



WTA ENGENHARIA E REPRESENTAÇÃO
COMERCIAL LTDA

TRANSMISSÕES MECÂNICAS

FÓRMULAS E DICAS



11 3862-2854

WWW.WTAENGENHARIA.COM.BR



[1]



WTA ENGENHARIA E REPRESENTAÇÃO COMERCIAL LTDA

Nosso objetivo ao preparar este formulário foi o de facilitar o trabalho de todos que se vêm à frente do desenvolvimento de atividades que envolvem transmissões mecânicas.


Esperamos que quem vier a utilizá-lo tenha sucesso e maior agilidade nos seus projetos.

Eng. Rodolpho Wilmers



Eng° Rodolpho F. M. Wilmers

DIRETOR ENG° APLICAÇÃO E VENDAS

 (11) 99177-6454

 (11) 3862-2854

 rodolpho@wtaengenharia.com.br

 Rua Atilio Piffer, 271 - CJ 43/44

WWW.WTAENGENHARIA.COM.BR

SUMÁRIO

1. Funções trigonométricas
2. Triângulos
3. Cálculo de área e perímetro
4. Cálculo de volumes, áreas laterais, áreas totais
5. Unidade de medida do Sistema Internacional (SI)
6. Símbolos e unidades de medida conforme SI
7. Fórmulas básicas
8. Resistência de materiais
9. Expansão térmica - extensão
10. Rodas dentadas
11. Direção da inclinação da hélice
12. Mecanismo de parafuso sem-fim
13. Características elétricas de um motor trifásico
14. Fatores de serviço
15. Aplicações



1. Funções trigonométricas

a) Relações trigonométricas

$$\text{sen}^2 \alpha + \text{cos}^2 \alpha = 1$$

$$\text{sen } \alpha = \sqrt{1 - \text{cos}^2 \alpha} = \text{tg } \alpha / \sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha}$$

$$\text{cos } \alpha = \sqrt{1 - \text{sen}^2 \alpha} = 1 / \sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha}$$

$$\text{tg } \alpha = \text{sen } \alpha / \text{cos } \alpha$$

$$\text{ctg } \alpha = \text{cos } \alpha / \text{sen } \alpha = 1 / \text{tg } \alpha$$

$$\text{tg } \alpha = \text{sen } \alpha / \sqrt{1 - \text{sen}^2 \alpha}$$

$$\text{sec } \alpha = 1 / \text{cos } \alpha$$

$$\text{cosec } \alpha = 1 / \text{sen } \alpha$$

b) Relações entre dois ângulos

$$\text{sen } (\alpha \pm \beta) = \text{sen } \alpha \text{ cos } \beta \pm \text{cos } \alpha \text{ sen } \beta$$

$$\text{cos } (\alpha \pm \beta) = \text{cos } \alpha \text{ cos } \beta \pm \text{sen } \alpha \text{ sen } \beta$$

$$\text{tg } (\alpha \pm \beta) = (\text{tg } \alpha \pm \text{tg } \beta) / (1 \pm \text{tg } \alpha \text{ tg } \beta)$$

c) Multiplo e submúltiplo de um ângulo

$$\text{sen } 2 \alpha = 2 \text{ sen } \alpha \text{ cos } \alpha$$

$$\text{cos } 2 \alpha = \text{cos}^2 \alpha - \text{sen}^2 \alpha = 2 \text{ cos}^2 \alpha - 1$$

$$\text{tg } 2 \alpha = 2 \text{ tg } \alpha / (1 - \text{tg}^2 \alpha)$$

$$\text{sen } (\alpha/2) = \sqrt{(1 - \text{cos } \alpha)/2}$$

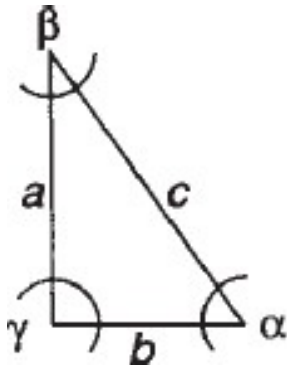
$$\text{cos } (\alpha/2) = \sqrt{(1 + \text{cos } \alpha)/2}$$

$$\text{tg } (\alpha/2) = \text{sen } \alpha / (1 + \text{cos } \alpha)$$

2. Triângulos

A) Triângulo retângulo

a e b catetos, c hipotenusa, ângulos α e β opostos aos catetos



(Teorema de Pitágoras)

$$\alpha + \beta = \pi / 2 \text{ rad.}$$

$$\text{sen } \alpha = a / c; \text{ cos } \alpha = b / c; \text{ tg } \alpha = a / b; \text{ ctg } \alpha = b / a$$

$$a = c \text{ sen } \alpha = c \text{ cos } \beta = b \text{ tg } \alpha$$

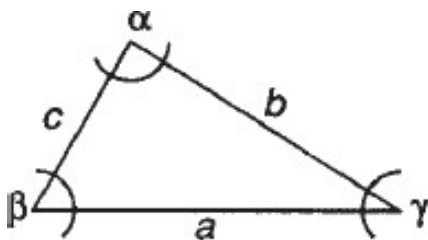
$$b = c \text{ cos } \alpha = c \text{ sen } \beta = a \text{ tg } \beta$$

$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

B) Triângulo oblíquo

a, b, c os lados do triângulo; α, β, γ os ângulos opostos a eles, respectivamente

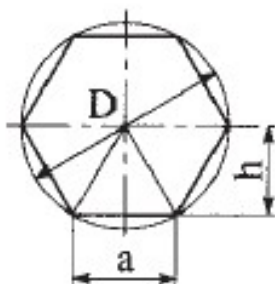
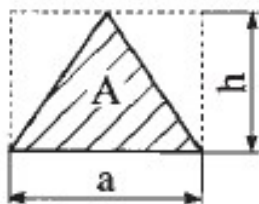
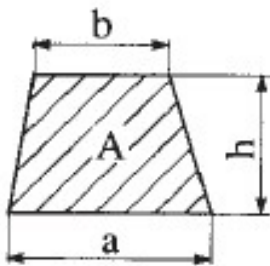
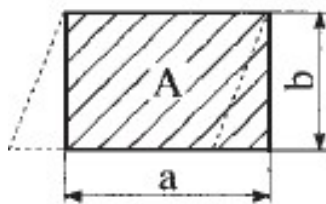
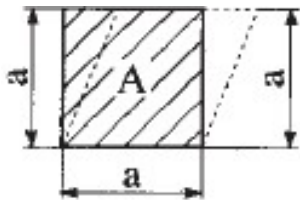


$$\alpha + \beta + \gamma = \pi \text{ rad} = 180^\circ$$

$$a / \text{sen } \alpha = b / \text{sen } \beta = c / \text{sen } \gamma$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 a b \text{ cos } \gamma$$

3. Cálculo de área e perímetro



Quadrado, Losango

$$A = a^2$$

$$P = A \cdot a$$

Retângulo, Paralelogramo

$$A = a \cdot b$$

$$P = 2 \cdot (a + b)$$

$$a = P/2 - b$$

Trapézio

$$A = (a + b)/2 \cdot h$$

$$a = 2 A/h - b$$

Triângulo

$$A = a \cdot h/2$$

$$a = 2 \cdot A/h$$

$$h = 2 \cdot A/a$$

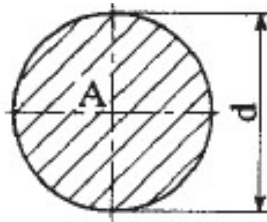
Hexágono

$$A = (a \cdot h/2) \cdot n = 3 \cdot a \cdot h$$

A = Área

P = Perímetro

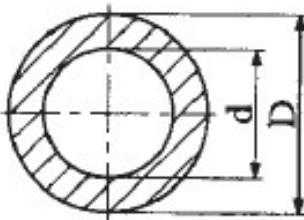
N = Número de lados



Círculo

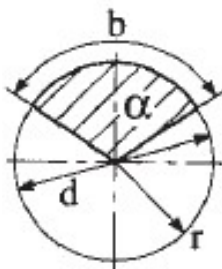
$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = 0,7854 \cdot d^2;$$

$$P = d \cdot \pi; \quad d = \sqrt{\frac{A}{0,7854}}$$



Anel circular

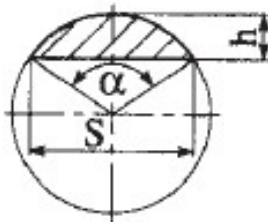
$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = 0,7854 (D^2 - d^2)$$



Setor circular

$$A = \frac{b \cdot r}{2} = 0,7854 \frac{d^2 \cdot \alpha}{360^\circ} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot \alpha}{360^\circ}$$

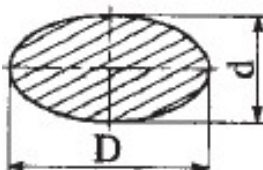
$$b = \frac{r \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ}; \quad b = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360^\circ}; \quad d = \frac{360^\circ \cdot b}{\pi \cdot \alpha}$$



Segmento de círculo

$$A = \pi \frac{r^2 \cdot \alpha}{360^\circ} - \frac{s(r-h)}{2} \approx \frac{2}{3} \cdot s \cdot h$$

$$h = \frac{A \cdot 3}{S^2} \quad S = 2 \sqrt{h(2r-h)}$$



Elipse

$$A = 0,7854 D \cdot d = \frac{D \cdot d \cdot \pi}{4}; \quad P \approx \frac{D + d}{2}$$

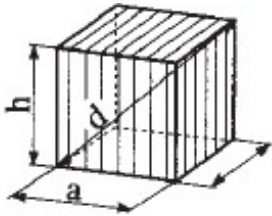
A = Área

P = Perímetro

D = Diâmetro

d = Diâmetro

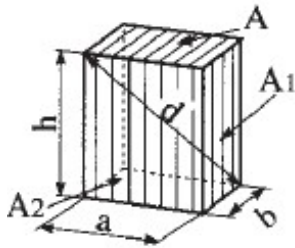
4. Cálculo de volumes, áreas laterais e áreas totais



Cubo

$$V = a^3; d = a \cdot \sqrt{3}$$

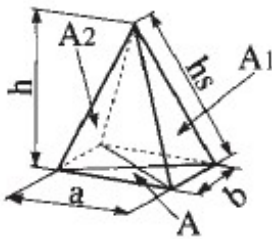
$$a = \sqrt[3]{V}; At = 6 \cdot a^2; Al = 4 \cdot a^2$$



Prisma reto

$$V = a \cdot b \cdot h = A \cdot h; At = 2 (A + A_1 + A_2)$$

$$d = \sqrt{a^2 + h^2 + b^2} \quad Al = 2 (A_1 + A_2)$$

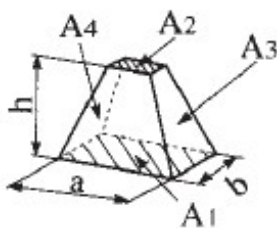


Pirâmide

$$V = \frac{1}{3} a \cdot b \cdot h = \frac{A \cdot h}{3};$$

$$At = A + 2 (A_1 + A_2)$$

$$hs = \sqrt{\left(\frac{a^2 + b^2}{4}\right) + h^2}$$



Tronco de pirâmide

$$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{(A_1 \cdot A_2)}) = \frac{A_1 + A_2}{2} \cdot h$$

$$At = A_1 + A_2 + 2 (A_3 + A_4)$$

$$Al = 2 \cdot (A_3 + A_4)$$

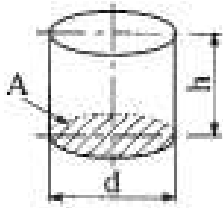
A = Área total

V = Volume

Al = Área lateral

H = Altura

d = Diagonal

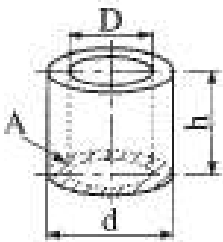


Cilindro

$$V = A \cdot h = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h = 0,7854 \cdot d^2 \cdot h$$

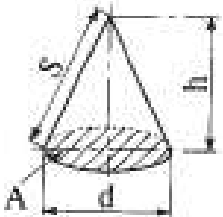
$$Al = \pi \cdot d \cdot h$$

$$At = 2 A + d \cdot \pi \cdot h$$



Cilindro vazado

$$V = A \cdot h = 0,7854 \cdot (D^2 - d^2) \cdot h$$

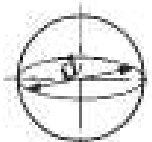


Cone

$$V = \frac{A \cdot h}{3} = \frac{d^2 \cdot 0,7854 \cdot h}{3}$$

$$Al = \pi \cdot r \cdot \sqrt{r^2 + h^2} = \pi \cdot r \cdot s$$

$$At = A + Al$$



Esfera

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = \frac{d^3 \cdot \pi}{6} = 0,5236 \cdot d^3$$

$$At = \pi \cdot d^2; \quad d = \sqrt{\frac{6 \cdot V}{\pi}}$$

A = Área da base

At = Área total

Al = Área lateral

5. Unidades de medida – Sistema Internacional – Unidades básicas Grandezas Fundamentais

Grandeza	Símbolo	Denominação
Comprimento	M	Metro
Massa	Kg	Quilograma
Tempo	S	Segundo
Intensidade de corrente elétrica	A	Ampere
Temperatura termodinâmica	K	Kelvin
Intensidade luminosa	cd	candela

Múltiplos e submúltiplos decimais das unidades

Potência de dez	Prefixo	Símbolo
10^{12}	Tera	T
10^9	Giga	G
10^6	Mega	M
10^3	Quilo	k
10^2	Hecto	h
10	Deca	da
10^{-1}	Deci	d
10^{-2}	Centi	c
10^{-3}	Mili	m
10^{-6}	Micro	μ
10^{-9}	Nano	n
10^{-12}	Pico	p



Grandezas derivadas

newton (N)

Força que imprime a um corpo de massa 1kg a aceleração de 1 m/s^2

pascal (Pa)

Pressão da força de 1N sobre uma superfície de área 1 m^2 . Também usada a unidade bar ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$)

joule (J)

Trabalho de uma força de 1N na direção do deslocamento de 1m

watt (W)

Potência que produz um trabalho de 1J em 1s

coulomb (C)

Carga elétrica que em 1s atravessa um condutor com uma corrente de 1A

volt (V)

Diferença de potencial entre duas seções de um condutor com uma corrente de 1A, que dissipa 1W de potência

farad (F)

Capacidade de um condensador na qual a transferência de 1C de uma armadura a outra determina uma diferença de potencial de 1V

ohm (Ω)

Resistência elétrica da seção de um condutor que gera uma diferença de potencial de 1V se a corrente é de 1A

weber (Wb)

Fluxo de indução magnética ($1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}$)

tesla (T)

Indução magnética ($1 \text{ T} = 1 \text{ Wb} / \text{m}^2$)

henry (H)

Indutância ($1 \text{ H} = 1 \text{ V} \cdot \text{s} / \text{A}$)

6. Símbolos e unidades de medida segundo o SI utilizados na técnica das transmissões mecânicas

Símbolo	Significado	Símbolo da unidade conforme SI
Geometria		
A	Superfície	m ²
a	Distância	m
α β γ	Ângulo	rad
b	Largura	m
d	Espessura	m
d	Diâmetro	m
h	Altura	m
l	Comprimento	m
r	Raio	m
s	Espaço	m
V	Volume	m ³
Tempo		
a	Aceleração	m/s ²
α	Aceleração angular	rad/s ²
f	Frequência	Hz
g	Aceleração da gravidade	m/s ²
n	Velocidade de rotação	1/s
ω	Velocidade angular	rad/s
T	Constante de tempo	s
t	Tempo	s
v	Velocidade	m/s

Símbolo	Significado	Símbolo da unidade conforme SI
Mecânica		
E	Módulo de elasticidade	MPa
F	Força	N
G	Peso	N
J	Momento de inércia	kgm ²
M	Torque	Nm
m	Massa	kg
P	Potência	W
P	Pressão	Pa
Q	Massa específica	kg/m ³
σ	Solicitação de tração, compressão, flexão	Pa
W	Trabalho, energia	J
η	Rendimento	-
μ	Coefficiente de atrito	-

Definições importantes

1 Newton (N) = 1kgm/s²

1 quilograma peso (kp) = 9,80665 N

1 cavalo vapor (CV) = 735,5 W = 75 kgm/s

1 horse power (HP) = 745,7 W

1 Wh/3600 = 1 Nms = 1 Joule (J)

g = 9,80665 m/s²

Força

Força

Potência

Potência

Trabalho

Aceleração da gravidade

Fórmulas Básicas na técnica de transmissão

Translação		Rotação
$s = v \cdot t$	Espaço (m) / Ângulo	$\varphi = \omega t = 2 \pi \cdot n \cdot t$
$v = \frac{s}{t}$	Velocidade linear (m/s)	$v = d\pi n = \omega r$
	Velocidade angular (rad/s)	$\omega = \dot{\varphi} = 2\pi n = \frac{v}{r}$
$a = \frac{v}{t}$	Aceleração (m/s ²)	$\dot{\omega} = \dot{\varphi} = \frac{\omega}{t}$
$F = m \cdot a$	Força (N)	$F = m r \dot{\omega}$
$M = F \cdot r$	Torque (Nm)	$M = J \cdot \dot{\omega}$
$P = F \cdot v$	Potência (W)	$P = M \cdot \omega$
$W = F \cdot s$	Energia (J)	$W = M \cdot \varphi$
$W = \frac{1}{2} m v^2$	Energia (J)	$W = \frac{1}{2} J \omega^2$



Símbolos e Descrições

M = Torque de pico ou total do motor (Nm)

M_L = Torque resistente (Nm)

M_a = Torque de aceleração (Nm)

M_{fr} = Torque de frenagem (Nm)

P = Potência total do motor (kW)

P_L = Potência em condição de regime (kW)

P_a = Potência de aceleração (kW)

n = Velocidade de rotação (min^{-1})

Δn = Diferença de rotação (min^{-1})

v = Velocidade linear (m/min)

Δv = Diferença de velocidade (m/min)

J = Inércia (kgm^2)

M = Massa (kg)

F = Força (N)

W = Energia (J)

t_a = Tempo de aceleração (s)

t_{fr} = Tempo de frenagem (s)

s = Espaço (m)

d = Diâmetro (mm)

r = Raio (mm)

μ = Coeficiente de atrito

p = Pressão (N/m^2 ou Pa)

$g = 9,80665 \text{ m/s}^2$

$\pi = 3,141592654$



Velocidade Linear (m/min)	$v = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000}$
Força (N)	$F = 1000 \frac{M}{r} = \mu \cdot m \cdot g$
Torque (Nm)	$M = \frac{F \cdot r}{1000}$
	$M = \frac{3 \cdot 10^4 P}{\pi \cdot n} = \frac{9549 P}{n}$
Trabalho (J)	$W = F \cdot s = m \cdot g \cdot s$
Energia na translação (J)	$W = \frac{m v^2}{7200}$
Energia na rotação (J)	$W = \frac{\pi^2}{1800} \quad J n^2 = \frac{J n^2}{182,4}$
Potência (kW) Na rotação	$W = \frac{\pi}{30} \cdot 10^3 M \cdot n = \frac{M \cdot n}{9549}$
Na translação	$P = \frac{F \cdot v}{6 \cdot 10^4}$
Na elevação	$P = \frac{m \cdot g \cdot v}{6 \cdot 10^4}$



Definições importantes

$$\eta = \frac{P_{\text{util}}}{P_{\text{total}}} \quad \text{Rendimento}$$

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{M_2}{M_1} = \sqrt{\frac{J_2}{J_1}} \quad \text{Relação de transmissão}$$

Torque total (Nm)

$$M = M_L + M_a = M_L + \frac{\pi}{30} J \frac{\Delta n}{t_a}$$

Torque de aceleração (Nm)

$$M_a = \frac{\pi}{30} J \frac{\Delta n}{t_a} = 0,105 J \frac{\Delta n}{t_a}$$

Sabendo que

$$n = \frac{1000 v}{v \cdot \pi}$$

Trabalho efetivo (J)

$$M_a = \frac{100}{3d} J \frac{\Delta v}{t_a}$$

Potência em condição de regime (kW)

$$W = \frac{\pi^2}{1800} J \Delta n^2 \frac{M}{M - M_L} = \frac{J \Delta n^2 M}{182,4 (M - M_L)}$$

$$W = \frac{5000}{9} J \frac{\Delta v^2}{t^2} \frac{M}{M - M_L}$$

$$P = P_L + P_a$$

Potência em aceleração (kW)

$$P_L = \frac{\pi \cdot v \cdot n \cdot M_L}{3 \cdot 10^4} = \frac{n \cdot M_L}{9549} = \frac{V \cdot M_L}{30 \cdot d}$$

Na frenagem os símbolos Δe
 M_a devem ser modificados

$$P_L = \frac{\pi^2 \cdot n}{9 \cdot 10^5} J \frac{\Delta n}{t_a} = \frac{n J \Delta n}{9,12 \cdot 10^4 \cdot t_a}$$

$$P_a = \frac{10 \cdot v}{9 \cdot d^2} J \frac{\Delta n}{t_a} = \frac{m \cdot v \cdot \Delta v}{7,2 \cdot 10^6 t_a}$$

Tempo de aceleração

$$t_a = \frac{\pi}{30} J \frac{\Delta n}{M - M_L} = 0,105 J \frac{\Delta n}{M - M_L} = \frac{100}{3d} \frac{\Delta n}{M - M_L}$$

$$t_a = \frac{\pi^2 n J \Delta n}{9 \cdot 10^5 (P - P_L)} = \frac{n J \Delta n}{9,12 \cdot 10^4 (P - P_L)}$$

$$t_a = \frac{J \cdot \Delta n}{9,55 \cdot M_a}; t_a = \frac{J \cdot \Delta n}{9,55 M_r}$$

Movimento horizontal em aceleração

$$P = \frac{m v}{6 \cdot 10^4} \left[\mu \cdot g + \frac{\Delta v}{60 t_a} \right]$$

A = Superfície da secção em mm²

σ = Resistência a flexão ou tração em N/mm²

τ = Resistência ao cisalhamento ou a torção em N/mm²

F = Força (N)

M = Momento (Nm)

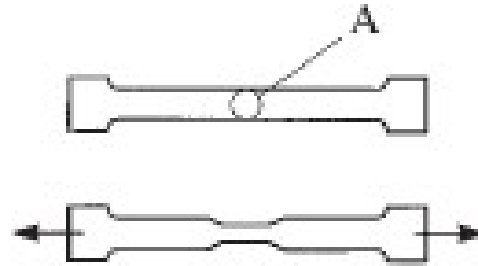
Wb = Módulo de resistência a flexão em mm²

Wt = Módulo de resistência a torção em mm²

8. Resistência dos Materiais

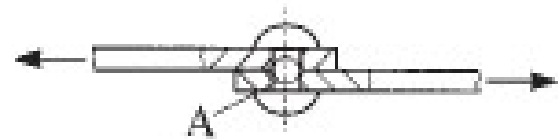
Resistência a tração

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad F = \sigma \cdot A$$



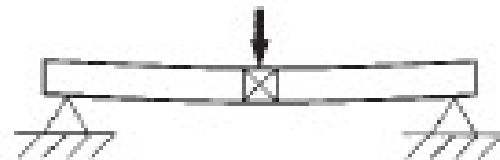
Resistência ao cisalhamento

$$\tau = \frac{F}{A} \quad F = \tau \cdot A$$



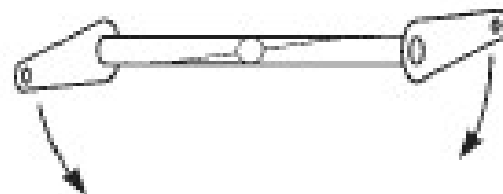
Resistência a flexão

$$\sigma = \frac{M}{W_b} \quad (\text{N/mm}^2)$$



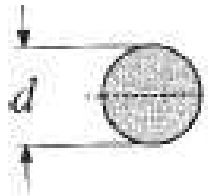
Resistência a torsão

$$\tau = \frac{M}{W_t} \quad (\text{N/mm}^2)$$



Momento de inércia – Módulo de resistência

Módulo de resistência	Módulo de inércia
-----------------------	-------------------

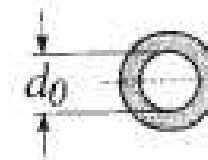


$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot d^3$$

$$I_a = \frac{\pi}{64} \cdot d^4$$

$$W_t = \frac{\pi}{16} \cdot d^3$$

$$I_p = \frac{\pi}{32} \cdot d^4$$

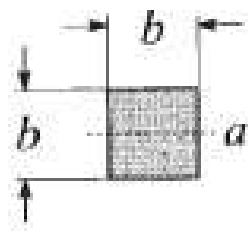


$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot (d^3 - d_0^3) / d$$

$$I_a = \frac{\pi}{64} \cdot (d^4 - d_0^4)$$

$$W_t = \frac{\pi}{16} \cdot (d^3 - d_0^3) / d$$

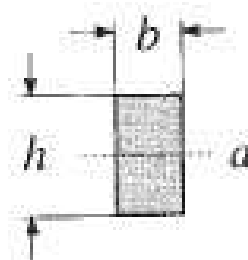
$$I_p = \frac{\pi}{32} \cdot (d^4 - d_0^4)$$



$$W_o = \frac{b^3}{6}$$

$$I_a = \frac{b^4}{12}$$

$$W_t = \frac{2}{9} \cdot b^3$$

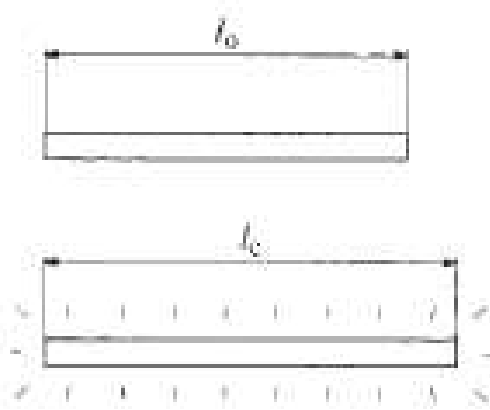


$$W_o = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2$$

$$I_a = \frac{h^3 b}{12}$$

$$W_t = \frac{2}{9} \cdot b^2 \cdot h$$

9. Expansão térmica – Alongamento



Alongamento

$$l_v = \alpha \cdot l_0 \cdot (t_2 - t_1)$$

Comprimento final

$$l_f = l_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$l_0 = \frac{l_v}{\alpha \cdot \Delta T}$$

$$\Delta T = \frac{l_v}{\alpha \cdot l_0}$$

l_v	=	Alongamento
l_0	=	Comprimento inicial
l_f	=	Comprimento final
Δt	=	Diferença de temperatura (°K)
α	=	Coeficiente de dilatação térmica por 1 grau

Coeficiente de dilatação térmica por 1K e unidade de comprimento

Alumínio	0,000024
Bronze	0,000018
Vidro	0,000009
Ferro fundido cinzento	0,000011
Cobre	0,000017
Magnésio	0,000025
Bronze	0,000019
Aço	0,000012

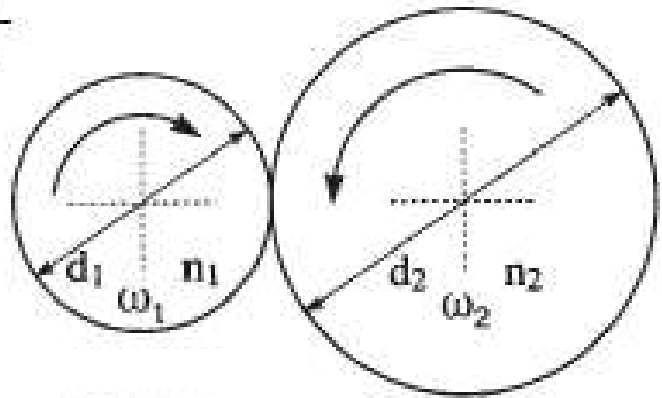
10. Rodas Dentadas

A relação de transmissão entre uma roda condutora de diâmetro d_1 , e uma roda conduzida de diâmetro d_2 , é dada pelos diâmetros d_1 , e d_2 e se indica pela letra u

$$u = \frac{d_2}{d_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

Nas rodas de engrenagens

$$u = \frac{z_2}{z_1}$$



Sendo

n_1 = velocidade angular, em rev / min da roda motora

n_2 = velocidade angular, em rev / min da roda movida

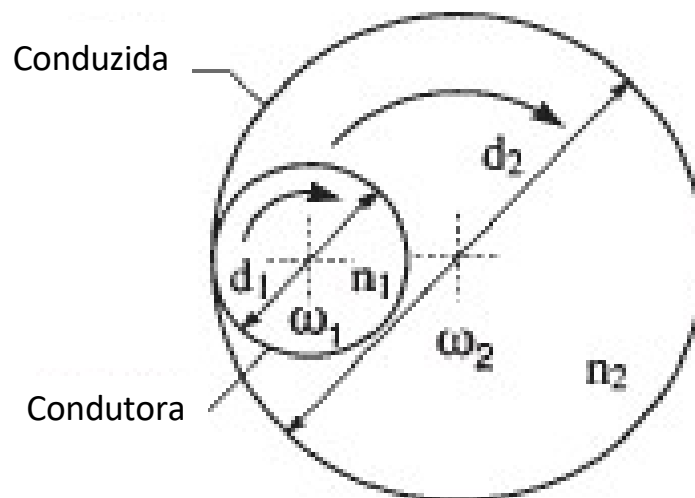
ω_1 = velocidade angular, em rad / s da roda motora

ω_2 = velocidade angular, em rad / s da roda movida

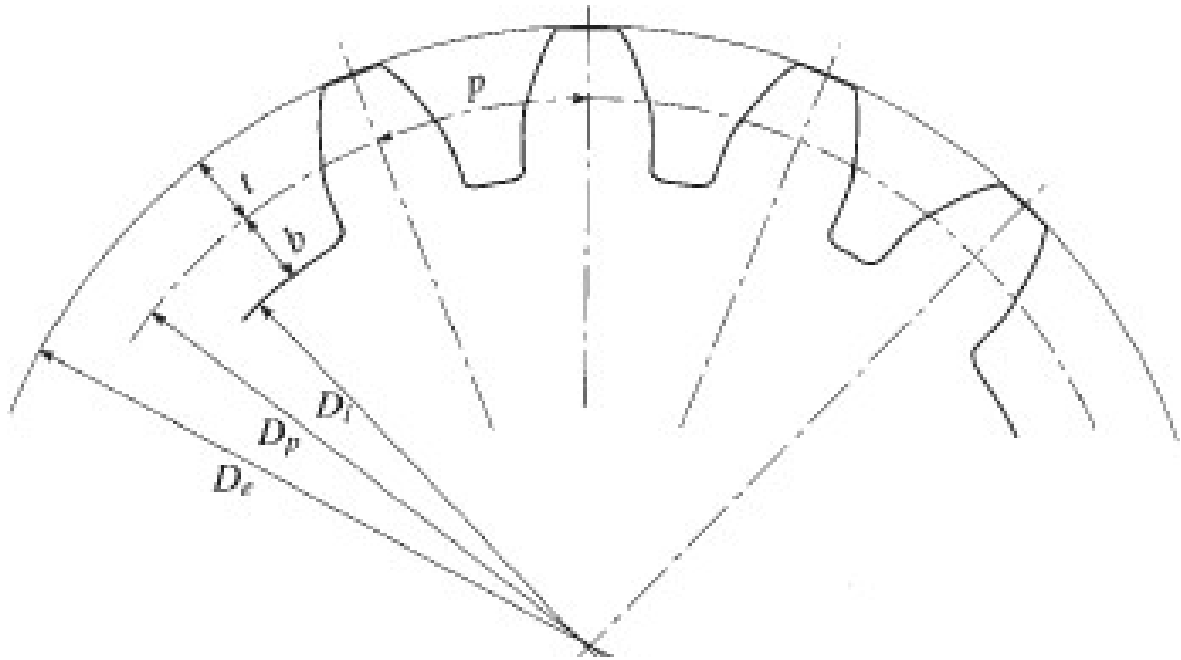
z_1 = número de dentes da roda motora

z_2 = número de dentes da roda movida

Quando $u > 1$, o conjunto é redutor, quando $u < 1$, é multiplicador



Elementos de uma roda dentada cilíndrica de dentes retos com perfil de evolvente do círculo



z = número de dentes da roda
 m = módulo em mm
 D_e = diâmetro externo em mm
 D_i = diâmetro interno em mm
 α = ângulo de pressão
 p = potência (kW)

t = adendo do dentes em mm
 b = dedendo do dente em mm
 D_p = diâmetro primitivo em mm
 p = passo em mm
 r = raio primitivo (mm)
 n = giros por minuto (min⁻¹)

Relação entre os elementos de
 uma roda cilíndrica dentada de
 dentes retos

$$m = \frac{D_p}{z} \text{ [mm]}$$

$$D_p = m \cdot z ;$$

$$z = \frac{D_p}{m}$$

$$p = \frac{\pi D_p}{z} \text{ [mm]}$$

$$\frac{p}{\pi} = \frac{D_p}{z} = m \text{ [mm]}$$

$$p = \pi m \text{ [mm]}$$

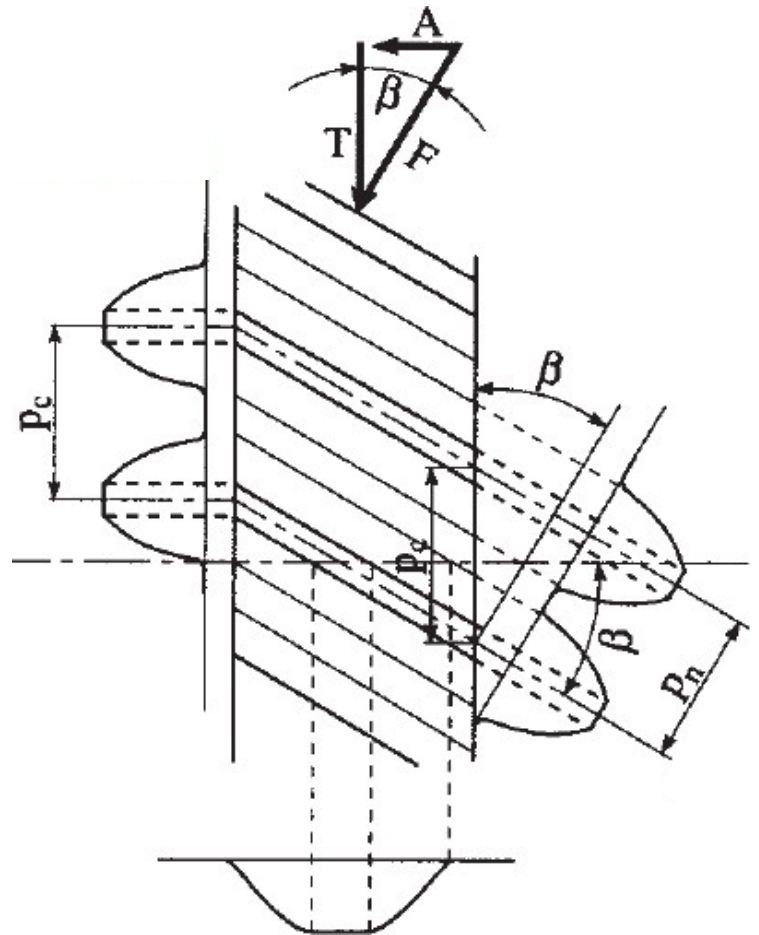
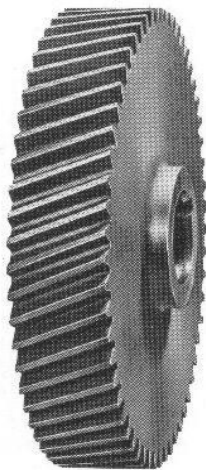
Força através do torque de uma roda dentada cilíndrica de dente retos

A força tangencial T é o componente da força F atuando na direção da tangente comum aos dois circuitos primitivos, e a rotação da roda deve-se a ela
 A força radial R é uma componente da força F e é orientada diretamente ao centro da roda, sendo normal a seu eixo

$$T = \frac{9550 P}{r n} \text{ [N]}; \quad R = T \operatorname{tg} \alpha \text{ [N]}; \quad F = \frac{T}{\cos \alpha} \text{ [N]} \quad M = \frac{9550 P}{n} \text{ [Nm]}$$

Principais relações entre os elementos de uma roda cilíndrica dentada com dentes helicoidais

- z = número de dentes
- p_c = passo circunferencial
- p_n = passo normal
- p_a = passo axial
- p_e = passo da hélice
- m_c = módulo circunferencial
- m_n = módulo normal
- m_a = módulo axial
- α = ângulo de pressão
- β = ângulo de hélice
- $D_p = m_c z$
- $p_c = p_n / \cos \beta$
- $p_n = p_c \cdot \cos \beta$
- $p_n = \pi m_n$
- $p_c = \pi m_c$



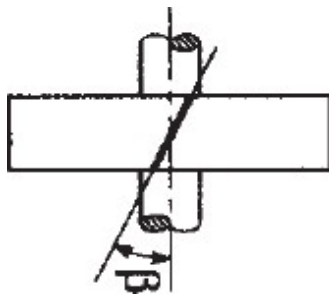
Força através de uma roda cilíndrica com dentes helicoidais de eixos paralelos

$$T = \frac{9550 P}{r n} \quad A = T \operatorname{tg} \beta \quad F = \frac{T}{\cos \beta} \quad R = \frac{T \operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta}$$

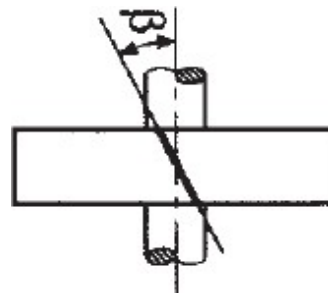
11. Direção da inclinação da hélice

Uma engrenagem com dentes helicoidais tem hélice a direita quando, olhando-se de perfil, com o eixo na vertical, o dente se orienta para a direita, e tem hélice a esquerda se o dente se orienta para a esquerda.

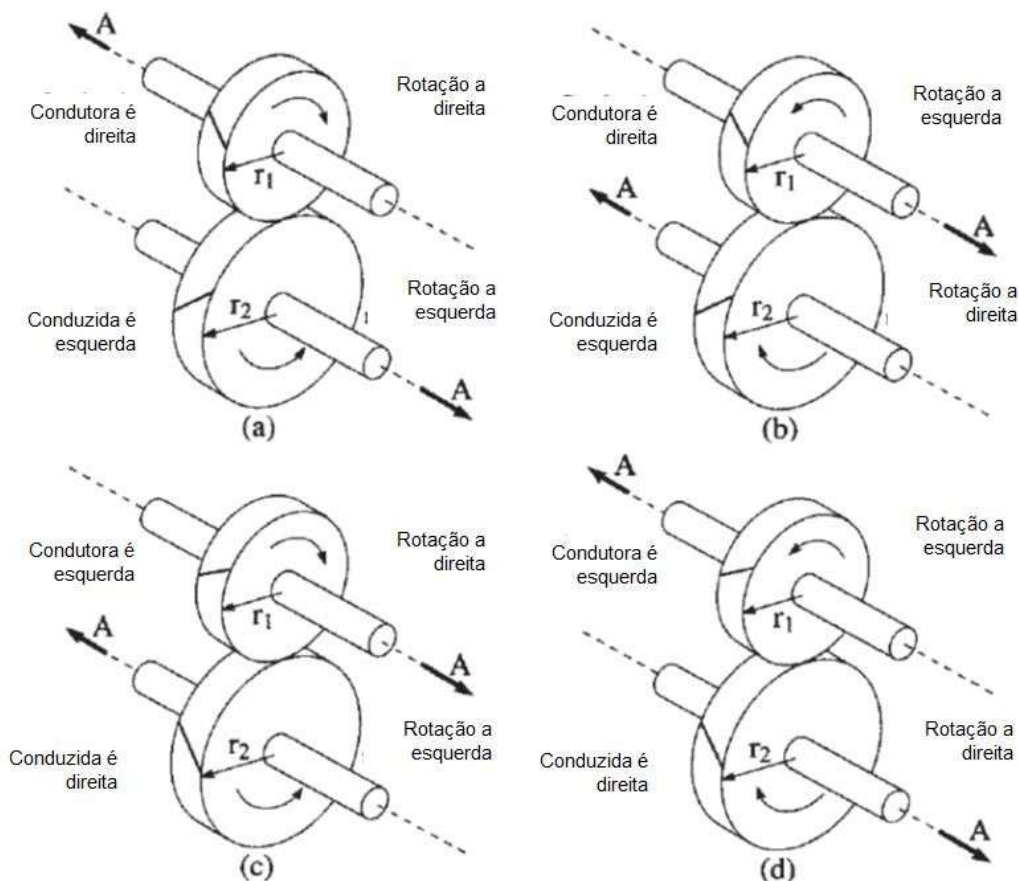
Hélice a direita



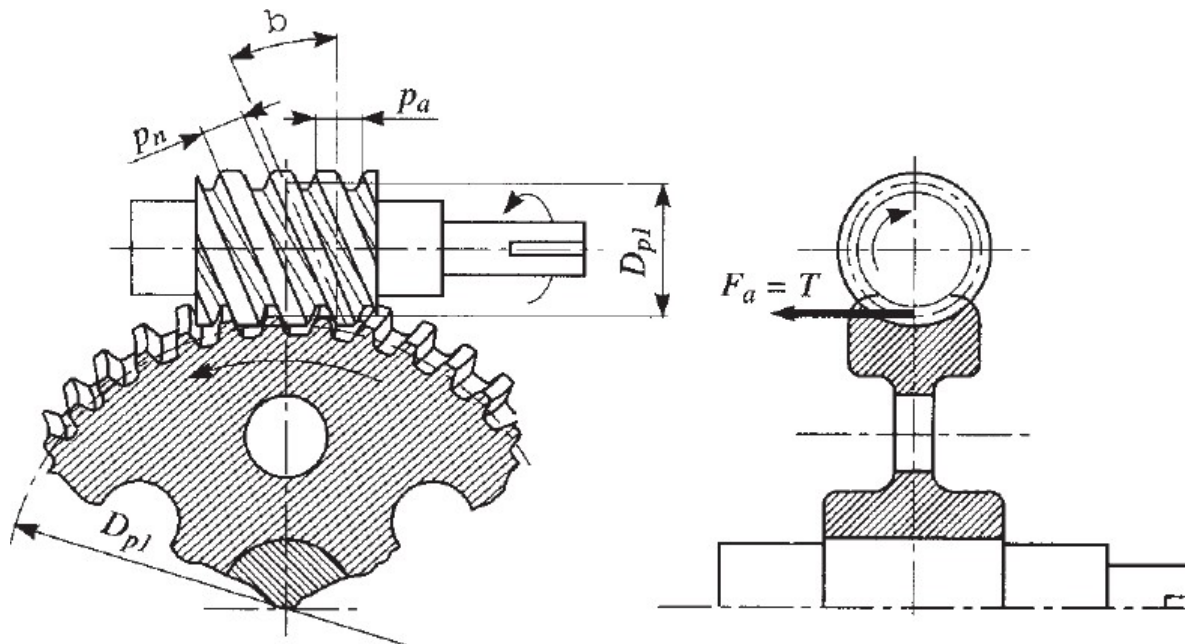
Hélice a esquerda



O sentido da força a depende do sentido de rotação das rodas e do sentido de inclinação da hélice, de acordo com o seguinte esquema:



12. Mecanismo de parafuso sem fim



P_n = passo normal da rosca sem fim e da roda, em mm

P_a = passo axial da rosca sem fim igual ao passo circunferencial da roda, em mm

P_e = passo da hélice da rosca sem fim, em mm

m_n = módulo normal, em mm

m_{av} = módulo axial da rosca sem fim igual ao módulo circunferencial da roda, em mm

β = ângulo de inclinação da hélice da rosca sem fim e da roda

D_{p1} = diâmetro primitivo da rosca sem fim, em mm

D_{p2} = diâmetro primitivo da roda, em mm

i = número de entradas da rosca sem fim

α = ângulo de pressão

z = número de dentes da roda

Relações entre os elementos de um mecanismo entre uma rosca sem fim e uma roda helicoidal

$$p_n = \pi m_n$$

$$p_a = \frac{\pi m_n}{\cos \beta} = \frac{p_n}{\cos \beta} ; p_e = \frac{p_n i}{\cos \beta} ; d_1 = \frac{m_n i}{\sin \beta} ; d_2 = \frac{m_n z}{\cos \beta}$$

Relação de transmissão

$$u = \frac{Z}{i}$$

Força transmitida através da rosca sem fim e da roda helicoidal

Força tangencial da rosca sem fim aplicada sobre a circunferencia primitiva, igual a força axial da roda

$$T = \frac{9550 P}{r n} = \text{Axial da roda, em N} = \text{tangencial da rosca sem fim}$$

$$R = \frac{T \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} = \text{Radial da roda e da rosca sem fim}$$

$$A = \frac{T}{\operatorname{tg} \beta} = \text{Tangencial da roda} = \text{axial da rosca sem fim}$$



13. Características elétricas de motores trifásicos

Potencia total
$$P_{abs} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi}{1000}$$

Potencia util
$$P_{del} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta}{1000}$$

P = potencia em kW

U = tensão em V

I = corrente por fase em A

cosφ = fator de potencia η

= rendimento do motor

Velocidade de sincronismo de um motor elétrico trifásico

$$n_o = 60 \frac{f}{p} = 120 \frac{f}{2p}$$

n_o = velocidade sincrona (min⁻¹)

n = velocidade nominal (min⁻¹)

f = frequencia em Hz

p = no de pares de polos

2p = número de polos

s = escorregamento

$$n = n_o (1 - s) = 60 \frac{f}{p} (1 - s)$$

$$s = \frac{n_o - n}{n_o}$$

2p	f= 50 Hz	f= 60 Hz	f= 100 Hz	f= 200 Hz	f= 400 Hz	p
2	3000	3600	6000	12000	24000	1
4	1500	1800	3000	6000	12000	2
6	1000	1200	2000	4000	8000	3
8	750	900	1500	3000	6000	4
10	600	720	1200	2400	4800	5
12	500	600	1000	2000	4000	6

14. Fatores de Serviço AGMA

FATORES DE SERVIÇO				
Acionamento por	Tempo de Trabalho	Classificação de Cargas		
		Uniforme U	Choques Moderados M	Choques Fortes F
Motor elétrico ou Turbina a vapor	Intermitente, 3 h/dia	0,80	1,00	1,50
	3 < Tempo ≤ 10 h/dia	1,00	1,25	1,75
	Tempo > 10 h/dia	1,25	1,50	2,00
Motor a Explosão ou Motor Hidráulico	Intermitente, 3 h/dia	1,00	1,25	1,75
	3 < Tempo ≤ 10 h/dia	1,25	1,50	2,00
	Tempo > 10 h/dia	1,50	1,75	2,25

FATOR DE TEMPERATURA PARA REFRIGERAÇÃO POR CONVECÇÃO					
Temperatura Ambiente °C	CICLO DE TRABALHO POR HORA				
	100%	80%	60%	40%	20%
10	1,30	1,55	1,80	2,05	2,30
20	1,15	1,35	1,60	1,80	2,05
30	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80
40	0,85	1,05	1,20	1,40	1,55
50	0,70	0,85	1,10	1,15	1,30

FATOR DE TEMPERATURA PARA REFRIGERAÇÃO POR VENTILADOR					
10	1,20	1,45	1,70	1,95	2,2
20	1,10	1,35	1,55	1,80	2,00
30	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80
40	0,90	1,05	1,25	1,40	1,60
50	0,80	0,95	1,10	1,25	1,40



A tabela de Classificação de Cargas AGMA foi pensada de forma a informar:

- **A aplicação**, ou seja, qual a máquina que esta sendo considerada;
- **O tipo de Carga** que NORMALMENTE essa máquina suporta; e
- **A Classe**, que é considerada em função da carga e do tempo de trabalho.

Carga

U – Uniforme

M – Choques Moderados

F – Choques Fortes

Classe

Tempo de Trabalho \leq 10 h/dia

Tempo de Trabalho $>$ 10 h/dia

Classe I – Fator de Serviço = 1,00

Classe II – Fator de Serviço = 1,50

Classe III – Fator de Serviço = 2,00



WTA ENGENHARIA E REPRESENTAÇÃO COMERCIAL LTDA

Classificação de Cargas Conforme AGMA

Aplicação	Tipo de Carga	Classe		Aplicação	Tipo de Carga	Classe		Aplicação	Tipo de Carga	Classe	
		Até 10h/dia	Maio de 10h/dia			Até 10h/dia	Maio de 10h/dia			Até 10h/dia	Maio de 10h/dia
AGITADORES - Misturadores para papel (pasta)..... - Líquidos puros..... - Semi-Líquidos com densidade variável.....	M U M	II I II	II II II	EDO PRINCIPAL DE ACIONAMENTO - Uniformemente carregado..... - Serviço pesado.....	U M	I II	II II	TRANSPORTADORES UNIFORMEMENTE CARRREGADOS OU ALIMENTADOS - De corria..... - Aéreo..... - Para esteira..... - Rolos..... - Resaca..... - Para mass de laminação.....	U U U U U U	I II I I I I	II II II II II II
ALIMENTÍCIA - Enlatadoras..... - Casinhadoras de cereais..... - Misturadoras de massas..... - Moedores..... - Corbedoras.....	U U M M M	I I II II II	II II II II II	GRELHA MECÂNICA GUINDASTES E GUINCHOS - Deslocamento de ponte ou carro..... - Capamba.....	M M M	II II II	II II II	TRANSPORTADORES SERVIÇO PESADO, NÃO UNIFORMEMENTE ALIMENTADOS - Para linhas de montagem..... - De corria..... - De cangote ou canoas..... - Aéreo..... - De rolos..... - Para esteira..... - Reciproco (alternativa)..... - Resaca..... - Para mass de laminação.....	U U U U U U U U U	Ver siderurgia Ver siderurgia Ver siderurgia Ver siderurgia Ver siderurgia Ver siderurgia Ver siderurgia Ver siderurgia Ver siderurgia	II II II II II II II II II
BOMBAS - Alternativas (recprocas) de descarga aberta..... Dupla Ação - Multicêntricas..... - Monocêntricas..... - Proporcionais..... Rotativas (de engrenagens) - Densidade constante..... - Densidade variável.....	U M M M U M	I II II II I II	II III ** ** ** II II	MÁQUINA DE ENCHER - Latas..... MÁQUINAS OPERATRIZES - Acionamento auxiliar..... - Acionamento principal uniformemente carregado..... - Serviço pesado.....	U M F	I II III	II III III	TRANSPORTADORES AÉREOS - Uniformemente carregados..... - Serviço Pesado.....	U M	II II	II II
BORRACHA - Máquina de fabricação de pneus..... - Pressas abríctas de passas e tubos.....	M U	II I	II I	MISTURADORES (VER AGITADORES) Concreto - Serviço contínuo..... - Serviço Intermitente..... - Densidade constante..... - Densidade variável..... Líquidos - Papel..... - Semi-líquidos.....	M M M M M M M	II II II II II II II	III III II II II II II	TRANSPORTADORES DE LINHAS DE MONTAGEM - Uniformemente carregados..... - Serviço pesado.....	U M	II II	II II
CABEÇOTES DE GUILHOTINA		**	**	MOINHOS - Rolos.....	M	II	III	TRANSPORTADORES DE CAÇAMBA - Serviço pesado.....	M	II	II
CAÇAMBA - Transportadores, serviço pesado..... - Batedores uniformemente carregados..... - Batedores, serviço pesado.....	M U M	II I II	II II III	PAPEL - Agitadores (misturadores)..... - Branqueadores..... - Calandras..... - Esticadores para filtros..... - Enroladoras.....	M M M M M	II II II II II	II III III II II	TRANSPORTADORES DE CORREIA - Uniformemente carregados..... - Serviço pesado.....	U M	I II	II II
CERÂMICA - Pressas de tijolo..... - Estrucoras e misturadores.....	F M	III II	III III	PENEIRAS - Batedores..... - Lavagem a ar..... - Rotativas, pedras ou pedregulhos.....	M U M	II I II	III II II	TRANSPORTADORES PARA FORNOS - Uniformemente carregados..... - Serviço pesado.....	U M	I II	II II
CERVEJARIA E DESTILARIA - Alimentadoras, partida frequente..... - Casinhadoras, serviço contínuo..... - Máquinas de separar..... - Tachos de fermentação, serviço contínuo..... - Tinas de moagem, serviço contínuo.....	M U U U U	II ** I ** **	II II II II II	SECADORES E AQUECEDORES ROTATIVOS	M	II	II	TRANSPORTADORES DE ROLOS - Uniformemente carregados..... - Serviço pesado.....	U	I **	II **
CLARIFICADORES..	U	I	II	SIDERURGIA Transportador de mass - Sem reversão..... - Com reversão.....	M	II **	III **	TRANSPORTADORES DE ROSCA - Uniformemente carregados..... - Serviço pesado.....	U M	I II	II II
CLASSIFICADORES	M	II	II	TELEFÉRICOS		**	**	TREFILADORAS DE ARAME E APLAINADORAS	M	II	III
ELEVADORES - Capamba, uniformemente carregados..... - Serviço pesado..... - Escadas rolantes..... - De carga..... - Para passageiros.....	U M M M M	I II ** II **	II III ** II **	TÊXTIL - Calandras..... - Cardes..... - Máquinas de fiar..... - Máquinas de tingimento..... - Tambores de secagem..... - Teares.....	M M M M M	II II II II II **	II II III III II **	TÊXTIL - Viretores..... - Puzadores.....	F	III **	** **

* Tipo de Carga U - Uniforme M - Choques Moderados F - Choques Fortes

** Consultar

Obs.: Recomendamos que a "classe de serviço" para aplicações especiais seja definida de comum acordo entre o fabricante e o cliente, quando variações em relação à tabela sejam necessárias.

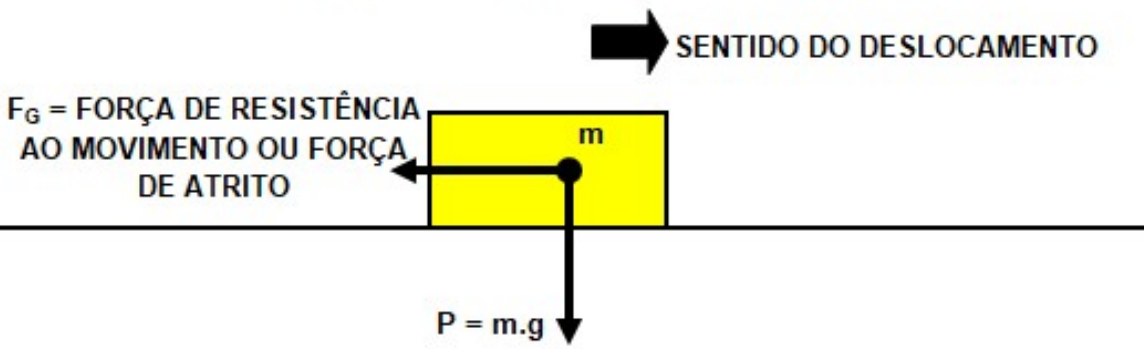
Entre as condições especiais citamos: tipos diferentes de máquina motriz, condições de partida e parada, condições de ambiente, lubrificação, sobrecargas, velocidades elevadas, aplicações com fruto, cargas com alta inércia e reversões.

CLASSIFICAÇÃO DE CARGAS CONFORME AGMA

TIPOS DE APLICAÇÃO	TEMPO DIÁRIO DE OPERAÇÃO	CLASSE AGMA	FATOR SERVIÇO
SEM CHOQUES / POCAS PARTIDAS	10 HORAS DIA	I	1,0
VIBRAÇÕES	10 HORAS DIA	II	1,5
SEM CHOQUES/POUCAS PARTIDAS	24 HORAS DIA	II	1,5
CHOQUES FORTES/MUITAS PARTIDAS	10 HORAS DIA	III	2,0
VIBRAÇÕES	24 HORAS DIA	III	2,0

15.Exemplos de cálculos de aplicações de redutores de velocidade

**RESISTENCIA AO MOVIMENTO OU
DESLOCAMENTO HORIZONTAL**



COEFICIENTE DE ATRITO: $\mu = F_G / P$

VALORES INDICADOS PARA μ

	MATERIAL	CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE	μ_0	μ
1	aço ou inox / aço ou bronze	lubrificação estática lubrificação a pressão	0,11	0,1 0,05
2	bronze / bronze	superfície seca	0,45	0,2
3	material emborrachado / ferro concreto concreto	superfície seca	0,8	0,2
		superfície seca		0,6
		superfície húmida		0,3
4	ferro / ferro	lubrificado, seco ou húmido	0,4	0,2
5	couro ou papel / aço	seco	0,65	0,25

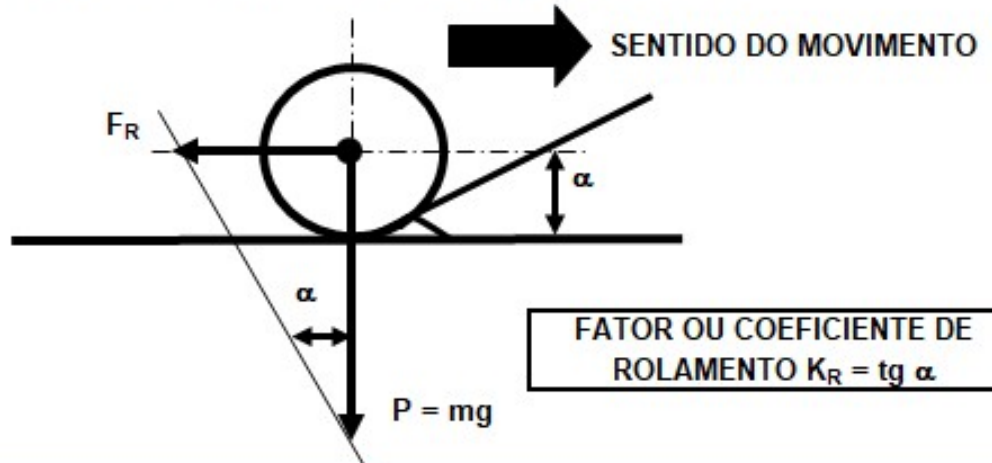
μ_0 COEFICIENTE DE ATRITO DE PARTIDA

μ COEFICIENTE DE ATRITO EM MARCHA

OS VALORES DOS COEFICIENTES DE ATRITO SÃO VALORES MÉDIOS, VÁLIDOS PARA SUPERFÍCIES LISAS

OS VALORES DOS COEFICIENTES DE ATRITO SÃO OBTIDOS POR EXPERIÊNCIA

RESISTENCIA AO MOVIMENTO OU DESLOCAMENTO HORIZONTAL



FATOR OU COEFICIENTE DE ROLAMENTO K_R CONFORME FEM - FEDERAÇÃO EUROPEIA DE MANUTENÇÃO

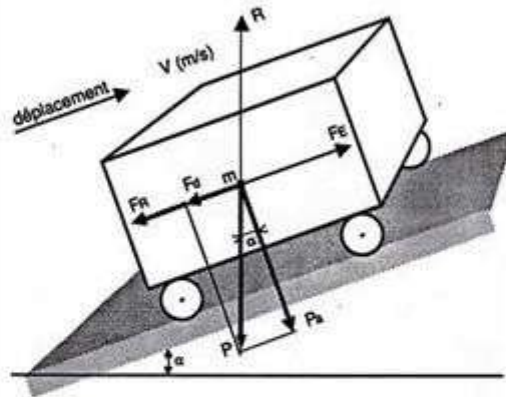
DIAMETRO DA PISTA DE ROLAMENTO [mm]	ROLAMENTO AÇO / AÇO	ROLAMENTO POLIURETANO /	ROLAMENTO BORRACHA / CIMENTO
	kg / T	kg / T	kg / T
100	14	84	98
125	13	78	91
160	12	72	84
200	10	60	70
250	9	54	63
315	8	48	56
400	7	42	49
500	6	36	42
630		36	42

EXEMPLO: CARGA 10 T (TONELADAS) - RODA Ø 400 MM AÇO / PISTA AÇO

$$F_R = 10 \text{ T} \times 7 = 70 \text{ kg}$$

OS VALORES ACIMA PODEM SER AUMENTADOS EM FUNÇÃO DO AMBIENTE: FUNDIÇÃO,
PROCESSADORES DE PRODUTOS EM PÓ, SIDERURGICAS, ETC.

RESISTENCIA AO MOVIMENTO OU DESLOCAMENTO INCLINADO



FORÇA RESULTANTE DA FORÇA PESO NO SENTIDO DA INCLINAÇÃO: $F_d = m \cdot g \cdot \sin \alpha$

FORÇA DE RESISTÊNCIA AO ROLAMENTO: $F_R = m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot K_R$

FORÇA DE ATRITO: $F_G = m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \mu \cdot A$

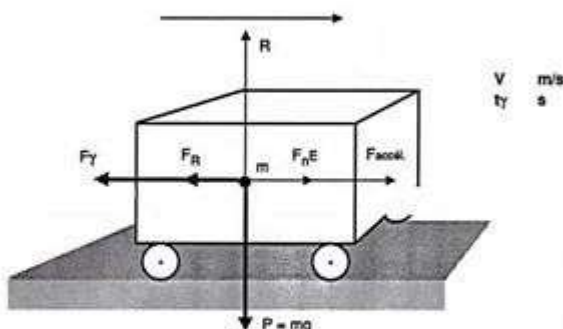
$A = [\text{N}^\circ \text{ RODAS MOTORAS}] / [\text{N}^\circ \text{ TOTAL DE RODAS}]$

FORÇA NECESSÁRIA PARA DESLOCAR O CORPO: $F_E \geq F_d + F_R$

RESISTENCIA AO MOVIMENTO OU DESLOCAMENTO HORIZONTAL

ACELERAÇÃO

DESACELERAÇÃO



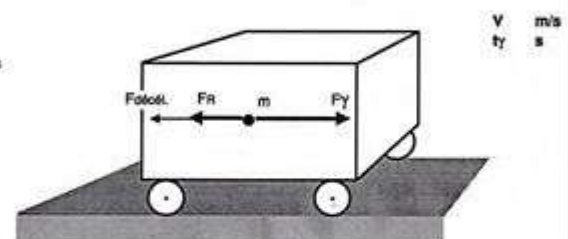
ACELERAÇÃO: $\gamma = V / t_\gamma [m / s^2]$

FORÇA DE RESISTÊNCIA À ACELERAÇÃO

$$F_\gamma = m \gamma$$

FORÇA DE ACELERAÇÃO

$$F_{ACEL} \geq F_\gamma$$



DESACELERAÇÃO

$$\text{desac} = \gamma = V / t_\gamma$$

FORÇA DE DESACELERAÇÃO

$$F_{DECEL} = F_\gamma - F_R$$

RESISTENCIA AO MOVIMENTO OU DESLOCAMENTO HORIZONTAL							
ACELERAÇÃO γ							
PONTES ROLANTES E PÓRTICOS - CONFORME FEM							
VELOCIDADE A ALCANÇAR		(A)		(B)		(C)	
[m/s]	[m/min]	VELOCIDADE LENTA OU VELOCIDADE MÉDIA COM CURSO LONGO		VELOCIDADE MÉDIA E RÁPIDA (APLICAÇÕES CORRENTES)		VELOCIDADE RÁPIDA COM FORTES ACELERAÇÕES	
		t [seg]	a [m/s ²]	t [seg]	a [m/s ²]	t [seg]	a [m/s ²]
4,00	240			8,0	0,50	6,0	0,67
3,15	189			7,1	0,44	5,4	0,58
2,50	150			6,3	0,39	4,8	0,52
2,00	120	9,1	0,220	5,6	0,35	4,2	0,47
1,60	96	8,3	0,190	5,0	0,32	3,7	0,43
1,00	60	6,6	0,150	4,0	0,25	3,0	0,33
0,63	37,8	5,2	0,120	3,2	0,19		
0,40	24,0	4,1	0,098	2,5	0,16		
0,25	15,0	3,2	0,078				
0,16	9,6	2,5	0,064				