ESTRADAS E AEROPORTOS

Prof. Vinícius C. Patrizzi

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

1. INTRODUÇÃO:

- Características geométricas inadequadas são causas de acidentes, baixa eficiência e obsolescência precoce da estrada, devendo portanto os elementos do projeto geométrico ser escolhidos de forma que a estrada possa atender aos objetivos para o qual foi projetada, isto é, segurança, conforto e eficiência.
- Para isso, o projeto geométrico deve ser elaborado em função das leis do movimento, do comportamento dos motoristas, das características de operação dos veículos e do tráfego.
- No Brasil as características técnicas a ser adotada nas estradas de rodagem são estabelecidas pela PORTARIA nº 19, de 10 de janeiro de 1.949.

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

2. VELOCIDADES:

- O tempo de viagem é um fator muito importante na escolha de um determinado meio de transporte por um usuário. Assim, é importante que a estrada dê condições para que os usuários possam desenvolver, de forma segura, velocidades compatíveis com suas expectativas.
- A velocidade de um veículo apresenta em determinado trecho, depende do motorista, do veículo e da estrada.
- **MOTORISTA:**
  - Capacidade ou habililidade;
  - Vontade;
  - Estado psicológico.

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

- **VEÍCULO:**
  - Tipo;
  - Peso;
  - Potência do motor;
  - Estado de conservação;
  - Combustível.

- **ESTRADA:**
  - Características Geométricas (rampa, raio das curvas, visibilidade, superelevação, etc.;
  - Estado da superfície de rolamento;
  - Volume e composição do tráfego;
  - Condições climáticas;
  - Velocidade máxima legal;
  - Policiamento.

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

- **VELOCIDADE DE PROJETO (*Vp*):**

  - É a velocidade máxima que um veículo pode manter, num trecho de estrada, em condições normais, com segurança;

  - A escolha virá de uma análise cuidadosa entre a possibilidade de obter-se uma estrada de um melhor padrão ou de uma estrada de menor custo, dependendo da topografia.

  - Velocidade de projeto única para toda rodovia, porém, somente quando houver grandes variações nas condições topográficas da região atravessada ou grandes alterações nas características do tráfego esperado é justificável o uso de velocidades diferentes para diversos trechos.

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

Valores da velocidade de projeto recomendados pelo DER-SP.

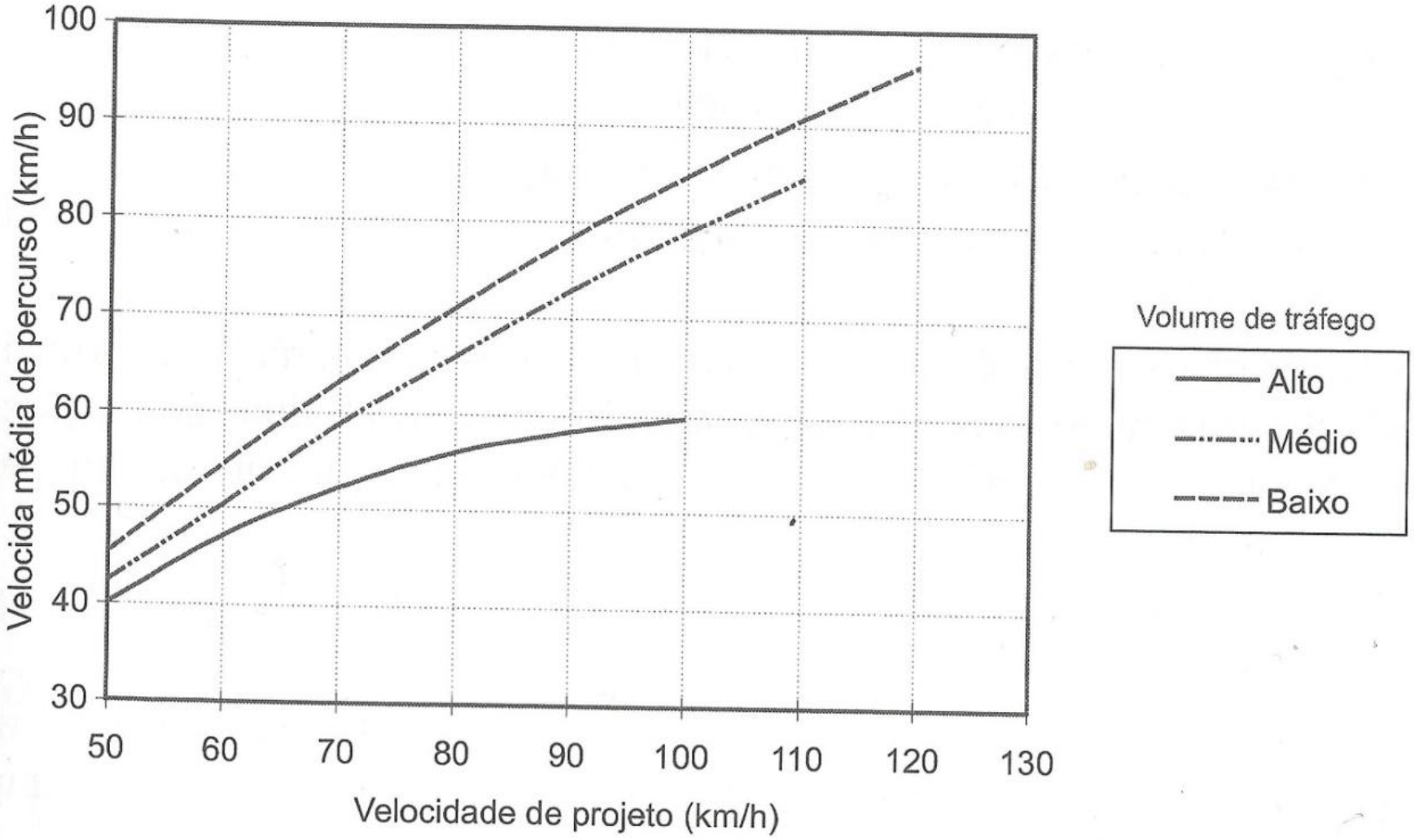
Classe da rodovia	VDM*	Tipo de terreno	Velocidade de projeto (km/h)	
			Desejável	Mínima
E	4.401 a 50.000	plano	120	100
		ondulado	100	80
		montanhoso	80	60
I	1.501 a 4.400	plano	100	100
		ondulado	80	80
		montanhoso	60	60
II	501 a 1.500	plano	80	80
		ondulado	60	60
		montanhoso	40	40
III	Até 500	plano	60	60
		ondulado	40	40
		montanhoso	30	30

* VDM: volume diário médio de tráfego esperado.

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

- **VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO (*Vm*):**

- É a média de velocidades para todo o tráfego ou parte dele, obtida pelas somas das distâncias percorridas dividida pelo tempo de percurso;
- Melhores características geométricas e maior segurança encorajam os motoristas a andar em maiores velocidades tornando a ***Vo*** uma função da ***Vp*.**


Velocida média de percurso (km/h)
100
90
80
70
60
50
40
30
50
60
70
80
90
100
110
120
130
Velocidade de projeto (km/h)
Volume de tráfego
Alto
Médio
Baixo

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

3. DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE:

- É a distância necessária para que um motorista, ao avistar um obstáculo no seu percurso, possa desviar ou parar;
- A segurança da estrada está diretamente relacionada às condições de visibilidade que ela oferece;
- Cuidados especiais devem ser tomados nos acessos à estrada, de forma que todos os veículos que vão entrar nas correntes de tráfego possam ser vistos à distância suficiente;
- Os valores mínimos à serem respeitados são:
  - Distância de frenagem;
  - Distância de ultrapassagem.

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

A. **DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE FRENAGEM (*Df*):**

- É a distância mínima para que um veículo, que percorre a estrada, na velocidade de projeto, possa parar, com segurança, antes de atingir um obstáculo em sua trajetória;

- **Tempo de percepção =** é o espaço de tempo entre o instante em que o motorista percebe um obstáculo a sua frente e o instante em que decide iniciar a frenagem. Este tempo depende de: distância até o objeto, habilidade ótica do motorista, forma e cor do obstáculo, condições de visibilidade e especialmente atenção do motorista.

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

- **Tempo de reação =** é o intervalo de tempo entre o instante em que o motorista decide frenar e o instante em que efetivamente inicia a frenagem.

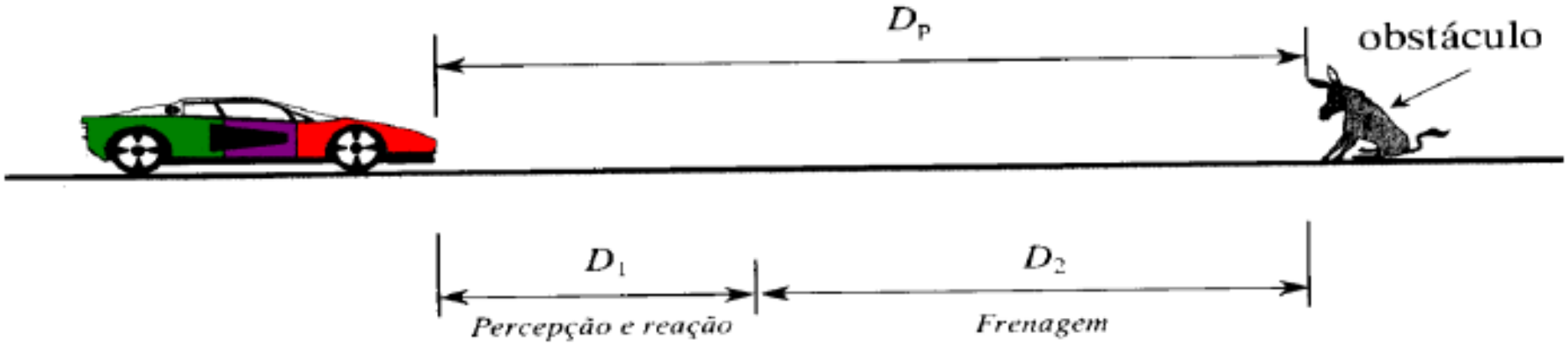
- A escolha de um valor para adotar no projeto deve levar em consideração a necessidade de adotar-se um valor seguro, e
- A observação de que o tempo de reação dos motoristas depende do seu nível de atenção.

Tp = 1,5 s **Tr = 1 s** **Tp + Tr = 2,5 s**

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

I. Método da A.A.S.H.T.O.

- Americon Association of State Highway and Transportation Officials.
- Através desse método podemos calcular a distância de frenagem, que será a soma de duas parcelas.
- A primeira D1 é relativa à distância percorrida pelo veículo durante o tempo de percepção e reação.
- A segunda D2 é referente à distância percorrida durante a frenagem.



ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

- ***D1 = V x Tr***

  D1 = 0,7 x V

Tr = tempo de percepção e reação

D_1 = distância percorrida pelo veículo no tempo de reação e percepção(m)

V = velocidade de projeto (km/h)

- Experiências realizadas mostram que a distância percorrida pelo veículo durante a frenagem ***D2*** não pode ser determinada como o espaço percorrido num movimento uniformemente desacelerado, porque a desaceleração do veículo não é uniforme.
- A ação do freio do veículo não é constante, diminuindo após certo tempo de frenagem e, além disso, a pressão de frenagem exercida pelo motorista começa de forma suave e tende a aumentar a medida que o veículo aproxima-se do obstáculo.
- O valor de ***D2*** para um trecho em nível, pode ser obtido pela equação:

$$D_2 = \frac{0{,}0039 \cdot V^2}{f_L}$$

D_2 = distância percorrida durante a frenagem (m);

V = velocidade de projeto (km/h);

f_L = coef. de atrito longitudinal entre pneu e pavimento.

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

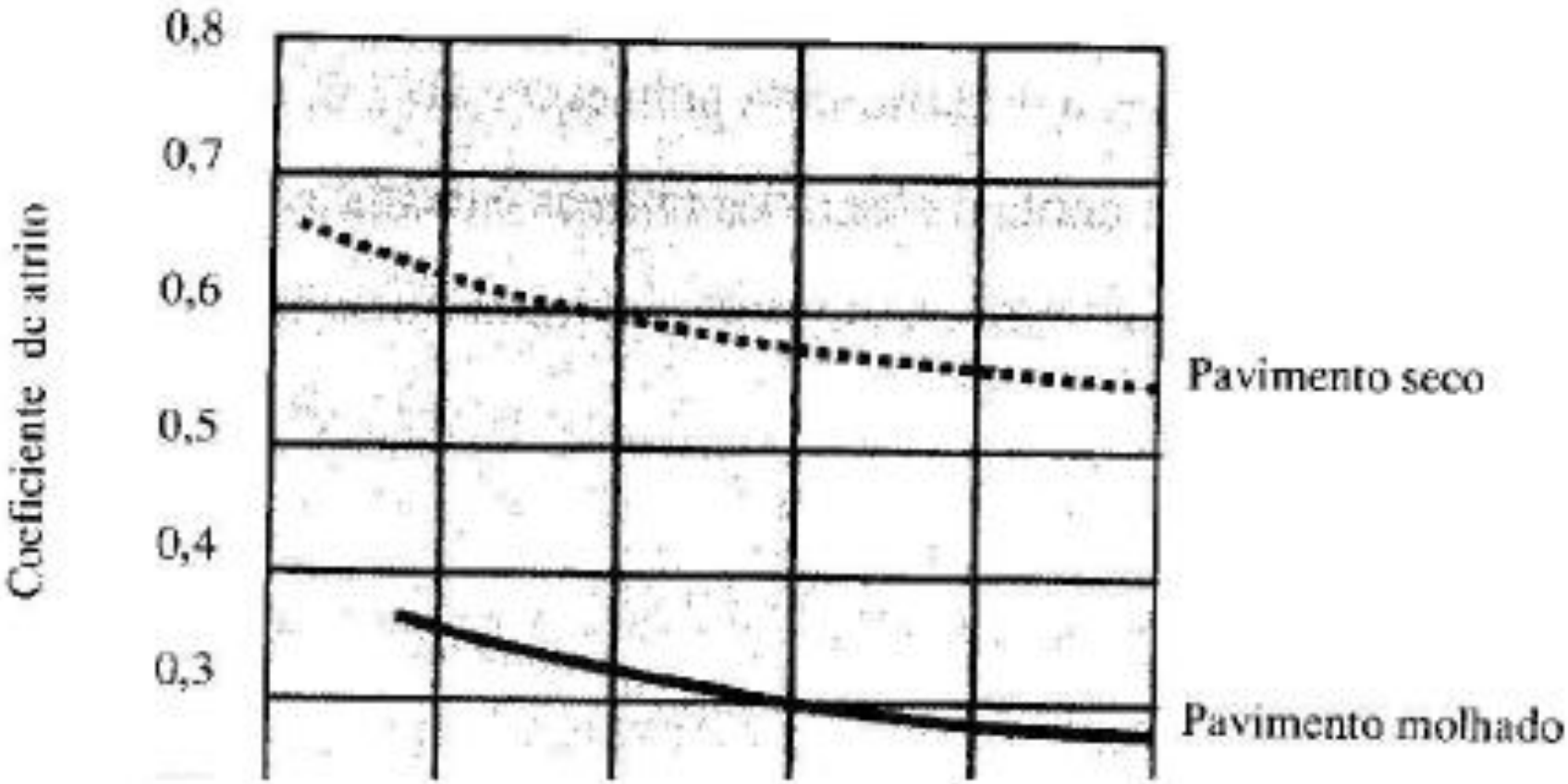
- ***Onde temos:***

$$Df = 0{,}7 \cdot V + \frac{0{,}0039 \cdot V^2}{f_L}$$

- **<u>Coeficiênte de atrito longitudinal (fl):</u>**

- Medidas feitas do coeficiente de atrito longitudinal *fl*, mostram que não é o mesmo para todas as velocidades, ele diminui a medida que a velocidade aumenta.
- Além disso este coeficiente também varia com o tipo, pressão e condições dos pneus do veículo, tipo e estado da superfície do pavimento, e especialmente se o pavimento está seco ou molhado.

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO



Relação entre o coeficiente de atrito longitudinal e a velocidade

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

- Medições feitas na pista experimental da AASHTO para pista seca e pista molhada constataram a variação nos valores do coeficiente de atrito longitudinal.

Velocidade (km/h)	Coeficiente de atrito longitudinal, f_L	
	Pavimento seco	Pavimento molhado
50	0,62	0,36
60	0,60	0,34
70	0,59	0,32
80	0,58	0,31
90	0,57	0,31
100	0,56	0,30
110	0,55	0,30
120	0,54	0,29
130	0,53	0,28

Fonte: **AASHTO**

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

- Alguns projetistas levam em consideração que, em condições chuvosas, a velocidade efetiva do veículo é reduzida para um valor médio inferior à velocidade diretriz.

$V_{diretriz}$ (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	120
V_{media} (km/h) *	30	38	46	54	62	71	79	86	98
f_L	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,28

(*) Pista molhada

Fonte: **DNIT**

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

- **<u>Efeito das rampas sobre a distância de frenagem:</u>**
  - Nos trechos em rampa a componente do peso do veículo, na direção da rampa, ajuda o veículo nas subidas e dificulta nas decidas.
  - Chamando-se de ***i*** a inclinação da rampa e adotando a convensão:

$$D_2 = \frac{0{,}0039 \cdot V^2}{f_L \pm i}$$

Rampa de subida: + *i*
Rampa de descida: - *i*

  - Assim, nos trechos em rampa, a distância de frenagem é calculada pela seguinte equação:

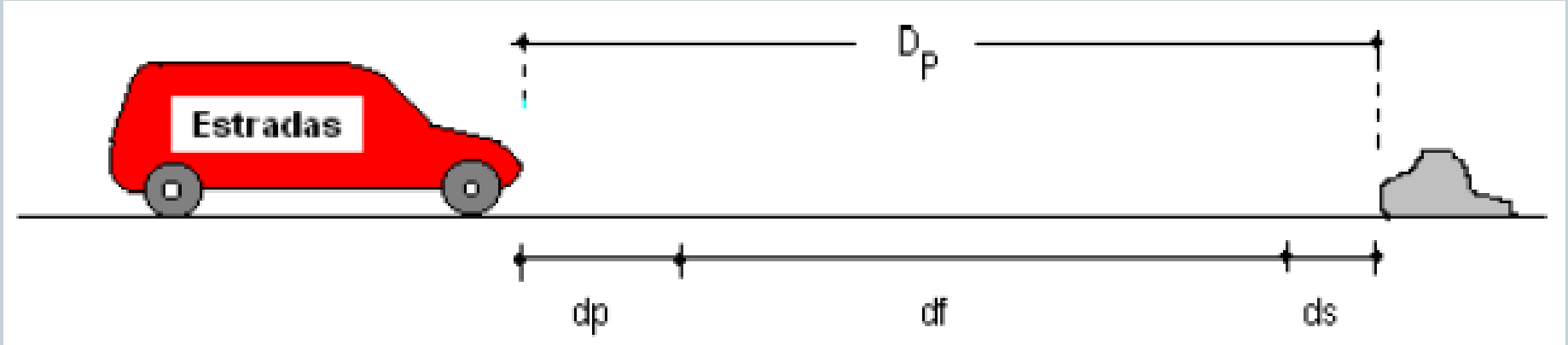
$$Df = 0{,}7 \cdot V + \frac{0{,}0039 \cdot V^2}{f_L \pm i}$$

D_f = distância de frenagem (m);
V = velocidade de projeto (km/h);
f = coeficiente de atrito longitudinal entre pneu e pavimento;
i = inclinação em rampa (m/m).

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

II. Método do D.N.E.R.

- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- As normas para o projeto de estradas de rodagem, estabelecem que a distância de frenagem deve ser calculada como a distância mínima necessária para que dois veículos que percorram a mesma faixa de tráfego em sentidos opostos, possam evitar o choque, recorrendo aos freios.



ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

- A norma recomenda o uso da equação: $Df = d_p + d_f + d_s$

Df = distância total de frenagem (distância simples de visibilidade de parada);
d_p = distância percorrida durante o tempo de percepção e reação do motorista;
d_f = distância percorrida durante a frenagem;
d_s = distância de segurança;
tempo de percepção = 1 segundo
tempo de reação = 1/3 segundo
v = velocidade do veículo

$d_p = (4/3).v$ $\qquad$ $d_f = v^2 / 2.g.f$ $\qquad$ $d_s = (1/3).v$

- Considerando f = 0,40; g = 9,8 m/s²; v (m/s) = V (km/h)/3,6, encontra-se um expressão que é utilizada nas interseções, semáforos e trechos de pista dupla:

$$D_f = (0,5 + 0,01 . V^2)$$

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

- Para maior segurança, o DNER utiliza a distância dupla de visibilidade de parada em estradas de uma só pista:

$$\boxed{Df = 2 \cdot \left(0{,}5 \cdot V + 0{,}01 \cdot V^2\right)}$$

D_f = distância de frenagem (m); V = velocidade de projeto (km/h).

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

B. **DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE PARA ULTRAPASSAGEM (*Du*):**

- Nas estradas de pistas com dois sentidos de tráfego, é necessário um grande número de trechos, com visibilidade suficiente, para que os veículos mais rápidos possam ultrapassar os mais lentos.
- Para o uso no projeto, define-se como distância de visibilidade de ultrapassagem ***Du*,** a distância necessária para que um veículo possa executar a manobra de ultrapassagem de um outro veículo, com segurança.
- A definição de um valor mínimo para a ***Du*,** tem como objetivo estabelecer uma condição mínima de visibilidade a ser respeitada em alguns trechos da estrada.
- Grandes trechos, maiores de 2 Km, sem visibilidade mínima para a ultrapassagem reduzem a capacidade de tráfego da estrada e afetam a segurança do tráfego.

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

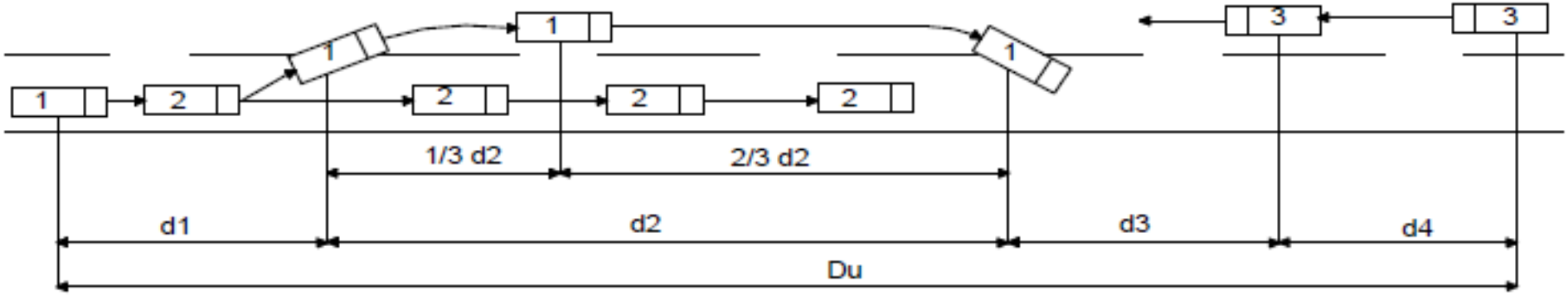
I. Método da A.A.S.H.T.O.

- Para a determinação de um valor adequado de Du, é necessário adotar algumas hipóteses sobre o comportamento dos motoristas e veículos nas manobras de ultrapassagem, que são:

- O veículo 2 a ser ultrapassado trafega a uma velocidade constante V2.
- O veículo 1 que vai ultrapassar reduz sua velocidade para V2 e acompanha o veículo a ser ultrapassado, até visualizar o espaço suficiente para executar a ultrapassagem.
- Quando aparece um espaço suficiente, o motorista gasta um certo tempo de reação e inicia a aceleração do seu veículo para ultrapassagem.
- O veículo 1 que ultrapassa, executa a manobra pela faixa de tráfego de sentido oposto. Ele acelera seu veículo durante o tempo de ocupação da faixa esquerda obtendo uma velocidade média 16 Km/h mais alta que a velocidade V2 do veículo ultrapassado.
- Quando o veículo 1 termina a manobra, voltando a sua faixa de tráfego haverá um espaço de segurança d3 entre ele e o veículo 3 que vem no sentido contrário.

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

Manobra de Ultrapassagem



Esquema para manobra de ultrapassagem

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

- Baseando-se nessas hipóteses, calcula-se a distância de visibilidade de ultrapassagem com a seguinte expressão: $D_u = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$

d_1 = distância percorrida durante o tempo de reação e aceleração inicial (m);

d_2 = distância percorrida pelo veículo 1, durante o tempo em que este ocupa a faixa de tráfego oposta (m);

d_3 = distância de segurança (m);

d_4 = distância percorrida pelo veículo 3, que trafega no sentido oposto, e aparece no instante em que o veículo 1, acha que não tem mais condição para desistir da manobra (m);

$$d_1 = 0{,}278 \cdot t_1 \cdot \left(V - m + \frac{a \cdot t_1}{2} \right)$$

$$d_2 = 0{,}278 \cdot V \cdot t_2$$

d_3 = valor tabelado

$$d_4 = \frac{2 \cdot d_2}{3}$$

t_1 = tempo de manobra inicial (s) - tabelado;

t_2 = tempo que o veículo 1 ocupa a faixa oposta (s) - tabelado;
V = velocidade média de ultrapassagem (km/h) - tabelado;
m = diferença de velocidade entre o veículo 1 e o veículo 2 (16 km/h);
a = aceleração média (km/h.s) – tabelado

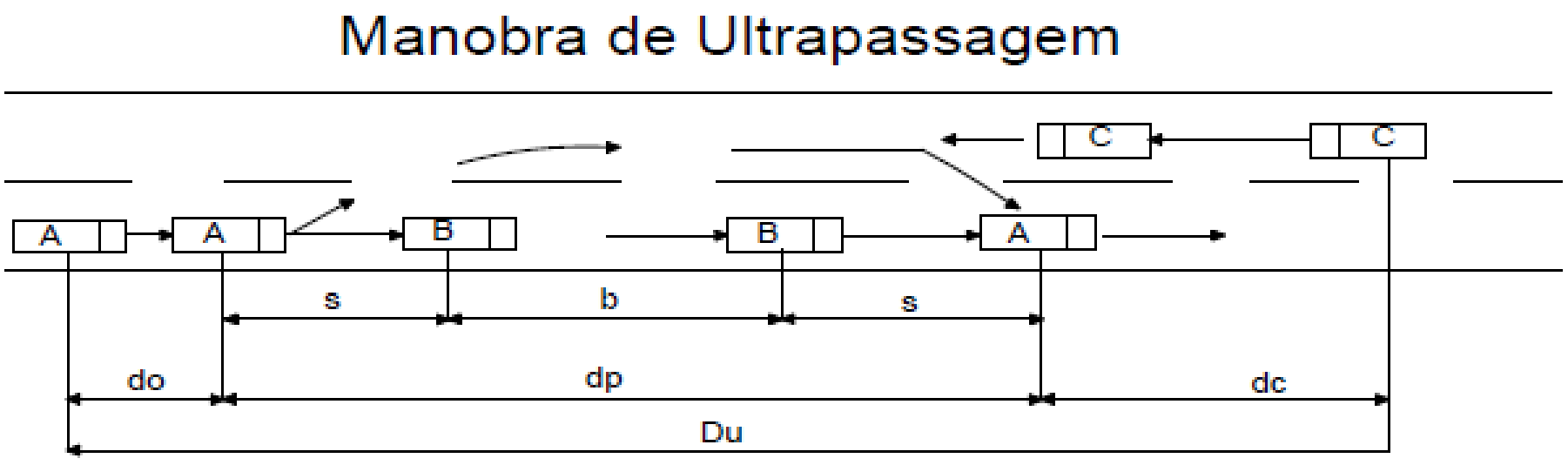
ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

Valores Adotados para o Projeto: Du (m)				
Velocidade Média de Ultrapassagem (km/h)	56	70	84	99
Manobra Inicial: a (km/h.s)	0,88	0,89	0,92	0,94
t_1 (s)	3,6	4,0	4,3	4,5
d_1 (m)	42	62	84	107
Ocupação da Faixa Oposta: t_2 (s)	9,3	10,0	10,7	11,3
d_2 (m)	145	195	250	311
d_3 (m)	30	55	75	90
d_4 (m)	97	130	167	208
$Du = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$	314	412	576	725

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

II. Método do D.N.I.T.

a) **Para o caso de uma estrada de uma só pista (2 faixas de tráfego):**



Esquema para ultrapassagem – DNER

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

Du = do + dp + dc

d_o - distância percorrida por A durante a observação e a decisão de realizar a ultrapassagem, no tempo t_0 $\rightarrow V_A = V_B$ $\rightarrow d_0 = V_0 \cdot t_0$

d_p - distância percorrida durante a ultrapassagem $\rightarrow$ $d_p = 2 \cdot s + b$

s - distância de desvio para entrar e sair da contramão

b - percurso do veículo B durante o tempo de ultrapassagem t_p

$$Du = V \cdot \left(1{,}25 + 0{,}5 \cdot \sqrt{\frac{V}{a}}\right)$$

Aceleração média em função da velocidade

V (km/h)	Aceleração (m/s^2)
100	0,60
80	0,80
60	1,00

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

b) **Para o caso de uma estrada com 2 pistas:**

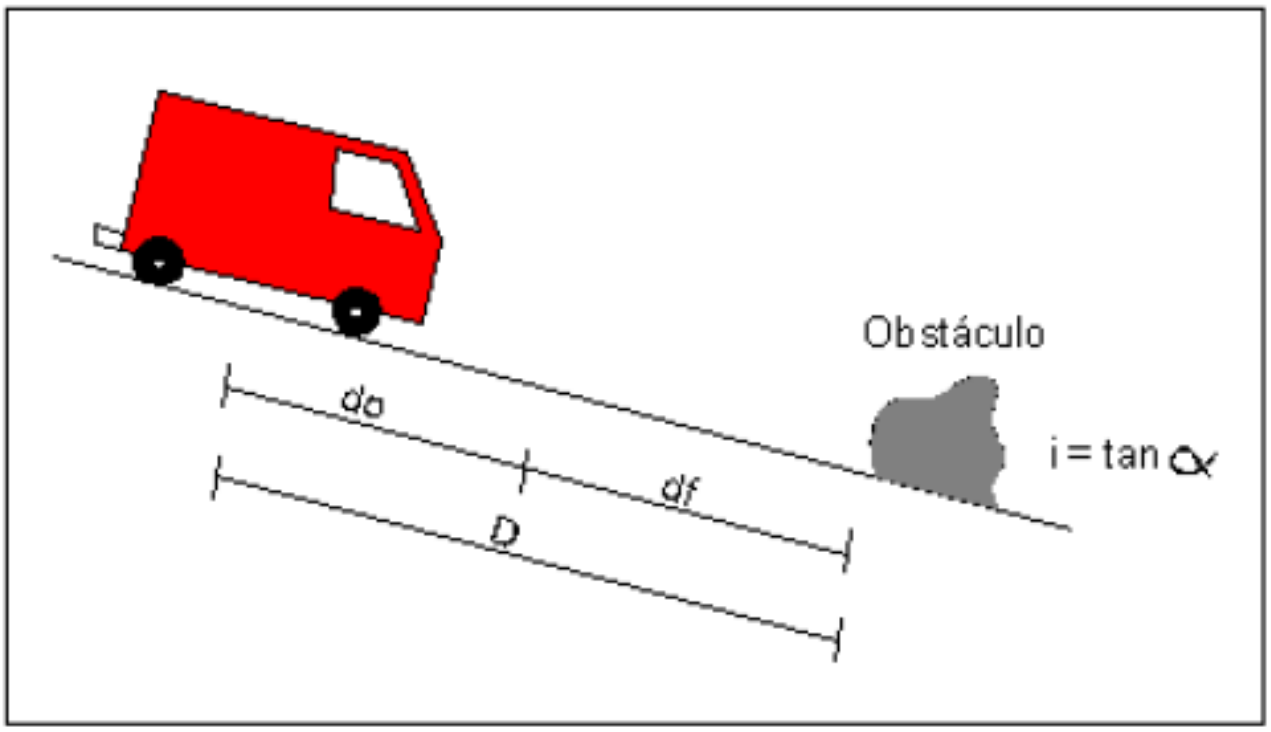
$$Du = V \cdot \left(1{,}25 + 0{,}2 \cdot \sqrt{\frac{V}{a}}\right)$$

- Recomendações das Normas para Estradas de classe especial:
  - Projetar a cada 3 Km trechos de ultrapassagem;
  - Para a determinação da distância dupla de visibilidade de parada, considerar a velocidade maior do que a de projeto:

$$V_1 = \frac{V}{0.75}$$

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

c) **Para o caso de estrada em declive:**



d_0 = distância percorrida durante a percepção e reação;
d_f = distância percorrida durante a frenagem.

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO

- Tempo de percepção e reação = 2,5 s (AASHTO)

$d_o = 2{,}5 \cdot V$

Logo:

$$D = 2{,}5 \cdot V + \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot (f_L \pm i)}$$

EXERCÍCIOS

1. Considerando uma estrada com o pavimento seco, num trecho em nível, onde um veículo se desloca com uma velocidade de 110 Km/h. Calcular a distância de frenagem necessária para este veículo conseguir parar com segurança, no caso do surgimento de um obstáculo na sua trajetória. Utilizar o método da AASHTO e a equação recomendada pela norma do DNER.
2. Considere o exercício anterior, com o mesmo trecho, agora em rampa ascendente de 3%. Calcule a ***Df*** pelo método da AASHTO.
3. Calcular a distância de visibilidade para ultrapassagem para um veículo que possui uma velocidade média de ultrapassagem de 80 km/h. com um tempo de manobra inicial *t1* = 4,21s, uma aceleração média de 0,91 km/h.s, o tempo em que o veículo ocupa a faixa oposta *t2* = 10,5 s e a distância de segurança é de 69,30m.

- **ENTREGA: PRÓXIMA AULA. (25/02/2013).**