

# TMEC078

# Fundamentos de Dinâmica Veicular

## Capítulo 2

## Resistências ao Movimento

Referência:

Nicolazzi, Lauro Cesar. **Uma introdução à modelagem quase-estática de veículos automotores de rodas**. Publicação interna do GRANTE, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, 2013.

# Curva de potência

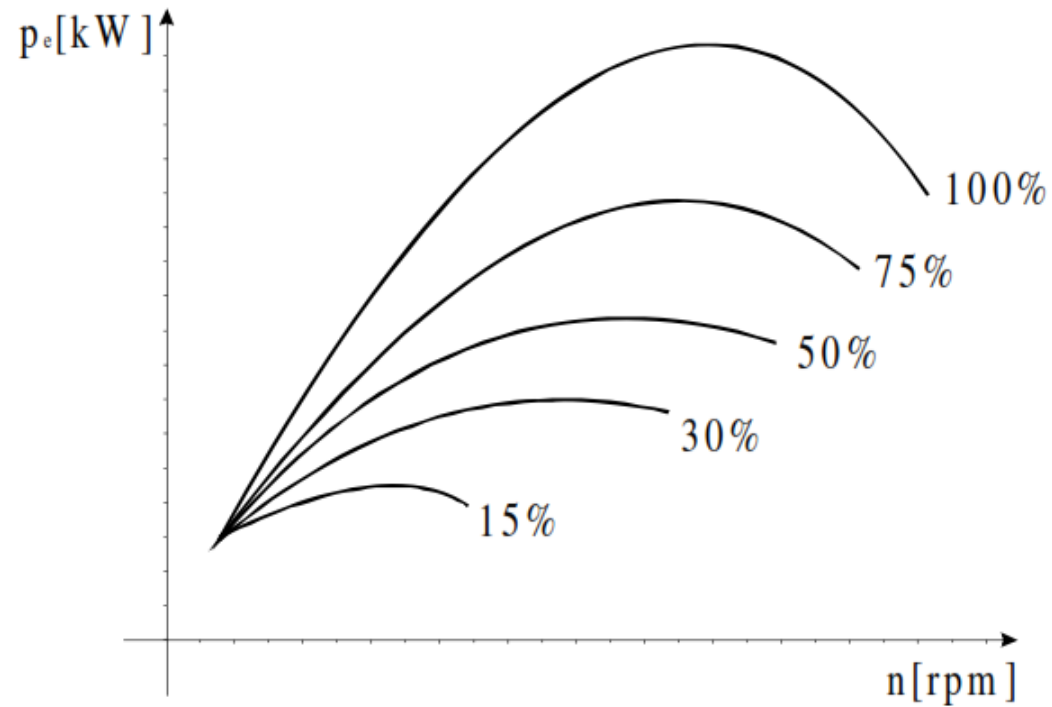
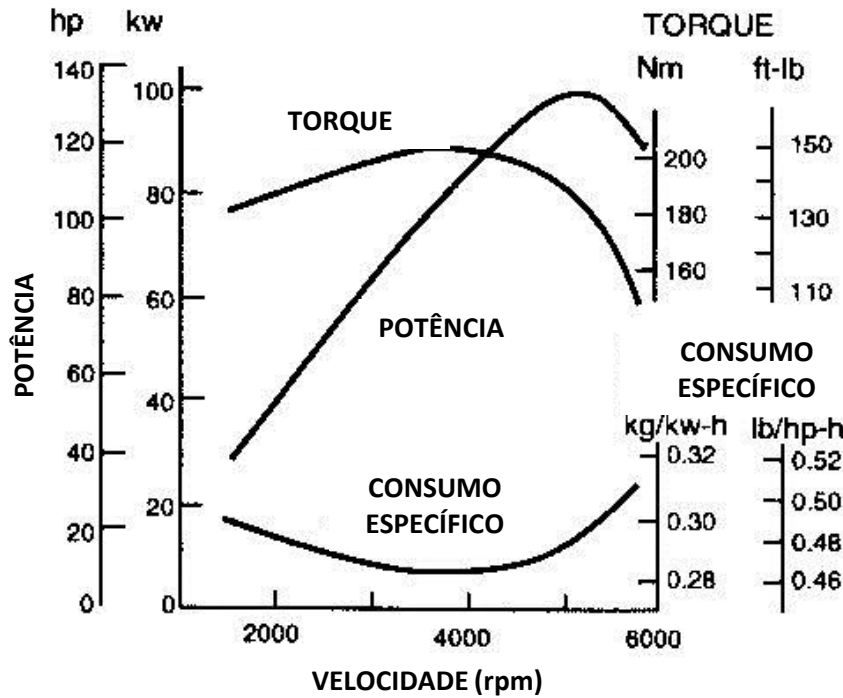
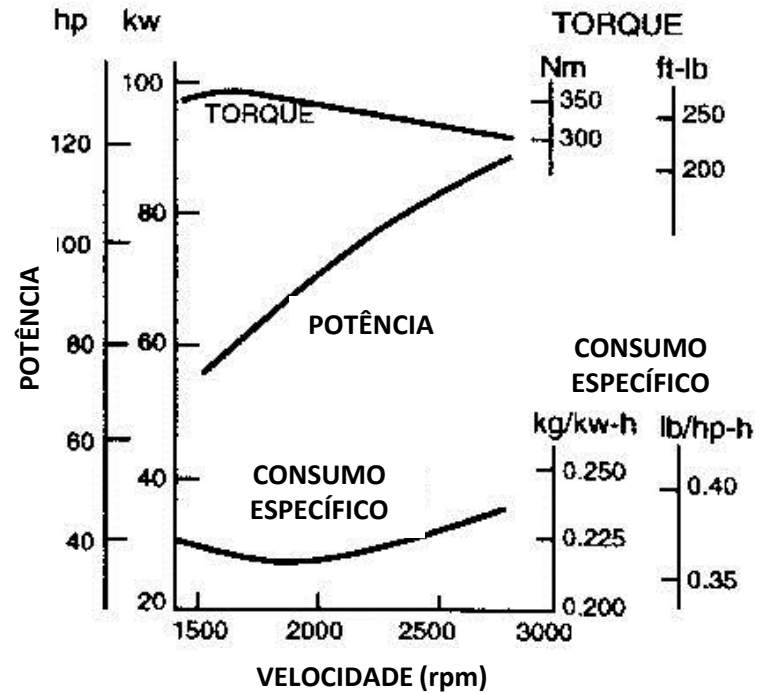


Figura 2.1: Curva de potência de um motor para diferentes níveis de carga.

# Curvas Características de um Motor



**Gasolina**



**Diesel**

# Resistências ao movimento

- Resistência mecânica  $Q_m$
- Resistência ao aclone  $Q_s$
- Resistência de inércia  $Q_I$
- Resistência de rolamento  $Q_r$
- Resistência aerodinâmica  $Q_a$

# Resistência mecânica

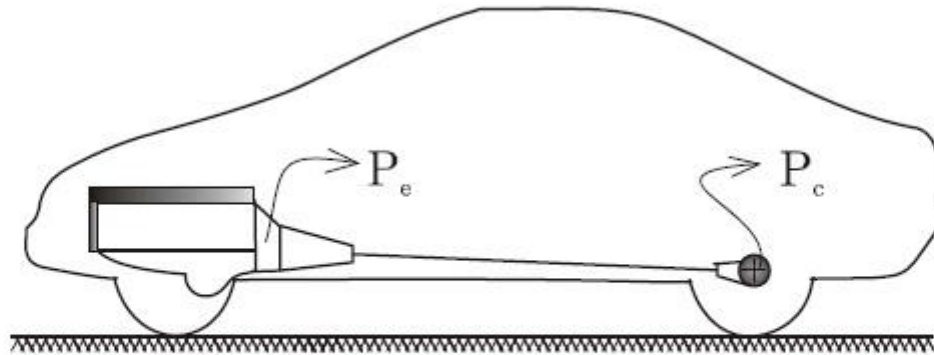


Figura 2.2: Elementos da transmissão de potência do motor às rodas.

Estão incluídas as perdas

- na caixa de câmbio
- no eixo cardam
- no diferencial
- nos mancais

# Resistência mecânica

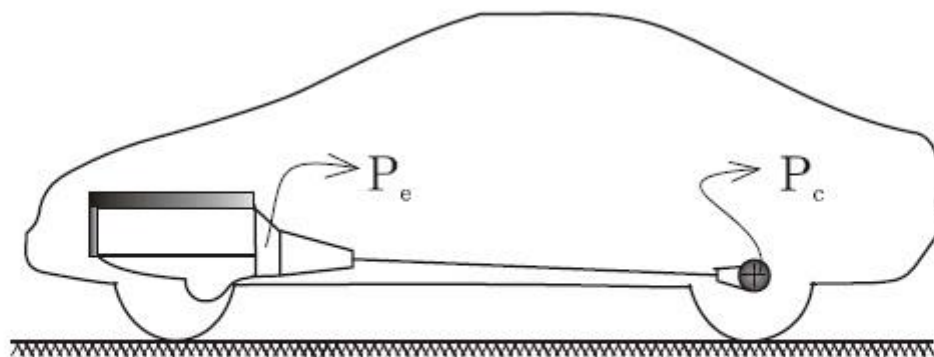


Figura 2.2: Elementos da transmissão de potência do motor às rodas.

$$P_c = P_e \eta_m \quad (2.1)$$

sendo:

$P_c$  - Potência no cubo;

$P_e$  - Potência efetiva no motor;

$\eta_m$  - Rendimento mecânico da transmissão.

Varia entre 84% e 93%, dependendo da solução construtiva do motor e da marcha que está sendo utilizada.

# Resistência mecânica

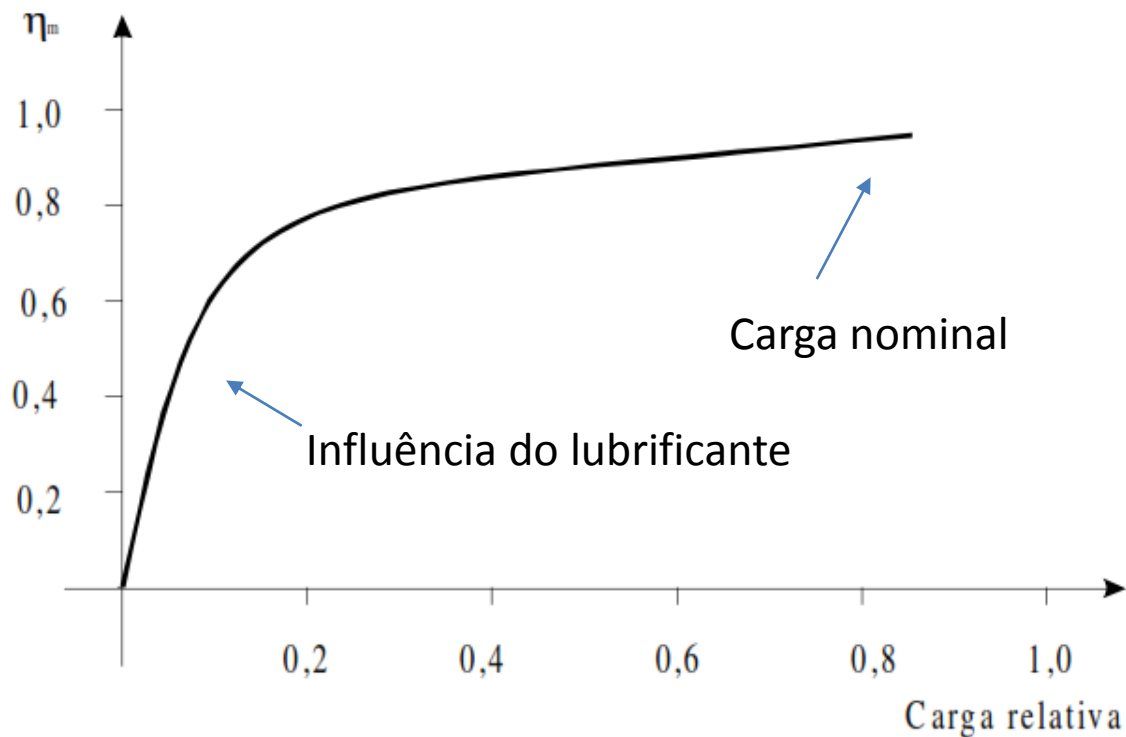


Figura 2.3: Comportamento do rendimento da transmissão com a carga.

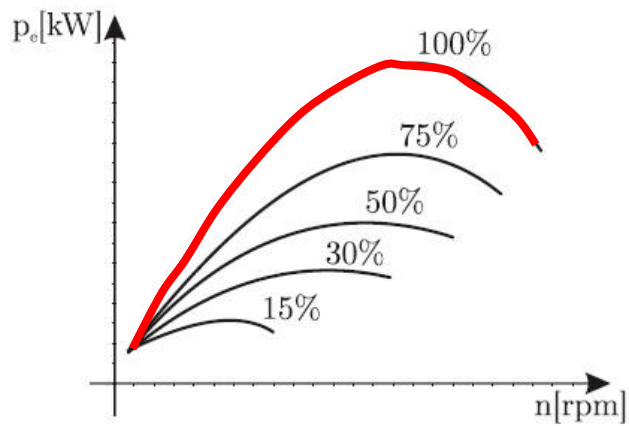


Figura 2.1: Curva de potência de um motor para diferentes níveis de carga.

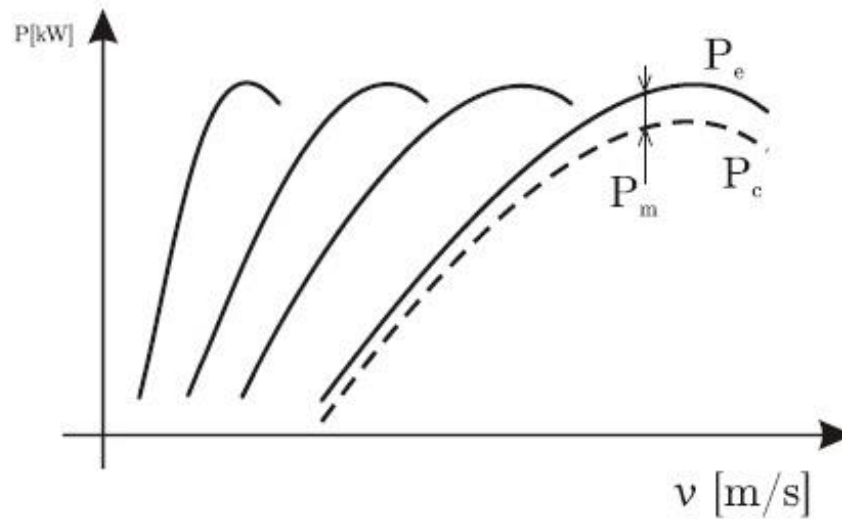


Figura 2.4: Potência bruta disponível, no cubo da roda, em cada marcha.



# Resistência ao aclave

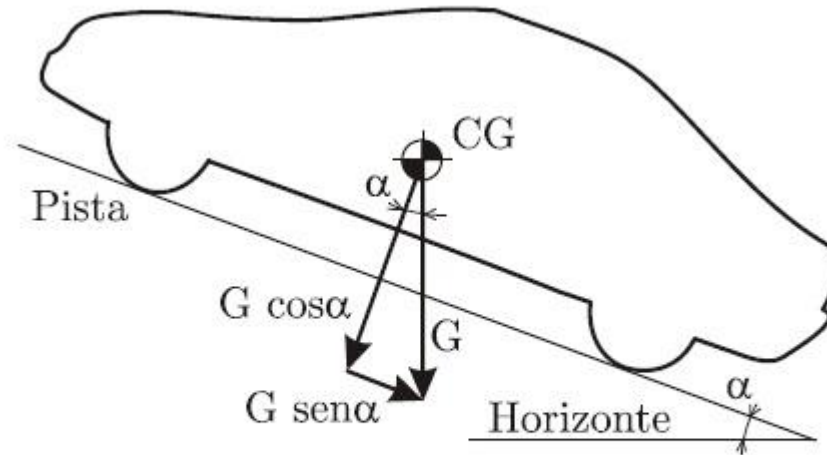


Figura 2.5: Veículo percorrendo uma rampa.

$$Q_s = G \operatorname{sen} \alpha \quad (2.3)$$

Na Figura 2.6 é mostrado um aclave de 40 %, ou seja, de  $a = 0,4$ . Pela análise da figura tem-se que:

$$a = \operatorname{tg} \alpha \quad (2.4)$$

Sendo  $a = 0,40$ , pode-se calcular a partir desta última equação a inclinação do aclave em graus.

$$\alpha = 21,8^\circ$$

Para um aclave de 20 % tem-se  $a = 0,2$  e logo  $\alpha = 11,31^\circ$ . Um aclave de 100 % corresponde a um ângulo de  $45^\circ$ .

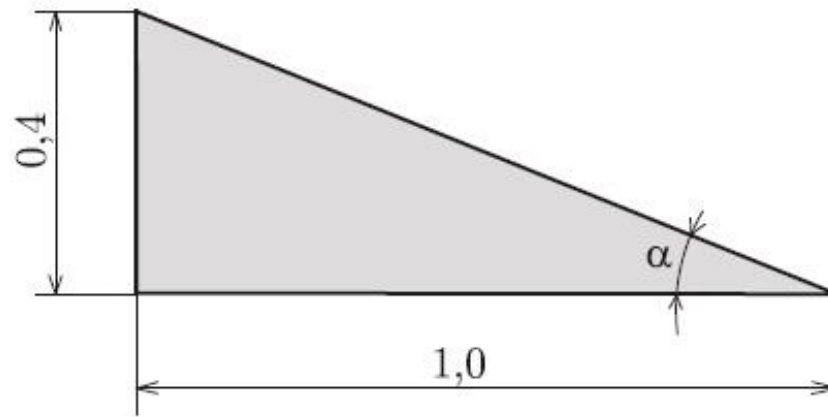


Figura 2.6: Definição do aclave  $a = 0,4$  (40%).

# Resistência de inércia

## 2.4.1 Massas em translação

Sabe-se da dinâmica que para acelerar uma massa "m" de uma quantidade "a" é necessário aplicar uma força, mostrada na Figura 2.7, dada por:

$$F = m a \quad (2.5)$$

Esta força, que deve ser colocada a disposição do veículo pelo motor, corresponde a resistência de inércia de translação dada por

$$Q'_I = m a \quad (2.6)$$

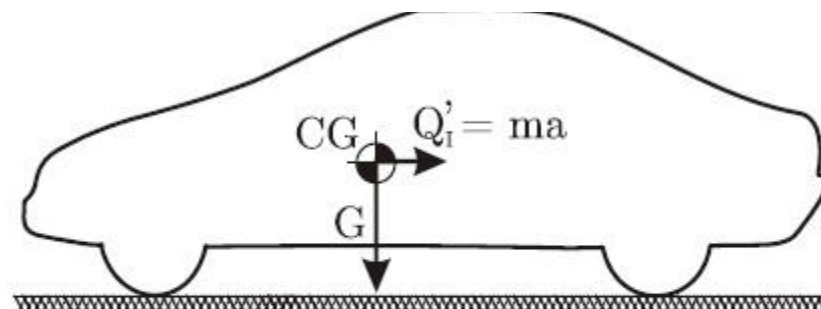


Figura 2.7: Inércia de translação de um veículo.

## 2.4.2 Massas em rotação

Para causar uma aceleração angular,  $\alpha$  [ $rad/s^2$ ], em uma inércia rotacional,  $J$  [ $kg.m^2$ ] é necessário aplicar-se um momento dado por:

$$M = J \alpha \quad (2.7)$$

sendo:

$\alpha$  - é a aceleração angular;

$J$  - inércia de rotação, proporcional a massa e a geometria da peça girante.

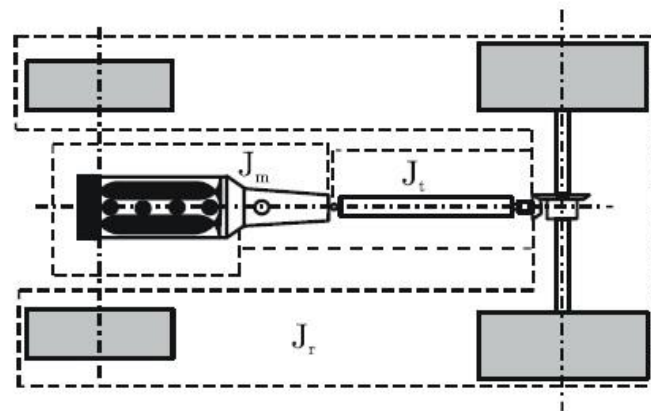


Figura 2.8: Inércias rotativas de um veículo.

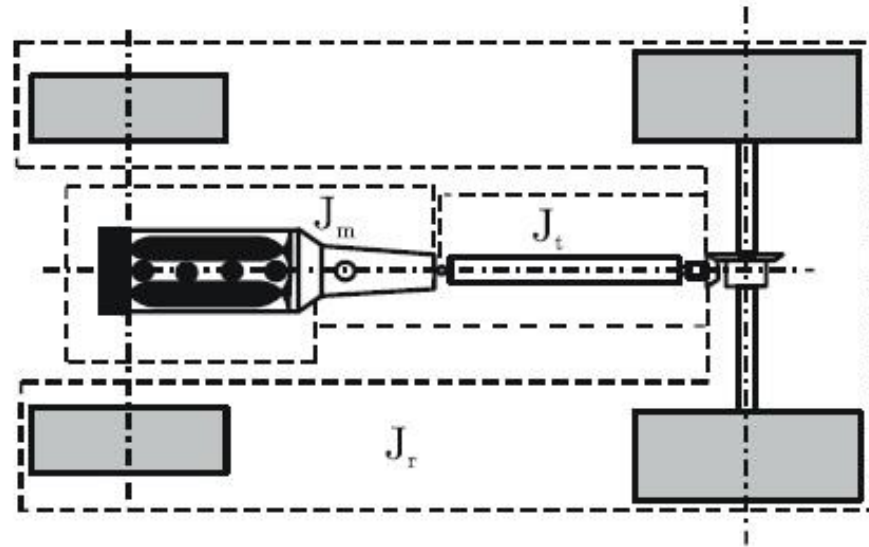


Figura 2.8: Inércias rotativas de um veículo.

$J_r$  - Inércias das rodas e agregados tais como: rodas dianteiras, traseiras, parte do diferencial do lado das rodas, dos discos e tambores de freio e dos cubos de roda.

$J_t$  - Inércia da transmissão. Parte do diferencial do lado da caixa mais eixo cardã e juntas, bem como a parte acionada da caixa.

$J_m$  - Inércia do motor. Motor e acessórios, volante, embreagem e parte acionante da caixa de marchas.

Para obter a força de equivalente a de inércia no ponto de contato com o solo, é necessário dividir o momento dado pela equação (2.7) pelo raio dinâmico do pneu como segue:

$$Q_I'' = \frac{M}{r_d} \quad (2.8)$$

$$Q_I'' = \frac{J \alpha}{r_d} \quad (2.9)$$

A relação entre a aceleração angular e linear, de uma roda no ponto de contato com o solo é dada por:

$$a = \alpha r_d \quad (2.10)$$

sendo:

$a$  - aceleração linear;

$r_d$  - raio dinâmico do pneu (ver página 126 deste texto);

$\alpha$  - aceleração angular.

Assim, pode-se escrever:

$$\alpha = \frac{a}{r_d} \quad (2.11)$$

Substituindo-se esta aceleração na expressão do torque, consegue-se relacionar a resistência de inércia rotativa com a aceleração linear como segue:

$$Q_I'' = \frac{J a}{r_d^2} \quad (2.12)$$

- Inércia equivalente

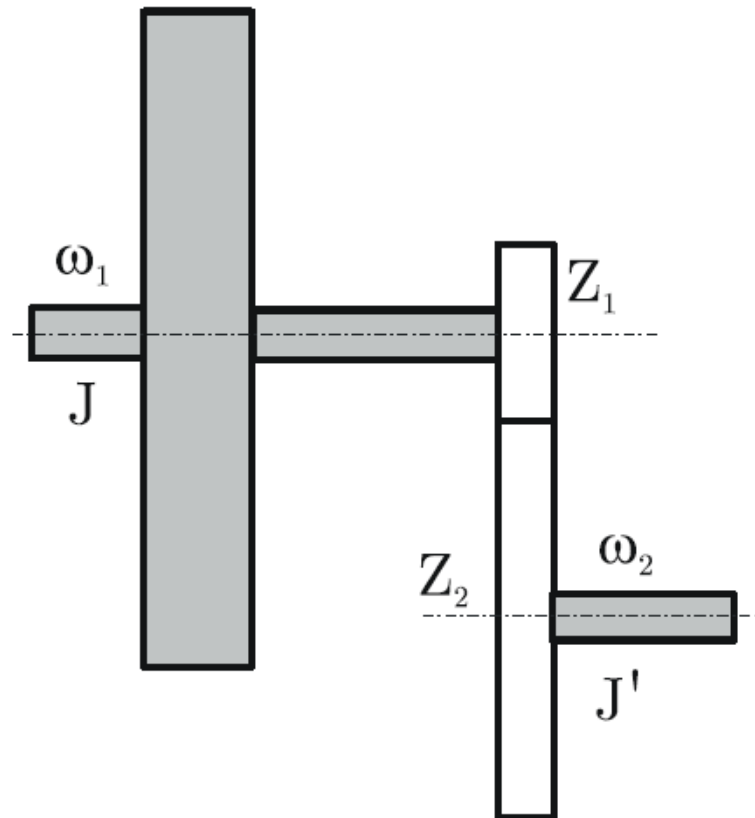


Figura 2.9: Transformação de inércia.

# • Inércia equivalente

Para obter-se a inércia equivalente,  $J'$ , no outro eixo, deve-se respeitar a lei da conservação de energia, ou seja, a energia cinética deve ser a mesma em um e no outro caso. Assim, tem-se:

$$\frac{1}{2} J \omega_1^2 = \frac{1}{2} J' \omega_2^2 \quad (2.13)$$

sendo:

$J$  - inércia real;

$\omega_1$  - velocidade angular da inércia  $J$ ;

$J'$  - inércia equivalente;

$\omega_2$  - velocidade angular da inércia equivalente.

Como:

$$\omega_1 = i \omega_2 \quad (2.14)$$

e assim:

$$J(i\omega_2)^2 = J' \omega_2^2 \quad (2.15)$$

com as devidas simplificações, tem-se:

$$J' = i^2 J \quad (2.16)$$

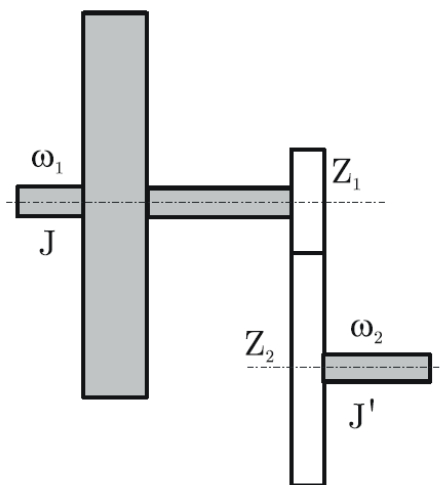


Figura 2.9: Transformação de inércia.



- Inércia equivalente

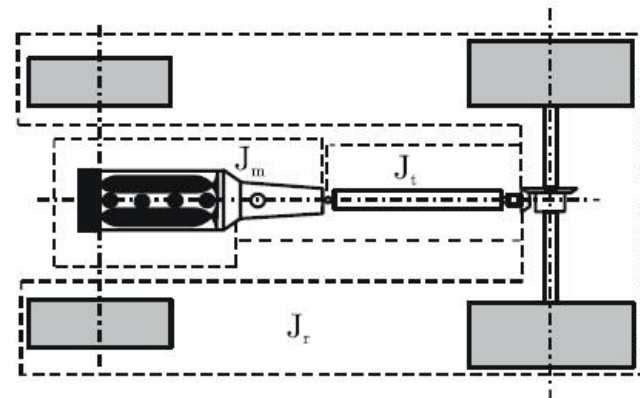


Figura 2.8: Inércias rotativas de um veículo.

Deste modo se pode calcular uma inércia equivalente a do motor e da transmissão, nas rodas, considerando a  $j$ 'ésima relação de transmissão da caixa de câmbio ( $i_{c_j}$ ) e do diferencial ( $i_d$ ), como segue:

$$J' = i_d^2 (J_t + i_{c_j}^2 J_m) \quad (2.17)$$

A inércia rotativa total nas rodas, para um veículo como o mostrado na Figura 2.8, é dada pela soma das parcelas do motor, da caixa e das rodas como segue

$$J = J_r + i_d^2 (J_t + i_{c_j}^2 J_m) \quad (2.18)$$

Vals salientar que esta equação serve para análise de qualquer sistema que possua massas girando com velocidades diferentes, tal como o mostrado na Figura 2.8.

### 2.4.3 Superposição dos efeitos

A resistência total da aceleração é então dada pela soma das inércias de translação e da de rotação, como segue

$$Q_I = Q'_I + Q''_I \quad (2.19)$$

ou

$$Q_I = m a \left( 1 + \frac{J}{m r_d^2} \right). \quad (2.20)$$

Para facilitar o manuseio desta expressão, escreve-se:

$$Q_I = m a (1 + \delta) \quad (2.21)$$

sendo:

$$\delta = \frac{J}{m r_d^2} \quad (2.22)$$

é a **inércia de translação equivalente a de rotação.**

A inércia equivalente,  $\delta$ , representa o acréscimo da massa do veículo devido a necessidade de acelerar as inércias rotativas. Em primeira marcha pode chegar a 50%, da massa total do veículo, diminuindo para aproximadamente 5% nas marchas mais elevadas.

Uma boa estimativa de  $\delta$ , para o anteprojeto de um automóvel, é dada por:

$$\delta = 0,004 + 0,05i_{c_j}^2, \quad (2.23)$$

e para o caso de tratores

$$\delta = 0,15 + 0,001(i_c i_d)^2. \quad (2.24)$$

Tabela 2.1: Momentos de inércia de massa para alguns pneus.

Pneu	$J$ [ $kg\ m^2$ ]
6.00 – 12	1,00
6.00S – 13	1,33
6.40 – 13	1,64
155SR – 13	1,76
165S – 13	1,55
165SR – 13	1,33
7.00 – 14	2,23
165S – 14	1,52
165SR – 14	1,55
175S – 14	2,35
175HR – 14	1,97
185H – 14	3,12
DR70HR – 14	2,30
5.60 – 15	1,63
6.00 – 15L	1,81
185/70 VR – 15	2,03

## 2.5 Resistência ao rolamento

A resistência ao rolamento é devida as perdas no par paneu pista. A mesma pode ser calculada aproximadamente pela expressão empírica que segue

$$Q_r = f G \cos\alpha, \quad (2.25)$$

sendo:

$f$  - coeficiente de atrito de rolamento;

$G$  - peso do veículo;

$\alpha$  - é a inclinação da pista.

Tabela 2.2: Coeficientes de atrito de rolamento.

Tipo de piso	Valor de "f"
Asfalto liso	0,010
Asfalto rugoso	0,011
Cimento rugoso	0,014
Paralelepípedo	0,020
Pedras irregulares	0,032
Pedra britada compacta	0,045
Pedra britada solta	0,080
Terra batida	0,060
Areia solta	0,100 a 0,300
Gramma	0,045 a 0,100
Barro	0,100 a 0,400
Neve profunda	0,075 a 0,300

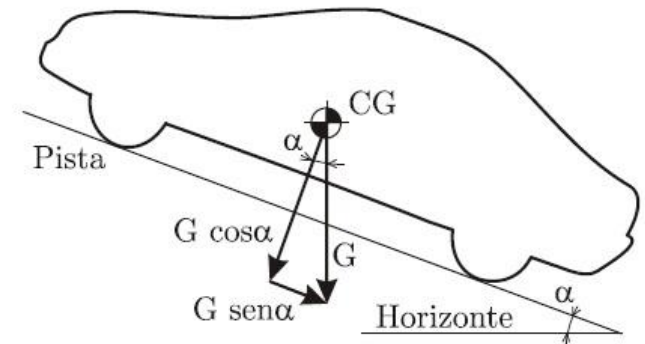


Figura 2.5: Veículo percorrendo uma rampa.

Varia com:

- velocidade
- pressão de inflagem
- carga radial
- tipo de pneu

# Variação da resistência ao rolamento com a velocidade

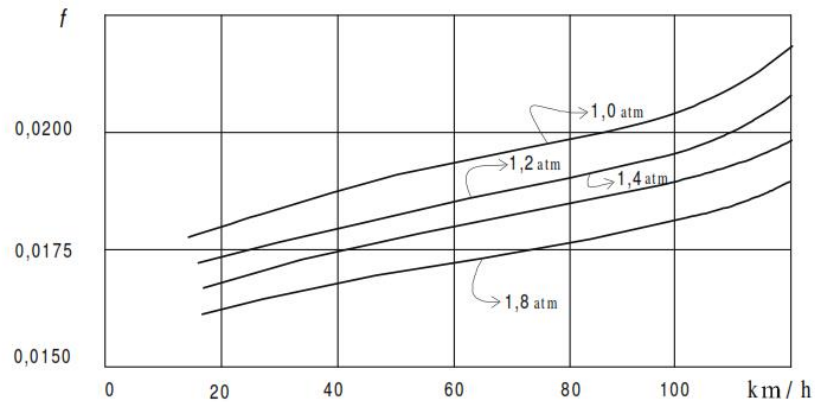


Figura 1.13: Variação do coeficiente de atrito de rolamento com a pressão, para um pneu diagonal.

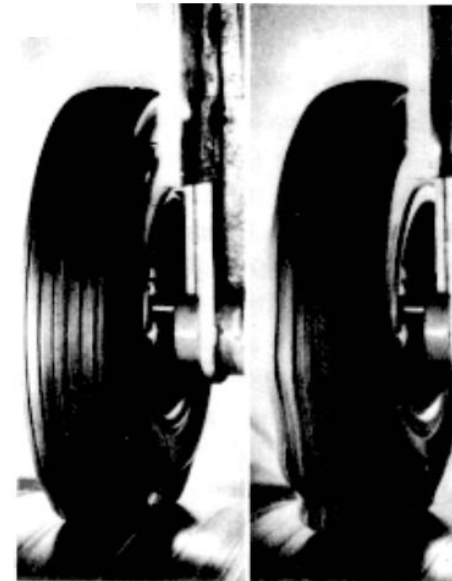
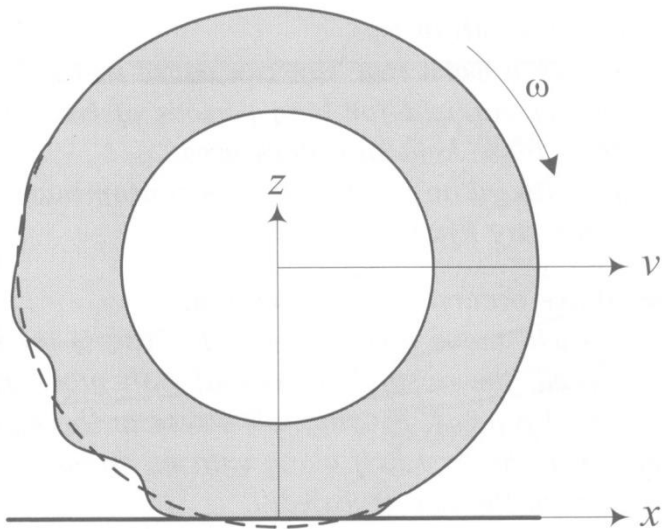


Figura 1.14: Ressonância do pneu devido ao rolamento sobre a pista.

# Estimativa do coeficiente de resistência ao rolamento

Para pneus de série, em condições normais de uso, uma orientação para o coeficiente de resistência de rolamento, considerando o efeito velocidade, é dada por:

$$f = a + b\left(\frac{v}{100}\right)^2 \quad (1.4)$$

As constantes  $a$  e  $b$  são dadas na Tabela 1.3, sendo  $v$  em  $[m/s]$ .

Tabela 1.3: Coeficientes  $a$  e  $b$  em função do tipo de pneu.

	$a$	$b$
Pneus normais	0,0150	0,052
Pneus de alta histerese	0,0258	0,052

# Estimativa do coeficiente de resistência ao rolamento

Outra orientação para o coeficiente de resistência ao rolamento é fornecida por Reimpell, para diferentes tipos de pneus, onde é possível considerar: influência da carga que age no pneu, a pressão a que está inflado e velocidade do veículo. Baseado nestes dados, Wiegner colocou o coeficiente de resistência de referência ”  $f_0$  ”, válido para um valor de carga normal e um valor de pressão, na forma:

$$f_0 = a_0 + a_1v + a_2v^2 \quad (1.5)$$

onde:

$v$  = velocidade em  $m/s$

$a_0$  ,  $a_1$  e  $a_2$  são dados na Tabela 1.4.

Tabela 1.4: Valores das constantes  $a_0$  ,  $a_1$  e  $a_2$ .

Pneu	Tipo de pneu	Carga $F_{ro}$ [kN]	Pressão $P_o$ [atm]	$a_0 \cdot 10^{-2}$	$a_1 \cdot 10^{-5}$	$a_2 \cdot 10^{-6}$
155-15 X	Radial - Fios de aço	4,0	1,65	1,330	-10,32	2,337
155 - SR -15	Radial - Fios testéis	4,0	1,90	1,385	-4,369	2,181
6.45/165-14	Diagonal super baixo	4,0	1,70	1,612	-3,533	3,009
6.00/15L	Daigonal perfil baixo	3,9	1,70	1,611	-3,601	3,778
5.60/15	Diagonal super balão	3,7	1,70	1,837	-6,741	3,830

Fonte: Reimpell, pp. 194-196, ATZ 75, 1973, N- 11, pp. 407-409 ( Wiegner-Peter).



# Estimativa do coeficiente de resistência ao rolamento

Quanto à carga radial que atua no pneu, ou a pressão a que ele está inflado, for diferente dos valores de referência fornecidos na tabela da Tabela 1.4, o coeficiente de resistência de rolamento para a condição real deve ser corrigido pelas expressões:

- Pneu Diagonal ou Radial Têxtil

$$f = f_o(1,5 - 0,5\frac{F_{ro}}{F_r}) \quad (1.6)$$

$$f = f_o(1,5 - 0,5\frac{p}{p_o}) \quad (1.7)$$

- Pneu Radial Metálico

$$f = f_o(1,3 - 0,3\frac{F_{ro}}{F_r}) \quad (1.8)$$

$$f = f_o(1,3 - 0,3\frac{p}{p_o}) \quad (1.9)$$

Os valores para os termos com índice zero são encontrados na tabela da Tabela 1.4.

# Estimativa do coeficiente de resistência ao rolamento

Exemplo: Qual o valor do coeficiente de resistência no rolamento para um pneu 155 SR 15 submetido a uma carga radial de 4 kN e inflado a uma pressão de 2,2 atm?

Para um pneu 155 SR 15, com  $F_r = 4 \text{ kN}$  e pressão de 2,2 atm, o coeficiente de resistência de rolamento deve ser corrigido quanto à pressão, pois esta é diferente da pressão de referência. Na velocidade de 100 km/h, ou seja 27,77 m/s, o valor de  $f_0$  será:

$$f_0 = a_0 + a_1 \cdot v + a_2 \cdot v^2$$

$$f_0 = 1,385 \cdot 10^{-2} + (-4,369 \cdot 10^{-5}) \cdot 27,77 + 2,181 \cdot 10^{-6} \cdot 27,77^2$$

$$f_0 = 0,0143$$

$$f = f_0 \cdot \left(1,5 - 0,5 \cdot \frac{p}{p_0}\right)$$

$$f = 0,0143 \cdot \left(1,5 - 0,5 \cdot \frac{2,2}{1,90}\right)$$

$$f = 0,0132$$

## 2.6 Forças aerodinâmicas

Um corpo movendo-se no ar, devido a distribuição de pressão sobre a sua superfície livre, fica submetido a uma força resultante. Esta força resultante pode ser decomposta nas seguintes componentes:

- Força na direção **axial** do corpo, conhecida como **força de arraste ou resistência aerodinâmica**;
- Força na direção **vertical**, denominada de **força de sustentação**;
- Força **transversal** horizontal à direção do deslocamento do corpo, denominado de **efeito de ventos laterais**.

## 2.6 Resistência aerodinâmica

Nos automóveis a resistência aerodinâmica provém de três fontes distintas, que são:

**Resistência de forma** - Ocorre devido a **geometria** da carroceria.

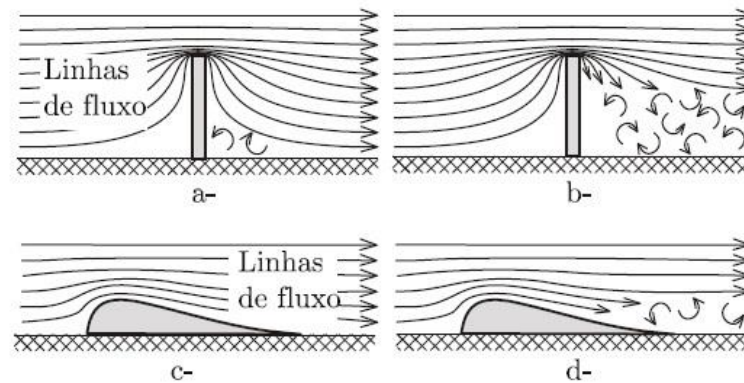


Figura 2.12: Escoamento sobre uma placa plana.

**Resistência de atrito** - Ocorre devido a **viscosidade** existem perdas por atrito do ar com a superfície externa do veículo.

**Perdas por correntes de ar** - Ocorre devido ao ar que **penetra** no veículo, para refrigeração do motor e ventilação.

## 2.6.1 Desprendimento da camada limite e turbulência

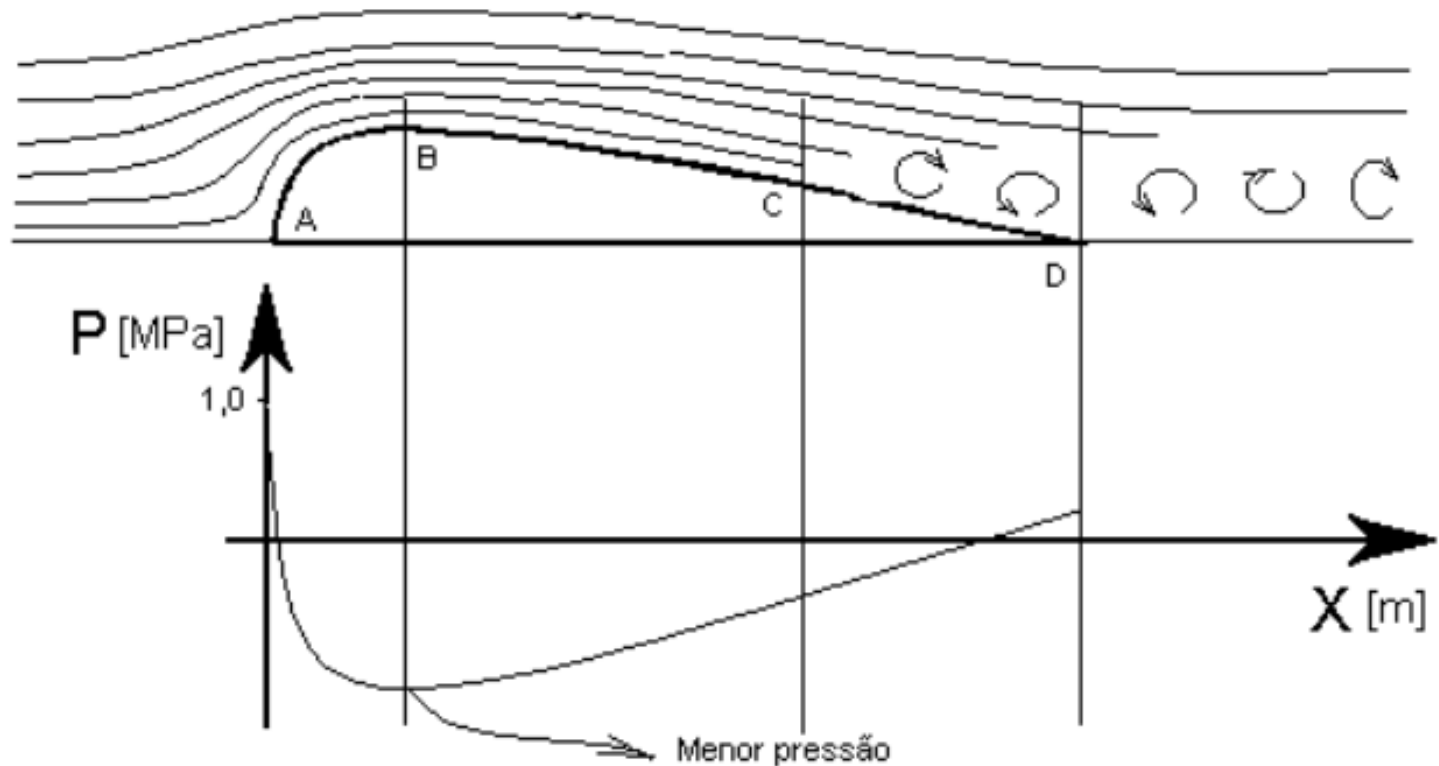


Figura 2.11: Escoamento do ar em torno de um corpo.

## 2.6.1 Desprendimento da camada limite e turbulência

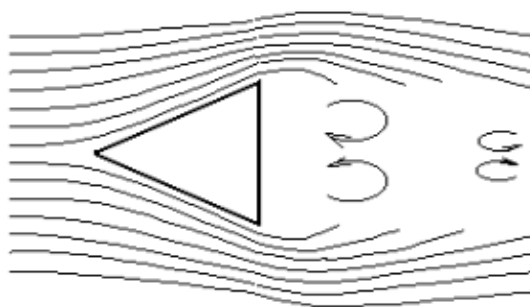


Figura 2.12: Formação da esteira em um corpo com variação brusca de seção.

### 2.6.3 Cálculo da resistência aerodinâmica

A resistência aerodinâmica é dada, considerando os três efeitos conjuntamente, por:

$$Q_a = q C_x A \quad (2.27)$$

sendo:

$q$  - pressão dinâmica;

$C_x$  - coeficiente de resistência aerodinâmica (em geral determinado em testes com modelos em escalas reduzidas ou em tamanho natural);

$A$  - área projetada da seção transversal do veículo.

Essa expressão é uma relação empírica bastante utilizada em mecânica dos fluidos, para a determinação experimental do coeficiente de resistência de forma e de atrito de corpos das mais variadas geometrias. A pressão dinâmica que é função da velocidade relativa entre o veículo e o ar, da temperatura e da pressão atmosférica, pode ser calculada por:

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (2.28)$$

sendo:

$\rho = 1,22557 \text{ [kg/m}^3\text{]}$  (massa específica do ar a  $15^\circ \text{ C}$  e  $760 \text{ mm Hg}$ );

$v$  = velocidade relativa do vento [ $m/s$ ].

Para outras condições de temperatura e pressão a massa específica do ar pode ser obtida, com boa precisão, através da expressão que segue:

$$\rho = 0,4647 \frac{p}{T} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (2.29)$$

sendo:

$p$  - a pressão atmosférica em  $mm$  de  $Hg$ ;

$T$  - a temperatura absoluta  $K$ .



## 2.6.3 Área da seção transversal

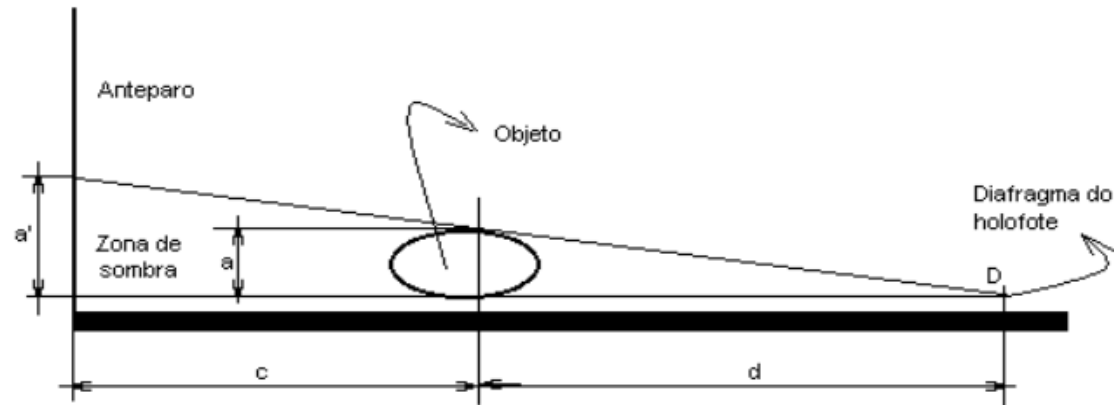


Figura 2.13: Determinação da área da seção transversal por projeção da sombra do veículo.

$$A = \frac{A_1 d^2}{(c + d)^2} \quad (2.32)$$

sendo:

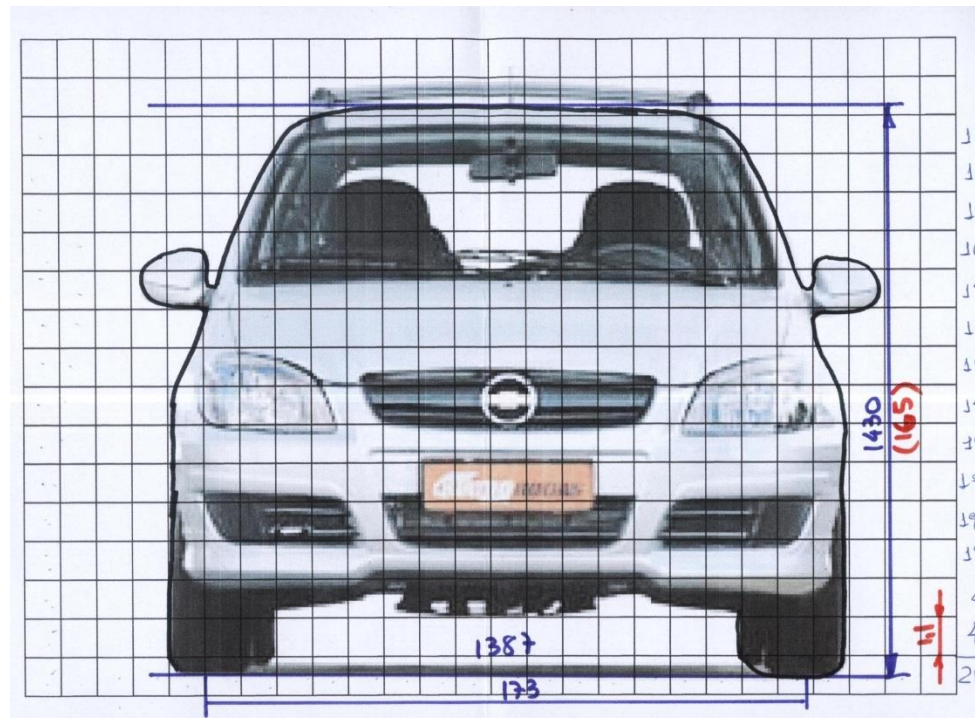
$A$  - Área projetada do veículo;

$A_1$  - Área da sombra no anteparo.

## 2.6.3 Área da seção transversal



Figura 2.14: Determinação da área por fotografia.



### 2.6.3 Área da seção transversal

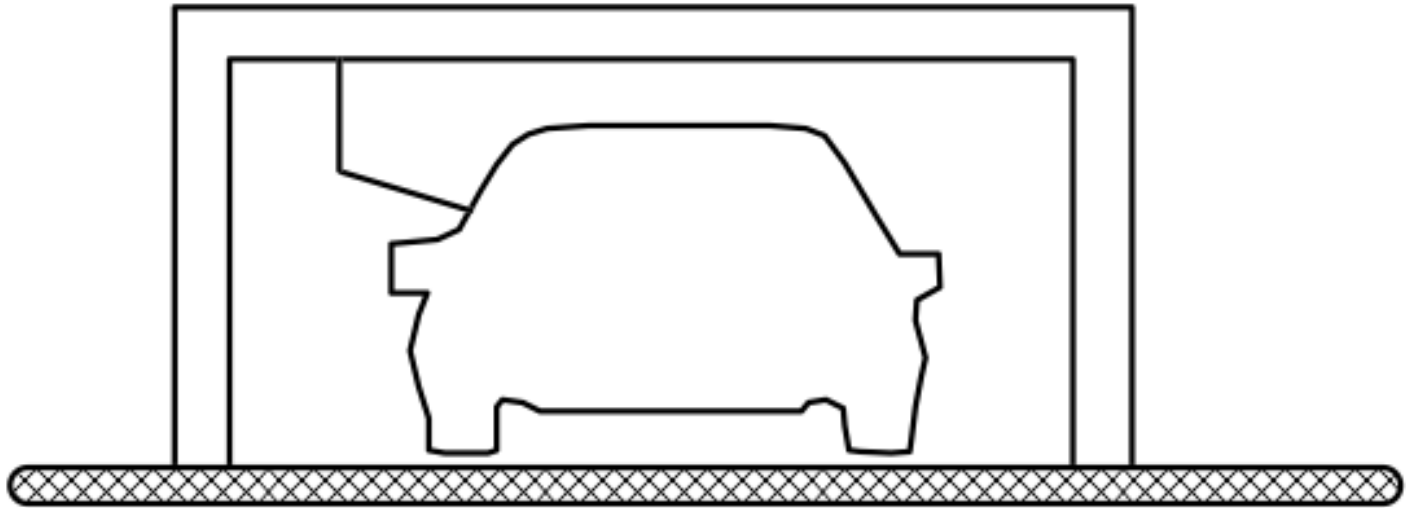


Figura 2.15: Determinação da área por medida direta.

## 2.6.4 Pressão dinâmica

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (2.38)$$

onde:

$\rho$  - massa específica;

$v$  - velocidade do fluido;

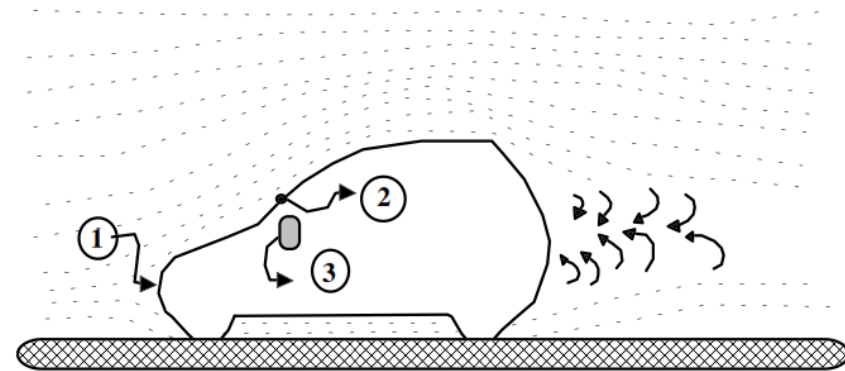
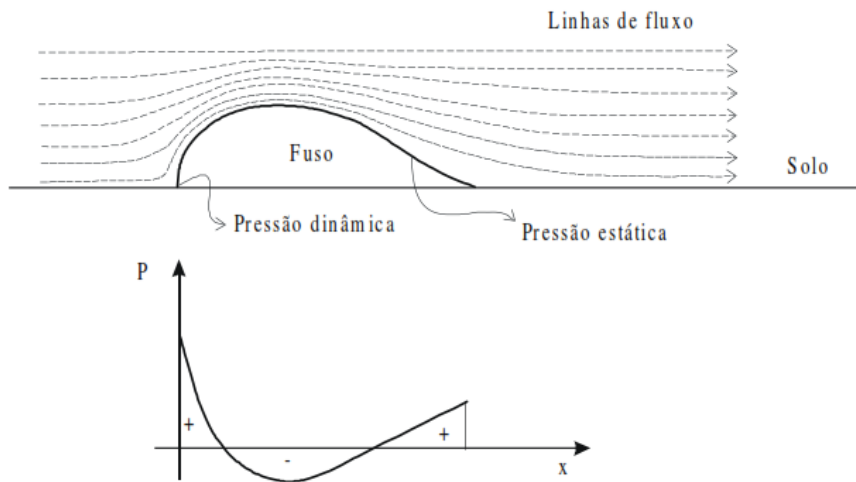


Figura 2.16: Distribuição de pressão em um corpo.

Figura 2.17: Locais onde a pressão dinâmica é predominante.

### 2.6.5 Coeficiente de resistência aerodinâmica

O coeficiente de penetração aerodinâmica  $C_x$ , serve de medida para a aerodinâmica de um corpo e é determinado experimentalmente. Em seu valor estão considerados a influência de forma, do acabamento superficial e do fluxo necessário para refrigeração do motor e ventilação do interior do carro. Quanto menor o seu valor, tanto menor a resistência do ar.

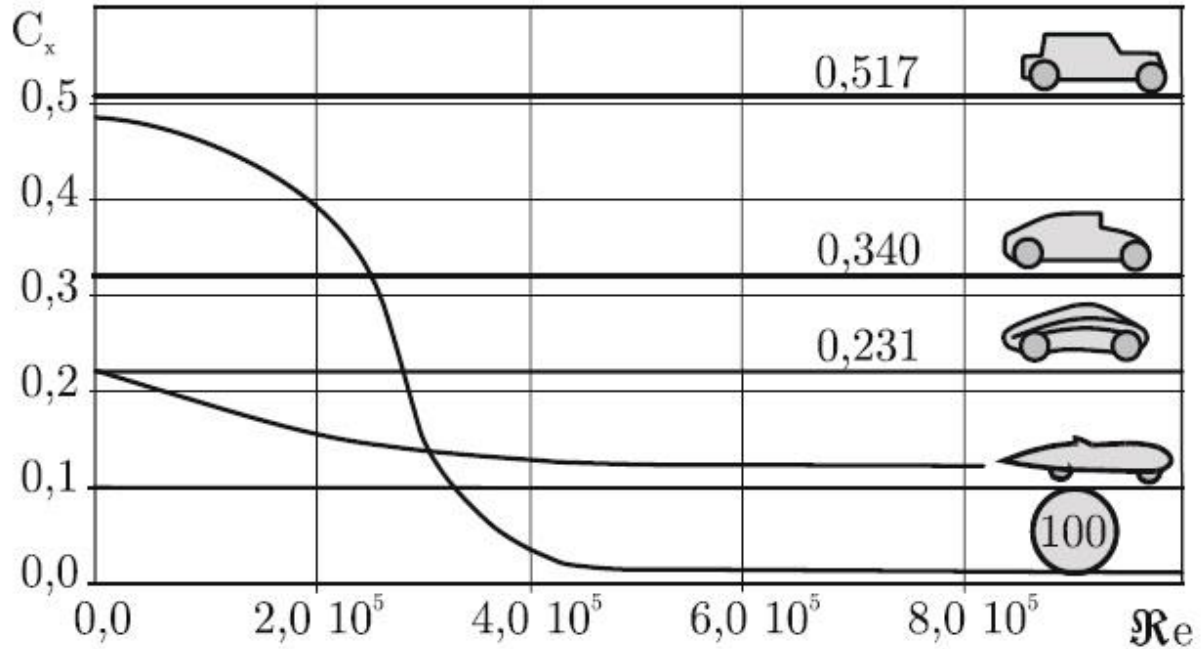


Figura 2.19: Variação do coeficiente de arrasto em função do número de Reynolds.

## 2.6.5 Coeficiente de resistência aerodinâmica

*Da mecânica dos fluidos, o número de Reynolds é dado por:*

$$\Re_e = \frac{vl}{\mu} \rho \quad (2.39)$$

*onde:*

*v - velocidade do fluido;*

*l - dimensão característica ;*

*$\rho$  - densidade do fluido;*

*$\mu$  - viscosidade do fluído.*

O número de Reynolds varia entre  $\Re_e = 1,5 \cdot 10^6$  ( na cidade onde as velocidades giram de 20 a 40 *km/h*) e  $\Re_e = 12 \cdot 10^6$  ( nas rodovias, onde as velocidades giram entre 80 e 120 *km/h*). Para modelos em escala 1 : 5 e velocidades do ar no túnel de vento entre 10 e 60 *m/s*, o número de Reynolds estará entre  $0,5 \cdot 10^6$  e  $3 \cdot 10^6$ , correspondendo a valores semelhantes do caso real, o que permite que se faça os ensaios com esta escala.

### 2.6.7 Coeficientes de penetração aerodinâmica de alguns carros

Segundo os fabricantes e revistas especializadas os coeficientes de penetração aerodinâmica de alguns carros nacionais são dados na Tabela 2.2.

Dessas fontes, por ensaios em túnel de vento, a resistência aerodinâmica é aproximadamente distribuída como segue:

- Forma ..... 55%;
- Faróis, emblemas, frisos, antenas, guarnições, espelhos, calhas e outros acabamentos ..... 29%;
- Parte inferior do chassi (sulcos, volumes e outras obstruções que causem turbulência) ..... 8%;
- Tomada de ar para o motor e habitáculo ..... 8%.

Tabela 2.4: Coeficientes de penetração aerodinâmica para alguns veículos nacionais:

Carro	$C_x$
FIAT 147 (todos)	0,50
Uno	0,35
Corcel II	0,44
Del Rey	0,44
Escort (até 91)	0,386
Pampa	0,44
Monza Hatch (90)	0,34
Monza 3 volumes (90)	0,40
Fusca	0,48
Gol (até 90)	0,42
Gol GT	0,41
Voyage	0,43
Parati	0,41
Passat	0,46
Santana (até 90)	0,39
Quantum (até 91)	0,38
Kadett	0,32
Kadett GS	0,30
Audi A3	0,31
Golf	0,31



# Obtenção experimental de $f$ e do $C_x$

Para aplicar o processo é necessário:

- Pista plana, reta e perimetrada.
- O ar na ocasião do ensaio deve estar parado. O movimento próprio do ar influi bastante nos resultados, principalmente em baixas velocidades.
- Freios de serviço e de estacionamento perfeitamente livres.
- Rodas balanceadas.
- Sistema de medição simultânea de tempo e velocidade precisos.
- Pressão uniforme nos pneus.

# Obtenção experimental de $f$ e do $C_x$

$$Q_r = f G \quad (2.40)$$

$$Q_a = C_x A q \quad (2.41)$$

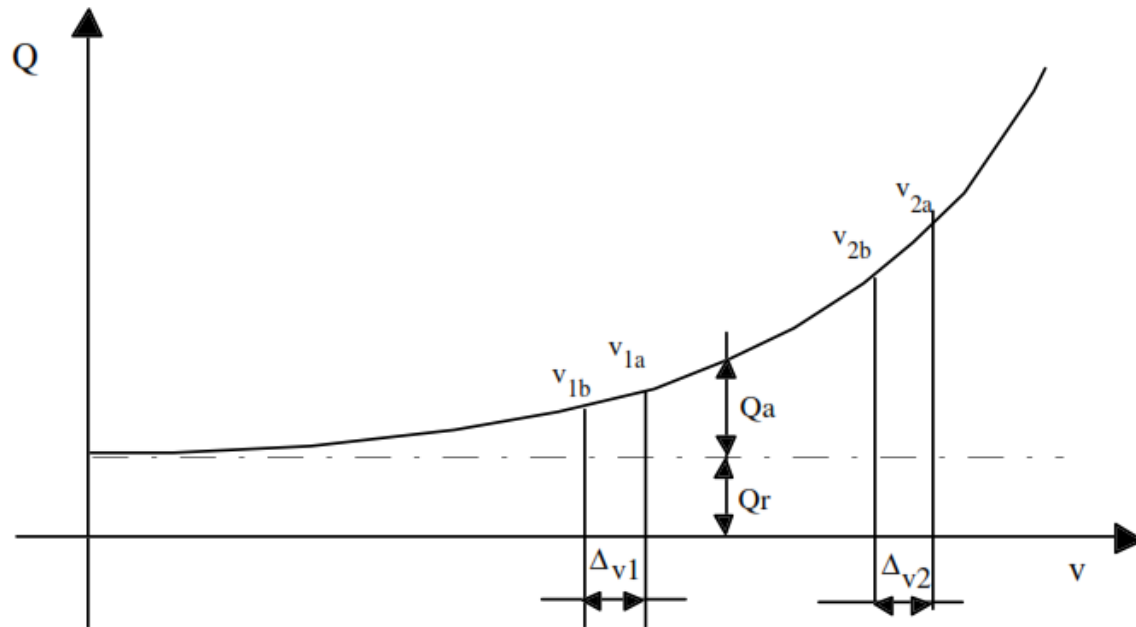


Figura 2.19: Resistência ao movimento em função da velocidade.

# Obtenção experimental de $f$ e do $C_x$

Da segunda lei de Newton:

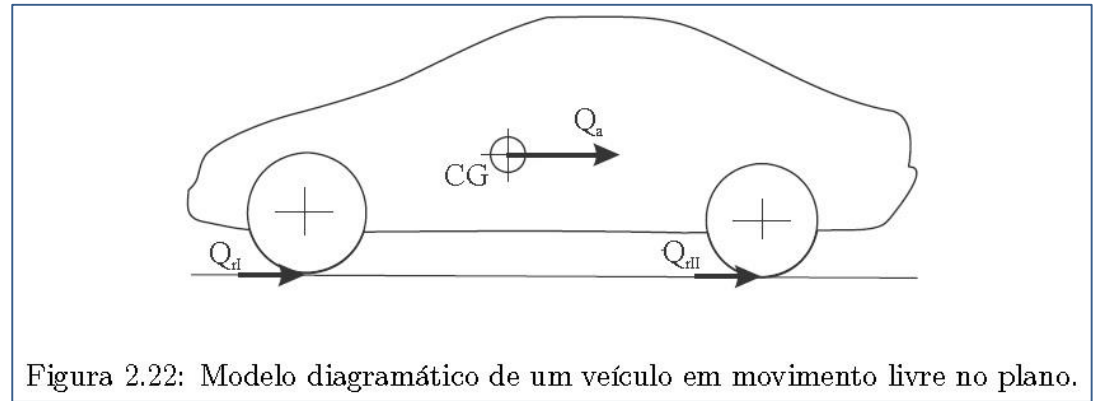


Figura 2.22: Modelo diagramático de um veículo em movimento livre no plano.

$$\sum F = m a \quad (2.42)$$

A aceleração para uma dada velocidade  $v_i$ , ( $i = 1, 2$ ), pode ser calculada através da razão entre a variação da velocidade e o intervalo de tempo em que isto ocorre, como segue:

$$a_i = \frac{\Delta v_i}{\Delta t_i} \quad (2.43)$$

E a força que causa esta desaceleração é a soma das resistências de rolamento e aerodinâmica, ou seja:

$$m a_i = -(Q_r^i + Q_a^i) \quad (2.44)$$

# Obtenção experimental de $f$ e do $C_x$

$$m a_i = -(f G + A C_x q_i) \quad (2.45)$$

onde:

$$q_i = \frac{1}{2} \rho \left( \frac{v_{ia} + v_{ib}}{2} \right)^2 \quad (2.46)$$

Aplicando a equação 2.44, para duas velocidades distintas, chega-se a um sistema de equações, do qual isoladas as acelerações resulta em:

$$a_1 = -\frac{1}{m} (f m g + A C_x q_1) \quad (2.47)$$

$$a_2 = -\frac{1}{m} (f m g + A C_x q_2) \quad (2.48)$$

# Obtenção experimental de $f$ e do $C_x$

$$a_1 = -\frac{1}{m}(f m g + A C_x q_1) \quad (2.47)$$

$$a_2 = -\frac{1}{m}(f m g + A C_x q_2) \quad (2.48)$$

sendo as acelerações  $a_i$  dadas por:

$$a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} \quad (2.49)$$

$$a_2 = \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} \quad (2.50)$$

onde:

$a_i$  - Aceleração para a velocidade  $i$ ,

$\Delta v_i$  - Variação da velocidade,

$\Delta t_i$  - Intervalo de tempo para ocorrer a variação de velocidade

$g$  - aceleração da gravidade;

$m$  - massa do veículo.

# Obtenção experimental de $f$ e do $C_x$

Conhecendo-se o peso do carro, a área da seção transversal e com os valores das acelerações obtidos do teste, tem-se para  $f$  e  $C_x$ , a forma que segue:

$$C_x = \frac{m}{A} \left( \frac{a_1 - a_2}{q_2 - q_1} \right) \quad (2.51)$$

$$f = -\frac{1}{g} \left( \frac{a_1 q_2 - a_2 q_1}{q_2 - q_1} \right) \quad (2.52)$$

*Observação: é importante salientar que pode-se considerar, nestes cálculos, que a resistência ao rolamento varie com a velocidade, desde que seja usada a equação 1.4 ou 1.5, no equacionamento anterior. No caso de considerar-se a influência das massas rotativas deve-se acrescentar a inércia de translação equivalente a de rotação, dada pela equação (2.22), o que aumentará a precisão dos cálculos.*

# Obtenção experimental de $f$ e do $C_x$

## Descrição da experiência

- 1 - Tripulação de um motorista e um acompanhante, para tomada de tempos;
- 2 - O carro é acelerado até atingir uma determinada velocidade, um pouco superior ao intervalo onde irá ser feito o teste. Após, retira-se o pé do acelerador e coloca-o em ponto morto;
- 3 - O acompanhante, aciona o equipamento para medição do término para uma dada variação de velocidade;
- 4 - Repete-se a medição em sentido contrário para evitar a influência de declives, ventos etc;
- 5 - Repetição do conjunto de medidas ao menos, mais uma vez;
- 6 - Fazer a média dos tempos obtidos;
- 7 - Repetir o processo para a outra faixa de velocidade.

# Obtenção experimental de $f$ e do $C_x$

É conveniente tomar-se alguns cuidados, indispensáveis para o êxito do teste:

- Pista deve ser plana;

- Não deve haver ventos, tanto laterais, quanto no sentido do movimento;

Ventos de  $15 \text{ km/h}$  podem alterar o valor de  $C_x$  em até 50 %;

- Não devem ocorrer ultrapassagens durante a tomada de tempos, pois a turbulência altera os resultados;

- As tomadas de tempo devem ser feitas no mesmo trecho da pista.



**Exemplo.** Um veículo com as propriedades mostradas na tabela é ensaiado em um teste de *coast doawn*. Para a velocidade de  $20\text{m/s}$  a aceleração medida é de  $-0,23\text{m/s}^2$  e para o segundo ponto, na velocidade de  $30\text{m/s}$  a desaceleração é de  $-0,38\text{m/s}^2$ . Determinar o coeficiente de arrasto aerodinâmico e o coeficiente de atrito de rolamento .

$m$	1300	$kg$
$\delta$	0,01	-
$v_1$	20	$m/s$
$v_2$	30	$m/s$
$a_1$	-0,23	$m/s^2$
$a_2$	-0,38	$m/s^2$
$A$	1,98	$m^2$
$\rho$	1,225	$kg/m^3$

$$C_x = 2 \cdot 1300 \cdot (1 + 0,01) \frac{(-0,38 - (-0,23))}{1,98 \cdot 1,225(20^2 - 30^2)} = 0,32$$

$$f = (1 + 0,01) \frac{(30^2(-0,23) - 20^2(-0,38))}{9,81(20^2 - 30^2)} = 0,011$$