

# Fundamentos de Dinâmica Veicular

## Capítulo 4 Balanço de Potências

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.

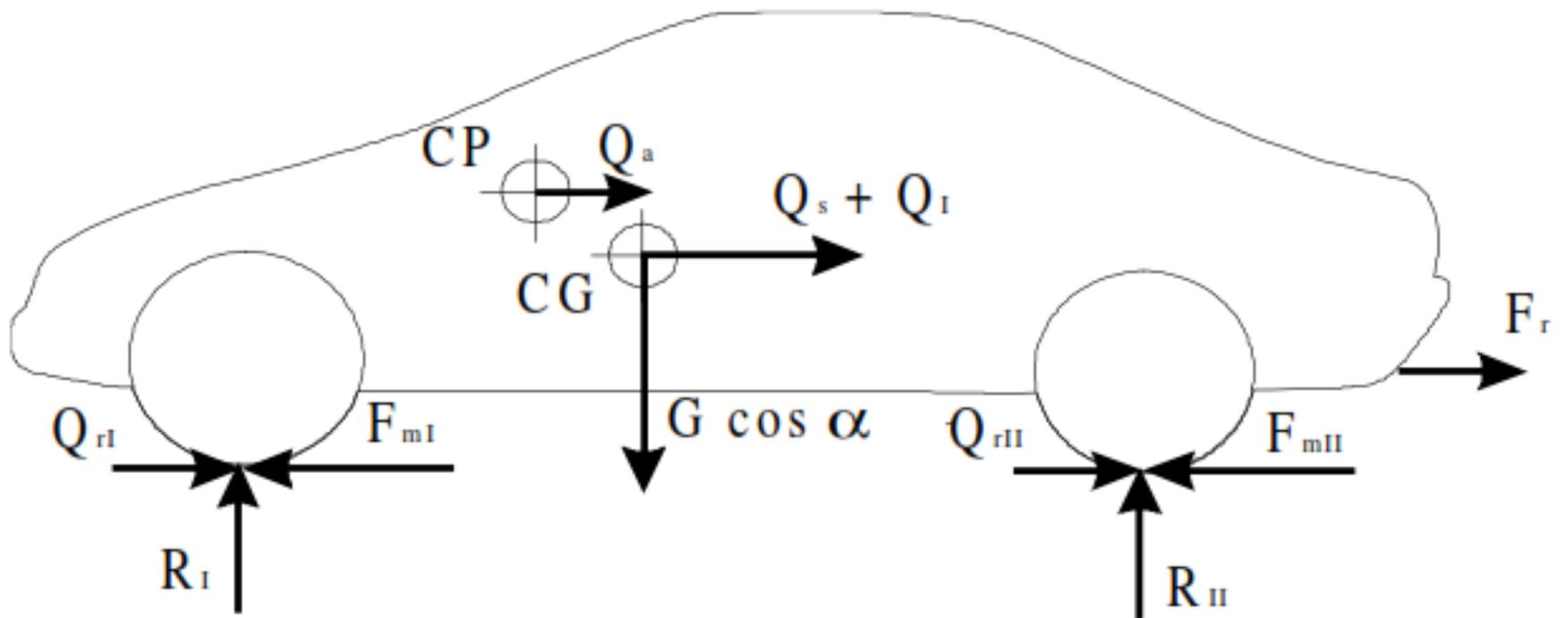
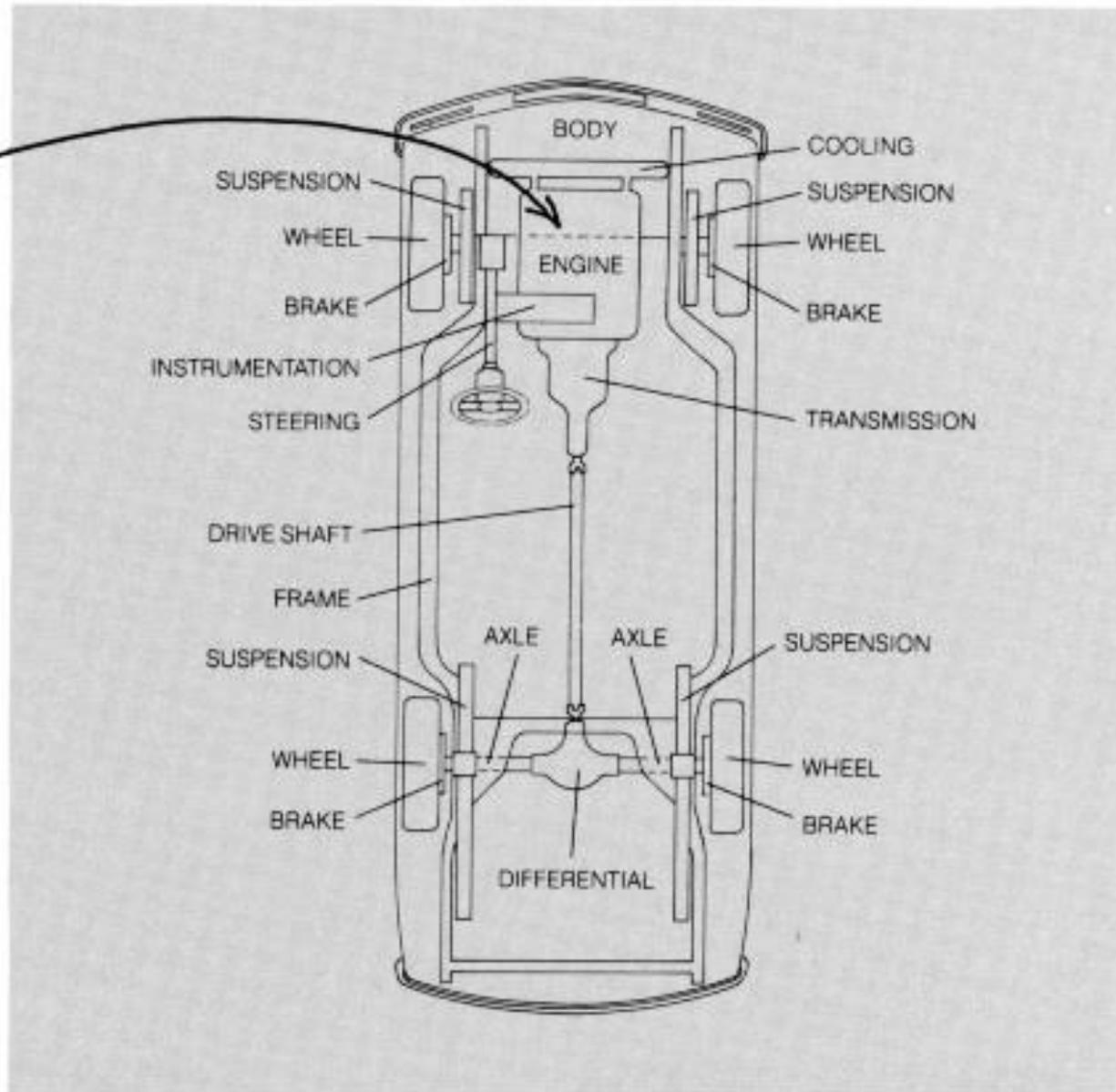
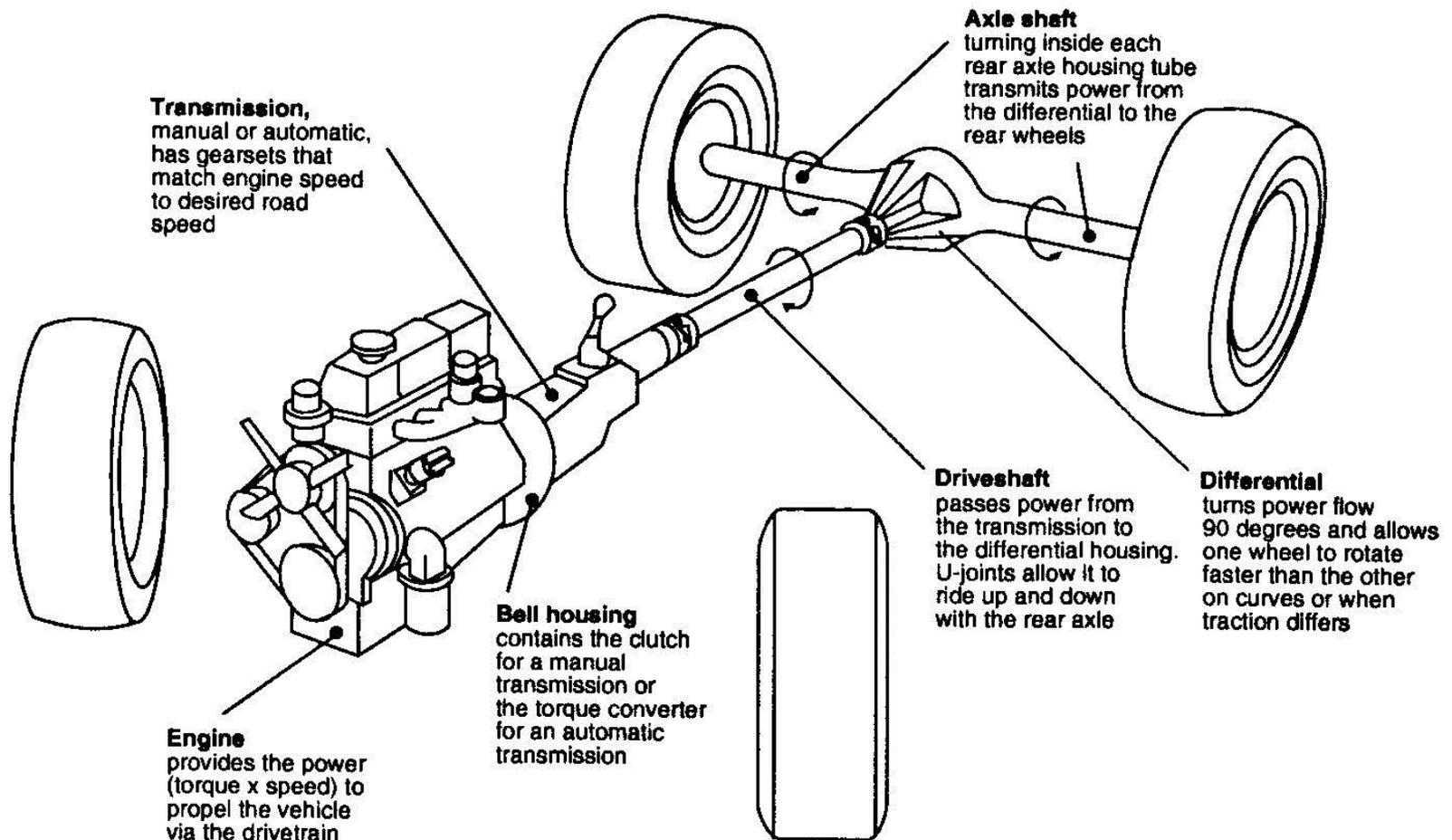


Figura 4.1: Forças atuantes em um veículo.

*In most newer cars the engine is mounted transversely for front wheel drive.*

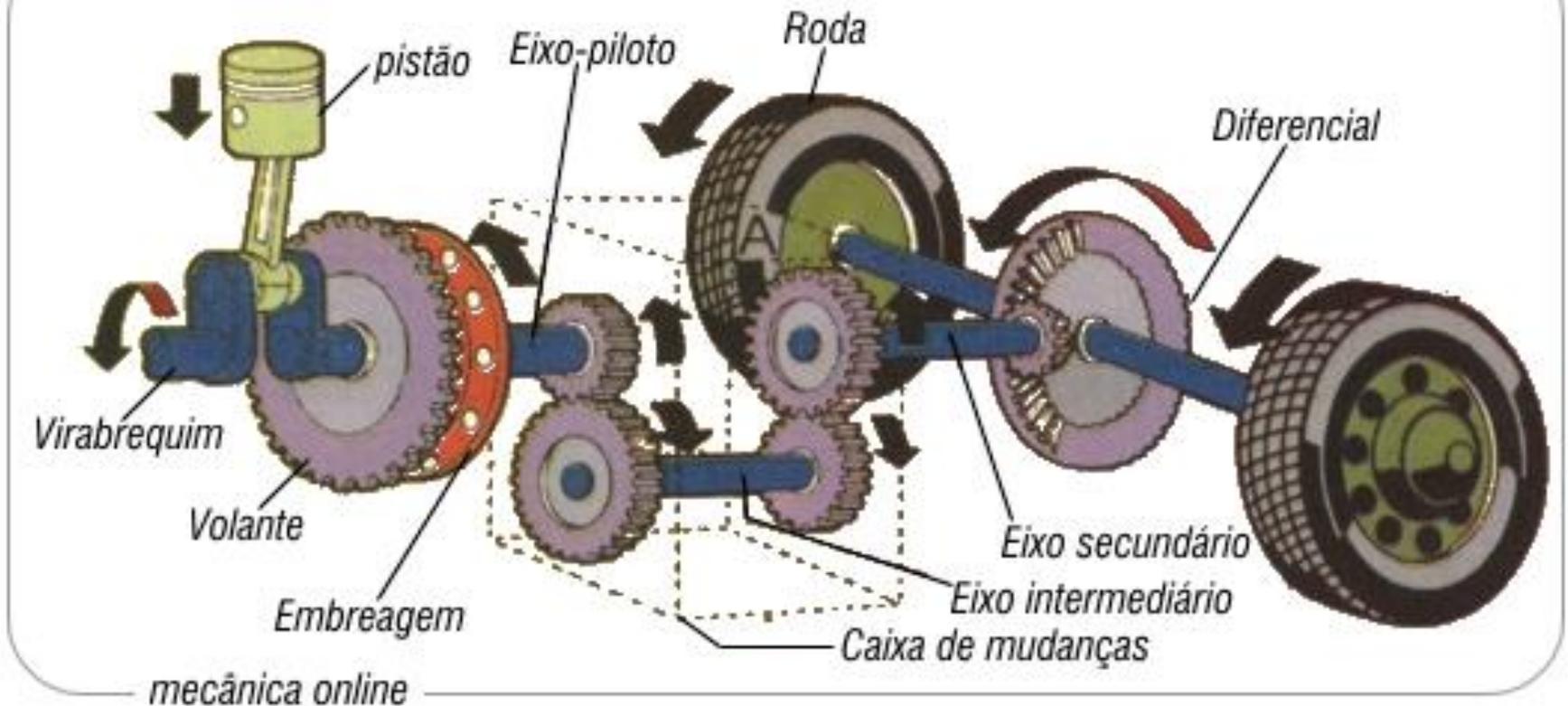


Componentes do trem de força de um veículo com tração traseira.

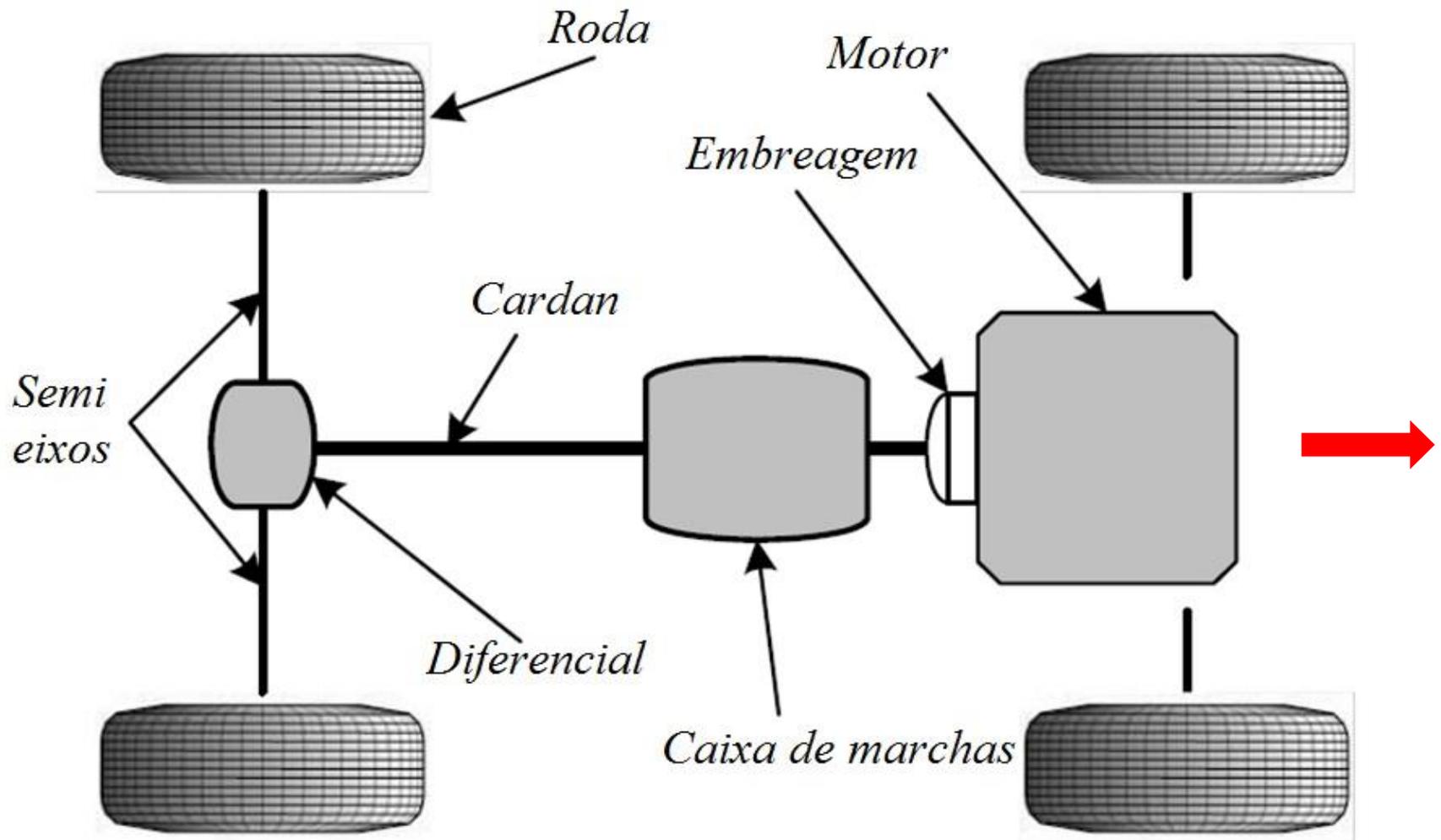


## Componentes do trem de força de um veículo com tração traseira.

## Visão das Engrenagens da Caixa de Mudanças

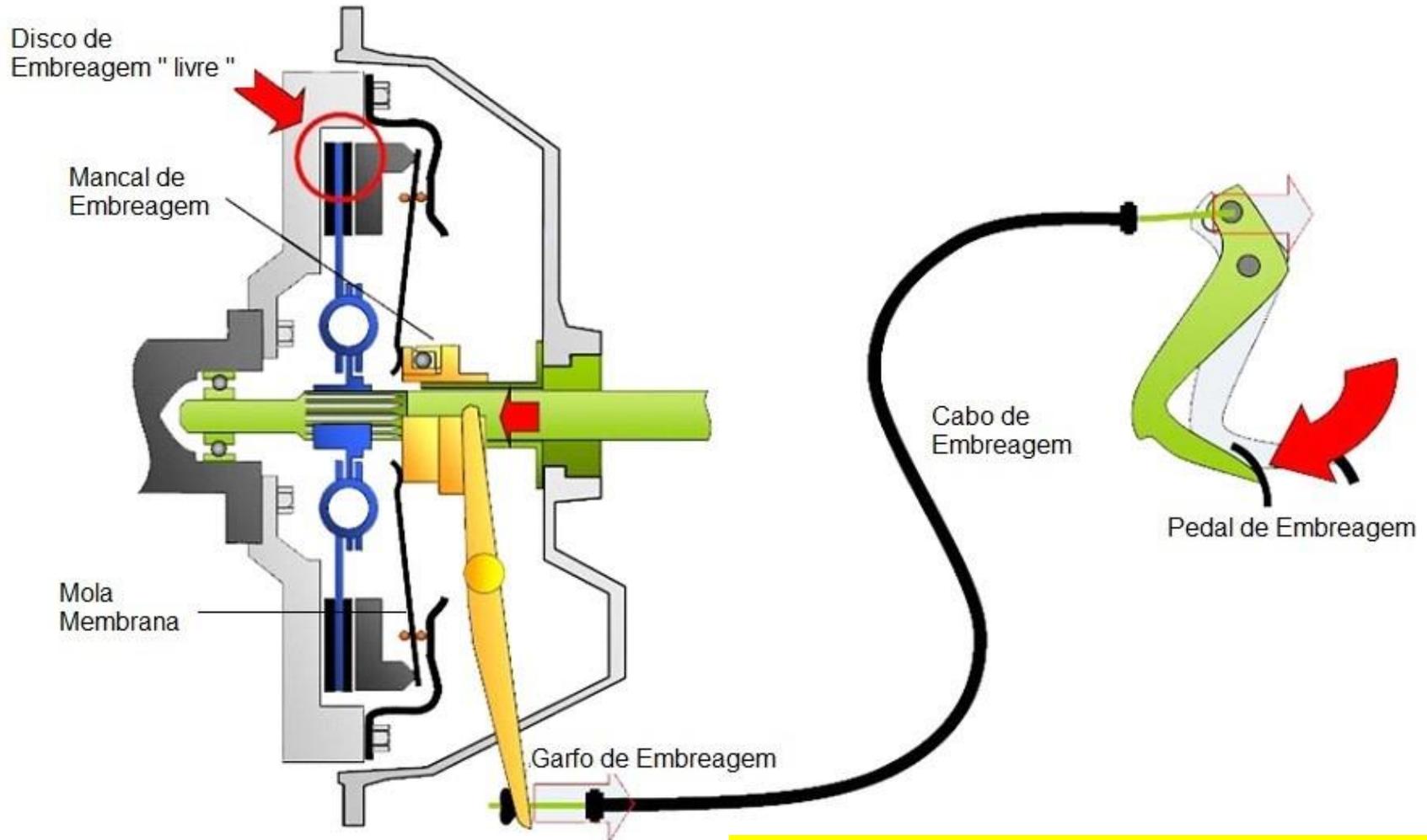


Componentes do trem de força de um veículo com tração traseira.



Componentes do trem de força de um veículo com tração traseira.

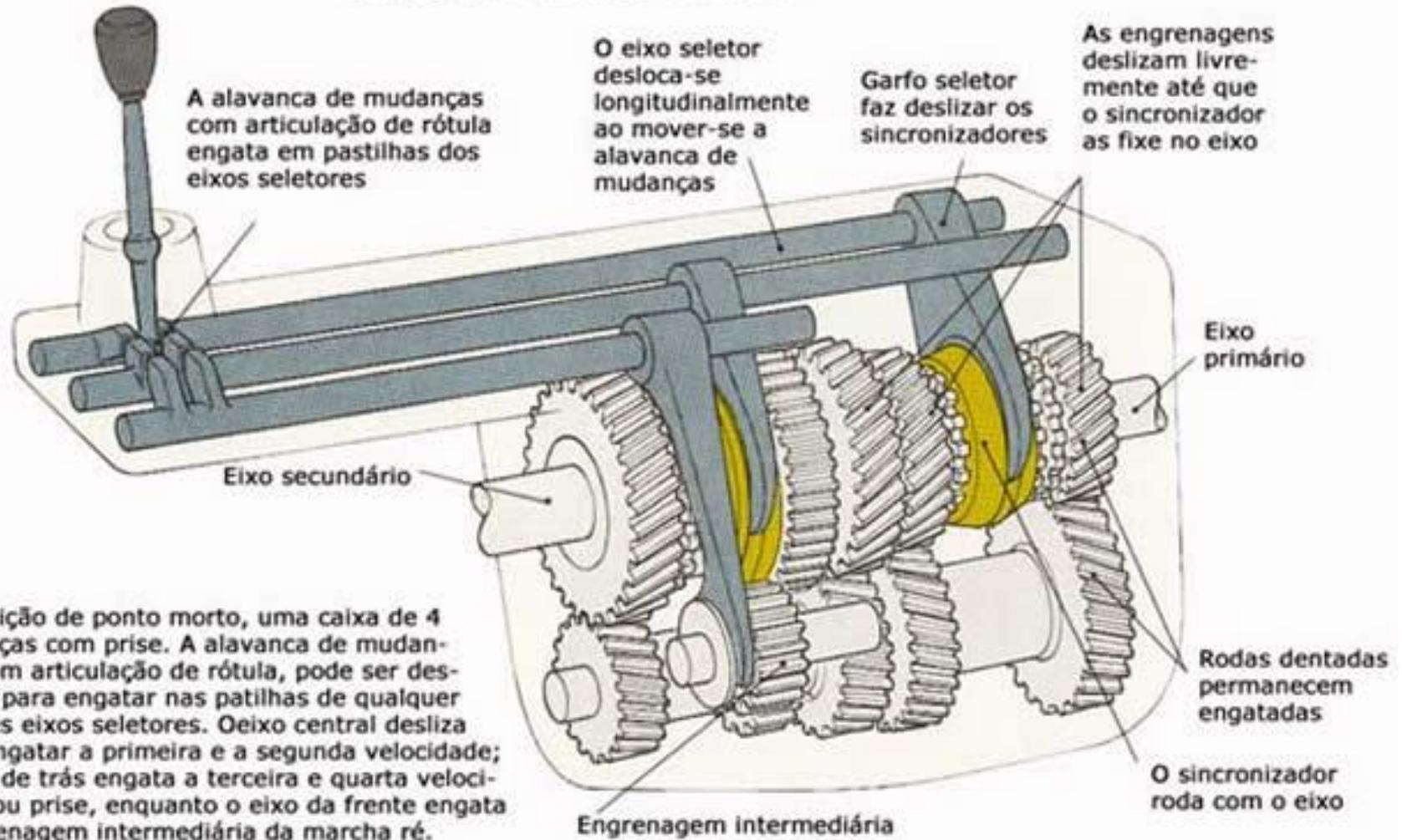
# Embreagem



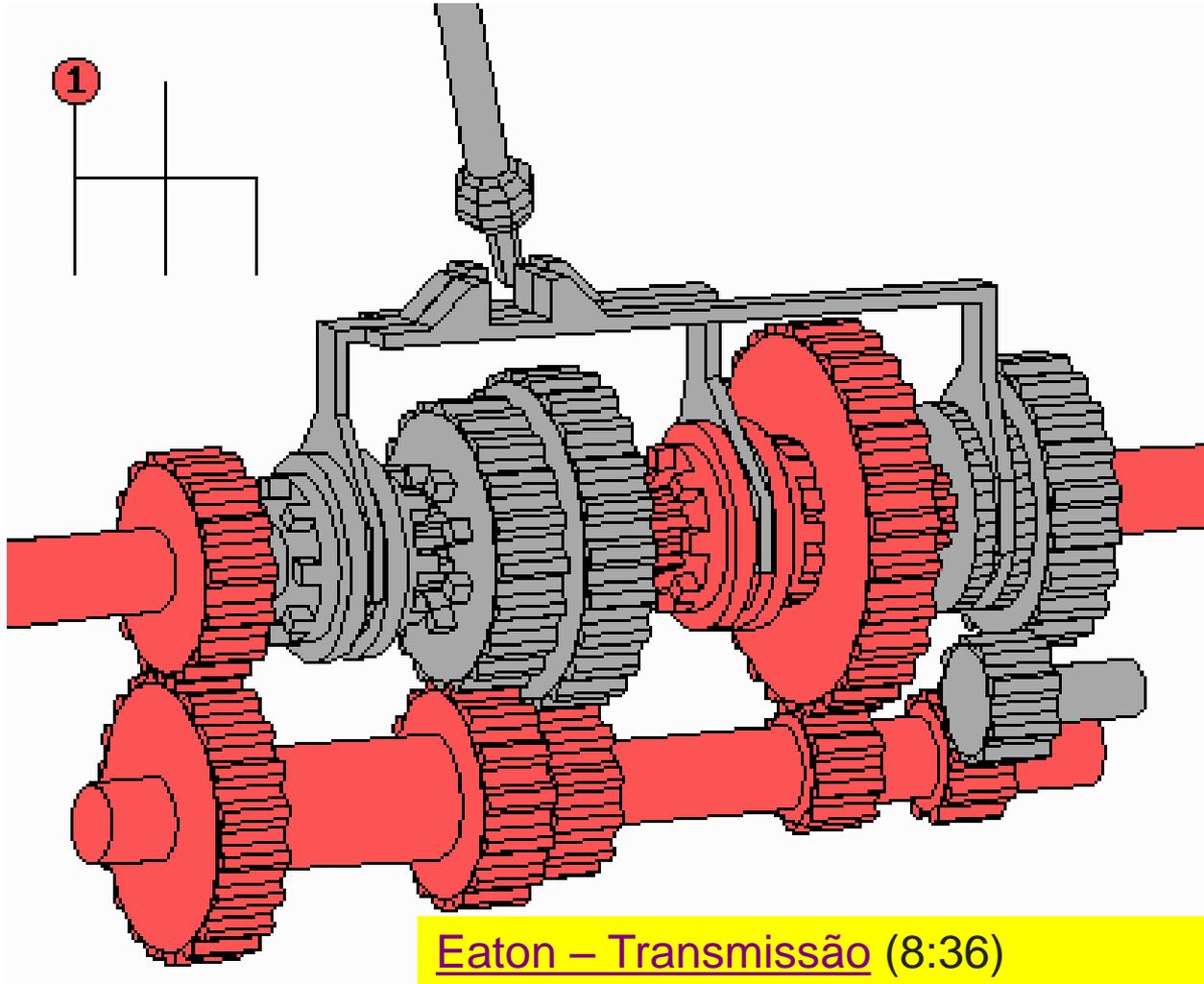
**[Como Funciona o Sistema de Embreagem \(5:34\)](https://youtu.be/wQiSVnNWapc)**  
**<https://youtu.be/wQiSVnNWapc>**

# Caixa de marchas.

## GARFOS NUMA CAIXA DE 4 MARCHAS



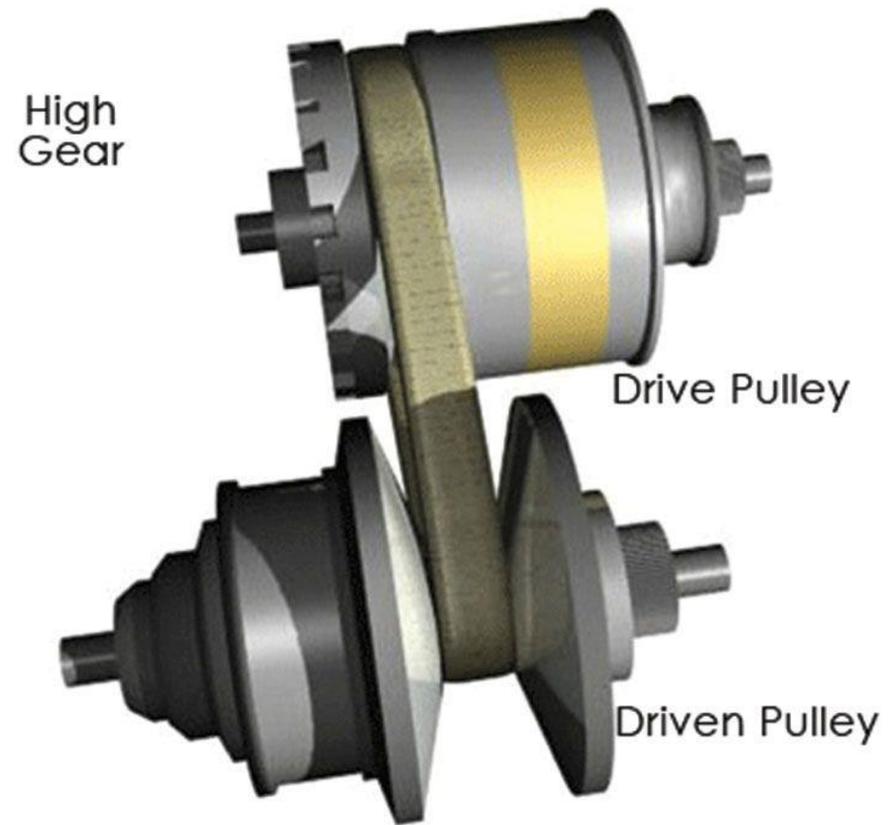
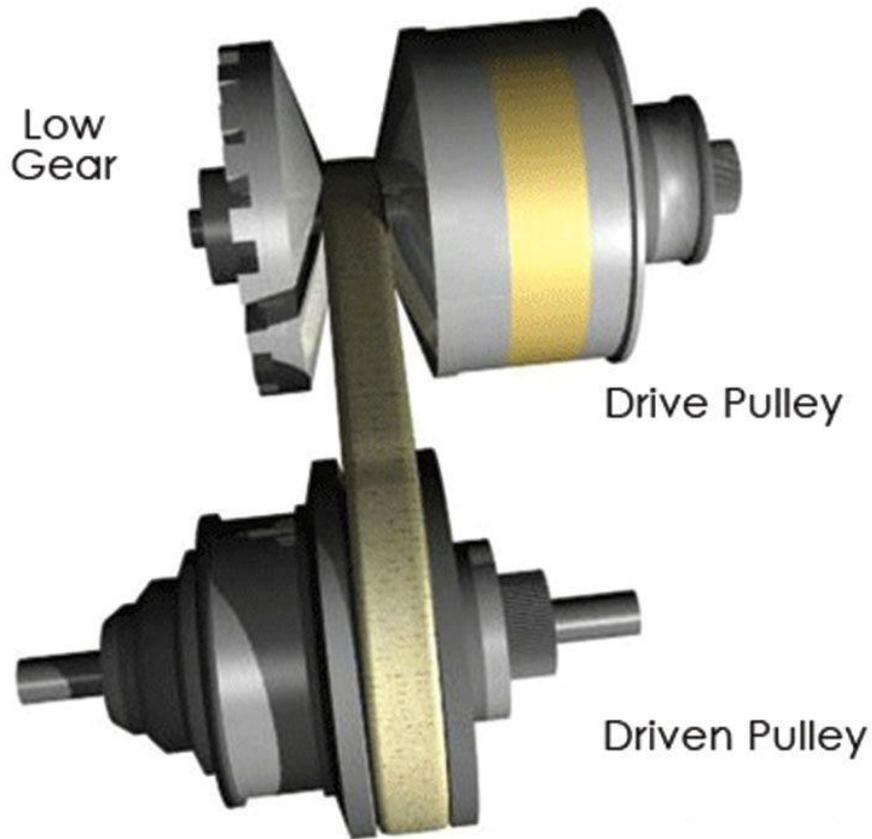
# Caixa de marchas.



Eaton – Transmissão (8:36)

[https://www.youtube.com/watch?v=FJ\\_U7nc9i5M](https://www.youtube.com/watch?v=FJ_U7nc9i5M)

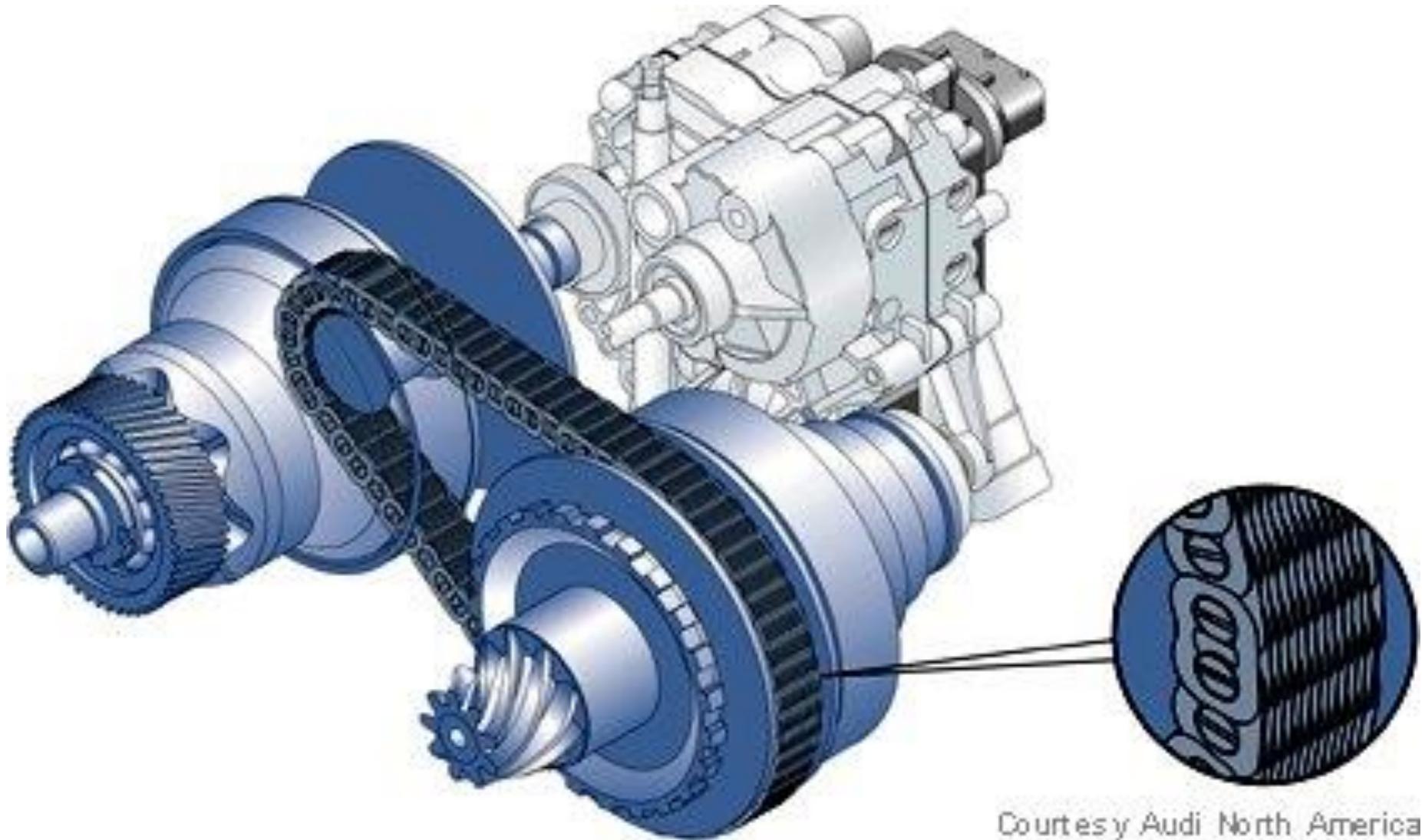
# Transmissão continuamente variável - CVT.



**[JATCO - Mechanism of a CVT \(1:14\)](https://youtu.be/QqTWY0lbT1A)**  
**<https://youtu.be/QqTWY0lbT1A>**

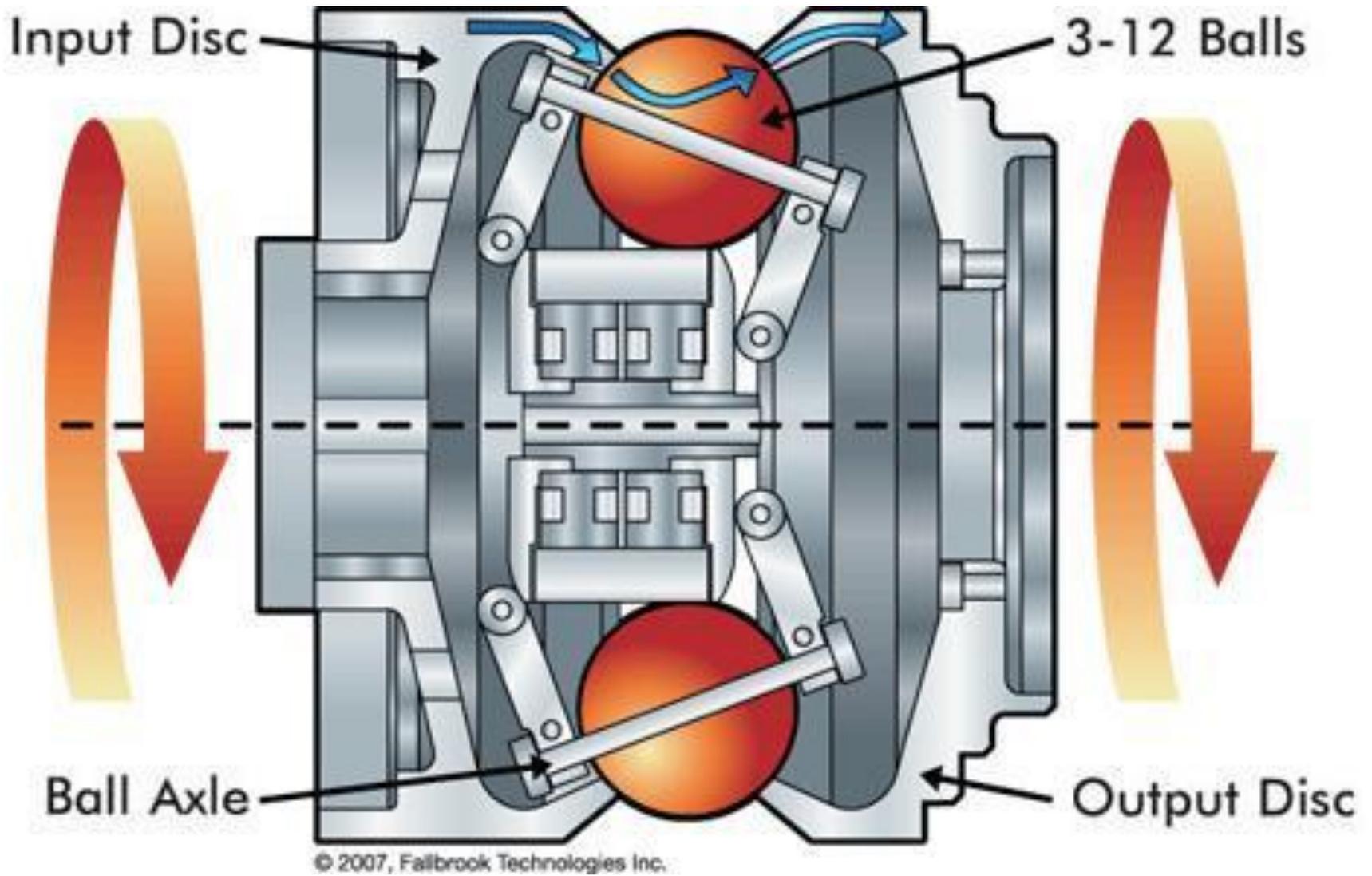
**[3D animation of CVT Transmission \(1:00\)](https://youtu.be/dcDs27QWrRQ)**  
**<https://youtu.be/dcDs27QWrRQ>**

# Transmissão continuamente variável - CVT.

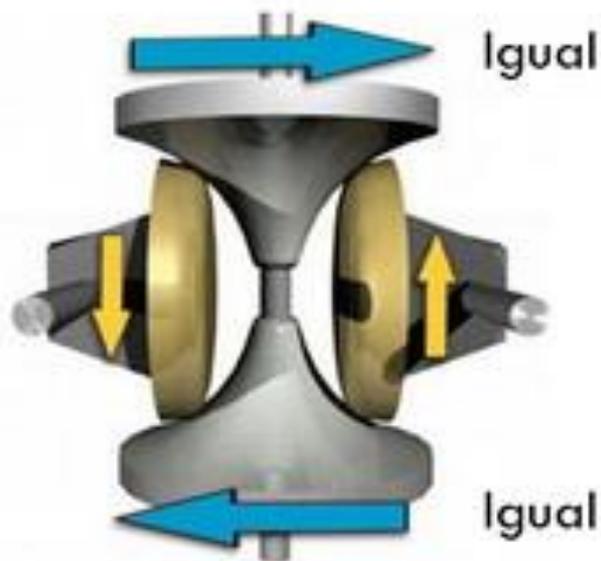
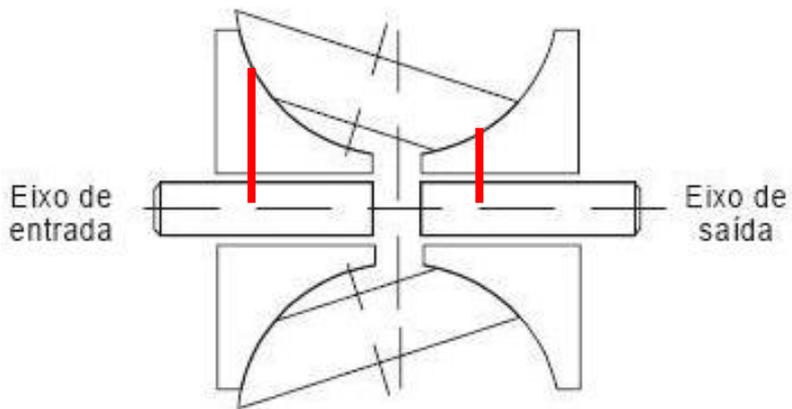
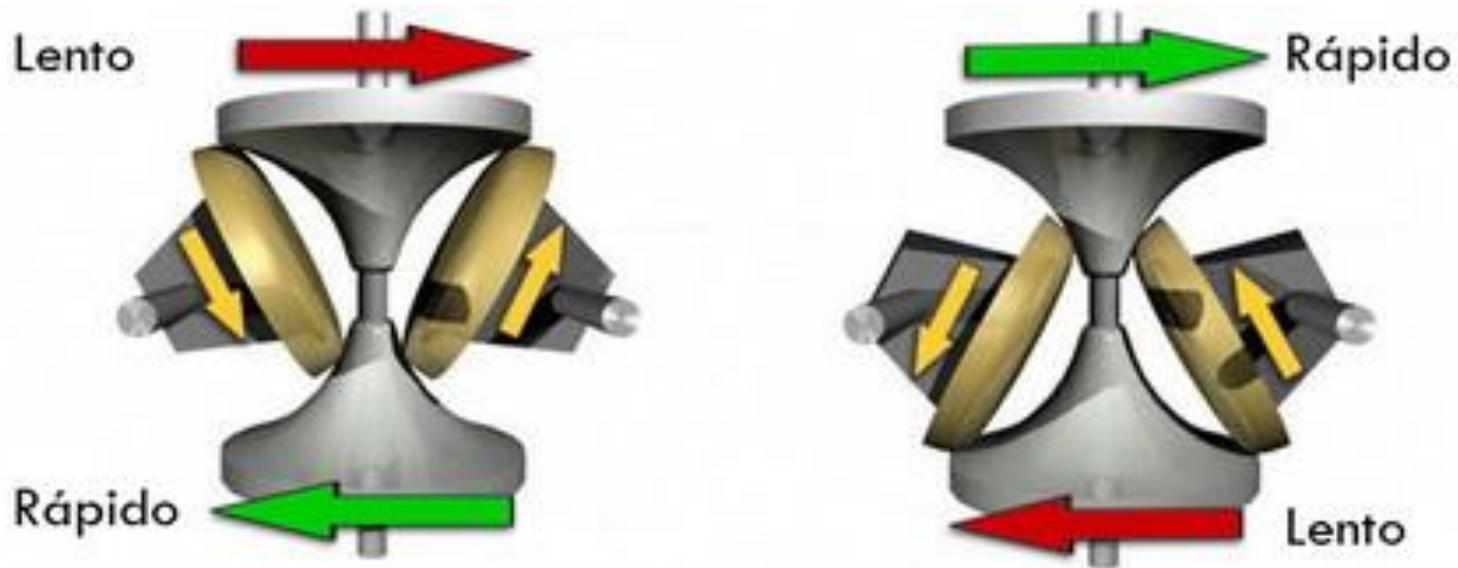


Courtesy Audi North America

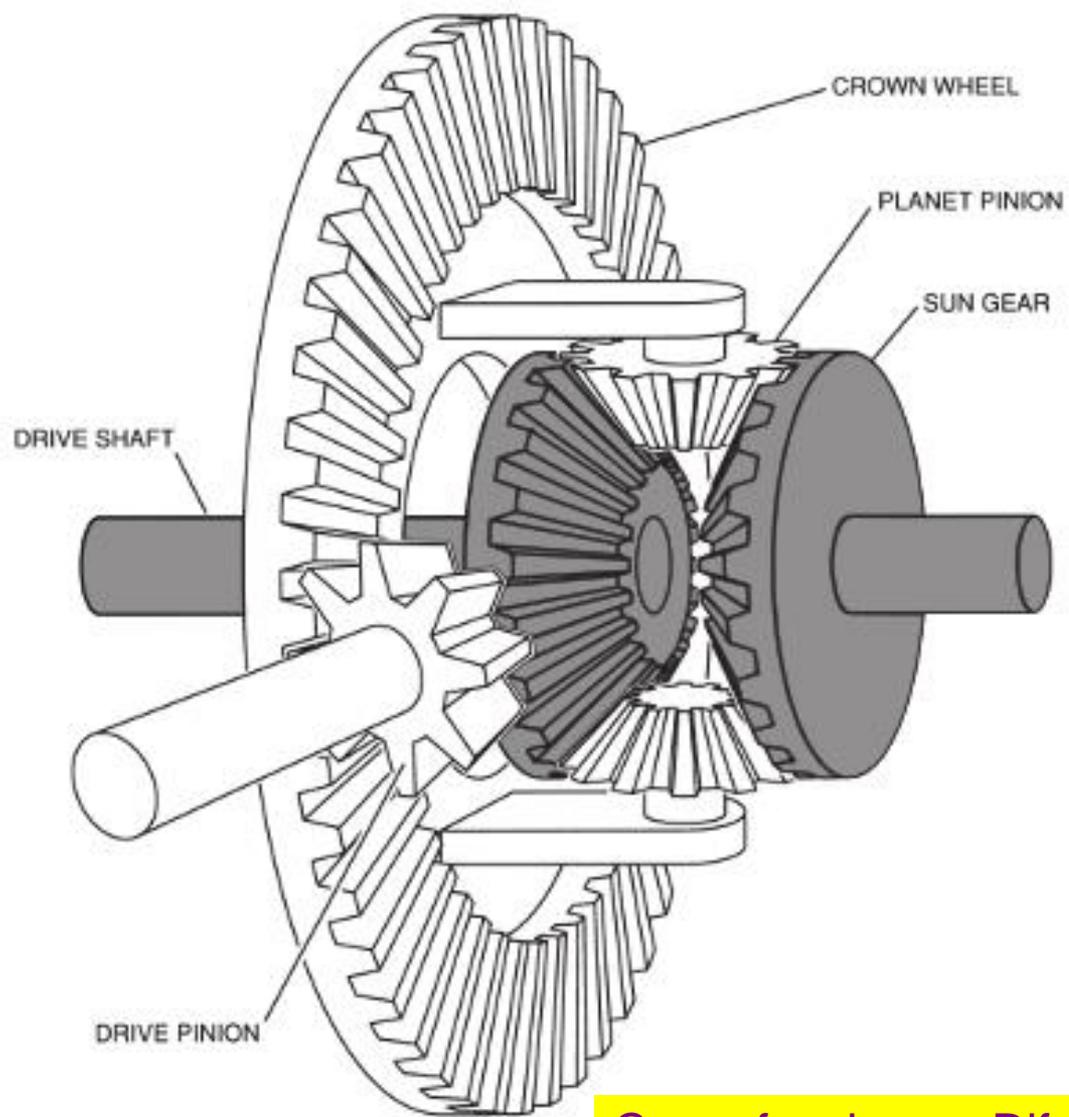
# CVT DE ESFERAS



# CVT TOROIDAL



# Diferencial



[Como funciona o Diferencial \(legendado\) \(7:46\)](https://www.youtube.com/watch?v=4WhJqtnFqx0)  
<https://www.youtube.com/watch?v=4WhJqtnFqx0>

## 4.2 Potência gerada no motor

Conforme visto, a potência efetiva na saída do motor é a que interessa para o estudo do desempenho do veículo, já que esta é a que vai ser transmitida às rodas motrizes. A principal informação que interessa é a curva de potência ou a curva de torque do motor. A relação entre estas grandezas é dada por:

$$P = M_t \omega \quad (4.1)$$

onde:

$P$  = potência [W];

$\omega$  = velocidade angular [rad/s];

$M_t$  = momento torçor [Nm].

Porém, normalmente, a rotação é dada em rotações por minuto [rpm], sendo a relação desta e a velocidade angular  $\omega$  do motor dada por:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad (4.2)$$

A potência declarada do motor, dada pelo fabricante, segue duas normas bastante distintas, sendo as mais comuns a SAE e a DIN, explanadas sucintamente a seguir.

# Dinamômetro







## 4.2.1 Norma SAE

Neste caso, a curva de potência do motor possui mais efeitos que visam a promoção comercial do produto ou o desenvolvimento do próprio motor do que um uso técnico, já que não representa a capacidade real do motor em fornecer potência. Neste sistema, de medida da potência, qualquer acessório que venha a consumir potência é desligado. Assim, o motor fica desprovido de:

- filtros de ar;
- sistema silenciador;
- alternador;
- ventilador;
- bomba d'água.

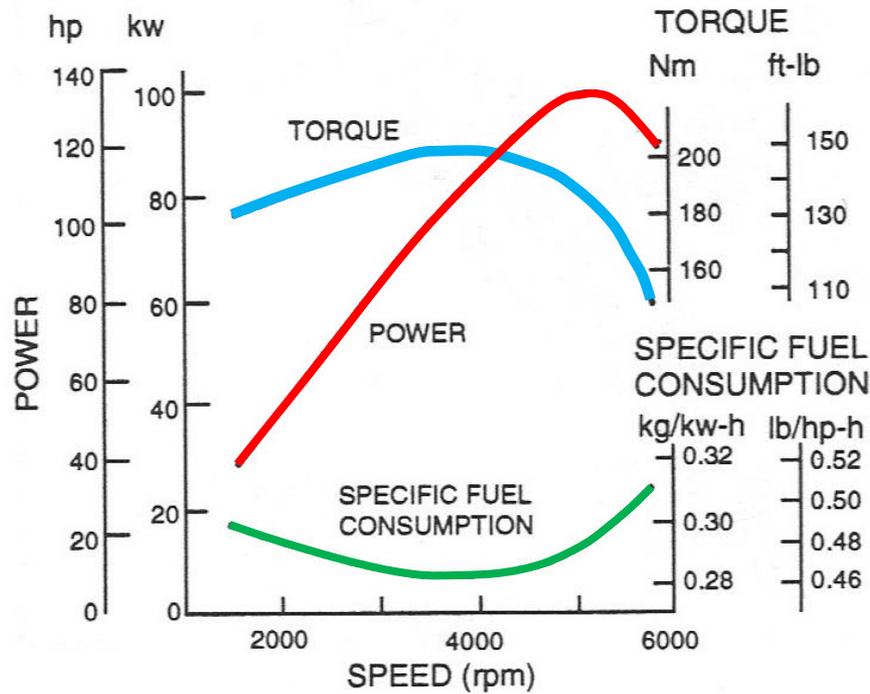
Além disso, altera-se a regulagem do motor (mapeamento da injeção e da ignição) de forma a ser atingida a máxima potência possível, na rotação de ensaio. Deste modo, o sistema SAE fornece informações que na prática são pouco relevantes. Esta norma, atualmente, já prevê a determinação da potência líquida do motor, ou seja com ele completo como vai ser montado no veículo, contornando os problemas relacionados anteriormente.

## 4.2.2 Norma DIN

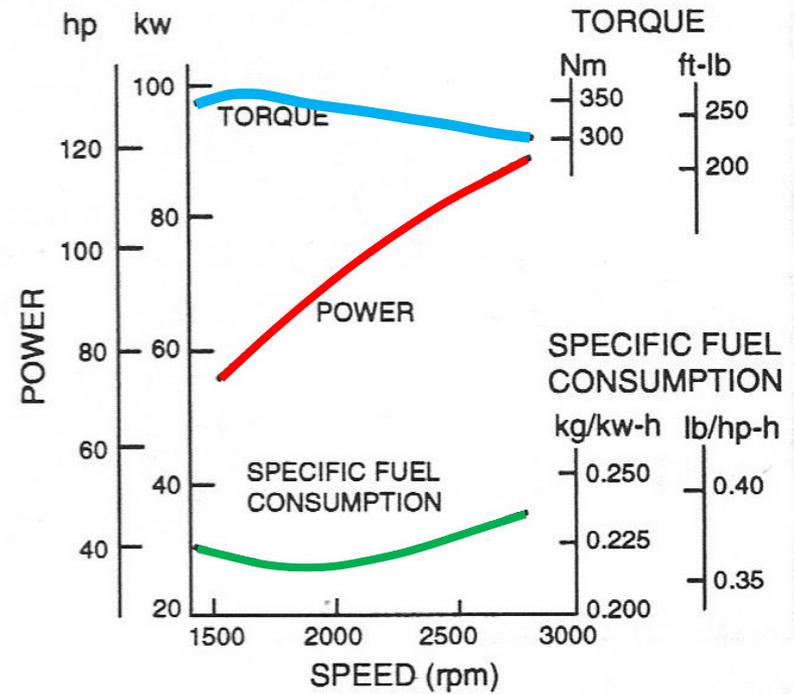
No sistema DIN o motor é ensaiado tal como é instalado no veículo, ou seja com todos os acessórios bem como com a regulagem padrão, e, somente assim, propicia informações que se aplicam diretamente ao veículo.

A potência medida pelo sistema DIN é, portanto, sempre inferior à potência medida pelo sistema SAE. Como orientado a diferença, normalmente, é de 10 a 16% inferior a potência SAE. É conveniente salientar que a ABNT também possui uma normalização, referente a ensaios de motores, baseada na DIN.

# Curvas de Torque, Potência e Consumo Específico

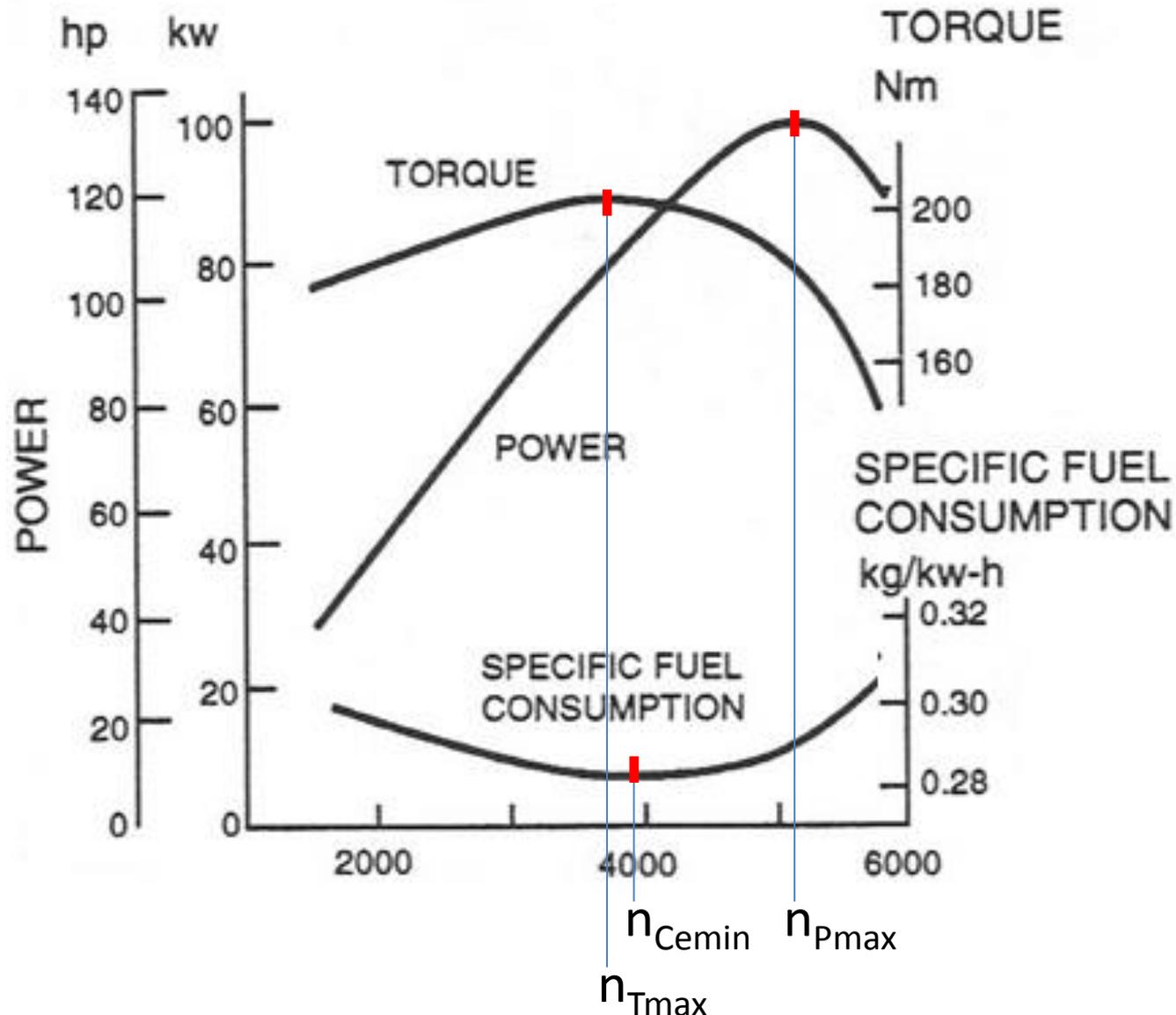


**GASOLINA**



**DIESEL**

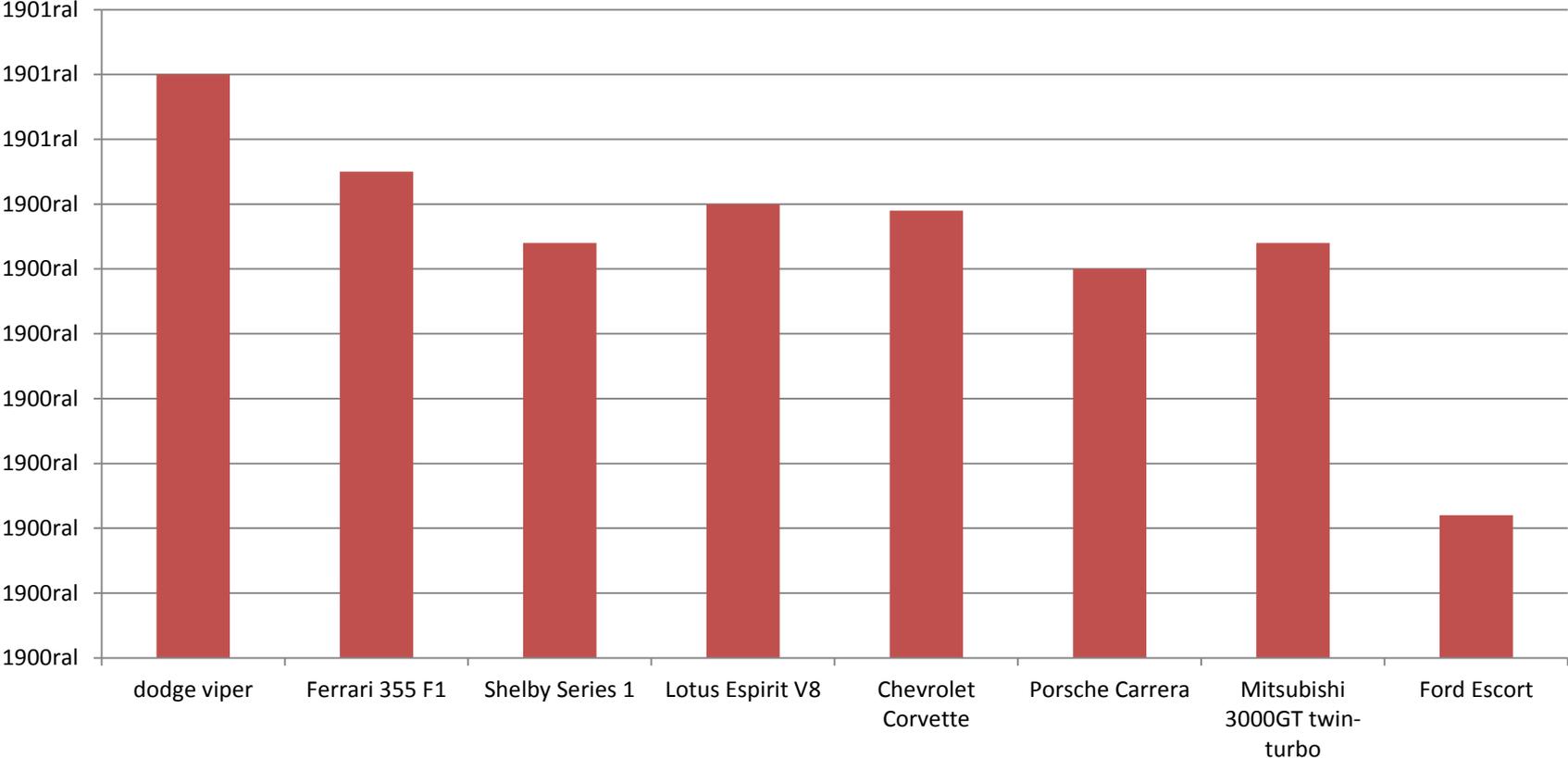
# Curvas de Torque, Potência e Consumo Específico



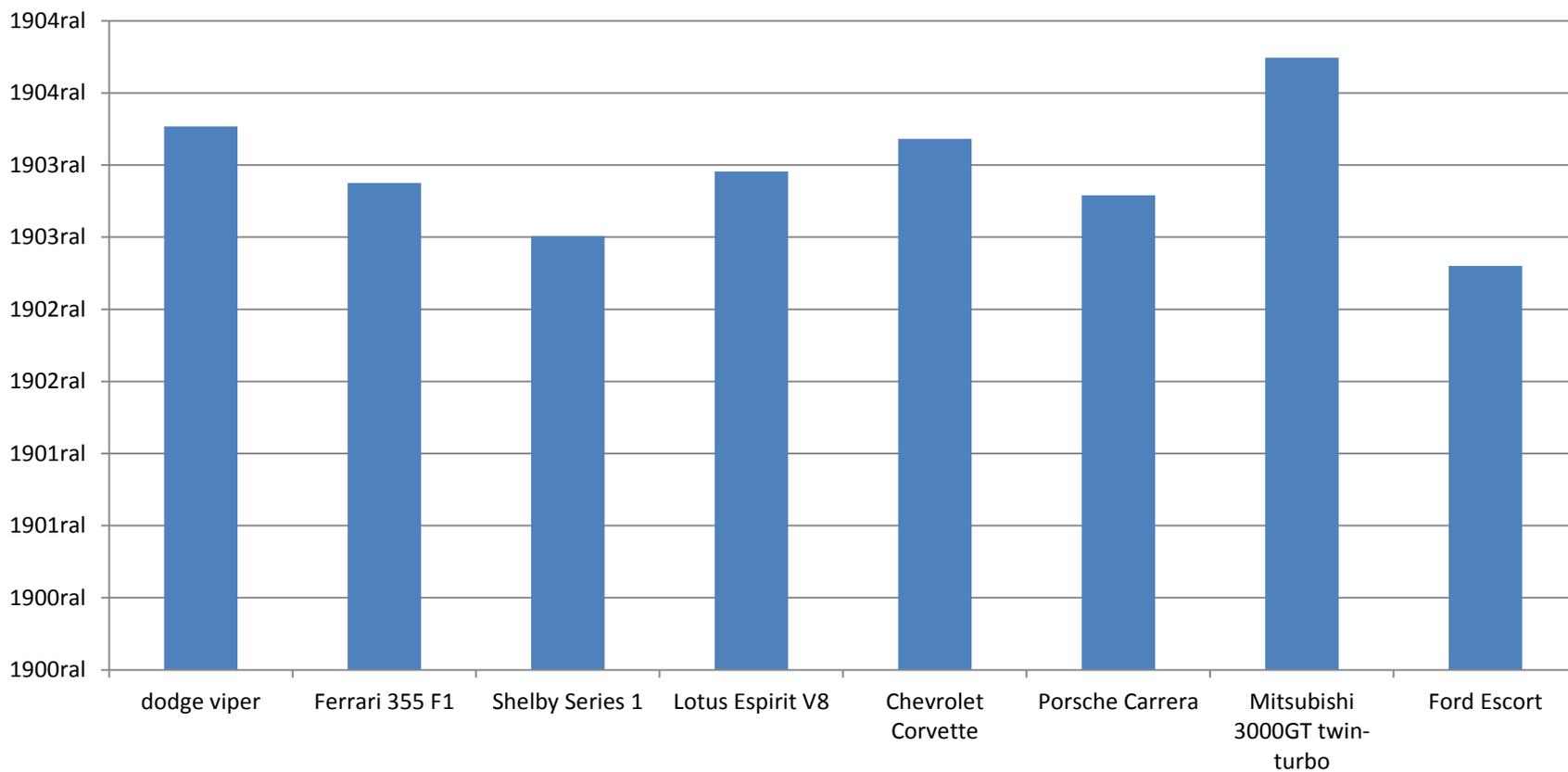
# Relação Peso / Potência

	Potência (cv)	Peso (kg)	Peso-potência (kg/cv)	0-96 km/h(segundos)	Preço (US\$)
<b>Dodge Viper</b>	450	1.507	3,35	4,1	66.000
<b>Ferrari 355 F1</b>	375	1.350	3,60	4,6	134.000
<b>Shelby Series 1</b>	320	1.203	3,76	4,4	108.000
<b>Lotus Esprit V8</b>	350	1.382	3,95	4,4	83.000
<b>Chevrolet Corvette</b>	345	1.473	4,27	4,8	42.000
<b>Porsche Carrera</b>	300	1.316	4,38	5,0	70.000
<b>Mitsubishi 3000GT twin-turbo</b>	320	1.698	5,30	5,8	45.000
<b>Ford Escort</b>	110	1.120	10,18	10,9	12.000

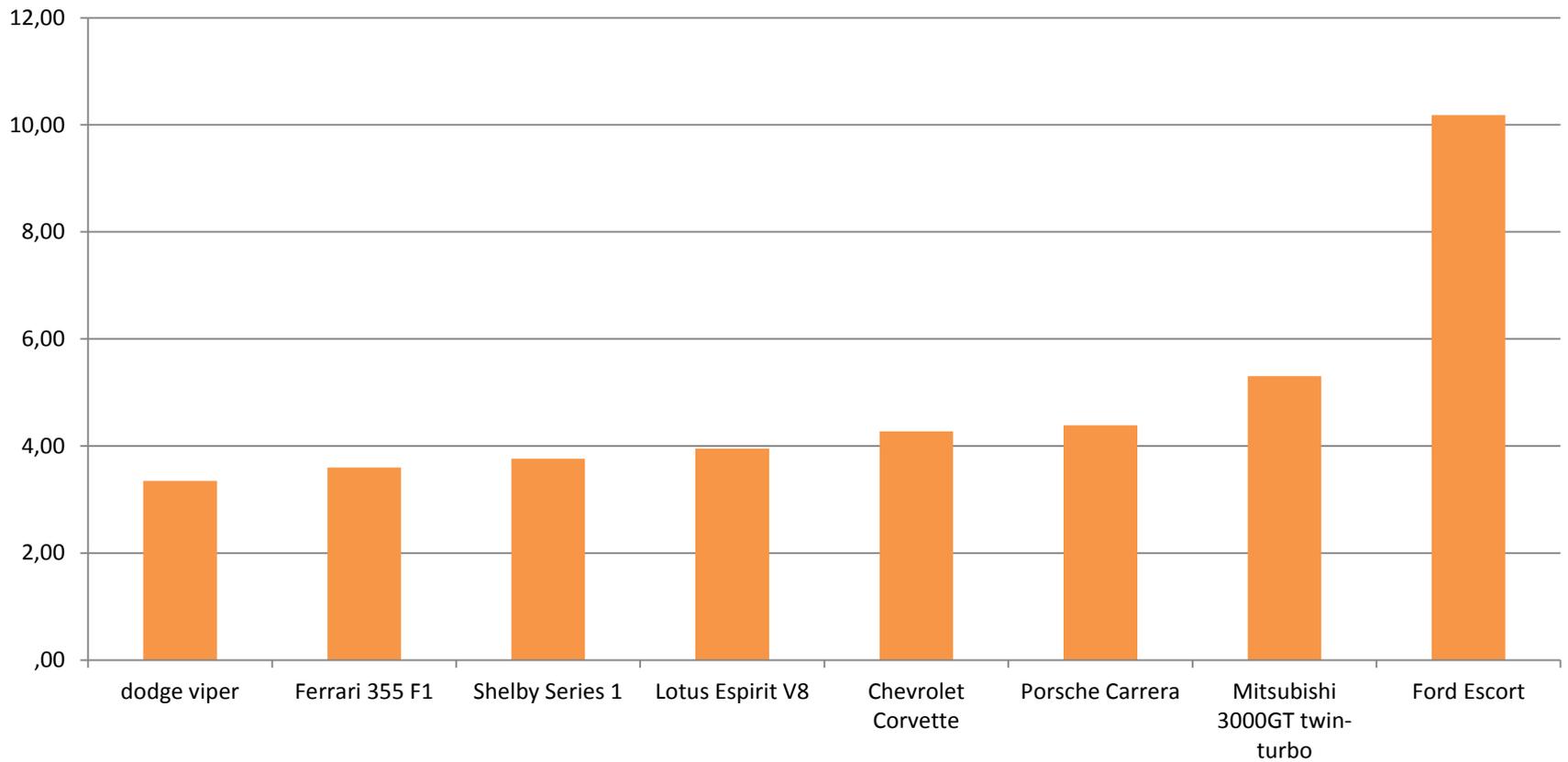
# Potência



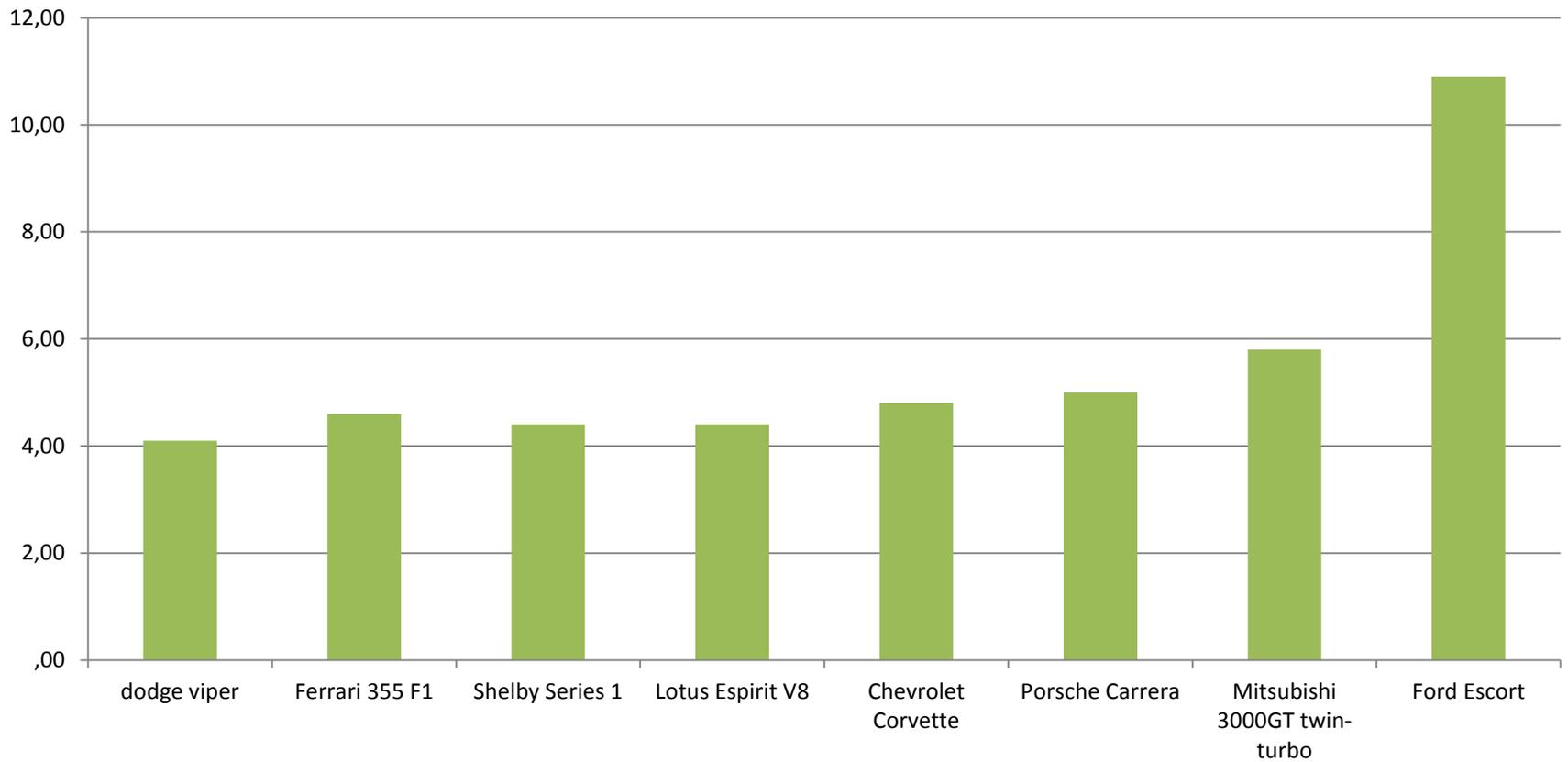
## Peso



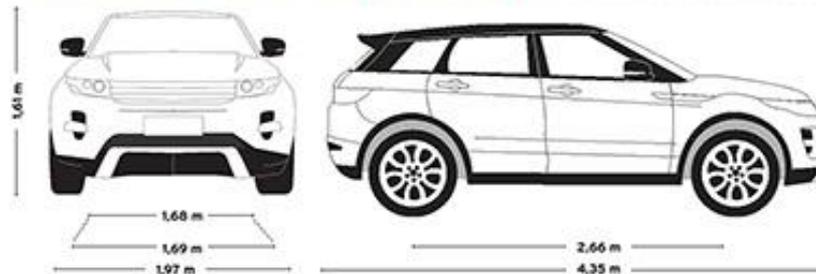
## Peso/Potência



## 0-96 km/h



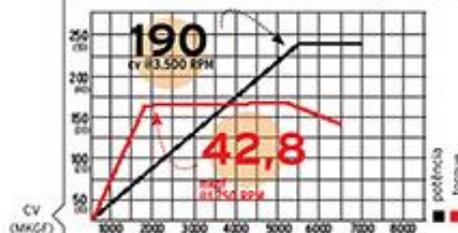
# RANGE ROVER EVOQUE SD4



## FICHA TÉCNICA

### FICHA TÉCNICA

<b>PREÇO</b>	
BÁSICO >	R\$ 296.900
TESTADO >	R\$ 296.900
<b>MOTOR</b>	
TIPO >	dianteiro, transversal, diesel
CILINDROS E DISPOSIÇÃO >	4 cilindros em linha
SOBREALIMENTAÇÃO >	turbo
MATERIAL >	bloco e cabeçote em alumínio
COMANDO DE VÁLVULAS >	16 válvulas
CILINDRADA >	2.179 cc
DIÂMETRO x CURSO >	85 x 96 mm
TAXA DE COMPRESSÃO >	15,8:1
ROTAÇÃO MÁXIMA >	6.000 rpm
ALIMENTAÇÃO >	injeção multiponto



<b>TRANSMISSÃO</b>		
TRAÇÃO >	Integral	
TIPO DE CÂMBIO >	automático, 9 marchas	
DIFERENCIAL >	3,83:1	
MARCA >	RELAÇÃO	VELOCIDADE MÁXIMA
1	4,713:1	38 km/h
2	2,842:1	62 km/h
3	1,909:1	94 km/h
4	1,382:1	129 km/h
5	1,000:1	180 km/h
6	0,808:1	217 km/h
7	0,699:1	217 km/h
8	0,580:1	217 km/h
9	0,480:1	217 km/h

<b>DIREÇÃO</b>	
ASSISTÊNCIA >	elétrica
DIÂMETRO DE GIRO >	11,3 m
VOLTAS DO VOLANTE >	2,7

<b>SUSPENSÃO</b>	
DIANTEIRA >	independente, McPherson
TRASEIRA >	multibraços

#### FREIOS E PNEUS

FREIOS DIANTEIROS	discos ventilados
-------------------	-------------------

FREIOS TRASEIROS	discos sólidos
------------------	----------------

<b>PNEUS</b>	
Continental CrossContact	
DIANTEIROS	245/45 R20
TRASEIROS	245/45 R20

#### CARROCERIA E CHASSIS

<b>CONSTRUÇÃO</b>	
monobloco	
<b>MATERIAL</b>	
alumínio	
PORTAS/LUGARES	4/5
CATEGORIA	SUV
PORTA-MALAS	550 litros
COEFICIENTE AERODINÂMICO	0,35

<b>PESO / RELAÇÕES</b>	
PESO EM ORDEM DE MARCHA	1.685 kg
DISTRIBUIÇÃO FRENTE/ TRASEIRA	52,1/47,9 %
RELAÇÃO PESO/POTÊNCIA	8,8 kg/cv
RELAÇÃO PESO/TORQUE	39,3 kg/mkgf

<b>CONSUMO E AUTONOMIA</b>	
MÉDIA CIDADE/ESTRADA	11,1 / 14,7 km/l
<b>CAPACIDADE</b>	
60 litros	
AUTONOMIA CIDADE	666 km
AUTONOMIA ESTRADA	882 km

#### NOTAS DO TESTE

- O Evoque diesel decepcionou na pista. Nas acelerações, ficou, em média, 1 segundo mais lento que o a gasolina. Nas retomadas, a surra foi menor; sempre abaixo de 1 s. Mas, ainda assim, muito pior do que esperávamos.
- O SUV movido a óleo é 45 kg mais pesado que o a gasolina. Assim, as frenagens foram ligeiramente piores. No geral, ele precisou de 1 metro a mais para parar.

<b>RESULTADOS</b>	
0 A 1000 metros	32,7 s
0 a 100 a 0 km/h	17,1 s

0 a 400 METROS  
**17,5**  
SEGUNDOS  
@ 123 KM/H

0-20	1,1 s
0-40	2,4 s
0-60	4,3 s
0-80	6,9 s

0-100  
**10,5**  
SEGUNDOS

0-120	16,4 s
0-140	23,7 s
0-160	-
0-180	-
0-200	-
20-40 (em Drive)	2 s
40-60 (em Drive)	4,9 s
80-120 (em Drive)	7,7 s
100-120 (em Drive)	4,1 s

#### VELOCIDADE MÁXIMA

**195**  
KM/H

60-0 KM/H	16,6 m
80-0 KM/H	28,1 m
100-0 KM/H	45,9 m

**12,7**

#### CONSUMO MÉDIO (PECO)

MARCA LENTA	41,8 dBa
60 km/h (em Drive)	59,3 dBa
120 km/h (em Drive)	67,1 dBa

## 4.3 Velocidade do veículo em função da rotação do motor

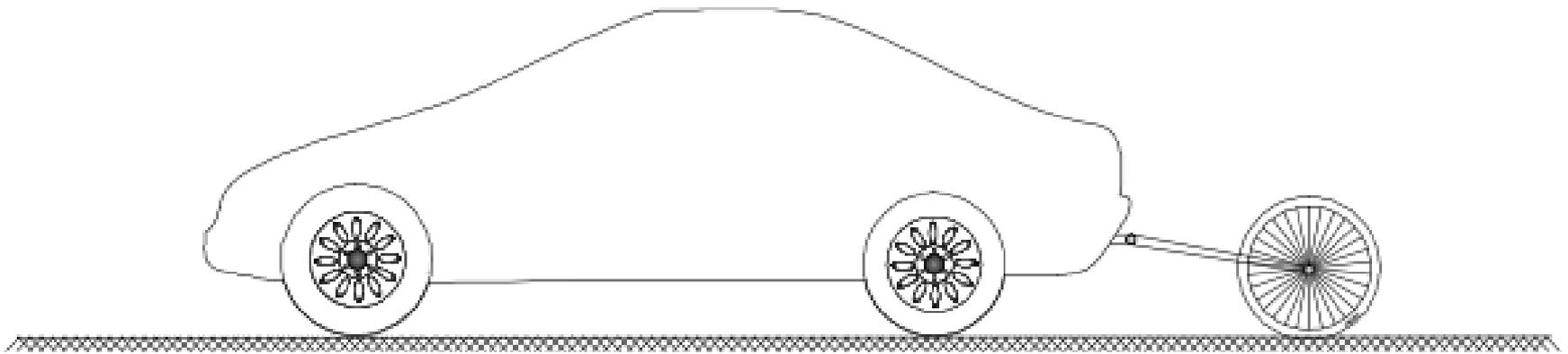


Figura 4.2: Medição da velocidade real com a quinta roda.

A relação entre a velocidade angular e a tangencial de uma roda não motriz é dada por:

$$v_t = r_d \omega_r \quad (4.3)$$

onde

$v_t$ — Velocidade de tangencial do pneu [ $m/s$ ];

$r_d$ — Raio dinâmico do pneu [ $m$ ];

$\omega_r$ — Velocidade angular da roda [ $rad/s$ ].

Em seguida é necessária uma relação entre a velocidade angular da roda e a frequência angular desta. Para uma frequência angular em rotações por minuto  $n_r$  [*rpm*]:

$$\omega_r = \frac{\pi n_r}{30} \quad (4.4)$$

Lembrando que a rotação da roda,  $n_r$ , é proporcional a do motor,  $n_m$ , através de

$$n_r = \frac{n_m}{i_c i_d}, \quad (4.5)$$

pode-se escrever que a velocidade teórica do veículo ou tangencial do pneu, em função da rotação do motor, é

$$v_t = 0,1047 r_d n_m / (i_c i_d) \quad (4.6)$$

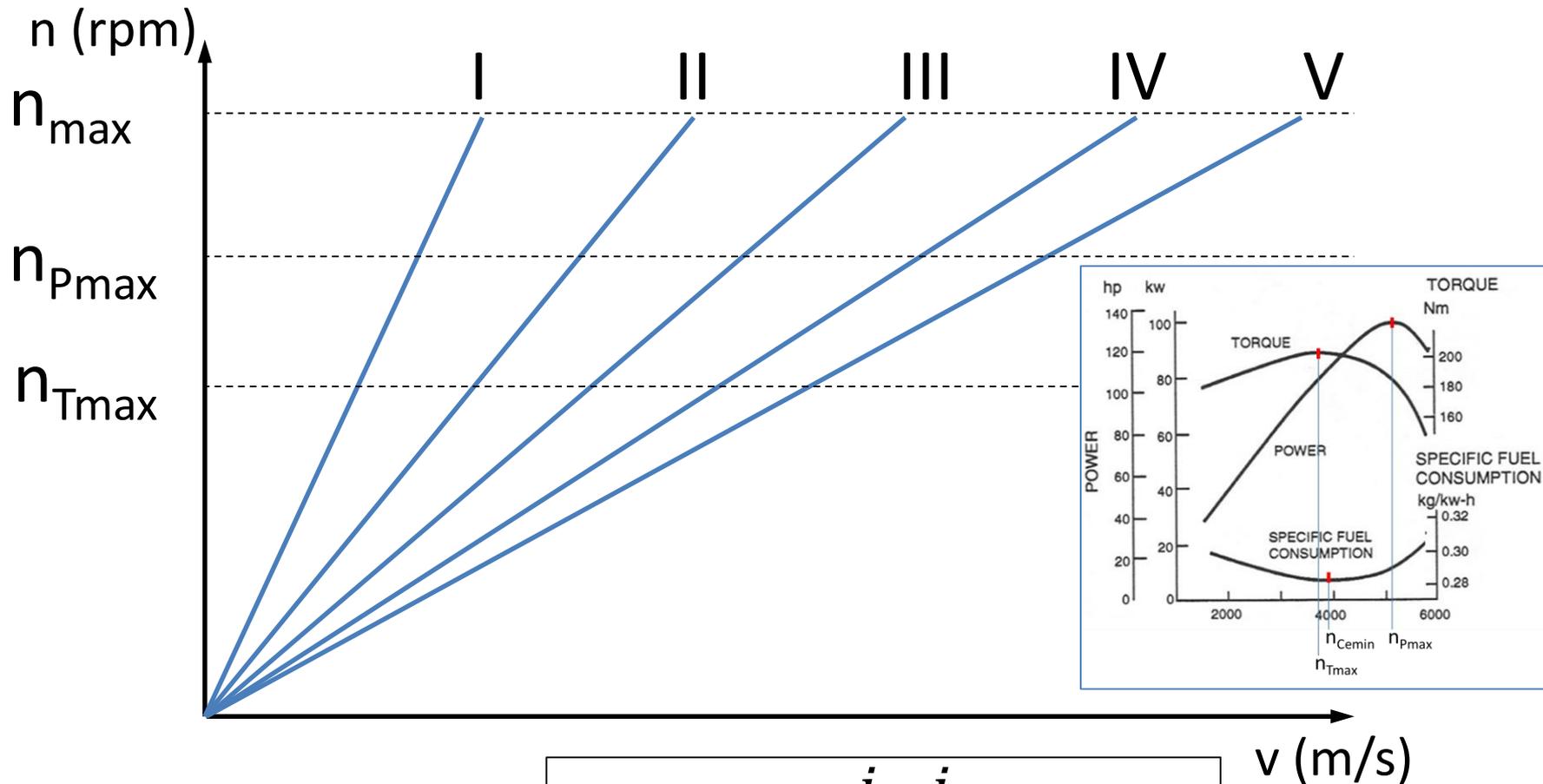
onde:

$0,1047 = \frac{\pi}{30}$  - uma constante;

$n_m$  - rotações do motor em *rpm*;

$i_c i_d$  - relação de transmissão da caixa de marchas e do diferencial, respectivamente.

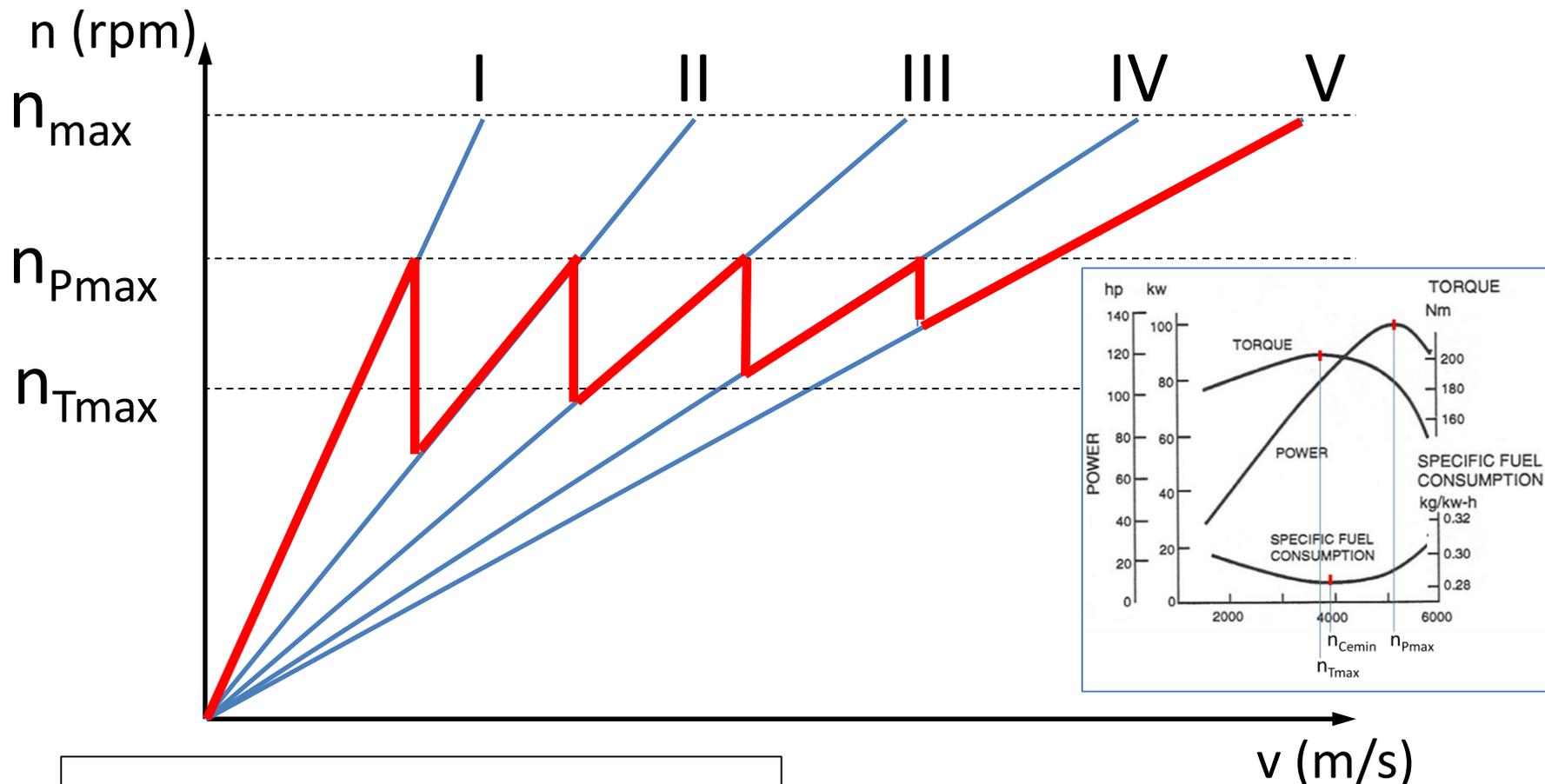
# ROTAÇÃO DO MOTOR X VELOCIDADE PARA CADA MARCHA



$$v_t = 0,1047 r_d n_m / (i_c i_d)$$

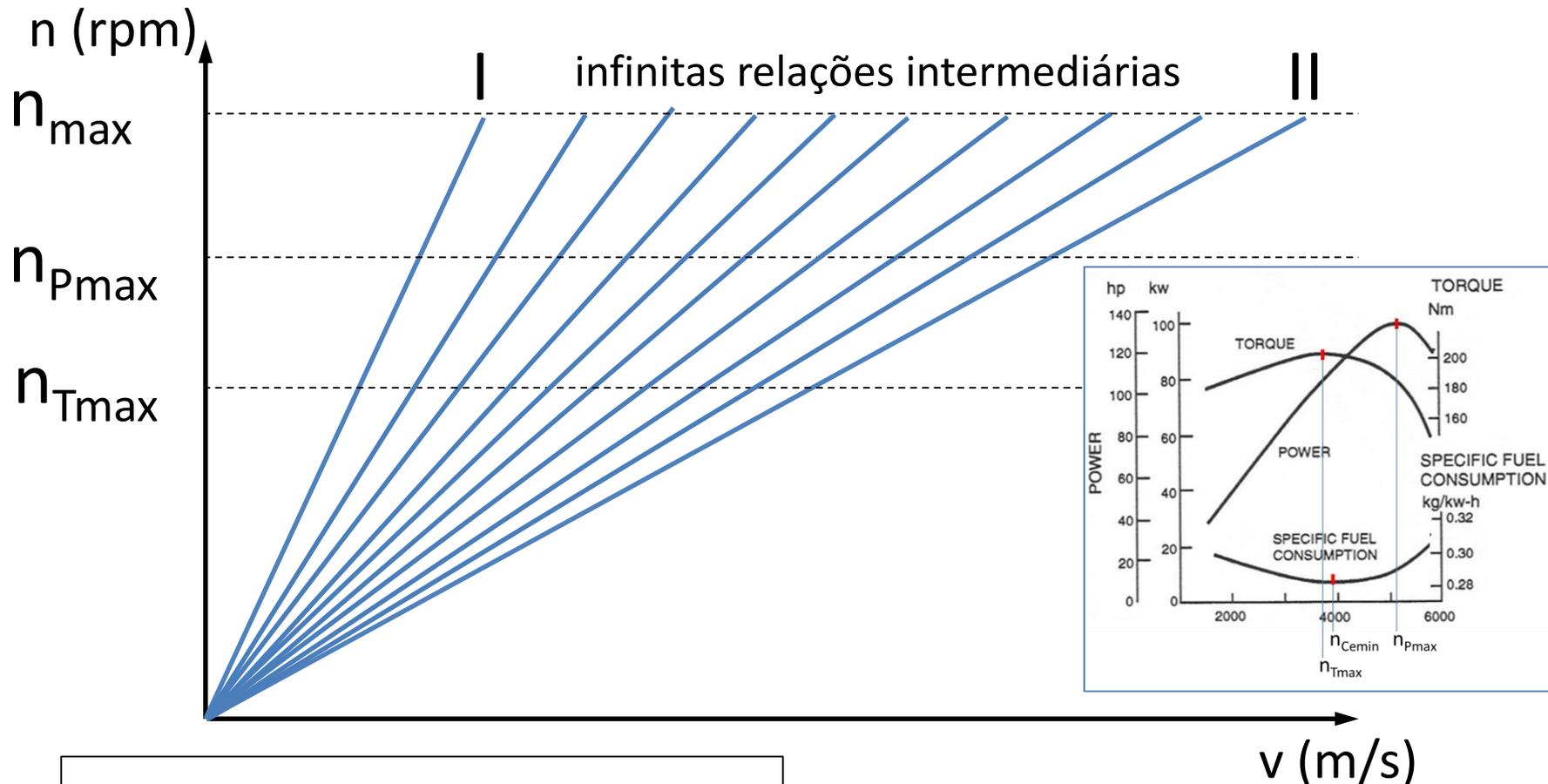
$$n_m = \frac{i_c \cdot i_d}{0,1047 \cdot r_d} \cdot v_t$$

# ROTAÇÃO DO MOTOR X VELOCIDADE PARA CADA MARCHA



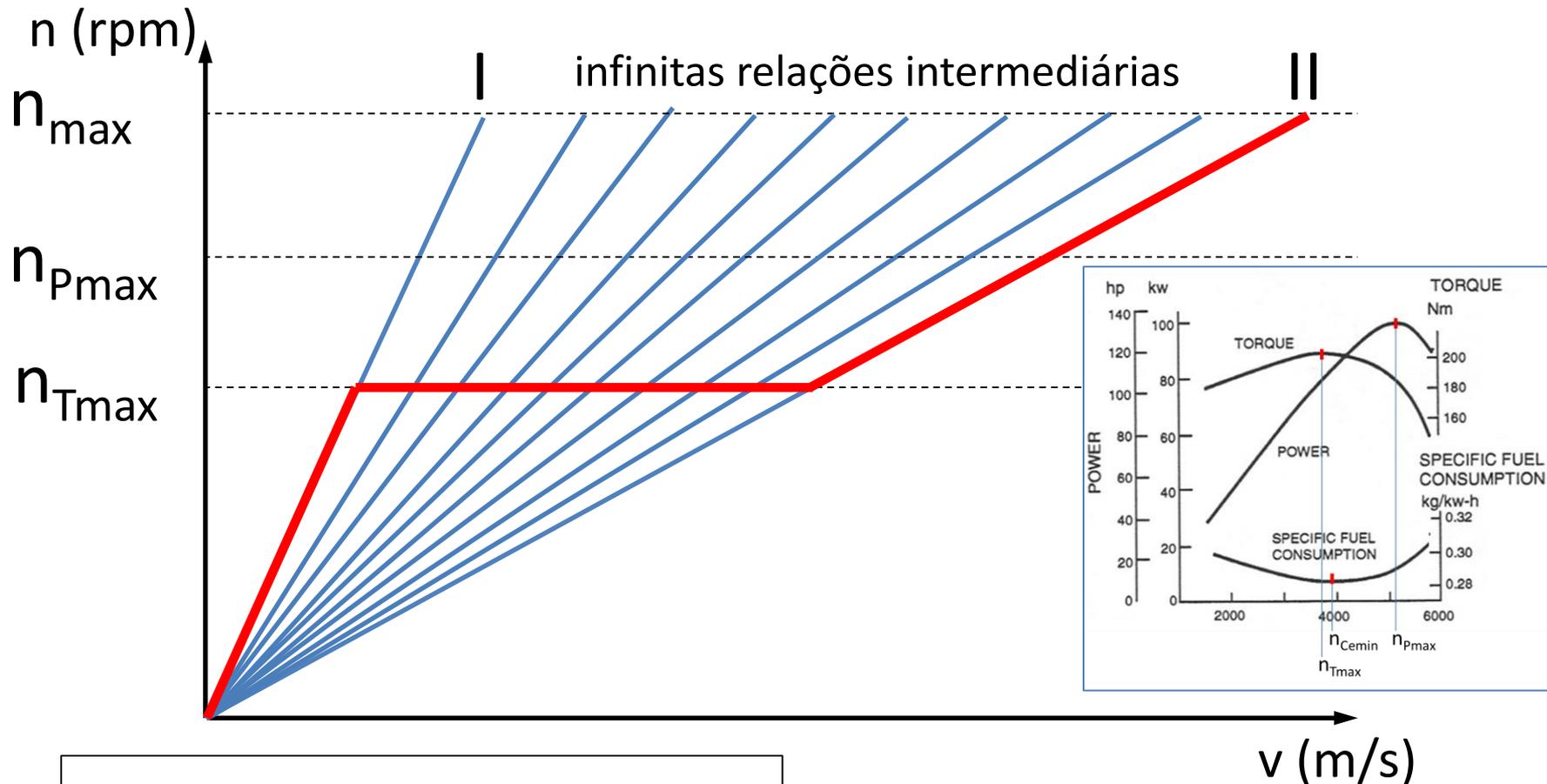
$$v_t = 0,1047 r_d n_m / (i_c i_d)$$

# ROTAÇÃO DO MOTOR X VELOCIDADE PARA CVT



$$v_t = 0,1047 r_d n_m / (i_c i_d)$$

# ROTAÇÃO DO MOTOR X VELOCIDADE PARA CVT



$$v_t = 0,1047 r_d n_m / (i_c i_d)$$

A partir da definição do escorregamento, que relaciona a velocidade real com a velocidade teórica do veículo, pode-se determinar a velocidade real do veículo, em termos da velocidade teórica, da forma que segue:

$$e = \frac{(v_t - v_r)}{v_t} \quad (4.8)$$

ou

$$v_t = \frac{v_r}{(1 - e)} \quad (4.9)$$

Onde nos casos limites tem-se:

$v_r = v_t$  - Não há escorregamento relativo;

$v_r = 0$  - O veículo não avança, há escorregamento total da roda.

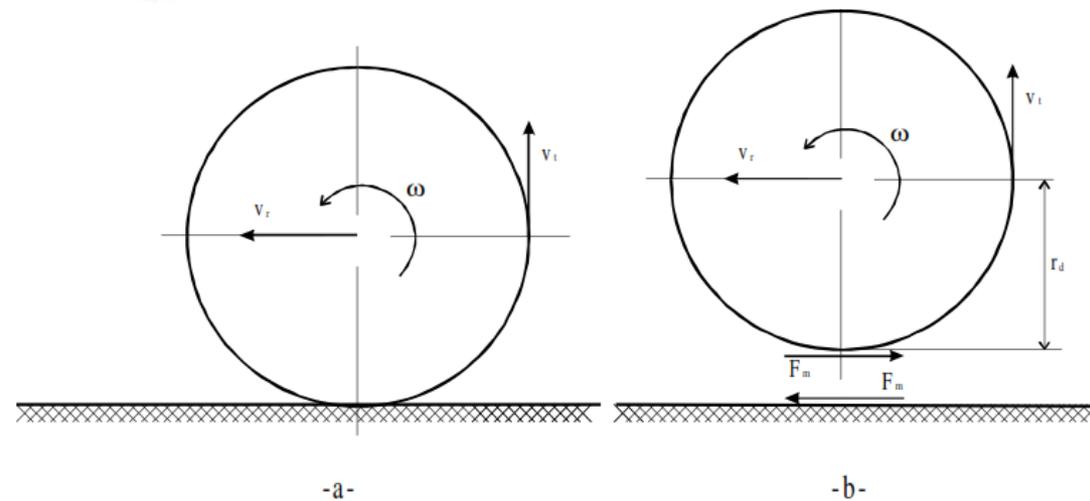


Figura 4.4: Balanço de potências na região de contato pneu/pista.

Considerando o escorregamento da roda na tração, a velocidade real é dada por:

$$v_r = 0,1047 (1 - e) r_d \frac{n_m}{i_c i_d} \quad (4.10)$$

ou

$$v_r = 0,377 (1 - e) r_d \frac{n_m}{i_c i_d} \quad (4.11)$$

para a velocidades em  $[m/s]$  e em  $[km/h]$ , respectivamente.

É conveniente salientar que devida a elasticidade, do pneu, o diâmetro da roda varia em função da velocidade pelo efeito da força centrífuga. Desta forma é conveniente definir raio estático e raio dinâmico dos pneus.

- Raio estático -  $r_e$ : é definido como a distância do centro da roda ao plano de contato do pneu com a pista, para a condição de carga máxima admissível e veículo parado.
- Raio dinâmico -  $r_d$ : é definido a partir da distância percorrida em um giro do pneu, na condição de carga máxima admissível, com a velocidade padrão de  $60 \text{ km/h}$ .

Para uma primeira aproximação pode-se usar, para valores do raio estático e raio dinâmico de pneus de automóveis, as seguintes relações empíricas:

$$r_e = 0,47 D \quad (4.14)$$

$$r_d = 1,02 r_e \quad (4.15)$$

onde:

$r_d$ — raio dinâmico;

$r_e$ — raio estático;

$D$ — diâmetro externo do pneu.

## 4.4 Potência consumida pelas resistências ao movimento

A potência do motor, disponível na embreagem é utilizada para vencer as resistências ao movimento. Estas resistências podem ser resumidas como

- - Resistência Mecânica  $Q_m = \frac{P_e(1-\eta_m)}{v_t}$ ;
- - Resistência Aerodinâmica  $Q_a = C_x q A$ ;
- - Resistência de Aclive  $Q_s = G \operatorname{sen} \alpha$ ;
- - Resistência de Rolamento  $Q_r = f G \operatorname{cos} \alpha$ ;
- - Resistência de Inércia  $Q_I = m a (1 + \delta)$ .

A resistência total ao avanço do veículo é definida como a soma de todas as resistências ao movimento excluía a mecânica, ou seja,

$$Q_t = Q_a + Q_S + Q_r + Q_I \quad (4.16)$$

Como o veículo está se movendo a cada uma destas resistências vai corresponder uma certa potência. De maneira genérica isto pode ser dado por:

$$P_i = Q_i v \quad (4.17)$$

onde:

$P_i$  – potência da  $i$ -ésima resistência [W]

$Q_i$  –  $i$ -ésima resistência [N]

$v$  – velocidade [m/s]

Devido ao efeito do escorregamento, que dissipa potência, deve ser usado a velocidade teórica e não a velocidade real do veículo no o cálculo da potência consumida, ou seja

$$P_i = Q_i v_t = \frac{Q_i v_r}{1 - e}. \quad (4.18)$$

É importante salientar que, para o cálculo da resistência aerodinâmica, a pressão dinâmica é calculada usando a velocidade real do veículo.

A potência entregue no cubo deve ser equilibrada pelas potências consumidas, ou seja,

$$P_c = P_r + P_S + P_a + P_I \quad (4.19)$$

De um modo geral estas potências são função da velocidade do veículo, e quando plotadas em função da velocidade de deslocamento tem a forma 2 apresentada na Figura 4.5.

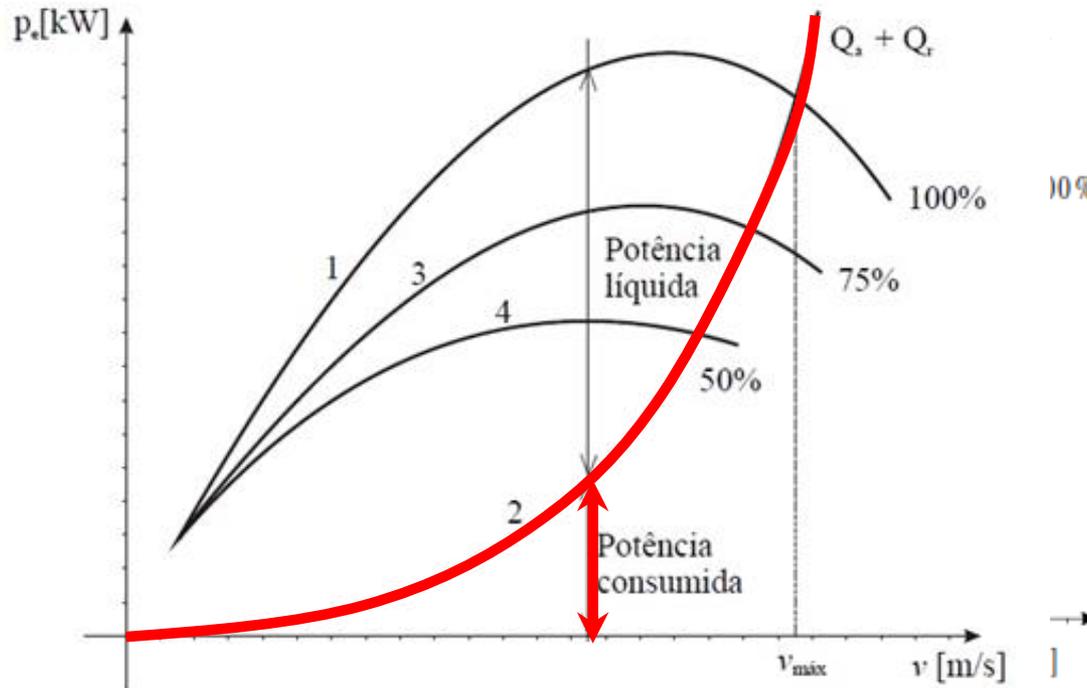
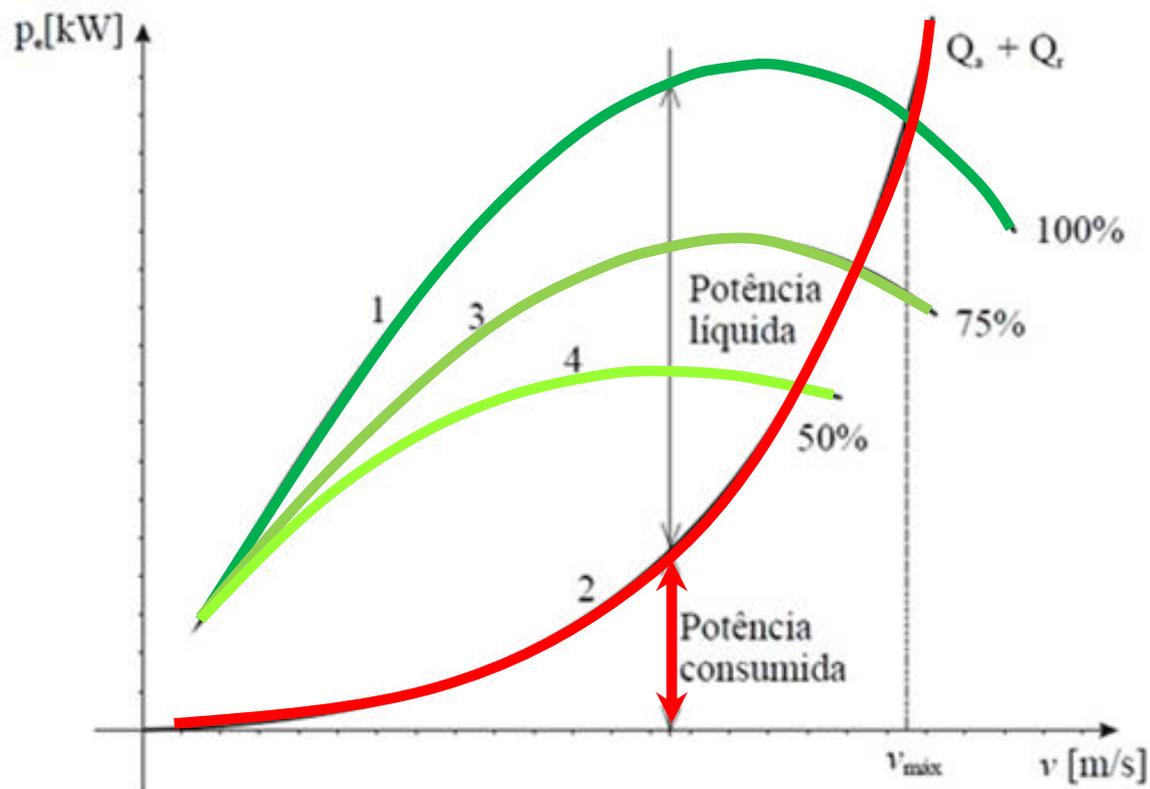


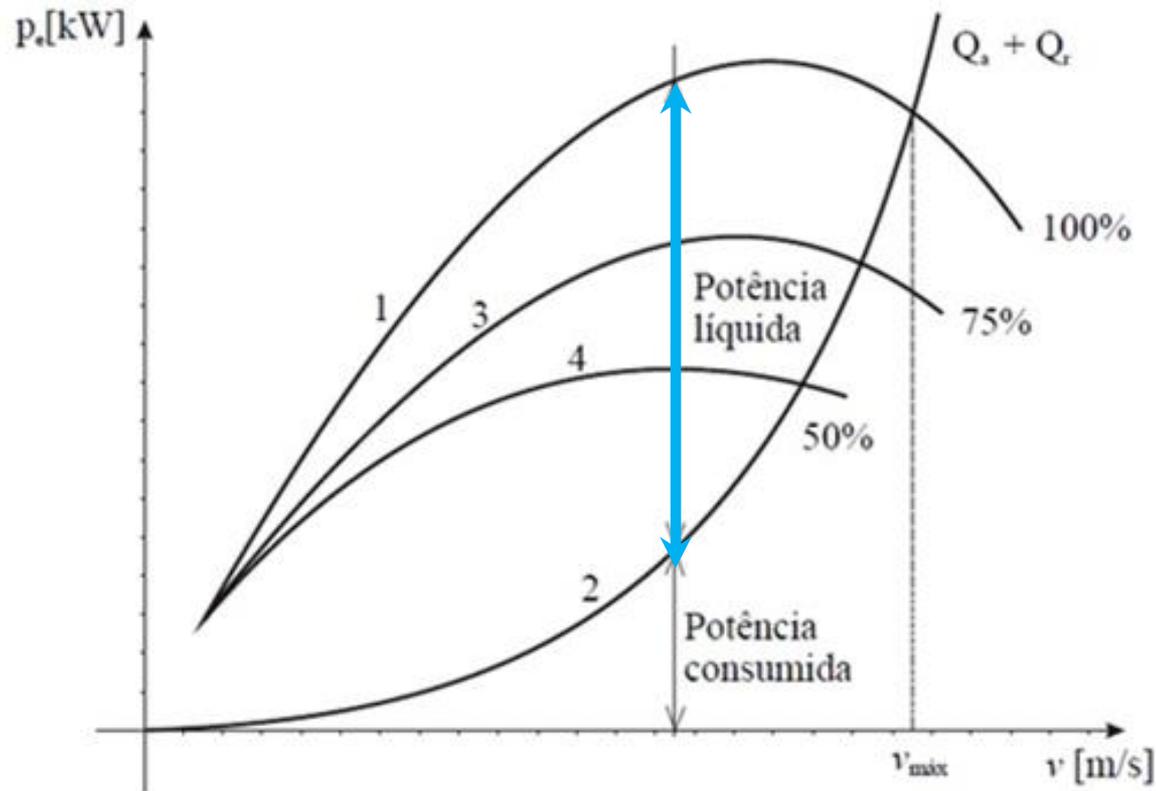
Figura 4.5: Potência consumida e potência disponível.

A curva de potência máxima, no cubo, é obtida da curva de potência efetiva do motor, usando o rendimento mecânico e as relações de transmissão da caixa e do diferencial. Na Figura 4.5 a curva 1 representa a curva de potência máxima no cubo. Para cada nível de abertura borboleta do carburador tem-se velocidades diferentes de equilíbrio, como por exemplo as interseções das curvas 1, 3 e 4 com a curva 2. O ponto da interseção representa a condição de equilíbrio para velocidade constante.



A potência líquida é a potência de reserva que o veículo ainda dispõe, sendo função da velocidade. Essa potência líquida pode ser empregada tanto para acelerar o veículo, como para vencer um ativo. A mesma é calculada simplesmente subtraindo da potência máxima do cubo a potência de rolamento e aerodinâmica, para uma dada velocidade, como segue

$$P_L = P_c - (P_a + P_r) \quad (4.21)$$



De acordo com o gráfico da Figura 4.5 a máxima velocidade do veículo, é o ponto de intercessão das curvas de potência máxima disponível com a de consumo de potência, ou seja, quando a potência líquida é zero. Abaixo desta velocidade há uma reserva de potência, que pode ser utilizada para acelerações ou vencer aclives ao longo do percurso de deslocamento do veículo.

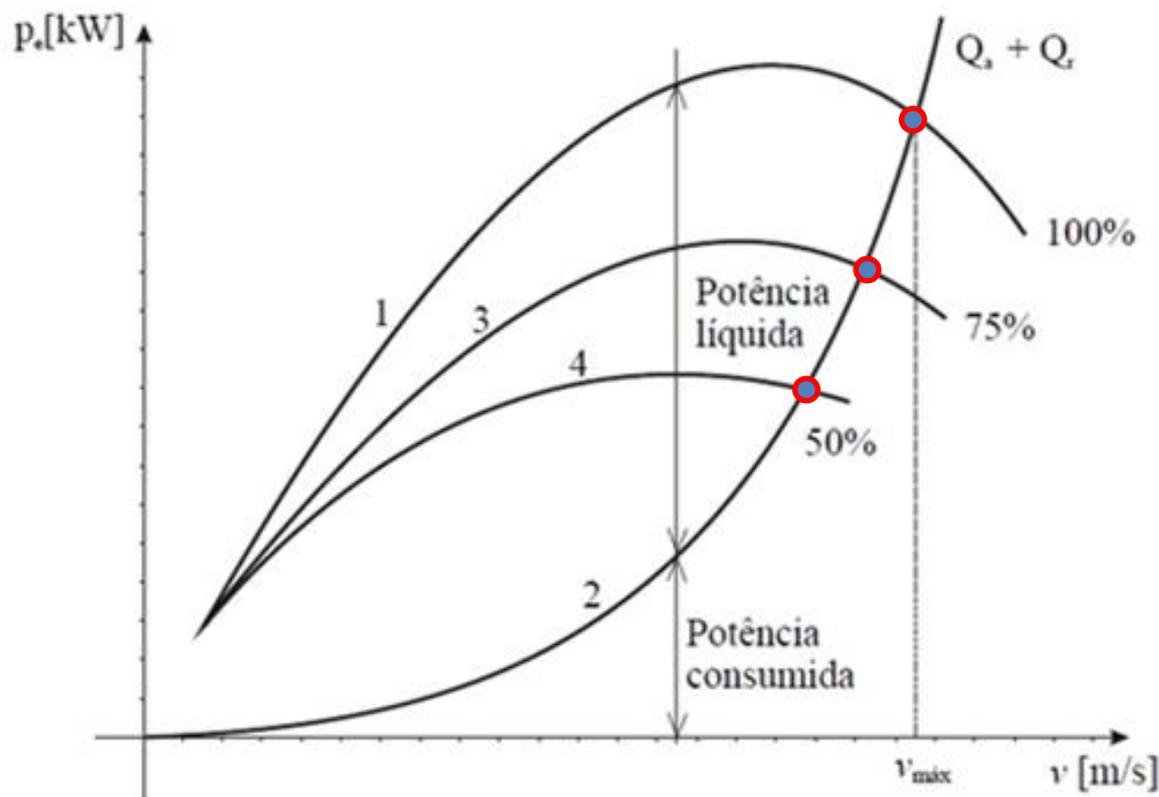


Figura 4.5: Potência consumida e potência disponível.

## Próximo passo: Diagramas de desempenho

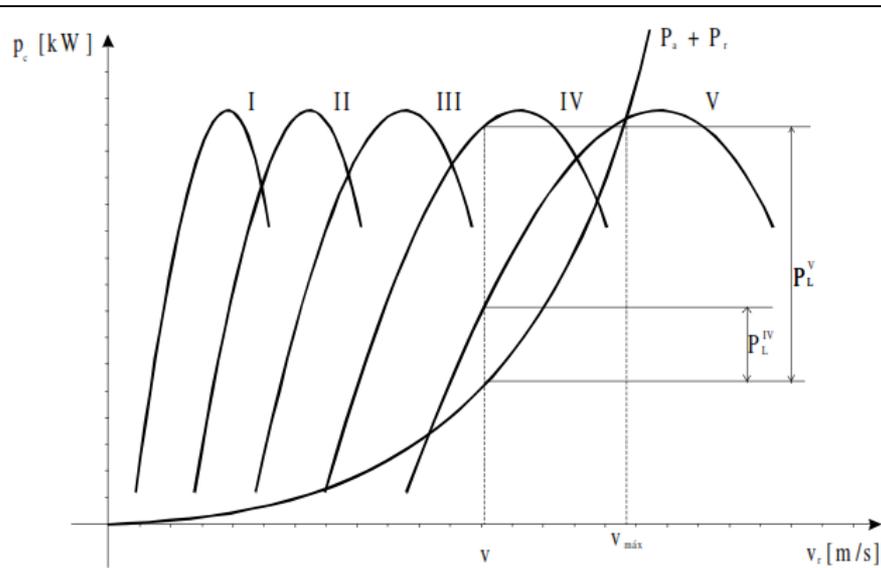


Figura 5.1: Diagrama de potência no cubo.

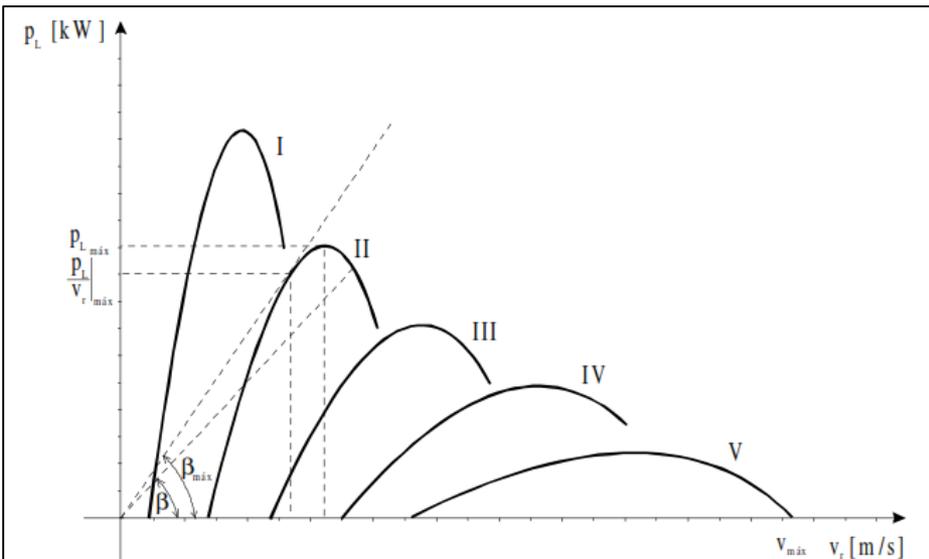


Figura 5.2: Diagrama de potência líquida.