



Dados Geométricos dos Pneumáticos

QUADRO 1 - Rodas de diâmetro geométrico de 21"

| 13" Wheel Size | 14" Wheel Size | 15" Wheel Size |
|---|---|---|
| 185/60R13 = 21.7x7.3R13 | 165/55R14 = 21.1X6.5R14 | 115/70R15 = 21.3X4.5R15 |
| 215/50R13 = 21.5X8.5R13 | | 125/70R15 = 21.9X4.9R15 |
| 225/45R13 = 21x8.9R13 | | 165/50R15 = 21.5X6.5R15 |
| 225/50R13 = 21.9x8.9R13 | | 195/45R15 = 21.9x7.7R15 |
| 255/40R13 = 21x10R13 | | |

QUADRO 2 - Rodas de diâmetro geométrico de 22"

| 13" Wheel Size | 14" Wheel Size | 15" Wheel Size | 16" Wheel Size | 17" Wheel Size |
|--|--|---|--|---------------------------|
| 155/80R13 = 22.8x6.1R13 | 135/80R14 = 22.5X5.3R14 | 125/80R15 = 22.9X4.9R15 | 125/70R16 = 22.9X4.9R16 | 22X2.5R17 |
| 175/70R13 = 22.6x6.9R13 | 165/65R14 = 22.4x6.5R14 | 145/65R15 = 22.4x5.7R15 | 175/50R16 = 22.9x6.9R16 | |
| 205/60R13 = 22.7x8.1R13 | 185/55R14 = 22x7.3R14 | 155/60R15 = 22.3x6.1R15 | 195/40R16 = 22.1x7.7R16 | |
| 22X8R13 | 185/60R14 = 22.7x7.3R14 | 165/60R15 = 22.8x6.5R15 | 195/45R16 = 22.9x7.7R16 | |
| | 195/55R14 = 22.4x7.7R14 | 175/55R15 = 22.6x6.9R15 | 205/40R16 = 22.5x8.1R16 | |
| | 205/50R14 = 22.1x8.1R14 | 195/50R15 = 22.7x7.7R15 | 215/35R16 = 21.9x8.5R16 | |
| | 205/55R14 = 22.9x8.1R14 | 22X8R15 | 215/40R16 = 22.8x8.5R16 | |
| | 225/50R14 = 22.9x8.9R14 | 22.5X4.5R15 | | |
| | | 245/40R15 = 22.7X9.6R15 | | |
| | | 275/35R15 = 22.6x10.8R15 | | |

QUADRO 3 - Rodas de diâmetro geométrico de 23”

| 13" Wheel Size | 14" Wheel Size | 15" Wheel Size | 16" Wheel Size | 17" Wheel Size | 18" Wheel Size |
|--|--|---|--|--|--|
| 165/80R13 = 23.4X6.5R13 | 175/65R14 = 23x6.9R14 | 135/80R15 = 23.5X5.3R15 | 125/80R16 = 23.9X4.9R16 | 125/70R17 = 23.9X4.9R17 | 215/35R18 = 23.9x8.5R18 |
| 185/70R13 = 23.2x7.3R13 | 175/70R14 = 23.6x6.9R14 | 165/65R15 = 23.4X6.5R15 | 135/70R16 = 23.4X5.3R16 | 195/40R17 = 23.1x7.7R17 | |
| | 185/65R14 = 23.5x7.3R14 | 175/60R15 = 23.3x6.9R15 | 175/55R16 = 23.6x6.9R16 | 195/45R17 = 23.9x7.7R17 | |
| | 195/60R14 = 23.2x7.7R14 | 185/55R15 = 23x7.3R15 | 185/50R16 = 23.3X7.3R16 | 205/40R17 = 23.5x8.1R17 | |
| | 205/60R14 = 23.7x8.1R14 | 185/60R15 = 23.7x7.3R15 | 195/50R16 = 23.7x7.7R16 | 215/35R17 = 22.9x8.5R17 | |
| | | 195/55R15 = 23.4x7.7R15 | 205/45R16 = 23.3x8.1R16 | 215/40R17 = 23.8x8.5R17 | |
| | | 205/50R15 = 23.1x8.1R15 | 215/45R16 = 23.6x8.5R16 | 225/35R17 = 23.2x8.9R17 | |
| | | 205/55R15 = 23.9x8.1R15 | | 245/35R17 = 23.8x9.6R17 | |
| | | 225/45R15 = 23x8.9R15 | | | |
| | | 225/50R15 = 23.9x8.9R15 | | | |
| | | 295/35R15 = 23.1X11.6R15 | | | |

QUADRO 4 - Rodas de diâmetro geométrico de 24”

| 13" Wheel Size | 14" Wheel Size | 15" Wheel Size | 16" Wheel Size | 17" Wheel Size | 18" Wheel Size | 19" Wheel Size |
|--|--|--|--|--|--|---|
| 175/80R13 = 24x6.9R13 | 185/70R14 = 24.2x7.3R14 | 135/90R15 = 24.6X5.3R15 | 125/85R16 = 24.4X4.9R16 | 125/80R17 = 24.9X4.9R17 | 125/70R18 = 24.9X4.9R18 | 215/35R19 = 24.9x8.5R19 |
| 185/80R13 = 24.7x7.3R13 | 185/75R14 = 24.9X7.3R14 | 155/80R15 = 24.8X6.1R15 | 125/90R16 = 24.9X4.9R16 | 135/70R17 = 24.4X5.3R17 | 205/40R18 = 24.5x8.1R18 | 235/30R19 = 24.6x9.3R19 |
| 24.5X8R13 | 195/65R14 = 24x7.7R14 | 175/65R15 = 24x6.9R15 | 135/80R16 = 24.5X5.3R16 | 205/45R17 = 24.3x8.1R17 | 215/40R18 = 24.8x8.5R18 | 245/30R19 = 24.8x9.6R19 |
| 24.5X9R13 | 195/70R14 = 24.7x7.7R14 | 185/65R15 = 24.5x7.3R15 | 175/60R16 = 24.3x6.9R16 | 215/45R17 = 24.6x8.5R17 | 225/35R18 = 24.2x8.9R18 | 295/25R19 = 24.8X11.6R19 |
| | 215/60R14 = 24.2x8.5R14 | 195/60R15 = 24.2x7.7R15 | 185/55R16 = 24x7.3R16 | 225/40R17 = 24.1x8.9R17 | 235/35R18 = 24.5x9.3R18 | |
| | 225/60R14 = 24.6x8.9R14 | 205/60R15 = 24.7x8.1R15 | 185/60R16 = 24.7X7.3R16 | 235/40R17 = 24.4x9.3R17 | 245/35R18 = 24.8x9.6R18 | |

| 13" Wheel Size | 14" Wheel Size | 15" Wheel Size | 16" Wheel Size | 17" Wheel Size | 18" Wheel Size | 19" Wheel Size |
|----------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|
| | | 225/55R15 = | 195/55R16 = | 245/40R17 = | 285/30R18 = | |
| | | 24.7x8.9R15 | 24.4x7.7R16 | 24.7x9.6R17 | 24.7x11.2R18 | |
| | | 235/50R15 = | 205/50R16 = | 275/35R17 = | | |
| | | 24.3x9.3R15 | 24.1x8.1R16 | 24.6x10.8R17 | | |
| | | 24X4.5R15 | 205/55R16 = | | | |
| | | | 24.9x8.1R16 | | | |
| | | 24X5R15 | 215/50R16 = | | | |
| | | | 24.5X8.5R16 | | | |
| | | 24.5X8R15 | 225/45R16 = | | | |
| | | | 24x8.9R16 | | | |
| | | 245/50R15 = | 225/50R16 = | | | |
| | | 24.6x9.6R15 | 24.9x8.9R16 | | | |
| | | 345/35R15 = | 245/45R16 = | | | |
| | | 24.5x13.6R15 | 24.7x9.6R16 | | | |

QUADRO 5 - Rodas de diâmetro geométrico de 25"

| 14" Wheel Size | 15" Wheel Size | 16" Wheel Size | 17" Wheel Size | 18" Wheel Size | 19" Wheel Size | 20" Wheel Size |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 185R14 = | 165/80R15 = | 135/90R16 = | 115/95R17 = | 135/70R18 = | 115/70R19 = | 215/30R20 = |
| 25.7x7.3R14 | 25.4X6.5R15 | 25.6X5.3R16 | 25.6X4.5R17 | 25.4X5.3R18 | 25.3X4.5R19 | 25.1X8.5R20 |
| 195/75R14 = | 185/70R15 = | 145/80R16 = | 135/80R17 = | 155/60R18 = | 125/70R19 = | 225/30R20 = |
| 25.5x7.7R14 | 25.2x7.3R15 | 25.1X5.7R16 | 25.5X5.3R17 | 25.3X6.1R18 | 25.9X4.9R19 | 25.3x8.9R20 |
| 205/70R14 = | 195/65R15 = | 195/60R16 = | 145/70R17 = | 215/45R18 = | 225/35R19 = | 235/30R20 = |
| 25.3x8.1R14 | 25x7.7R15 | 25.2x7.7R16 | 25X5.7R17 | 25.6x8.5R18 | 25.2x8.9R19 | 25.6x9.3R20 |
| 215/70R14 = | 195/70R15 = | 205/60R16 = | 155/70R17 = | 225/40R18 = | 235/35R19 = | 245/30R20 = |
| 25.9x8.5R14 | 25.7x7.7R15 | 25.7x8.1R16 | 25.5X6.1R17 | 25.1x8.9R18 | 25.5x9.3R19 | 25.8x9.6R20 |
| 235/60R14 = | 205/65R15 = | 215/55R16 = | 205/50R17 = | 235/40R18 = | 245/35R19 = | 275/25R20 = |
| 25.1x9.3R14 | 25.5x8.1R15 | 25.3x8.5R16 | 25.1x8.1R17 | 25.4x9.3R18 | 25.8x9.6R19 | 25.4X10.8R20 |
| 245/60R14 = | 215/60R15 = | 225/55R16 = | 205/55R17 = | 245/40R18 = | 255/30R19 = | 285/25R20 = |
| 25.6x9.6R14 | 25.2x8.5R15 | 25.7x8.9R16 | 25.9x8.1R17 | 25.7x9.6R18 | 25x10R19 | 25.6x11.2R20 |
| | 225/60R15 = | 245/50R16 = | 215/50R17 = | 255/35R18 = | 265/30R19 = | 295/25R20 = |
| | 25.6x8.9R15 | 25.6x9.6R16 | 25.5X8.5R17 | 25x10R18 | 25.3x10.4R19 | 25.8x11.6R20 |
| | 265/50R15 = | 265/45R16 = | 225/45R17 = | 265/35R18 = | 275/30R19 = | |
| | 25.4X10.4R15 | 25.4X10.4R16 | 25x8.9R17 | 25.3x10.4R18 | 25.5x10.8R19 | |
| | 275/50R15 = | 275/45R16 = | 225/50R17 = | 275/35R18 = | 285/30R19 = | |
| | 25.8x10.8R15 | 25.7x10.8R16 | 25.9x8.9R17 | 25.6x10.8R18 | 25.7x11.2R19 | |
| | | 315/40R16 = | 235/45R17 = | 285/35R18 = | 315/25R19 = | |
| | | 25.9X12.4R16 | 25.3x9.3R17 | 25.9x11.2R18 | 25.2x12.4R19 | |

SMM0157 - Mecânica dos Autoveículos

| 14" Wheel Size | 15" Wheel Size | 16" Wheel Size | 17" Wheel Size | 18" Wheel Size | 19" Wheel Size | 20" Wheel Size |
|----------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|
| | | 24.5X8R15 | 245/45R17 = | 295/30R18 = | | |
| | | | 25.7x9.6R17 | 25x11.6R18 | | |
| | | 245/50R15 = | 255/40R17 = | 305/30R18 = | | |
| | | 24.6x9.6R15 | 25x10R17 | 25.2x12R18 | | |
| | | 345/35R15 = | 265/40R17 = | 315/30R18 = | | |
| | | 24.5x13.6R15 | 25.3x10.4R17 | 25.4x12.4R18 | | |
| | | | 275/40R17 = | 335/30R18 = | | |
| | | | 25.7x10.8R17 | 25.9x13.2R18 | | |
| | | | 295/35R17 = | | | |
| | | | 25.1x11.6R17 | | | |
| | | | 315/35R17 = | | | |
| | | | 25.7x12.4R17 | | | |

QUADRO 6 - Rodas de diâmetro geométrico de 26"

| 14" Wheel Size | 15" Wheel Size | 16" Wheel Size | 17" Wheel Size | 18" Wheel Size | 19" Wheel Size | 20" Wheel Size | 21" Wheel Size |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 195R14 = | 205/70R15 = | 145/90R16 = | 135/90R17 = | 135/80R18 = | 135/70R19 = | 145/60R20 = | 245/30R21 = |
| 26.2x7.8R14 | 26.3x8.1R15 | 26.3X5.7R16 | 26.6X5.3R17 | 26.5X5.3R18 | 26.4X5.3R19 | 26.9X5.7R20 | 26.8x9.6R21 |
| 205/75R14 = | 215/65R15 = | 145/90R16 = | 145/80R17 = | 145/70R18 = | 225/40R19 = | 225/35R20 = | 295/25R21 = |
| 26.1x8.1R14 | 26x8.5R15 | 26.3X5.7R16 | 26.1X5.7R17 | 26X5.7R18 | 26.1x8.9R19 | 26.2x8.9R20 | 26.8x11.6R21 |
| 215/75R14 = | 215/70R15 = | 195/65R16 = | 155/80R17 = | 215/50R18 = | 235/40R19 = | 235/35R20 = | |
| 26.7x8.5R14 | 26.9x8.5R15 | 26X7.7R16 | 26.8X6.1R17 | 26.5X8.5R18 | 26.4x9.3R19 | 26.5x9.3R20 | |
| 225/70R14 = | 235/60R15 = | 205/65R16 = | 215/55R17 = | 225/45R18 = | 245/40R19 = | 245/35R20 = | |
| 26.4x8.9R14 | 26.1x9.3R15 | 26.5x8.1R16 | 26.3x8.5R17 | 26x8.9R18 | 26.7x9.6R19 | 26.8x9.6R20 | |
| 26X8.5R14 | 245/60R15 = | 215/60R16 = | 225/55R17 = | 225/50R18 = | 255/35R19 = | 255/30R20 = | |
| | 26.6x9.6R15 | 26.2x8.5R16 | 26.7x8.9R17 | 26.9x8.9R18 | 26x10R19 | 26x10R20 | |
| | 26X10R15 | 225/60R16 = | 235/50R17 = | 235/45R18 = | 265/35R19 = | 265/30R20 = | |
| | | 26.6x8.9R16 | 26.3x9.3R17 | 26.3x9.3R18 | 26.3x10.4R19 | 26.3x10.4R20 | |
| | 26X10.5R15 | 235/55R16 = | 245/50R17 = | 245/45R18 = | 275/35R19 = | 275/30R20 = | |
| | | 26.2x9.3R16 | 26.6x9.6R17 | 26.7x9.6R18 | 26.6x10.8R19 | 26.5x10.8R20 | |
| | 26X11.5R15 | 255/50R16 = | 255/45R17 = | 255/40R18 = | 285/35R19 = | 285/30R20 = | |
| | | 26x10R16 | 26x10R17 | 26x10R18 | 26.9x11.2R19 | 26.7x11.2R20 | |
| | 26X6R15 | 26X11.5R16 | 26X11.5R17 | 26X12R18 | 295/30R19 = | 305/25R20 = | |
| | | | | | 26x11.6R19 | 26x12R20 | |
| | 26X7.5R15 | 24X5R15 | 285/40R17 = | 265/40R18 = | 305/30R19 = | 315/25R20 = | |
| | | | 26x11.2R17 | 26.3x10.4R18 | 26.2x12R19 | 26.2x12.4R20 | |
| | 26X8R15 | 24.5X8R15 | 295/40R17 = | 275/40R18 = | 315/30R19 = | 325/25R20 = | |
| | | | 26.3x11.6R17 | 26.7x10.8R18 | 26.4x12.4R19 | 26.4x12.8R20 | |
| | 26X8.5R15 | 245/50R15 = | 335/35R17 = | 295/35R18 = | 325/30R19 = | 335/25R20 = | |
| | | 24.6x9.6R15 | 26.2x13.2R17 | 26.1x11.6R18 | 26.7x12.8R19 | 26.6x13.2R20 | |

| 14" Wheel Size | 15" Wheel Size | 16" Wheel Size | 17" Wheel Size | 18" Wheel Size | 19" Wheel Size | 20" Wheel Size | 21" Wheel Size |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|
| | 295/50R15 = | 345/35R15 = | 245/45R16 = | 305/35R18 = | 335/30R19 = | 345/25R20 = | |
| | 26.6x11.6R15 | 24.5x13.6R15 | 24.7x9.6R16 | 26.4x12R18 | 26.9x13.2R19 | 26.8x13.6R20 | |
| | | | | 315/35R18 = | | | |
| | | | | 26.7x12.4R18 | | | |
| | | | | 345/30R18 = | | | |
| | | | | 26.1x13.6R18 | | | |

Tópico 2 - Inércias Linear e Angular

1 - O motor de um carro roda a 3.420 rpm quando a velocidade do carro num pista plana horizontal é de 96 km/h (60 mph). O peso do carro é de 1.088,6 kg (2400 lb). A inércia das partes girantes do motor corresponde a 10,886 kg (24 lb) a um raio de giro de 146,3 mm (0,48 ft) e das rodas é de 108,862 kg (240 lb) a 243,8mm (0,80 ft). A eficiência da transmissão é 0,9 e a resistência aerodinâmica é 889,95 N (200 lb). A resistência devido ao rolamento dos pneus foi desprezada. O diâmetro da roda é de 762 mm (2,5 ft = 30in)¹. Estime a potência desenvolvida pelo motor quando o carro viajar sobre uma pista horizontal plana a 96,56 km/s (60 mph) com uma aceleração de 0,914 m/s² (3 ft/sec²).

solução:

Sendo a roda é de 30 in, o seu aro é 15 in e portanto, o perfil do pneu está entre 65 e 75% e assim, o fator $k_h = 0,9$. Por exemplo, o pneu 255/75R15 tem o valor de $k_h = 0,9$.

$$r_{Din} = \frac{D}{2} k_h \Rightarrow r_{Din} = \frac{0,762}{2} \cdot 0,90 = 0,3429 \quad [\text{m}]$$

A velocidade angular das rodas a 96,56 km/h (60 mph) é:

$$\omega_w = \frac{v_x}{r_{Din}} \Rightarrow \omega_w = \frac{\left(\frac{96,56}{3,6}\right)}{0,3429} \cong 78,2217 \quad \left[\frac{\text{rd}}{\text{s}}\right]$$

A velocidade angular do motor é:

$$\omega_e = RPM \frac{\pi}{30} \Rightarrow \omega_e = 3420 \frac{\pi}{30} = 358,1 \quad \left[\frac{\text{rd}}{\text{s}}\right]$$

Portanto, a razão de transmissão entre a roda e o motor é:

¹ 15" Wheel Size

[255/75R15](#) = 30.1x10R15

[265/75R15](#) = 30.6x10.4R15

[295/65R15](#) = 30.1x11.6R15

$$\xi_t = \frac{\omega_e}{\omega_w} \Rightarrow \xi_t = \frac{358,1}{78,2217} = 4,5780 : 1$$

A aceleração angular nas rodas é:

$$\alpha_w = \frac{a_x}{r_D} \Rightarrow \alpha_w = \frac{0,914}{0,3429} = 2,6655 \left[\frac{\text{rd}}{\text{s}^2} \right]$$

Sendo assim, a aceleração angular do motor é:

$$\alpha_e = \alpha_w \cdot \xi_t \Rightarrow \alpha_e = 2,6655 \cdot 4,5780 = 12,2026 \left[\frac{\text{rd}}{\text{s}^2} \right]$$

A força de resistência aerodinâmica sobre o veículo é: $R_a = 889,95$ [N].

A força de inércia do veículo devido à essa aceleração linear a_x é calculada por:

$$R_i = \frac{W}{g} \alpha_x \Rightarrow R_i = 1.088,6 \cdot 0,914 = 995,42 \text{ [N]}$$

A força de tração produzida pelo motor equilibra a força de inércia e a força aerodinâmica:

$$F_e - R_a - R_i = 0 \Rightarrow F_e = 889,95 + 995,42 = 1.885,37 \text{ [N]}$$

O torque nas rodas para que isso aconteça é:

$$T_w = F_x \cdot r_D \Rightarrow T_w = 1.885,37 \cdot 0,3429 = 646,4934 \text{ [N-m]}$$

O torque sobre o motor fica:

$$T_e = \frac{T_w}{\xi_t \eta_t} \Rightarrow T_e = \frac{646,4934}{4,833 \cdot 0,9} = 148,6294 \text{ [N-m]}$$

O torque para vencer a inércia das partes rotativas é:

$$T_i = \alpha_e \left(m_e \cdot k_e^2 + m_w \cdot k_w^2 \frac{1}{\xi_t^2 \cdot \eta_t} \right) \Rightarrow T_i = 12,2027 \cdot \left(10,886 \cdot 0,1463^2 + 108,86 \frac{0,2438^2}{4,833^2 \cdot 0,9} \right) = 6,5991 \text{ [N-m]}$$

Desse modo, o torque que o motor precisa produzir é, então:

$$T_m = T_e + T_i \Rightarrow T_m = 148,6294 + 6,5991 = 155,2285 \text{ [N-m]}$$

Consequentemente, a potência do motor necessária é:

$$HP_m = T_m \cdot \omega_e \Rightarrow HP_m = 155,2294 \cdot 358,1 = 55.587,34 \text{ [W]} \cong 55,59 \text{ [kW]} (74,5\text{HP})$$

2 - O motor de um automóvel desenvolve um torque máximo de 244,047 N-m (180 lbf-ft) com uma eficiência na transmissão de 85%. O peso total do veículo é 11.565,38 N (2600 lbf) e cada roda do veículo pesa 355,86 N (80 lbf) com um raio de giração de 254 mm (10 in) e um diâmetro efetivo de pneu de 0,6604 m (26 in)². As partes girantes do motor e da transmissão possuem uma inércia total equivalente de 1,0114 kg-m² (24 lb-ft²) na velocidade de rotação do motor.

Assumindo que as resistências da pista e aerodinâmica somam 311,38 N (70 lbf) em todas as velocidades, calcule a máxima aceleração possível quando o automóvel subir um gradiente de 1:10 com uma relação de transmissão de 16:1.

solução:

$$T_e = 255,047 \text{ N-m } (\eta_t = 0,85 \text{ } \xi_t = 16:1)$$

$$W = 11.565,38 \text{ N}$$

$$W_w = 355,86 \text{ N (unitário)}$$

$$\phi = 0,6604 \text{ m (215/65R15, } K_h = 0,95)$$

$$i_w = 0,254 \text{ m}$$

$$J_1 = 1,0114 \text{ kg-m}^2$$

$$R_a + R_r = 311,38 \text{ N}$$

$$\theta = 1:10$$

A resultante das forças de resistência ao movimento do veículo é:

$$R = R_a + R_r + R_g \Rightarrow R = 311,38 + \frac{11.565,38}{10} = 1.467,92 \text{ [N]}$$

Seja a aceleração longitudinal a_x [m/s²], então a força de inércia será:

$$R_i = \frac{W}{g} a_x \Rightarrow R_i = 1.179,34 \cdot a_x \text{ [N]}$$

Sendo uma roda de 26 in, o aro é 14 in e portanto, o perfil do pneu está entre 60 e 75% e assim o fator $k = 0,9$. Por exemplo, o pneu 205/75R14 tem o valor de $k = 0,9$.

$$r_{Din} = \frac{D}{2} k_h \Rightarrow r_{Din} = \frac{0,6604}{2} \cdot 0,90 = 0,3669 \text{ [m]}$$

A aceleração angular nas rodas é:

2 14" Wheel Size

[205/75R14](#) = 26.1x8.1R14

[215/75R14](#) = 26.7x8.5R14

[225/70R14](#) = 26.4x8.9R14

$$\alpha_w = \frac{a_x}{r_{Din}} = \frac{a_x}{0,3669} = 2,7256 \cdot a_x \quad \left[\frac{\text{rd}}{\text{s}^2} \right]$$

O torque sobre as rodas (pelo PDL), devido à ação das forças resistivas lineares é:

$$T_w = (R + R_i) r_{Din} \Rightarrow T_w = (1.467,92 + 1.179,34 \cdot a_x) 0,3669 = 538,5798 + 432,6998 \cdot a_x \quad [\text{N}\cdot\text{m}]$$

O torque vindo do motor é:

$$T_e = \frac{T_w}{\xi_t \cdot \eta_t} = \frac{538,5798 + 432,6998 \cdot a_x}{16 \cdot 0,85} = 39,6015 + 31,8162 \cdot a_x \quad [\text{N}\cdot\text{m}]$$

No entanto, a aceleração angular do motor é:

$$\alpha_e = \alpha_w \cdot \xi_t = \frac{a_x}{r_{Din}} \cdot \xi_t \Rightarrow \alpha_e = \frac{a_x}{0,3669} \cdot 16 = 43,6086 \cdot a_x \quad \left[\frac{\text{rd}}{\text{s}^2} \right]$$

O torque para vencer a inércia das partes rotativas é:

$$T_i = \alpha_e \left(m_e \cdot k_e^2 + m_w \cdot k_w^2 \frac{1}{\xi_t^2 \cdot \eta_t} \right) \Rightarrow T_i = 43,6086 \cdot a_x \left[1,0114 + 4 \left(\frac{355,86}{9,81} \right) \frac{0,254^2}{16^2 \cdot 0,85} \right] = 45,9818 \cdot a_x \quad [\text{N}\cdot\text{m}]$$

Desse modo, o torque que o motor precisa produzir é, então:

$$T_m = T_e + T_i \Rightarrow 244,047 = (39,6015 + 31,8162 \cdot a_x) + 45,9818 \cdot a_x \Rightarrow a_x = 2,6251 \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

Ou podemos expressá-la em termos da aceleração da gravidade g :

$$\frac{a_x}{g} = 0,2676 \quad [-]$$

3 - Um automóvel de massa total 1.133,98 kg (2,500 lb) tem rodas de diâmetro 762 mm (30 in)³ e momento de inércia total 9,060 kg·m² (215 lb·ft²). O eixo do motor é engrenado ao eixo traseiro através de uma redução de 6:1 e seu momento de inércia vale 0,5183 (12.3 lb·ft²). O motor exerce um torque de 169,477 N·m (125 lb·ft). O torque de atrito sobre o eixo do motor é de 31,1838 N·m (23 lbf·ft). O torque friccional nos eixos dianteiro e traseiro é de 20,6084 N·m (15.2 lb·ft). A força de arrasto aerodinâmico e outras forças resistivas somam 418,133 N (94 lbf) sobre o carro em si. O carro está rodando sobre um piso horizontal nivelado. Encontre sua aceleração.

3 15" Wheel Size

[255/75R15](#) = 30.1x10R15

[265/75R15](#) = 30.6x10.4R15

[295/65R15](#) = 30.1x11.6R15

solução:

A resultante das forças de resistência ao movimento do veículo é:

$$R = R_a + R_r + R_g \Rightarrow R = 418,133 \text{ [N]}$$

Seja a aceleração longitudinal a_x [m/s²], então a força de inércia será:

$$R_i = M \cdot a_x \Rightarrow R_i = 1.133,98 \cdot a_x \text{ [N]}$$

Sendo uma roda de 30 in, o aro é 15 in e portanto, o perfil do pneu está entre 65 e 75% e assim o fator $0,9 \leq k_h \leq 0,95$. Por exemplo, o pneu 255/75R15 tem o valor de $k_h = 0,9$.

$$r_{Din} = \frac{D}{2} k_h \Rightarrow r_{Din} = \frac{0,762}{2} \cdot 0,90 = 0,3429 \text{ [m]}$$

A aceleração angular nas rodas é:

$$\alpha_w = \frac{a_x}{r_{Din}} \Rightarrow \alpha_w = \frac{a_x}{0,3429} = 2,9163 \cdot a_x \left[\frac{\text{rd}}{\text{s}^2} \right]$$

O torque sobre as rodas fornecido pelo trem de força (powertrain ou PWT) para equilibrar a ação das forças resistivas lineares é encontrado pelo PDL. Assim o equilíbrio dinâmico é descrito por:

$$T_{PWT} - (R + R_i) r_{Din} - T_{fric_{eixos}} - I_w \alpha_w = 0$$

$$T_{PWT} = (418,133 + 1.133,98 \cdot a_x) \cdot 0,3429 + 20,6084 + 9,060 \cdot (2,9163 \cdot a_x)$$

$$T_{PWT} = 163,9862 + 415,2634 \cdot a_x \quad \text{[N-m]}$$

O torque vindo do motor T_e para equilibrar isso é:

$$T_e = \frac{T_{PWT}}{\xi_t \cdot \eta_t} \Rightarrow T_e = \frac{163,9862 + 415,2634 \cdot a_x}{6 \cdot 1,0} = 27,3310 + 69,2106 \cdot a_x \text{ [N-m]}$$

Ainda pelo PDL, o motor precisa gerar um torque T_m ($T_m = 169,477$ N-m) que equilibre a carga vinda do PWT T_e , o torque de atrito interno T_{fric_m} e o torque devido à sua inércia I_e :

$$T_m - T_e - T_{fric_m} - I_e \cdot \alpha_e = 0 \text{ [N-m]}$$

$$169,4770 - 27,3310 - 69,2106 \cdot a_x - 31,1838 - 0,5183 \cdot 14,1732 \cdot a_x = 0$$

$$a_x = \frac{110,9622}{76,5565} = 1,4494 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

4 - Um autoveículo pesa 2,000 lbf (8.896,4 N) e seus pneus têm diâmetro nominal de 24 in. O momento de inércia total de todas as 4 rodas juntas, incluindo os semi-eixos é 200 lb-ft² (8,428 kg-m²), enquanto que aquele para o motor e a embreagem juntos é de 20 lb-ft² (0,8428 kg-m²). O torque do motor é 100 lb-ft (135,58 N-m); a eficiência da transmissão é 90%; a resultante das forças de resistência ao movimento do carro é constante e vale 100 lbf (444,822 N). Determine:

- a relação de transmissão entre o motor e as rodas que produzirá aceleração máxima numa rampa com gradiente 1:20 para cima;
- o valor dessa aceleração.

solução:

Seja ξ_t [-] a relação de transmissão e a_x [m/s²] a aceleração longitudinal do veículo. Aplicando o PDL para dinâmica longitudinal:

$$F_x - \sum R_i - \frac{W}{g} a_x = 0$$

e sabe-se que se θ pequeno $\Rightarrow \text{sen}(\theta) \approx \text{tg}(\theta) \approx \theta$ [rd]

$$F_x - R - W \cdot \text{sen}(\theta) - \frac{W}{g} a_x = 0$$

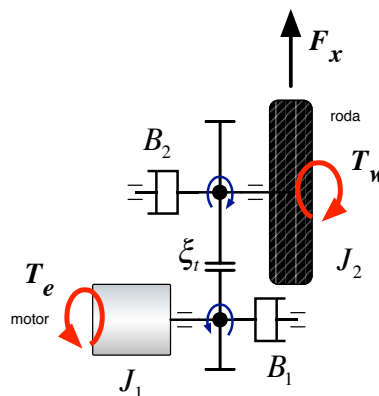
$$F_x - 444,822 - 8.896,4 \frac{1}{20} - \frac{8.896,4}{9,806} \cdot a_x = 0$$

$$F_x = 889,644 + 907,185 \cdot a_x$$

Tendo o pneu 24 in (60,96 cm), é bem provável que ele esteja equipado com pneus 175/80R13 (pouco comum) ou 195/65R14 (comum) 175/65R15 (comum) e 185/55R16 (comum), portanto, é mais provável que a razão de aspecto do pneu seja $0,55 \leq S_T \leq 0,65$ e então $k_h = 0,95$.

$$r_{din} = \frac{\phi}{2} k_h$$

$$r_{din} = \frac{0,6096}{2} 0,95 \approx 0,2896 \text{ [m]}$$



O torque que chega nas rodas para tracionar o veículo é:

$$T_w = F_x \cdot r_{din}$$

$$T_w = (889,644 + 907,185 \cdot a_x) \cdot 0,2896$$

$$T_w = 257,6053 + 262,6845 \cdot a_x$$

Aplicando a 2ª. Lei de Newton na roda, e desprezando a ação do atrito viscoso B_2 , o torque T_2 que chega na roda é:

$$T_2 - T_w = J_2 \cdot \alpha_w \Rightarrow T_2 = T_w + J_2 \cdot \alpha_w$$

$$\alpha_w = \frac{a_x}{r_{din}}$$

$$T_2 = (257,6053 + 262,6845 \cdot a_x) + 8,428 \cdot \left(\frac{a_x}{0,2896} \right)$$

$$T_2 = 257,6053 + 291,7867 \cdot a_x$$

O torque T_2 é o resultado da transmissão do torque T_1 do eixo 1 para o eixo 2, com uma eficiência de 90%. Logo, ao fazermos o caminho inverso:

$$T_1 = \frac{T_2}{\xi_t \cdot \eta_t}$$

$$T_1 = \frac{(257,6053 + 291,7867 \cdot a_x)}{\xi_t \cdot 0,9}$$

$$T_1 = \frac{286,2281 + 324,2074 \cdot a_x}{\xi_t}$$

No motor, o torque $T_e = 135,58$ N-m. Aplicando a 2ª. Lei de Newton no eixo 1 do sistema de transmissão:

$$T_e - T_1 = J_1 \cdot \alpha_e \Rightarrow T_e = T_1 + J_1 \cdot \alpha_e$$

$$\alpha_e = \xi_t \cdot \alpha_w = \xi_t \cdot \frac{a_x}{0,2896}$$

$$135,58 = \left(\frac{286,2281 + 324,2074 \cdot a_x}{\xi_t} \right) + 0,8428 \cdot \xi_t \cdot \frac{a_x}{0,2896}$$

$$2,9102\xi_t^2 \cdot a_x + 324,2074 \cdot a_x = 135,58 \cdot \xi_t - 286,2281$$

$$a_x = \frac{135,58 \cdot \xi_t - 286,2281}{2,9102 \cdot \xi_t^2 + 324,2074} = \frac{46,5875 \cdot \xi_t - 98,3534}{\xi_t^2 + 111,4038}$$

Para que a_x seja máxima:

$$\frac{da_x}{d\xi_t} = 0$$

$$\frac{da_x}{d\xi_t} = \frac{d\left(\frac{46,5875 \cdot \xi_t - 98,3534}{\xi_t^2 + 111,4038}\right)}{d\xi_t} = 0$$

$$\frac{da_x}{d\xi_t} = \frac{-46,5875 \cdot \xi_t^2 + 196,7068 \cdot \xi_t + 5.190,0245}{(\xi_t^2 + 11,4038)^2} = 0$$

$$\xi_t^2 - 4,2223 \cdot \xi_t - 98,3534 = 0$$

$$\xi_t = \frac{4,2223}{2} \pm \frac{\sqrt{4,2223^2 + 4 \cdot 98,3534}}{2}$$

$$\xi_t = \frac{4,2223 + 20,2791}{2}$$

$$\xi_t = 12,2507 \approx \frac{49}{4}$$

Substituindo ξ_t na equação da aceleração a_x , temos:

$$a_x = \frac{46,5875 \cdot \xi_t - 98,3534}{\xi_t^2 + 111,4038}$$

$$a_x = \frac{46,5875 \cdot 12,25 - 98,3534}{12,25^2 + 111,4038}$$

$$\underline{a_x = 1,8065 \quad [\text{m/s}^2]} \quad \left(\left[5,9268 \quad [\text{ft/sec}^2] \right] \right)$$

5 - Um autoveículo pesa 3,000 lbf (13.344,66 N) e seus pneus têm diâmetro nominal de 27 in. As rodas, eixos, etc. rodando na velocidade das rodas, pesam 540 lbf (2.402,04 N) e possuem um raio de giração de 8 in (0,203 m). O motor e as peças do sistema de transmissão girando na velocidade do motor pesam 192 lbf (854,059 N) com um rio de giração de 3 in (0,0762 m). O torque do motor é 90 lbf-ft (122,024 N-m); a eficiência da transmissão é 84%; a resultante das forças de resistência ao movimento do carro é constante e vale 80 lbf (355,858 N). Sob essas condições calcule a aceleração do carro em m/s²:

- a) quando a relação de transmissão entre o motor e as rodas é 5:1 (*top gear*);
 b) quando a relação de transmissão entre o motor e as rodas é 16:1 (*bottom gear*);
 c) quando a relação de transmissão entre o motor e as rodas produzir aceleração máxima numa rampa com gradiente 1:20 para cima.

6 - Um carro possui massa de 1,5 Tons – 1.0 Ton (USA) = 2.000 lb = 907.18 kg – (1.360,78 kg) e quando está viajando sobre uma rampa de inclinação 1:8 a uma velocidade de 15 mph (24,14 km/h), o motor desenvolve 40 HP (29.828 W) a uma rotação de 2.100 rpm. O momento de inércia das rodas e das partes rotativas da transmissão tomado na velocidade de rotação das rodas é de 200 lb-ft² (8,428 kg-m²). O diâmetro nominal das rodas é de 29 in (73,66 cm) e a eficiência mecânica do trem de força é de 85%. A força de resistência do ar a 15 mph (24,14 km/h) é de 55 lbf (244,65 N) e varia diretamente com o quadrado da velocidade. Assumindo que velocidade de rotação do motor fique constante, determine:

- a) a relação de transmissão a 15 mph (24,14 km/h);
 b) o valor da velocidade máxima que será atingida na rampa;

7 - Um carro possui massa de 5.000 lb (2.267,96 kg) incluindo as 4 rodas, cada uma tendo um diâmetro nominal de 28 in (71,12 cm) e uma massa de 72 lb (32,66 kg). O motor desenvolve 90 HP (67.133 W) a 2.200 rpm e as partes girantes do motor pesam 240 lbf (1.067,57 N) com um raio de giração de 4,5 in (11,43 cm). A eficiência da transmissão é 88% e resultante das forças de resistência ao movimento do carro, em pista plana, incluindo a resistência do ar, é de 200 lbf (889,644 N), estando o motor a 2.200 rpm na top gear de 4:1. Nestas condições (assumindo que a aceleração permaneça constante), calcule a aceleração em m/s² e o tempo necessário para aumentar a velocidade de 20 mph (32,1869 km/h).

8 - Um carro pesa 2.000 lbf (8.896,44 N). O momento de inércia das partes girantes do motor é 7,7 bf-ft² (0,3245 kg-m²). A razão de transmissão entre o motor e o eixo traseiro é 5,7:1. Os pneus têm diâmetro nominal de 26 in (66,04 cm) e o momento de inércia total das 4 rodas é 80 lb-ft² (3,3712 kg-m²). Quando o carro está se movendo a uma velocidade v (ft/sec), o torque desenvolvido pelo motor é $(60 - 0,004 \cdot v^2)$ lbf-ft com $[v] = \text{ft/sec}$ e a força de resistência ao movimento linear do carro é $(50 + 0,025 \cdot v^2)$ lbf. Calcule a aceleração do carro a 45 ft/sec (13,716 m/s) sobre uma pista reta nivelada e o tempo necessário para o carro acelerar de 45 a 70 ft/sec (21,336 m/s). Despreze as perdas na transmissão.

dica:
$$\int \frac{dx}{a^2 - x^2} = \frac{1}{2a} \ln \frac{a+x}{a-x}$$

9 - Um automóvel de massa total 3.000 lb (1.360,77 kg) possui rodas de diâmetro nominal de 24 in. O momento de inércia efetivo das 4 rodas junto com o eixo traseiro é 160 lb-ft² (6,74 kg-m²), enquanto que o do motor e volante é de 20 lb-ft² (0,843 kg-m²). A eficiência da transmissão é de 85% e a resultante das forças que se opõem à tração do veículo a 15 mph (24,14 km/h) somam 60 lbf (266,89 N). O torque disponível pelo motor é de 150 lb-ft (110,634 N-m):

- a) determine a relação de transmissão, do motor para o eixo traseiro, que provê máxima aceleração numa subida quando viajando a 15 mph (24,14 km/h);
 b) Determine a RPM do motor e a sua potência sob estas condições;