações do DNER (1979) e da AASHTO (1990) são similares.

Em 1974, as propostas do DNER sobre a distância de visibilidade (DNER, 1974) tiveram como referência mais básica a classificação técnica de vias vigente e as condições de relevo atravessados pelas rodovias. É certo que muito dos critérios adotados já se amarravam com as propostas da AASHTO (1965, 1971), mas a redação adotada levou a amarrar os critérios de visibilidade da via à sua classificação técnica. As propostas do DNER (1974), se aplicadas ao pé da letra, levariam o meio técnico brasileiro a usar conceitos e números associados à distância mínima de visibilidade de frenagem que pouco discutiam da segurança que as vias devem oferecer aos usuários.

A AASHTO atualiza suas especificações em intervalos que variam, mas têm uma média próxima dos dez anos. Mais ainda, os textos e pesquisas financiadas pela AASHTO visam manter uma atualização concreta com a modificação da frota, das características técnicas e de operação das vias, e a capacidade somada aos hábitos dos motoristas. Também, a AASHTO conta com um processo constante de avaliação das consequências de aplicação de suas propostas à operação e segurança das rodovias. E, os textos da AASHTO tem uma forma escrita que incentiva à tentativa de entendimento do processo de frenagem e suas relações com o controle dos veículos e segurança das vias.

Os textos expostos pelo DNER (1972, 1979) refletem uma tentativa de levar o leitor a adotar, preferencialmente, valores para a distância mínima de visibilidade para frenagem os menores possíveis - a preocupação dos autores parece ser diminuir o custos das rodovias, fato que pode levar à redução da segurança ao tráfego. Nas sugestões pela AASHTO (1954, 1965, 1971, 1985, 1990), a análise dos valores indica uma tendência de crescimento dos mínimos para a distância de visibilidade para frenagem advinda de estudos que tentam relacionar a segurança e a distância de visibilidade nas vias.

Entretanto, a evolução tecnológica dos veículos e vias, e os estudos sobre a distância de visibilidade para frenagem, que supomos esteja refletida nas especificações da AASHTO (1990), tende a ser um conjunto de fatos mais genéricos que, se adotados, podem resultar em contribuições à segurança e melhoria das condições operacionais das rodovias.

Visando o aperfeiçoamento da estimativa da distância de visibilidade para frenagem e quanto ao estudo do coeficiente de atrito longitudinal pneu-pavimento (item 5.1), verifica-se que o DNER necessita anexar às suas especificações conclusões de pesquisas sobre:

- a. As relações entre as condições de pavimentos, frota e pneus existentes no Brasil;
- b. A frenagem controlada, que evita o travamento das rodas e não usa o coeficiente de atrito máximo pneu-pavimento;
- c. Os coeficientes de atrito dos pneus dos caminhões.

Além do mais, o DNER (1979) não relata dados para velocidades maiores que 100 km/h. Se, por um lado a restrição de velocidade foi um elemento adotado para segurança e economia de combustíveis, de outro é discutível a sua extensão aos estudos e projetos. E, experiências e estudos para controle de rodovias existentes e relações entre visibilidade e segurança nos Estados Unidos mostram uma tendência de aumento do comprimento das distâncias adotadas para controle da visibilidade para frenagem pela anexação de conclusões sobre estudos da frenagem em velocidades altas, a partir de 80 km/h.

As velocidades operacionais adotadas pelo DNER devem ser discutidas e analisadas para refletir o processo de operação de veículos nas vias do Brasil: A AASHTO mantém, em todos os estados americanos, pesquisas constantes para verificar as velocidades operacionais dos veículos pelas rodovias americanas - na prática o DNER adotou apenas um desses resultados.

Os textos do DNER (1972, 1979) refletem a tendência do órgão: há confusão ao se tentar recomendar a velocidade tida como a real média dos veículos em cada segmento da via, ou seja, a declarada "velocidade operacional", menor que a velocidade de projeto, para as estimativas dos valores mínimos para a distância de visibilidade para frenagem - mais uma vez há, no DNER, um compromisso com a redução de custos de obras em prejuízo para a segurança de tráfego dos veículos pela via

O DNER e a AASHTO (1990) são pouco claros ao propor o estudo de alterações nos valores sugeridos para a distância de visibilidade para frenagem para os caminhões. Estudos e pesquisas devem ser conduzidos para:

- d. Verificar dados sobre a distância de frenagem para os caminhões ;
- e. Identificar modelos para estudo da frenagem dos automóveis sem considerar o travamento da roda;
- f. Estudar a influência da altura dos caminhões na visibilidade e nas reações dos motoristas;

E, em termos gerais também deve-se estudar e pesquisar para:

- g. Verificar a possibilidade de variar o tipo de veículo adotado nos projetos, estudos e pesquisas;
- h. Esclarecer a dificuldade operacional de veículos nas curvas; o modelo adotado só considera "rodas travadas", esquece-se da perda de controle do veículo.
- i. Estudar melhor as experiências sobre os valores da distância de frenagem para velocidades maiores que 80 km/h que indicam que os motoristas tendem a iniciar a frenagem com uma tentativa de controle do veículo, evitando o travamento das rodas e aumentando a distância necessária para a frenagem porque não se utilizam do valor máximo do coeficiente de atrito pneu-pavimento;

Outrossim, temos a lembrar que, nas curvas, a força de aceleração aplicada aos veículos pode ser decomposta em duas componentes, a centrípeta e a tangencial. Durante a frenagem, isso implica que, durante a frenagem, há uma redução da força disponível para desaceleração do veículo - é necessário pesquisar melhor sobre o fato.

Ainda mais, o próprio processo adotado para os estudos sobre a distância mínima de visibilidade para frenagem está mudando. Em 1985, adotou-se o modelo "distância de visibilidade para decisão", que consta também das especificações da AASHTO (1990), e, em muitos casos leva a recomendações sobre a distância de visibilidade muito mais exigentes, e maiores comprimentos da distância de visibilidade do que o conceito "distância mínima de visibilidade para frenagem", porque se prevê dar ao motorista margens para erro, tempo e espaço para manobras. Há que se recomendar ao DNER estudos sobre esse conceito e sua aplicação.

As sugestões do DNER (1979), e da AASHTO (1990) quanto a distância lateral livre de obstáculos, se aplicadas para as mesmas condições (raios, distâncias mínimas de visibilidade para frenagem, etc.), levam praticamente aos mesmos resultados. É necessário conduzir pesquisas para:

- j. Definir a distância mínima de visibilidade para frenagem e distância lateral livre de obstáculos para velocidades maiores que 80 km/h;
- l. Conhecer a distância livre de obstáculos nos inícios e fins de curvas;
- l. Permitir estimativas da distância lateral livre de obstáculos laterais quando o comprimento da distância mínima necessária para frenagem é maior do que o desenvolvimento da curva horizontal.

Referências bibliográficas

- AASHO. *A policy on sight distance for highways*. American Association of State Highway Officials. Washington D.C., 1940;
- AASHTO. *A policy on design standards for stopping sight distance*. American Association of State Highway Officials. Washington D.C., 1971;
- AASHTO. *A policy on geometric design of highways and streets*. American Association of State Highway Officials. Washington D.C., 1984;
- AASHTO. *A policy on geometric design of highways and streets*. American Association of State Highway Officials. Washington D.C., 1990;
- AASHTO. *A policy on geometric design of rural highways*. American Association of State Highway Officials. Washington D.C., 1954;
- AASHTO. *A policy on geometric design of rural highways*. American Association of State Highway Officials. Washington D.C., 1965;
- CLEVELAND, C.D. et alii. *Stopping sight distance parameters*. IN:Transportation Research Record 1026. TRB. Washington. 1985. p.13-23;
- DNER. *Instruções para o projeto geométrico de rodovias rurais*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, 1979;
- DNER. *Manual de projeto de engenharia rodoviária*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, 1974;
- HALL, J.W. & TURNER, D.S.. *Stopping sight distance: can we see where we now stand?*. IN:Transportation Research Record 1208. TRB. Washington. 1989. p.4-13;
- McGEE, H.W. et alii. *Decision sight distance for highway design and traffic control requirements*. Report FHWA-RD-78-78. Federal Highway Administration. U.S. Department of Transportation. Washington, 1978. 70p.;
- McGEE, H.W. *Reevaluation of the usefulness and application for decision sight distance*. IN:Transportation Research Record 1208. TRB. Washington. 1989. p.85-89;
- OLSON, P.L. et alii. *Parameters affecting stopping sight distance*. NCHRP Report 270. Transportation Research Board. Washington D.C., 1984. 166p.;
- WAISSI, G.R. & CLEVELAND D.E. *Sight distance relationships involving horizontal curves*. IN:Transportation Research Record 1122. TRB. Washington. 1987. p.96-107;
- NEUMAN, T.R.; GLENON, J.C. e LEISCH, J.E.. *Functional analysis of stopping sight distance requirements*. IN:Transportation Research Record 923. TRB. Washington. 1984. p.57-64
- GLENON, J.C. *Effect of sight distance on highway safety*. IN: TRB State of Art Report. TRB. 1987. p.64-77
- GLENON, J.C. *Highway sight distance design issues: an overview*. IN:Transportation Research Record 1208. TRB. Washington. 1989. p.1-3;