

TRANSPORTES 1

Aula 4

Distância de Visibilidade

Distância de Ultrapassagem

Superlargura

Transportes

Distâncias de Visibilidade

As distâncias de visibilidade básicas para o projeto geométrico rodoviário são as distâncias de visibilidade de parada e as de ultrapassagem.

Segundo o DNER, as distâncias de visibilidade traduzem os padrões de visibilidade a serem proporcionados ao motorista, de modo que este não sofra limitações visuais diretamente vinculadas às características geométricas da rodovia e possa controlar o veículo a tempo, seja para imobilizá-lo, seja interromper ou concluir uma ultrapassagem, em condições aceitáveis de conforto e segurança.

Transportes

Distâncias de Visibilidade

Em qualquer trecho da estrada, o motorista deverá dispor de visibilidade, tanto em planta como em perfil, para que possa frear o veículo ante a presença de um obstáculo.

A distância de visibilidade é função direta da velocidade.

Transportes

Distâncias de Visibilidade de Parada

É a distância mínima necessária para que um veículo que percorre uma estrada possa parar antes de atingir um obstáculo na sua trajetória.

Distinguem-se dois grupos de valores mínimos para as distâncias de visibilidade de parada a serem proporcionadas ao motorista: os valores mínimos recomendados e os valores mínimos excepcionais (ou desejáveis).

Os valores recomendados representam o caso normal de emprego. O uso de valores excepcionais está sujeito à aprovação prévia do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem DNER.

Transportes

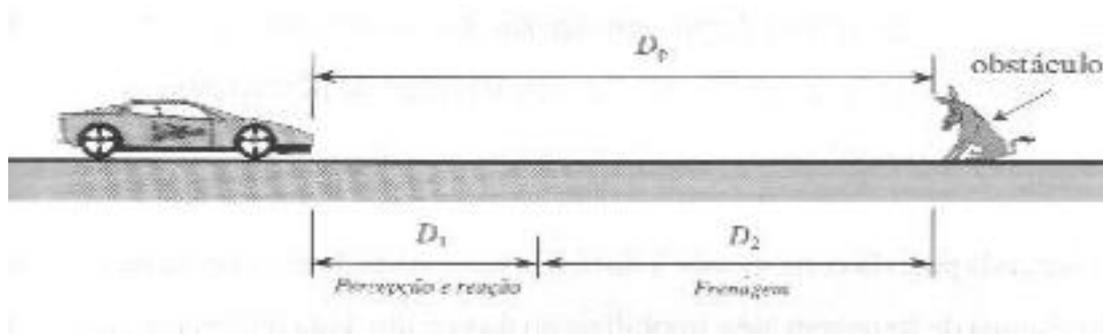
Distâncias de Visibilidade de Parada

No caso do valor mínimo recomendado, a velocidade efetiva de operação do veículo é reduzida, em condições chuvosas, para um valor médio inferior à velocidade diretriz.

A hipótese adotada para obter os valores excepcionais reflete a tendência dos motoristas de trafegarem o mais rápido possível, com uma velocidade igual à velocidade diretriz, mesmo em condições chuvosas.

A distância de visibilidade de parada é a soma de duas parcelas.

Transportes



Quando um motorista vê um obstáculo leva um certo tempo para constatar se o objeto é fixo. Esse tempo depende de vários fatores como condições atmosféricas, reflexo do motorista, tipo e cor do obstáculo, e especialmente, atenção do motorista.

É aconselhável o uso do valor de 1,5 segundos para esse tempo de percepção. Adicionando-se a esse valor o tempo necessário à reação de frenagem (1,0 seg), teremos o tempo total de percepção e reação de $t=2,5\text{seg}$.

$$D_1 = v \cdot t = 2,5 \cdot v$$

Onde, v em m/s e D em metros.

Transportes

Distâncias de Visibilidade de Parada

Como em projeto geométrico de estradas é comum o uso da velocidade em km/h, torna-se necessário compatibilizar as unidades da seguinte maneira:

$$D_1 = 2,5 \cdot v(\text{m/s}) = 2,5 \cdot \frac{V(\text{km/h})}{3,6} = 0,7 \cdot V$$

A segunda parcela corresponde à distância percorrida desde o início da atuação do sistema de frenagem até a imobilização do veículo. Esta distância é chamada de Distância de Frenagem (D2). Para o cálculo de , basta aplicar alguns conceitos de física.

Transportes

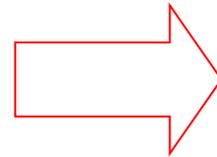
Distâncias de Visibilidade de Parada

A energia cinética do veículo no início do processo de frenagem deve ser anulada pelo trabalho da força de atrito ao longo da distância de frenagem. Assim, temos:

$$\Delta E_c = \tau_{Fa}$$

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = P \cdot f \cdot D_2$$

$$= m \cdot g \cdot f \cdot D_2$$



$$D_2 = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot f}$$

$$D_2 = \frac{\left(\frac{V}{3.6}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \cdot f} = \frac{V^2}{255 \cdot f}$$

Transportes

Distâncias de Visibilidade de Parada

Quando o trecho da estrada considerada está em rampa, a distância de frenagem em subida será menor que a determinada pela equação acima, e maior no caso de descida. Para levar em conta o efeito das rampas é usada a equação abaixo:

$$D_2 = \frac{V^2}{255 \cdot (f + i)}$$

Assim, teremos para a distância de visibilidade de parada:

$$D_P = D_1 + D_2 \quad D_P = 0,7 \cdot V + \frac{V^2}{255 \cdot (f + i)}$$

D_p = distância de visibilidade de parada, em metros
 i = greide, em m/m (+ se ascendente; - se descendente)
 V = velocidade de projeto ou de operação, em km/h
 f = coeficiente de atrito longitudinal pneu/pavimento

Transportes

Distâncias de Visibilidade de Parada

Coefficiente de atrito longitudinal pneu/pavimento ($V_{diretriz}$)

$V_{diretriz}$ (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	120
$f = f_L$	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,25

Fonte: DNER

Em todos os cálculos envolvendo a distância de visibilidade de parada, recomenda-se adotar 1,10 metros como a altura dos olhos do motorista em relação ao plano da pista e 0,15 metros como a menor altura de um obstáculo que o obrigue a parar.

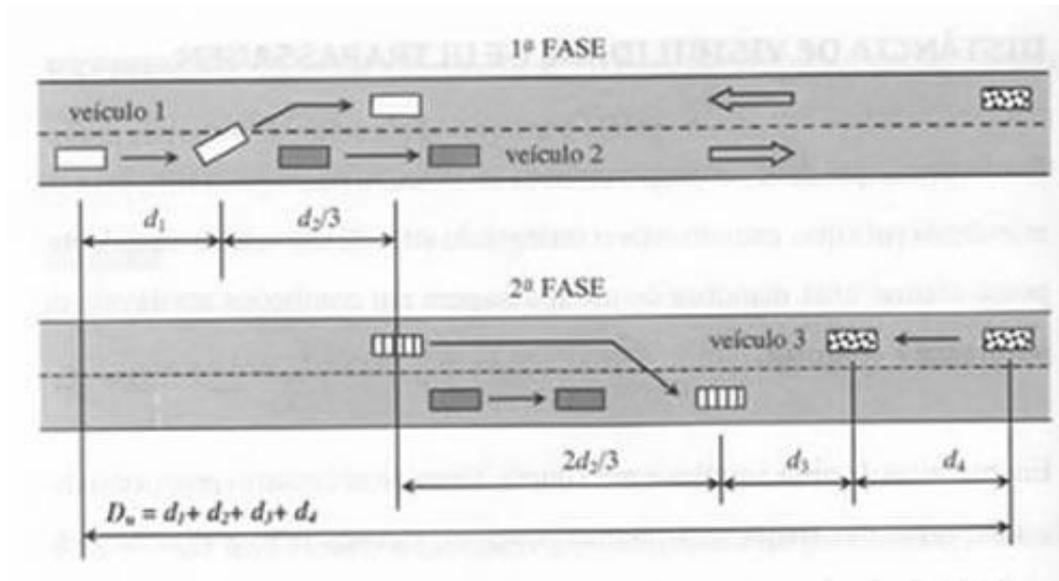
A distância de visibilidade de parada é utilizada nas interseções, nos semáforos e nas curvas verticais, entre outras aplicações.

Transportes

Distância de Visibilidade de Ultrapassagem

- É a distância que deve ser proporcionada ao veículo, numa pista simples e de mão dupla para que, quando estiver trafegando atrás de um veículo mais lento, possa efetuar uma manobra de ultrapassagem em condições aceitáveis de segurança e conforto.
- Quanto mais elevados forem os volumes de tráfego, mais longos e freqüentes deverão ser os trechos com essa característica, sob pena do nível de serviço da rodovia cair sensivelmente, em consequência da redução da capacidade.
- É recomendado que devam existir trechos com visibilidade de ultrapassagem a cada 1,5 a 3,0 quilômetros e tão extenso quanto possível.

Transportes



d_1 = distância percorrida durante o tempo de percepção, reação e aceleração inicial;

d_2 = distância percorrida pelo veículo 1 enquanto ocupa a faixa oposta;

d_3 = distância de segurança entre os veículos 1 e 3, no final da manobra;

d_4 = distância percorrida pelo veículo 3, que trafega no sentido oposto.

Transportes

Distância de Visibilidade de Ultrapassagem

Para estradas de Pista Simples:

$$D_u = V \cdot \left[1,25 + 0,5 \cdot \sqrt{\frac{V}{a}} \right]$$

Para estradas de Pista Dupla:

$$D_u = V \cdot \left[1,25 + 0,2 \cdot \sqrt{\frac{V}{a}} \right]$$

onde: D_u = distância de visibilidade de ultrapassagem, em m;
 V = velocidade diretriz em km/h;
 a = aceleração em m/s^2 .

Regiões	V (km/h)	a (m/s^2)
Planas	100	0,60
Onduladas	80	0,80
Montanhosas	60	1,00

Transportes

Distância de Visibilidade de Ultrapassagem

Distâncias de visibilidade de ultrapassagem (D_u)

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
D_u (m)	180	270	350	420	490	560	620	680

Fonte: DNER

Obs: Não cabem valores para V maiores que 100 km/h, só aplicáveis a rodovias de pista dupla.

A freqüência dos trechos que proporcionam visibilidade de ultrapassagem, bem como sua extensão, é restringida pelos custos de construção decorrentes. Entretanto, sempre que possível, essas distâncias de visibilidade deverão ser proporcionadas.

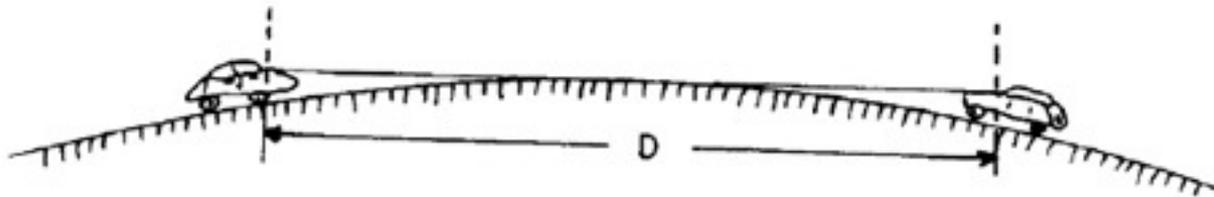
É sempre desejável que sejam proporcionadas distâncias superiores, aumentando as oportunidades de ultrapassagem e o número de veículos que a realizam de cada vez.

Transportes

Critério de Visibilidade em curvas verticais

Visibilidade nas Curvas Verticais Convexas

O comprimento mínimo das curvas verticais convexas é determinado em função das condições necessárias de visibilidade nas curvas, de forma a dar ao motorista o espaço necessário a uma frenagem segura.



Transportes

Critério de Visibilidade em curvas verticais

Assim, para todas as curvas convexas da estrada deve-se ter:

$$S \geq D_p$$

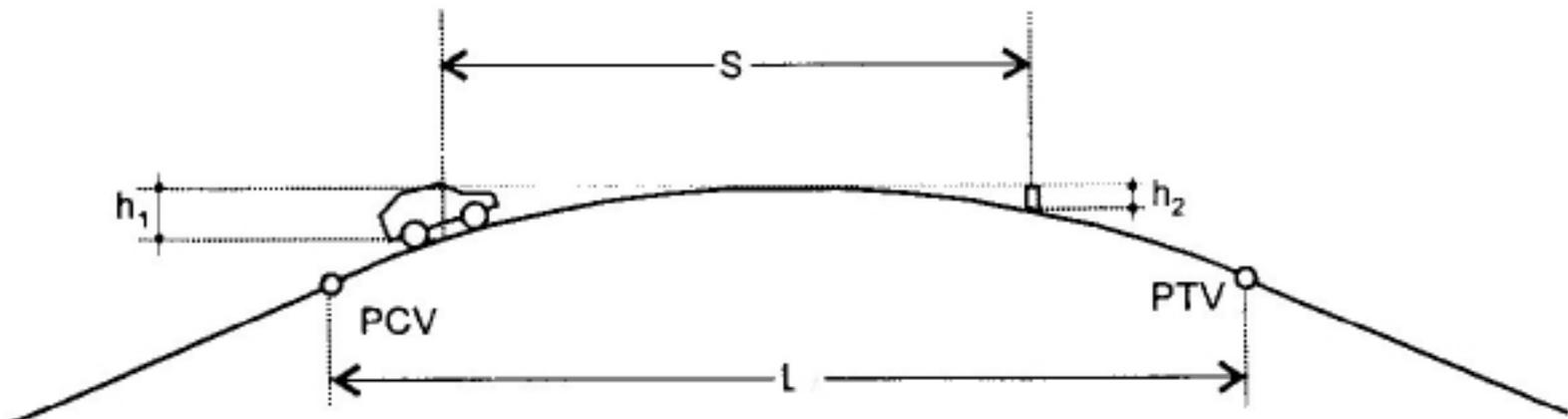
S = distância de visibilidade do motorista;
Dp = Distância de Visibilidade de Parada

Para determinar o menor comprimento da curva vertical, de forma a ser respeitada a inequação ($S \geq D_p$), fazemos $S = D_p$, considerando a altura da vista do motorista em relação à pista ($h_1 = 1,10$ m) e a altura do obstáculo ($h_2 = 0,15$ m).

Observado este critério, há duas situações geometricamente distintas a considerar, dependendo das posições do motorista e do obstáculo em relação à curva, conforme os casos apresentados a seguir.

Transportes

Critério de Visibilidade em curvas verticais



$$L_{\min} = \frac{D_p^2}{2(h_1 + h_2 + 2\sqrt{h_1 \cdot h_2})} \cdot \frac{g}{100} \Rightarrow \boxed{\frac{D_p^2}{412} \cdot g}$$

Transportes

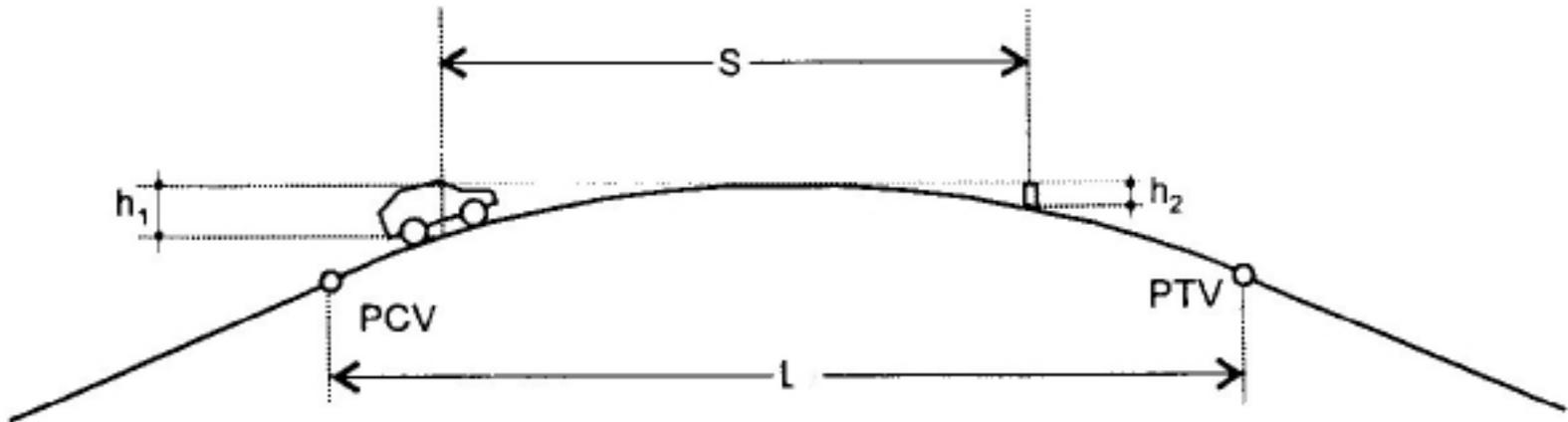
Critério de Visibilidade em curvas verticais

Observado este critério, há duas situações geometricamente distintas a considerar, dependendo das posições do motorista e do obstáculo em relação à curva, conforme os casos apresentados a seguir.

Transportes

Critério de Visibilidade em curvas verticais

1º Caso: O motorista, dentro da curva, enxerga o obstáculo também postado na curva ($S=D_p \leq L$), conforme a Figura



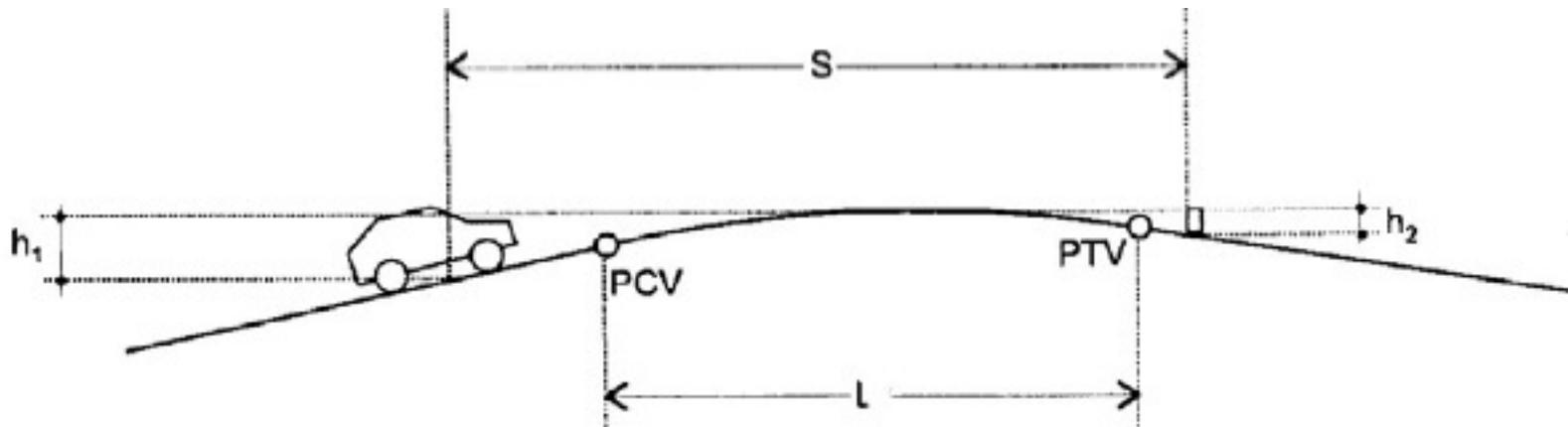
$$L_{\min} = \frac{D_p^2}{412} \cdot A$$

L_{\min} = comprimento mínimo da curva vertical (m);
 D_p = distância de visibilidade de parada (m);
 A = diferença algébrica de rampas (%).

Transportes

Critério de Visibilidade em curvas verticais

2º Caso: O motorista, antes da curva, enxerga o obstáculo situado após a curva ($S = D_p > L$), conforme a Figura



$$L_{\min} = 2 \cdot D_p - \frac{412}{A}$$

L_{\min} = comprimento mínimo da curva vertical (m);
 D_p = distância de visibilidade de parada (m);
 A = diferença algébrica de rampas (%).

Transportes

Critério de Visibilidade em curvas verticais

Visibilidade nas Curvas Verticais Côncavas

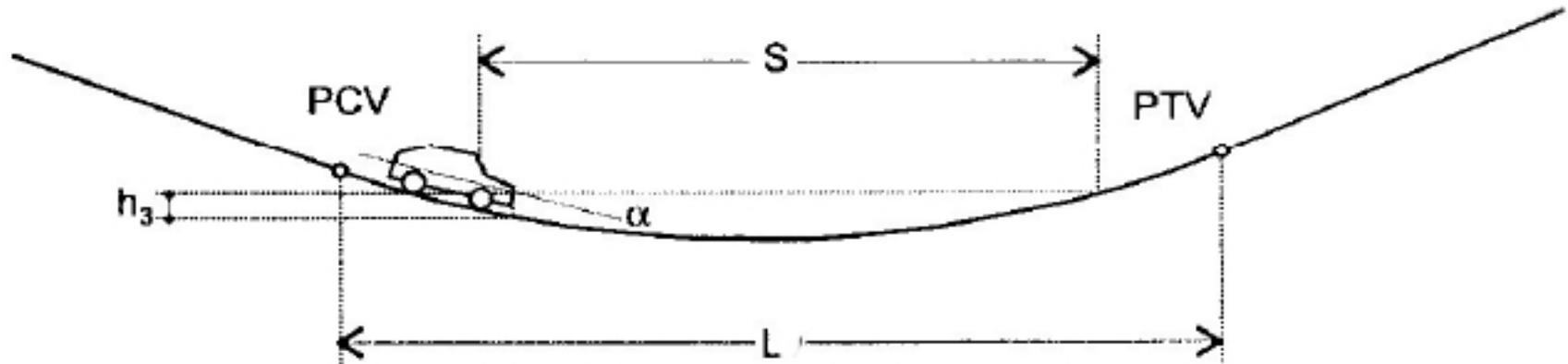
Durante o dia e no caso de pistas iluminadas artificialmente, geralmente não ocorrem problemas de visibilidade. Para pistas não iluminadas, aplica-se o critério da visibilidade noturna, ou seja, a pista deve ser iluminada à distância de visibilidade de parada pelo farol do veículo, por hipótese situado a $h_3 = 0,61$ m acima do plano da pista, supondo que seu fecho luminoso diverge de $\alpha = 1$ do eixo longitudinal do veículo.

Também no caso das curvas verticais côncavas há duas situações a considerar, dependendo das posições do veículo (de seus faróis) e do ponto mais distante da área suficientemente iluminada em relação à curva, conforme os casos apresentados a seguir.

Transportes

Critério de Visibilidade em curvas verticais

1º Caso: Os faróis do veículo e o ponto mais distante iluminado estão dentro da curva ($S=D_p=L$), conforme a Figura



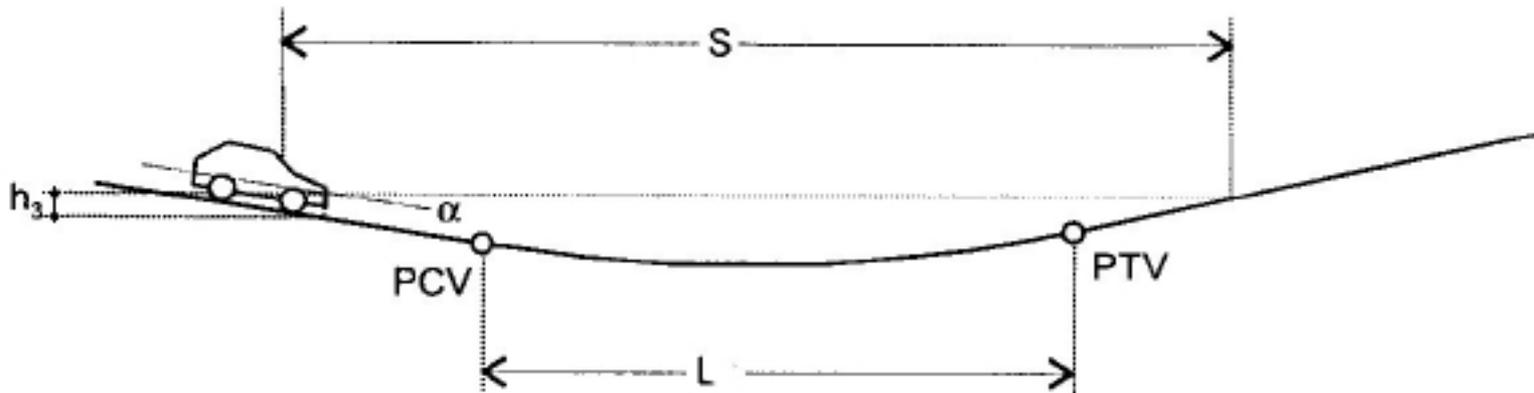
$$L_{\min} = \frac{D_p^2}{122 + 3,5 \cdot D_p} \cdot |A|$$

L_{\min} = comprimento mínimo da curva vertical (m);
 D_p = distância de visibilidade de parada (m);
 A = diferença algébrica de rampas (%).

Transportes

Critério de Visibilidade em curvas verticais

2º Caso: Os faróis do veículo, situados antes da curva, iluminam o ponto mais distante, localizado após a curva ($S=D_p=L$), conforme a Figura



$$L_{\min} = 2 \cdot D_p - \frac{122 + 3,5 \cdot D_p}{|A|}$$

L_{\min} = comprimento mínimo da curva vertical (m);
 D_p = distância de visibilidade de parada (m);
 A = diferença algébrica de rampas (%).

Transportes

SUPERLARGURA

Transportes

Veículos de Projeto

É o veículo teórico de uma certa categoria, cujas características físicas e operacionais representam uma envoltória das características da maioria dos veículos existente nessa categoria.

Essas características condicionam diversos aspectos do dimensionamento geométrico de uma via, tais como:

- A largura do veículo de projeto influencia na largura da pista de rolamento, dos acostamentos e dos ramos de interseções.
- A distância entre eixos influi no cálculo da superlargura e na determinação dos raios mínimos internos e externos das pistas.

Transportes

Veículos de Projeto

- O comprimento total do veículo influencia na largura dos canteiros, a extensão das faixas de espera, etc.
- A relação peso bruto total/potência influencia o valor da rampa máxima e participa na determinação da necessidade de faixa adicional de subida.
- A altura admissível para os veículos influi no gabarito vertical.

A escolha do veículo de projeto deve levar em consideração a composição do tráfego que utiliza ou utilizará a rodovia, obtida de contagens de tráfego ou de projeções que considerem o futuro desenvolvimento da região.

Transportes

Veículos de Projeto

Existem quatro grupos básicos de veículos, a serem adotados conforme as características predominantes do tráfego (no Brasil, normalmente o veículo CO):

Transportes

Veículos de Projeto

- **VP: veículos de passeios leves**, física e operacionalmente assimiláveis ao automóvel, incluindo utilitários, pick-ups, furgões e similares.
- **CO: Veículos comerciais rígidos**, compostos de unidade tratora simples. Abrangem os caminhões e ônibus convencionais, normalmente de 2 eixos e 6 rodas.
- **SR: Veículo comercial articulado**, composto normalmente de unidade tratora simples e semi-reboque.
- **O: Representa os veículos comerciais rígidos de maiores dimensões que o veículo CO** básico, como ônibus de longo percurso e de turismo, e caminhões longos.

Transportes

Veículos de Projeto

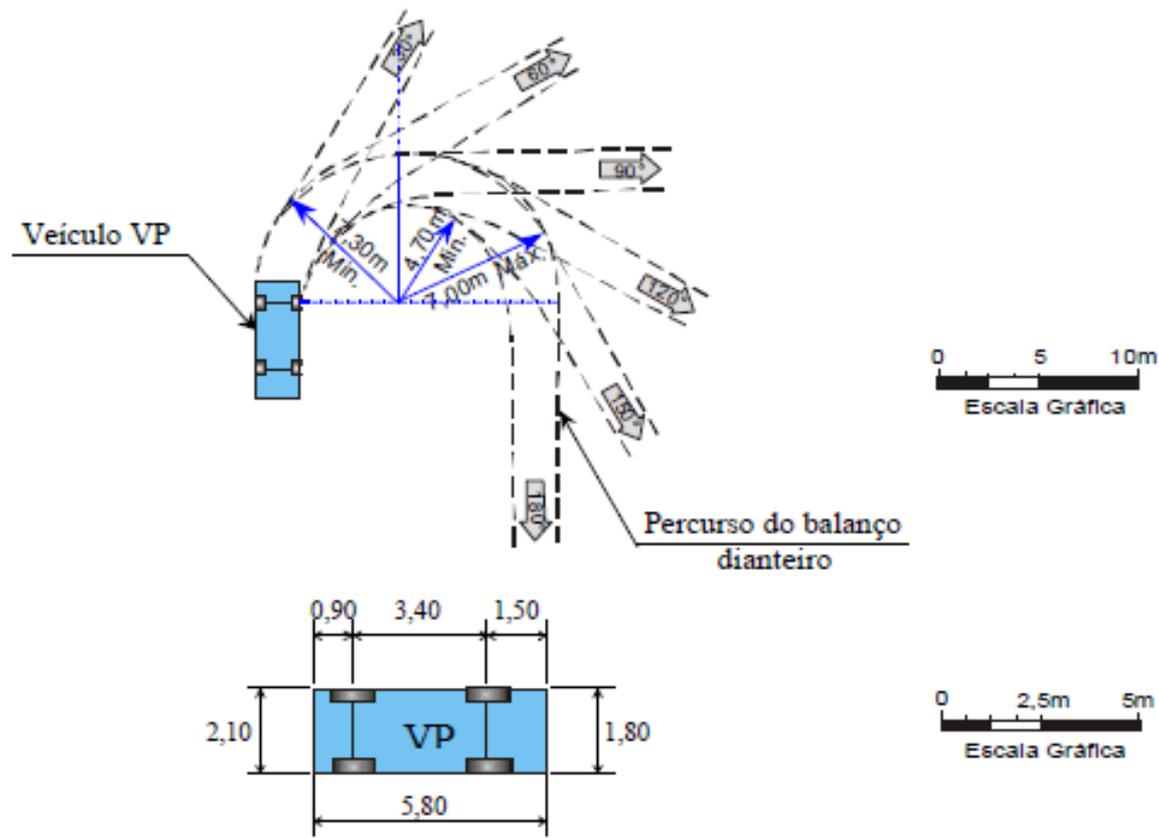
Dimensões básicas dos veículos de projeto (m)

CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO	VEÍCULO DE PROJETO			
	VP	CO	O	SR
Largura total	2,1	2,6	2,6	2,6
Comprimento total	5,8	9,1	12,2	16,8
Raio mínimo da roda externa dianteira	7,3	12,8	12,8	13,7
Raio mínimo da roda interna traseira	4,7	8,7	7,1	6,0

Fonte: DNER

Transportes

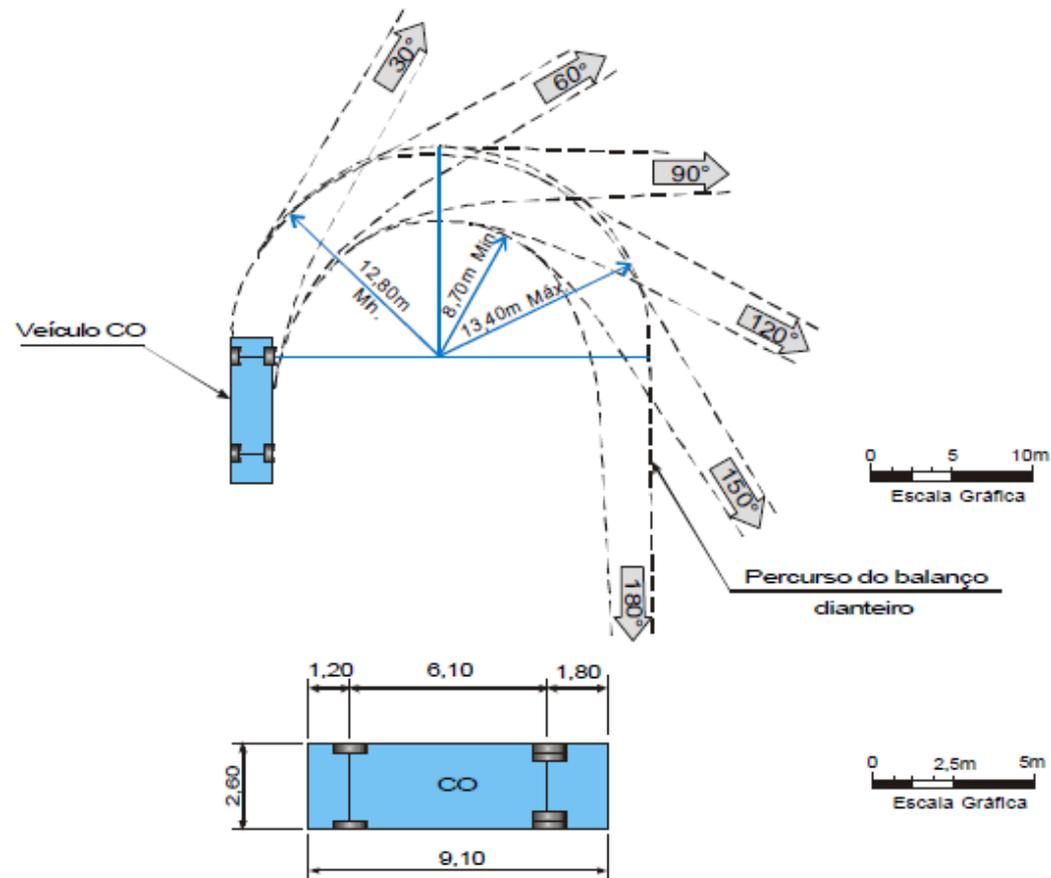
DIMENSÕES E GABARITOS DE GIRO : VEÍCULO TIPO VP



Fonte: Manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 48)

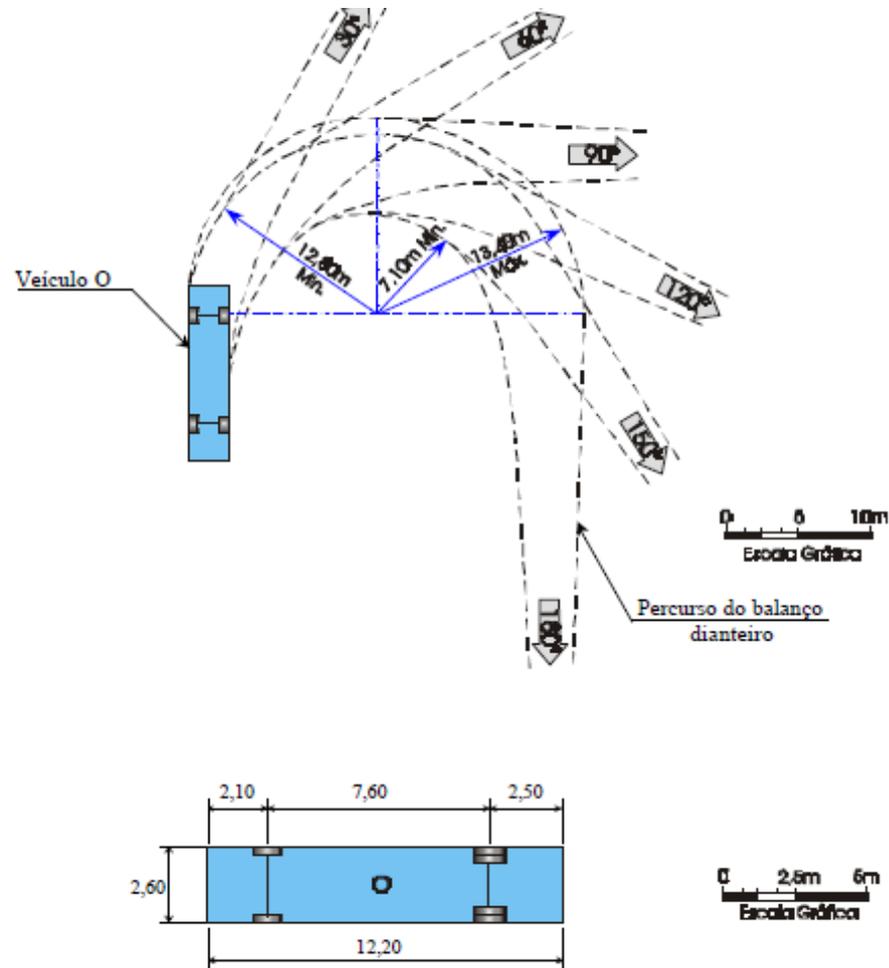
Transportes

DIMENSÕES E GABARITOS DE GIRO : VEÍCULO TIPO CO



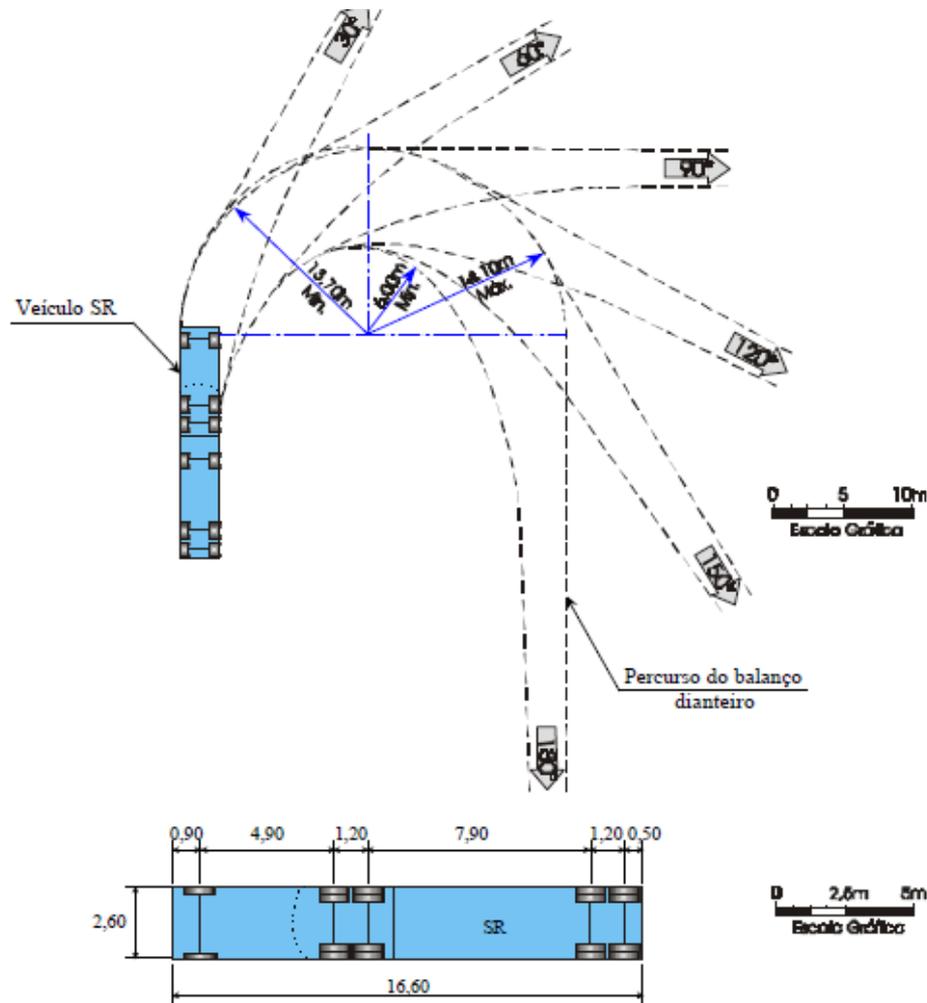
Transportes

DIMENSÕES E GABARITOS DE GIRO : VEÍCULO TIPO O



Transportes

DIMENSÕES E GABARITOS DE GIRO : VEÍCULO TIPO SR



Transportes

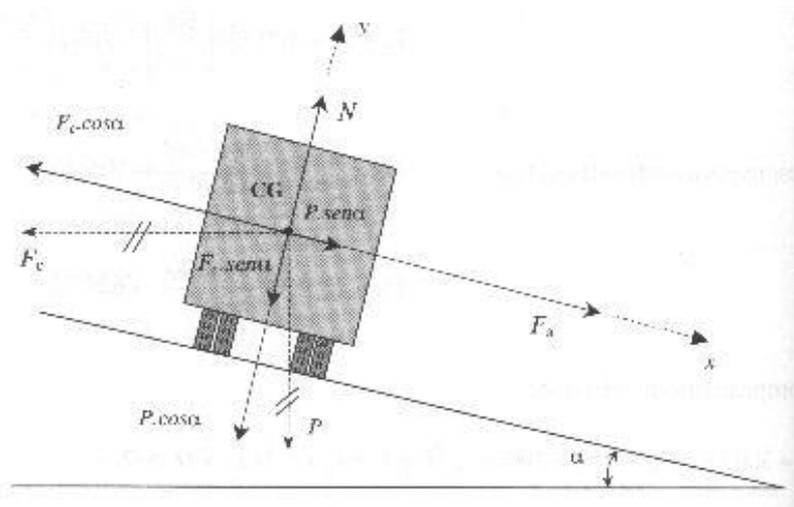
Raio Mínimo de Curvatura Horizontal

Os raios mínimos de curvatura horizontal são os menores raios das curvas que podem ser percorridas em condições limite com a velocidade diretriz e à taxa máxima de superelevação admissível, em condições aceitáveis de segurança e de conforto de viagem.

Um veículo em trajetória circular é forçado para fora da curva pela força centrípeta. Esta força é compensada pela componente do peso do veículo devido à superelevação da curva e pelo atrito lateral entre os pneus e a superfície do pavimento. Para simplificação do raciocínio, suponhamos as forças aplicadas no centro de gravidade do veículo.

Transportes

Raio Mínimo de Curvatura Horizontal



$$F_c \cdot \cos \alpha = P \cdot \sin \alpha + F_a$$

$$\frac{m \cdot v^2}{R} \cdot \cos \alpha = P \cdot \sin \alpha + f \cdot N$$

$$\frac{m \cdot v^2}{R} \cdot \cos \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha + f \cdot (P \cdot \cos \alpha + F_c \cdot \sin \alpha)$$

Transportes

Raio Mínimo de Curvatura Horizontal

Como o ângulo α é pequeno, podemos considerar, sem erro apreciável do ponto de vista prático, $\text{sen } \alpha \approx \tan \alpha$ e $\text{cos } \alpha \approx 1$. Logo, a equação acima fica:

$$\frac{v^2 \cdot (1 - f \cdot \tan \alpha)}{g \cdot R} = \tan \alpha + f$$

Nos casos normais de rodovias rurais, o coeficiente de atrito f e o valor $e = \tan \alpha$ (superelevação) são pequenos, de modo que o produto $f \cdot \tan \alpha$ se aproxima de zero. Considerando $f \cdot \tan \alpha = 0$, a equação anterior se reduz a:

$$R = \frac{v^2}{g \cdot (e + f)}$$

Transportes

Raio Mínimo de Curvatura Horizontal

Nas unidades usuais, ou seja, R em metros, V em km/h e $g=9,8 \text{ m/s}^2$, temos:

$$R = \frac{(V/3,6)^2}{9,8 \cdot (e + f)}$$

$$R = \frac{V^2}{127 \cdot (e + f)}$$

Essa fórmula exprime a relação geral entre valores quaisquer de raio da curva, superelevação, velocidade e o correspondente coeficiente de atrito transversal.

Deve ser observado que o termo (e+f) exprime uma soma algébrica, em que a superelevação pode ser positiva ou negativa (conforme a declividade da pista tenha caimento para o lado interno ou externo da curva, respectivamente).

O mesmo acontece ao coeficiente de atrito transversal (conforme o seu sentido de atuação se oriente para o lado interno ou externo da curva, respectivamente).

Transportes

Raio Mínimo de Curvatura Horizontal

Em velocidades inferiores à velocidade ótima (velocidade que não desenvolve atrito transversal pneu/pavimento), o veículo tende a se deslocar para o centro da curva, ou seja, o coeficiente f torna-se negativo.

Adotando-se simultaneamente os valores máximos admissíveis para a superelevação e para o coeficiente de atrito transversal, pode-se calcular o valor do raio mínimo admissível, para uma dada velocidade. A expressão para o cálculo de $R_{\text{mín}}$ é a seguinte:

$$R_{\text{mín}} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{\text{máx}} + f_{\text{máx}})}$$

$$e = \frac{V^2}{127 \cdot R} - f$$

Transportes

Raio Mínimo de Curvatura Horizontal

Entretanto, na medida do possível, recomenda-se a utilização de raios superiores aos mínimos, cuja adoção só é justificável em condições especiais.

Quando um veículo percorre uma curva horizontal circular, o máximo valor do atrito transversal (ou lateral) é o valor do atrito desenvolvido entre o pneu e a superfície do pavimento na iminência do escorregamento.

É usual adotar-se para o máximo coeficiente de atrito lateral, valores bem menores do que os obtidos na iminência do escorregamento, isto é, valores já corrigidos com um suficiente fator de segurança.

Transportes

Raio Mínimo de Curvatura Horizontal

Os símbolos empregados na dedução das fórmulas tem o seguinte significado:

R = raio de curvatura horizontal, em m.

V = velocidade diretriz, em km/h

v = velocidade diretriz, em m/s

P = peso do veículo

m = massa do veículo

g = aceleração da gravidade, em m/s²

α = ângulo que mede a declividade transversal da pista

F_a = força de atrito transversal

F_C = força centrífuga

N = reação normal à superfície do pavimento, devido ao peso do veículo

f = coeficiente de atrito transversal pneu/pavimento

e = superelevação, em m/m

R_{mín} = raio mínimo de curvatura horizontal, em m

e_{max} = máxima taxa de superelevação admissível adotada, em m/m

f_{máx} = máximo coeficiente de atrito transversal pneu/pavimento

Transportes

Raio Mínimo de Curvatura Horizontal

Os valores máximos admissíveis geralmente adotados em projetos rodoviários para o coeficiente f constam na tabela abaixo:

Tabela 4.2 – Valores máximos admissíveis para os coeficientes de atrito transversal f

V(km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$f=f_T$	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11

Fonte: DNER

É recomendada a equação de V em km/h como:

$$f_T = 0,19 - \frac{V}{1600}$$

Transportes

Raio Mínimo de Curvatura Horizontal