



CESTARI

REDUTORES



**MANUAL DE
FÓRMULAS
TÉCNICAS**

www.wegcestari.com

SÍMBOLOS.....	3
UNIDADES.....	4-9
ÁREAS.....	10-12
VOLUMES.....	13-16
ESTÁTICA.....	17-30
Noções.....	17
Composição de forças.....	18-19
Equilíbrio.....	20
Sistemas triangulados.....	21-22
Centro de gravidade.....	23-24
Atrito.....	25-29
Polias.....	30
DINÂMICA.....	31-34
Noções.....	31
Massa, momento de inércia de massa.....	32
Momento de inércia de massa.....	33
Rotação.....	34
RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS.....	35-45
Noções.....	35
Tração e compressão.....	36
Flexão.....	37
Viga.....	38-39

Cisalhamento	40
Torção	41
Flambagem	42
Composição de tensões	43-45
TABELAS.....	46-48
Resistência dos materiais	46-47
Coeficiente de atrito	48
ACIONAMENTOS	
Potências exigidas por diversas aplicações	49

MECÂNICA

m	massa
ρ	densidade
v	volume específico
p	impulso
J	momento de inércia
F	força
G	peso (próprio)
M	momento
M_R	momento de atrito
p	pressão (força dividida por área)
σ	tensão normal de tração ou de compressão
τ	tensão tangencial ou de cisalhamento
ε	estriamento específico
γ	escorregamento
E	módulo de elasticidade
G	módulo transversal
I	momento de inércia de área
W	momento resistente
H	momento estático de superfície
μ	coeficiente de atrito de escorregamento
μ^o	coeficiente de atrito de aderência
μ^q	coeficiente de atrito de rolamento

μ_l	coeficiente de atrito longitudinal
η_l	viscosidade dinâmica
v	viscosidade estática
W	trabalho
P	potência
η	rendimento

ESPAÇO E TEMPO

$\alpha, \beta, \chi, \dots$	ângulos
Ω	ângulo sólido
l	comprimento
b	largura
h	altura
r, R	raio, raio vetor
d, D	diâmetro
s	espaço percorrido
s	espessura
u, U	circunferência
A	área, seção
A_m	área lateral de um corpo
A_o	área exterior de um corpo
V	volume
t	tempo
ω	velocidade angular
α	aceleração angular
v	velocidade
α	aceleração
g	aceleração da gravidade

GRANDEZAS E UNIDADES DE BASE DO SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

grandeza de base		unidades de base	
nome	símbolo	nome	símbolo
comprimento	l	metro	m
massa	m	quilograma	kg
tempo	t	segundo	s
corrente elétrica	I	ampère	A
temperatura absoluta	T	kelvin	K
intensidade luminosa	I_v	candela	cd
nº de moles	n	mol	mol

PREFIXOS E SEUS SÍMBOLOS

da = deca = 10^1	c = centi = 10^{-2}
h = hecto = 10^2	m = mili = 10^{-3}
k = quilo = 10^3	μ = micro = 10^{-6}
M = mega = 10^6	n = nano = 10^{-9}
G = giga = 10^9	p = pico = 10^{-12}
T = tera = 10^{12}	f = femto = 10^{-15}
d = deci = 10^{-1}	a = atto = 10^{-18}

UNIDADES DE COMPRIMENTO

	m	μm	mm	cm	dm	km
1 m =	1	10^6	10^3	10^2	10	10^{-3}
1 μm =	10^{-6}	1	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-9}
1 mm =	10^{-3}	10^3	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-6}
1 cm =	10^{-2}	10^4	10	1	10^{-1}	10^{-5}
1 dm =	10^{-1}	10^5	10^2	10	1	10^{-4}
1 km =	10^3	10^9	10^6	10^5	10^4	1

	mm	μm	nm	Å	pm	mÅ
1 mm =	1	10^3	10^6	10^7	10^9	10^{10}
1 μm =	10^{-3}	1	10^3	10^4	10^6	10^7
1 nm =	10^{-6}	10^{-3}	1	10	10^3	10^4
1 Å =	10^{-7}	10^{-4}	10	1	10^2	10^3
1 pm =	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	1	10
1 mÅ =	10^{-10}	10^{-7}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-1}	1

UNIDADES DE ÁREA

	m ²	μm^2	mm ²	cm ²	dm ²	km ²
1 m ² =	1	10^{12}	10^6	10^4	10^2	10^{-6}
1 μm^2 =	10^{-12}	1	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-18}
1 mm ² =	10^{-6}	10^6	1	10^{-2}	10^{-4}	10^{-12}
1 cm ² =	10^{-4}	10^8	10^2	1	10^{-2}	10^{-10}
1 dm ² =	10^{-2}	10^{10}	10^4	10^2	1	10^{-8}
1 km ² =	10^6	10^{18}	10^{12}	10^{10}	10^8	1

UNIDADES DE VOLUME

	m ³	mm ³	cm ³	dm ³	km ³
1 m ³ =	1	10^9	10^6	10^3	10^9
1 mm ³ =	10^{-9}	1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-18}
1 cm ³ =	10^{-6}	10^3	1	10^{-3}	10^{-15}
1 dm ³ = 1litro	10^{-3}	10^6	10^3	1	10^{-12}
1 km ³ =	10^9	10^{18}	10^{15}	10^{12}	1

UNIDADES DE MASSA

	kg	mg	g	dt	t = Mg
1 kg =	1	10^6	10^3	10^{-2}	10^{-3}
1 mg =	10^{-6}	1	10^{-3}	10^{-8}	10^{-9}
1 g =	10^{-3}	10^3	1	10^{-5}	10^{-6}
1 dt =	10^2	10^8	10^5	1	10^{-1}
1 t = 1 Mg	10^3	10^9	10^6	10	1

UNIDADES DE TEMPO

	s	ns	μ s	ms	min
1 s =	1	10^9	10^6	10^3	$16,66 \cdot 10^{-3}$
1 ns =	10^{-9}	1	10^{-3}	10^{-6}	$16,66 \cdot 10^{-12}$
1 μ s =	10^{-6}	10^3	1	10^{-3}	$16,66 \cdot 10^{-9}$
1 ms =	10^{-3}	10^6	10^3	1	$16,66 \cdot 10^{-6}$
1 min =	60	$60 \cdot 10^9$	$60 \cdot 10^6$	$60 \cdot 10^3$	1

UNIDADES DE FORÇA (PESO)

	N	kN	MN	kp	dina
1 N =	1	10^{-3}	10^{-6}	0,102	10^5
1 kN =	10^3	1	10^{-3}	$0,102 \cdot 10^3$	10^8
1 MN =	10^6	10^3	1	$0,102 \cdot 10^6$	10^{11}
1 kp =	9,81	$9,81 \cdot 10^{-3}$	$9,81 \cdot 10^{-6}$	1	$9,81 \cdot 10^5$
1 dina =	10^{-5}	10^{-8}	10^{-11}	$0,102 \cdot 10^{-5}$	1

UNIDADES DE PRESSÃO

	Pa	N / mm ²	bar	kp / cm ²	Torr ²⁾
1Pa = 1N/m ²	1	10^{-6}	10^{-5}	$1,02 \cdot 10^{-5}$	0,0075
1 N/mm ²	10^6	1	10	10,2	$7,5 \cdot 10^3$
1 bar	10^5	0,1	1	1,02	750
1kp/cm ² =1at	98100	$9,81 \cdot 10^{-2}$	0,981	1	736
1Torr =	133	$0,133 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	1

1) 1 N = 1 kg m / s / 2) 1 Torr = 1/760 atm = 1,33322 mbar = 1 mm Hg

Comparação de unidades anglo-americanas com as métricas

UNIDADES DE TRABALHO (ENERGIA)

	$J^{1)}$	kW h	kp m	kcal	HP h
1 J =	1	$0,278 \cdot 10^{-6}$	0,102	$0,239 \cdot 10^{-3}$	$0,378 \cdot 10^{-6}$
1 kW h =	$3,60 \cdot 10^6$	1	$367 \cdot 10^3$	860	1,36
1 kp m =	9,81	$2,72 \cdot 10^{-6}$	1	$2,345 \cdot 10^{-3}$	$3,70 \cdot 10^{-6}$
1 kcal =	4186	$1,16 \cdot 10^{-3}$	426,9	1	$1,58 \cdot 10^{-3}$
1 HPh =	$2,65 \cdot 10^6$	0,736	$0,27 \cdot 10^6$	632	1

UNIDADES DE POTENCIA

	W ²⁾	kW	kp m/s	kcal/h	HP
1 W =	1	10^{-3}	0,102	0,860	$1,36 \cdot 10^{-3}$
1 kW =	1000	1	102	860	1,36
1 kp m/s =	9,81	$9,81 \cdot 10^{-3}$	1	8,43	$13,3 \cdot 10^{-3}$
1 kcal/h =	1,16	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,119	1	$1,58 \cdot 10^{-3}$
1 HP =	736	0,736	75	632	1

1) 1 J = 1 Nm = 1 Ws

2) 1 W = 1 J/s = 1 Nm/s

Comparação de unidades anglo-americanas com as métricas

UNIDADES DE COMPRIMENTO

	pol	pé	jarda	mm	m	km
1 pol =	1	0,08333	0,02778	25,4	0,0254	--
1 pé =	12	1	0,3333	304,8	0,3048	--
1 jarda =	36	3	1	914,4	0,9144	--
1 mm =	0,03937	$3281 \cdot 10^{-6}$	$1094 \cdot 10^{-6}$	1	0,001	10^{-6}
1 m =	39,37	3,281	1,094	1000	1	0,001
1 km =	39370	3281	1094	10^6	1000	1

Comparação de unidades anglo-americanas com as métricas

UNIDADES DE ÁREA

	pol ²	pé ²	jarda ²	cm ²	dm ²	m ²
1 pol ² =	1	--	--	6,452	0,06452	--
1 pé ² =	144	1	0,1111	929	9,29	0,0929
1 jarda ² =	1296	9	1	8361	83,61	0,8361
1 cm ² =	0,155	--	--	1	0,01	0,0001
1 dm ² =	15,5	0,1076	0,01196	100	1	0,01
1 m ² =	1550	10,76	1,196	10000	100	1

UNIDADES DE VOLUME

	pol ³	pé ³	jarda ³	cm ³	dm ³	m ³
1 pol ³ =	1	--	--	16,39	0,01639	--
1 pé ³ =	1728	1	0,037	28320	28,32	0,0283
1 jarda ³ =	46656	27	1	765400	--	--
1 cm ³ =	0,06102	$3531 \cdot 10^{-6}$	$1,31 \cdot 10^{-6}$	1	0,001	10^{-6}
1 dm ³ =	61,02	0,03531	0,00131	1000	1	0,001
1 m ³ =	61023	3531	130,7	10^6	1000	1

UNIDADES DE MASSA

	dracma	oz	lb	g	kg	Mg
1 dracma	1	0,0625	0,003906	1,772	0,00177	--
1 onça =	16	1	0,0625	28,35	0,02835	--
1 lb =	256	16	1	453,6	0,4536	--
1 g =	0,5644	0,03527	0,002205	1	0,001	10^{-6}
1 kg =	564,4	35,27	2,205	1000	1	0,001
1 Mg =	$564,4 \cdot 10^3$	35270	2205	10^6	1000	1

Comparação de unidades anglo-americanas com as métricas

UNIDADES DE TRABALHO (ENERGIA)

	pé lb	kp m	J	kW h	kcal	Btu
1 pé lb =	1	0,1383	1,356	$367,8 \cdot 10^{-9}$	$324 \cdot 10^{-6}$	$1,286 \cdot 10^{-3}$
1 kp m =	7,233	1	9,807	$2,725 \cdot 10^{-6}$	$2,344 \cdot 10^{-3}$	$9,301 \cdot 10^{-3}$
1 J = 1Ws	0,7376	0,102	1	$277,8 \cdot 10^{-9}$	$239 \cdot 10^{-6}$	$948,4 \cdot 10^{-6}$
1 kW h =	$2,655 \cdot 10^6$	$367,1 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^6$	1	860	3413
1 kcal =	$3,087 \cdot 10^3$	426,9	4187	$1,163 \cdot 10^{-3}$	1	3,968
1 Btu =	778,6	107,6	1055	$293 \cdot 10^{-6}$	0,252	1

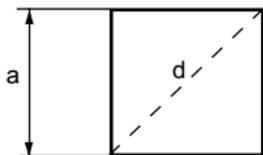
UNIDADES DE POTÊNCIA

	hp	kp m/s	Js	kW	kcal/s	Btu/s
1 hp	1	76,04	745,7	0,7457	0,1782	0,7073
1 kp m/s	$13,15 \cdot 10^{-3}$	1	9,807	$9,807 \cdot 10^{-3}$	$2,344 \cdot 10^{-3}$	$9,296 \cdot 10^{-3}$
1 Js = 1W	$1,341 \cdot 10^{-3}$	0,102	1	10^{-3}	$239 \cdot 10^{-6}$	$948,4 \cdot 10^{-6}$
1 kW	1,341	102	1000	1	0,239	0,9484
1 kcal/s	5,614	426,9	4187	4,187	1	3,968
1 Btu/s	1,415	107,6	1055	1,055	0,252	1

OUTRAS UNIDADES

1 galão americano (US)	=	3,785 dm ³
1 braça (2 varas)	=	2,20 m
1 vara (5 palmos)	=	1,10 m
1 passo geométrico (5 pés)	=	1,65 m
1 Btu / pé ³	=	$9,547 \text{ kcal} / \text{m}^3 = 39964 \text{ Nm} / \text{m}^3$
1 Btu / lb	=	$0,556 \text{ kcal} / \text{kg} = 2327 \text{ Nm} / \text{kg}$
1 lb / pé ²	=	$4,882 \text{ kp} / \text{m}^2 = 47,8924 \text{ N} / \text{m}^2$
1 lb / pol ² (= 1 psi)	=	$0,0703 \text{ kp} / \text{cm}^2 = 0,6896 \text{ N} / \text{cm}^2$

QUADRADO

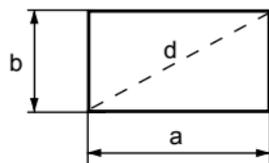


$$A = a^2$$

$$a = \sqrt{A}$$

$$d = a\sqrt{2}$$

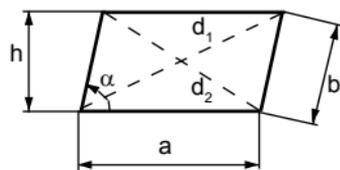
RETÂNGULO



$$A = ab$$

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

PARALELOGRAMA

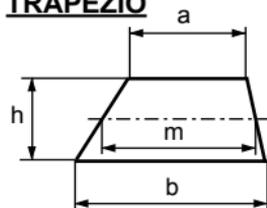


$$A = ah = ab \operatorname{sen} \alpha$$

$$d_1 = \sqrt{(a + h \cot \alpha)^2 + h^2}$$

$$d_2 = \sqrt{(a - h \cot \alpha)^2 + h^2}$$

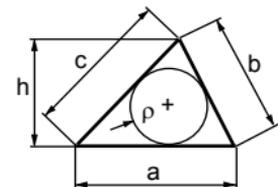
TRAPÉZIO



$$A = \frac{a+b}{2} h = mh$$

$$m = \frac{a+b}{2}$$

TRIÂNGULO

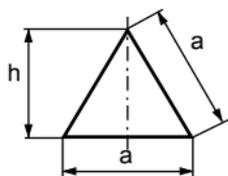


$$A = \frac{ah}{2} = \rho s$$

$$= \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$$

$$s = \frac{a+b+c}{2}$$

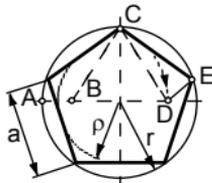
TRIÂNGULO EQUILÁTERO



$$A = \frac{a^2}{4} \sqrt{3}$$

$$h = \frac{a}{2} \sqrt{3}$$

PENTÁGONO REGULAR



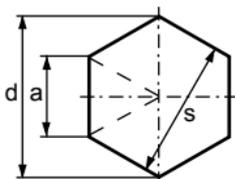
$$A = \frac{5}{8} r^2 \sqrt{10 + 2\sqrt{5}}$$

$$a = \frac{1}{2} r \sqrt{10 - 2\sqrt{5}}$$

$$\rho = \frac{1}{4} r \sqrt{6 + 2\sqrt{5}}$$

Construção: $\overline{AB} = 0,5 r$, $\overline{BC} = \overline{BD}$, $\overline{CD} = \overline{CE}$

HEXÁGONO REGULAR



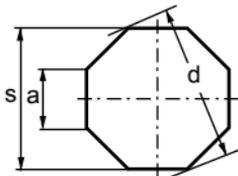
$$A = \frac{3}{2} a^2 \sqrt{3}$$

$$d = 2 a$$

$$= \frac{2}{\sqrt{3}} s \approx 1,155 s$$

$$s = \frac{\sqrt{3}}{2} d \approx 0,866 d$$

OCTÓGONO REGULAR



$$A = 2 a s = 0,83 s^2$$

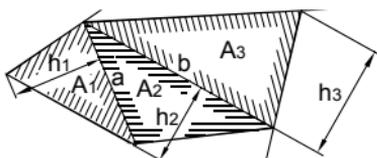
$$= 2 s \sqrt{d^2 - s^2}$$

$$a = s \cdot \tan 22,5^\circ \sim 0,415 s$$

$$s = d \cdot \cos 22,5^\circ \sim 0,924 d$$

$$d = \frac{s}{\cos 22,5^\circ} \sim 1,083 s$$

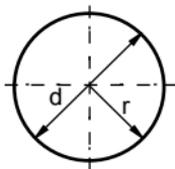
POLÍGONO QUALQUER



$$A = A_1 + A_2 + A_3$$

$$= \frac{a h_1 + b h_2 + c h_3}{2}$$

CÍRCULO

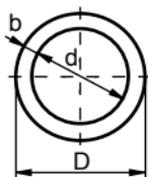


$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = \pi r^2$$

$$\approx 0,785 d^2$$

$$U = 2 \pi r = \pi d$$

COROA CIRCULAR

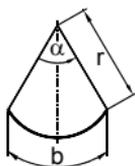


$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

$$= \pi (d + b) b$$

$$b = \frac{D - d}{2}$$

SETOR CIRCULAR



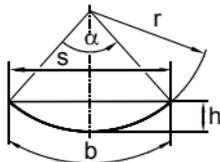
$$A = \frac{\pi}{360^\circ} r^2 \alpha = \frac{\hat{\alpha}}{2} r^2$$

$$= \frac{b r}{2}$$

$$b = \frac{\pi}{180^\circ} r \alpha$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\pi}{180^\circ} \alpha \quad (\hat{\alpha} = \alpha \text{ em radianos})$$

SEGMENTO CIRCULAR



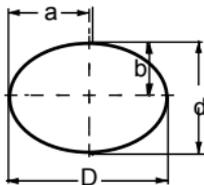
$$s = 2 r \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}$$

$$A = \frac{h}{6 s} (3h^2 + s^2) = \frac{r^2}{2} (\hat{\alpha} - \operatorname{sen} \alpha)$$

$$r = \frac{h}{2} + \frac{s^2}{8 h}$$

$$h = r (1 - \cos \frac{\alpha}{2}) = \frac{s}{2} \tan \frac{\alpha}{4}$$

ELIPSE

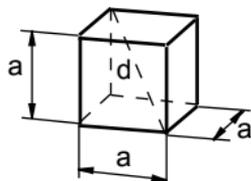


$$A = \frac{\pi}{4} D d = \pi a b$$

$$U \approx \pi \frac{D + d}{2}$$

$$= \pi (a + b) \left[1 + \frac{1}{4} \lambda^2 + \frac{1}{64} \lambda^4 + \frac{1}{256} \lambda^6 + \frac{25}{16384} \lambda^8 + \dots \right], \text{ onde } \lambda = \frac{a - b}{a + b}$$

CUBO

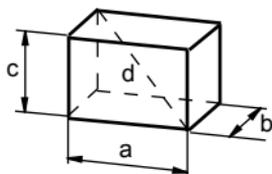


$$V = a^3$$

$$A_0 = 6 a^2$$

$$d = \sqrt{3} a$$

PARALELEPÍPEDO

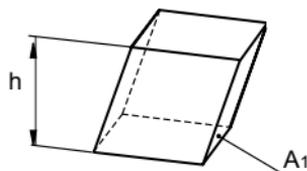


$$V = a b c$$

$$A_0 = 2 (ab + ac + bc)$$

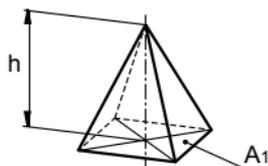
$$d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

PARALELEPÍPEDO OBLÍQUO



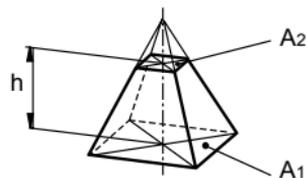
$$V = A_1 h$$

PIRÂMIDE



$$V = \frac{A_1 h}{3}$$

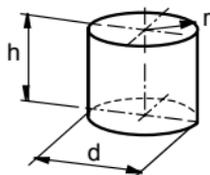
TRONCO DE PIRÂMIDE



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

$$\sim h \frac{A_1 + A_2}{2}$$

CILINDRO

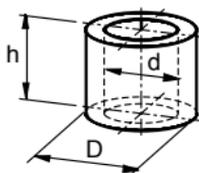


$$V = \frac{\pi}{4} d^2 h$$

$$A_m = 2 \pi r h$$

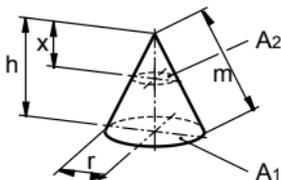
$$A_o = 2 \pi r (r + h)$$

CASCA CILÍNDRICA



$$V = \frac{\pi}{4} h (D^2 - d^2)$$

CONE



$$V = \frac{\pi}{3} r^2 h$$

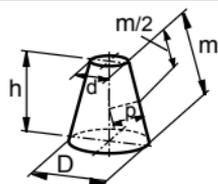
$$A_m = \pi r m$$

$$A_o = \pi r (r + m)$$

$$m = \sqrt{h^2 + r^2}$$

$$A_2 : A_1 = x^2 : h^2$$

TRONCO DE CONE

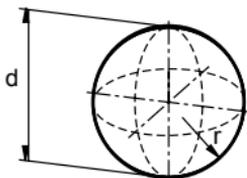


$$V = \frac{\pi}{12} h (D^2 + Dd + d^2)$$

$$A_m = \frac{\pi}{2} m (D + d) = 2 \pi p h$$

$$m = \sqrt{\frac{(D - d)^2}{4} + h^2}$$

ESFERA

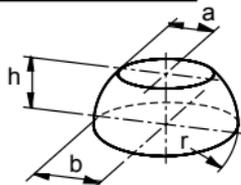


$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{1}{6} \pi d^3$$

$$\approx 4,189 r^3$$

$$A_o = 4 \pi r^2 = \pi d^2$$

ZONA ESFÉRICA

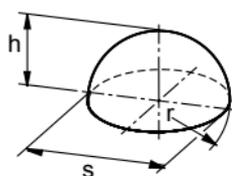


$$V = \frac{\pi}{6} h (3a^2 + 3b^2 + h^2)$$

$$A_m = 2\pi r h$$

$$A_o = \pi (2rh + a^2 + b^2)$$

CALOTA ESFÉRICA



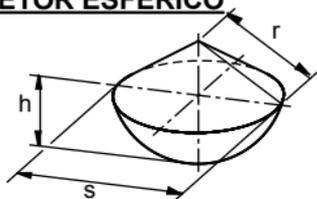
$$V = \frac{\pi}{6} h \left(\frac{3}{4} s^2 + h^2 \right)$$

$$= \pi h^2 \left(r - \frac{h}{3} \right)$$

$$A_m = 2\pi r h$$

$$= \frac{\pi}{4} (s^2 + 4h^2)$$

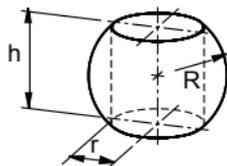
SETOR ESFÉRICO



$$V = \frac{2}{3} \pi r^2 h$$

$$A_o = \frac{\pi}{2} r (4h + s)$$

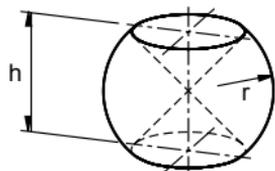
ESFERA SECCIONADA POR UM CILINDRO



$$V = \frac{\pi}{6} h^3$$

$$A_o = 2\pi h (R + r)$$

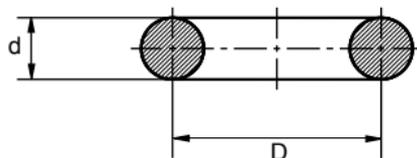
ESFERA SECCIONADA POR UM CONE



$$V = \frac{2}{3} \pi r^2 h$$

$$A_o = 2\pi r \left(h + \sqrt{r^2 - \frac{h^2}{4}} \right)$$

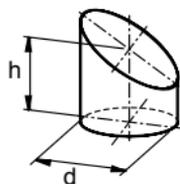
ANEL CIRCULAR OU TORÓIDE



$$V = \frac{\pi^2}{4} D d^2$$

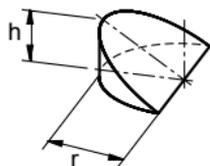
$$A_o = \pi^2 D d$$

TRONCO DE CILINDRO



$$V = \frac{\pi}{4} d^2 h$$

SEGMENTO DE CILINDRO

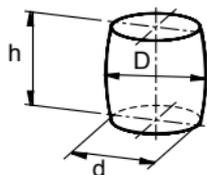


$$V = \frac{2}{3} r^2 h$$

$$A_m = 2 r h$$

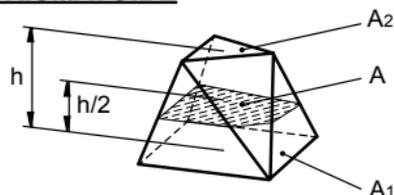
$$A_o = A_m + \frac{\pi}{2} r^2 + \frac{\pi}{2} r \sqrt{r^2 + h^2}$$

BARRIL



$$V \sim \frac{\pi}{12} h (2D + d^2)$$

PRISMATÓIDE



$$V = \frac{h}{6} (A_1 + A_2 + 4A)$$

Os volumes das páginas 13-16 podem ser calculados por esta fórmula, bem como a esfera e suas pares.

GENERALIDADES

A estática foca as forças externas e as condições de equilíbrio dos corpos sólidos e determina as forças desconhecidas, ex. as forças de apoio. Aqui são abordadas as forças agindo no plano.

AS GRANDEZAS IMPORTANTES DA ESTÁTICA

Comprimento l:

É uma grandeza básica.

Força F:

(ver explicação página 31)

Representada por um vetor.

Comprimento: grandeza ou valor

Direção: ângulo

Ponto de aplicação P: posição



Peso G:

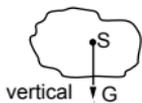
Definição: atração terrestre

Ponto de aplicação: centro de gravidade S

Linha de ação: vertical do lugar

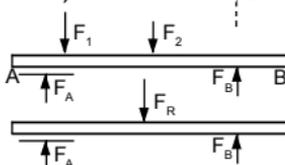
Sentido: para baixo (em direção ao centro da terra)

Grandeza: determinação com a balança



FORÇA DE APOIO F_A

Força de reação exercida em A sobre o corpo.

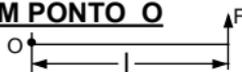


FORÇA RESULTANTE F_R

Força calculada de mesma ação que as forças dadas.

MOMENTO M DE UMA FORÇA EM TORNO DE UM PONTO O

Momento $M = F l$



BRAÇO DE ALAVANCA DE UMA FORÇA F EM TORNO DE UM PONTO O

O braço de alavanca l é a distância de O à linha de ação de F. F' e F'' são 2 forças em equilíbrio. O momento pode ser representado por um vetor. $F' = F$; $F'' = -F'$

Momento do par de forças: $M = F l$



TEOREMA DOS MOMENTOS

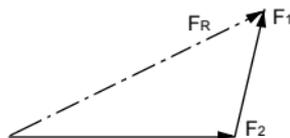
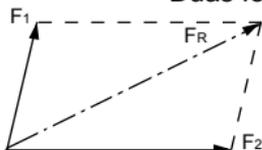
O momento da resultante é igual à soma dos momentos das forças externas.

COMPOSIÇÃO DE FORÇAS: GRÁFICOS

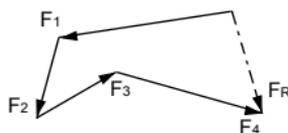
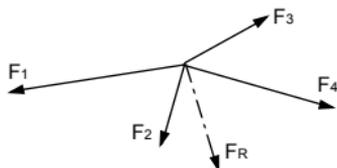
Desenho das forças

Polígono de forças

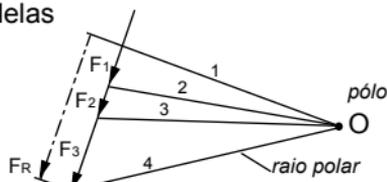
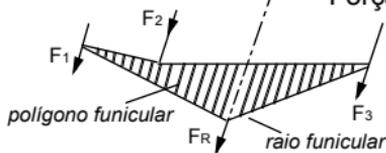
Duas forças concorrentes



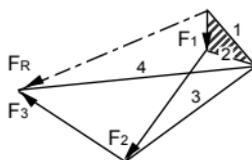
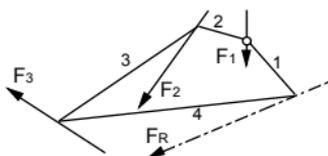
Várias forças concorrentes com pontos de aplicação comuns



Forças paralelas



Várias forças com pontos de aplicação quais quer



CONSTRUÇÃO DO POLÍGONO FUNICULAR

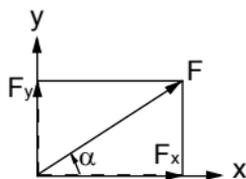
Desenhar o polígono das forças, escolher o pólo O para os raios funiculares se cortem no limite do desenho e desenhar os raios polares. Construir o polígono funicular cujos raios funiculares sejam paralelos aos raios polares. A cada triângulo do polígono das forças corresponde um ponto de intersecção no polígono funicular. Ex. ao triângulo F_1 1-2 corresponde o ponto de intersecção F_1 1-2 do polígono funicular.

COMPOSIÇÃO ANALÍTICA DE FORÇAS

DECOMPOSIÇÃO DE UMA FORÇA

$$F_x = F \cdot \cos \alpha \quad F_y = F \cdot \sin \alpha$$

$$F = +\sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad \tan \alpha = \frac{F_y}{F_x}$$

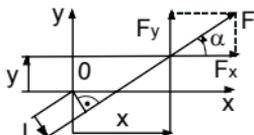


Os sinais das funções trigonométricas de α são dadas na tabela abaixo.

MOMENTO M_o DE UMA FORÇA EM RELAÇÃO A UM PONTO O

$$M_o = +F \cdot l = F_y x - F_x y$$

Determinação de F_x e F_y segundo página 24.



RESULTANTE F_R DE QUAISQUER FORÇAS DADAS

Componentes: $F_{R_x} = \Sigma F_x \quad F_{R_y} = \Sigma F_y$

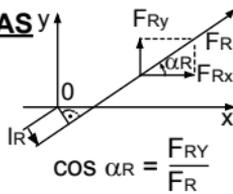
Resultante: $F_R = +\sqrt{F_{R_x}^2 + F_{R_y}^2}$

Triângulo $\tan \alpha_R = \frac{F_{R_y}}{F_{R_x}} \quad \sin \alpha_R = \frac{F_{R_y}}{F_R}$

Retângulo α_R : $\cos \alpha_R = \frac{F_{R_x}}{F_R}$

Braço de alavanca: $l_R = \frac{|\Sigma M_o|}{|F_R|}$

Sinal de $F_R \cdot l_R = \text{sinal de } \Sigma M_o$



Sinais das funções trigonométricas em $x, y; F_x, F_y; F_{R_x}, F_{R_y}$

Quadrante	α, α_R	$\cos \alpha$	$\sin \alpha$	$\tan \alpha$	x, F_x, F_{R_x}	y, F_y, F_{R_y}
I	$0 \dots 90^\circ$	+	+	+	+	+
II	$90 \dots 180^\circ$	-	+	-	-	+
III	$180 \dots 270^\circ$	-	-	+	-	-
IV	$270 \dots 360^\circ$	+	-	-	+	-

F_x, F_y : Componentes de F nas direções de x e y

F_{R_x}, F_{R_y} : Componentes de F_R nas direções x e y

x, y : Coordenadas de F

α, α_R : Ângulo de F ou de F_R

l, l_R : Distância de F ou F_R do ponto de referência

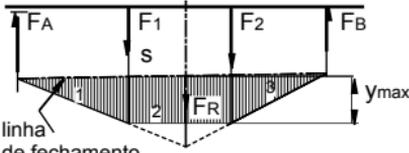
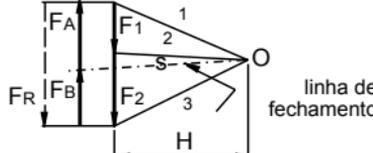
CONDIÇÕES DE EQUILÍBRIO

Um corpo está em equilíbrio se a resultante e a soma dos momentos de todas as forças exteriores em relação a um ponto qualquer são nulas.

forças	graficamente	analiticamente
concorrentes	polígono de forças fechado	$\Sigma F_x = 0; \Sigma F_y = 0$
paralelas ao eixo y	polígono de forças e polígono funicular fechados	$\Sigma F_y = 0; \Sigma M = 0$
quaisquer		$\Sigma F_x = 0; \Sigma F_y = 0$ $\Sigma M = 0$

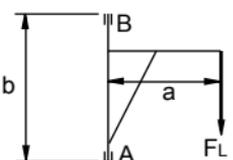
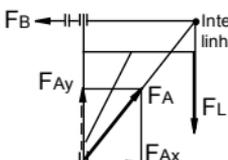
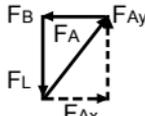
EXEMPLOS DE CORPOS EM EQUILÍBRIO

Vigas sobre 2 apoios: Procura-se: forças de apoio F_A, F_B

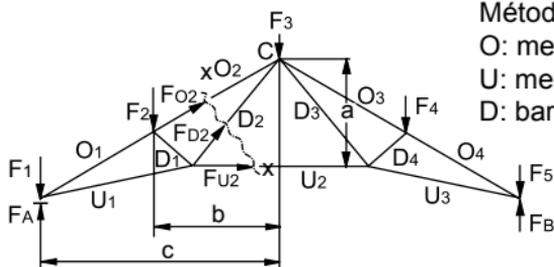
Dados	Solução
 <p>linha de fechamento</p>	 <p>linha de fechamento</p>

$M_{B \text{ MAX}} = k_M \cdot Y_{\text{MAX}}$ (Momento de flexão máximo)	Nm, kgf.m
$k_M = k_F \cdot k_L \cdot H$ (escala dos momentos)	Nm/m, kgf.m/mm
$k_F =$ escala de forças	N/m, kgf/mm
$k_L =$ escala de comprimentos	m/m, m/mm
$H =$ distância polar	m, cm, mm
$FR =$ resultante	N, kgf

Grua de parede - 3 forças (sem atrito): Procura-se: F_A, F_B

Dados	Solução
	 <p>Intersecção das 3 linhas de ação</p>  <p>$F_{Ax} = F_B = \frac{a}{b} F_L; F_{Ay} = F_L$</p>

CÁLCULO DAS FORÇAS NAS BARRAS



Método de Ritter
O: membros superiores
U: membros inferiores
D: barras diagonais

Determinar as forças de apoio conforme p.19 (viga sobre 2 apoios) e efetuar um corte que passe por três barras desconhecidas. Admite-se que todas as barras sejam solicitadas à tração; assim, as barras submetidas à tração são positivas e as submetidas à compressão são negativas.

Calcular a soma dos momentos das forças exteriores e nas barras em relação ao ponto de intersecção de duas forças desconhecidas. Assim, o momento destas forças é nulo.

REGRAS PARA O SINAL DOS MOMENTOS

Momentos em sentido antihorário: positivos

Momentos em sentido horário: negativos

EXEMPLOS EM RELAÇÃO À TRELIÇA ACIMA

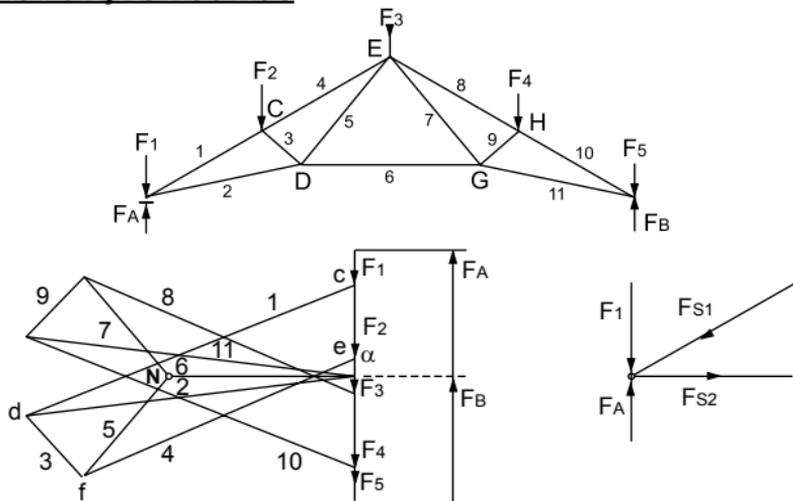
Problema: valor da força \$F_{U2}\$ na barra \$U_2\$

Solução:

Corte \$X...X\$ pelas barras \$O_2 - D_2 - U_2\$. Escolhe-se C, ponto de intersecção das barras \$O_2 - D_2\$ como ponto de referência para cálculo dos momentos. Assim, os momentos das forças das barras \$O_2\$ e \$D_2\$ são nulos.

$$\begin{aligned}
 \text{Calcular} \quad \Sigma M_C &= 0 \\
 + a \cdot F_{U2} + b \cdot F_2 - c(F_A - F_1) &= 0 \\
 F_{U2} &= \frac{-b \cdot F_2 + c(F_A - F_1)}{a}
 \end{aligned}$$

DETERMINAÇÃO GRÁFICA DAS FORÇAS NOS NÓS



HIPÓTESE

Uma barra vai de um nó a outro. As forças exteriores agem unicamente nos nós.

MÉTODO DE TRABALHO

Escolher a escala das forças. Determinar as forças de apoio. Começar pelo nó A onde duas forças são desconhecidas. Utilizar o mesmo sentido de rotação para todos os nós (ex. $F_A - F_1 - F_{S1} - F_{S2}$).

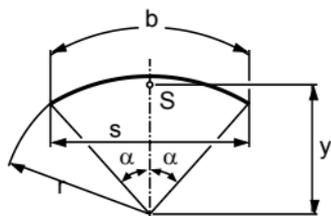
Nó A: polígono de forças a - b - c - d - a
Indicar em um croqui ou uma tabela, se há tração ou compressão nas barras.

Nó C: polígono d - c - e - f - d, etc.

CONTROLE

As forças agem em um nó do sistema triangulado, formando um polígono no plano de Cremona.

As forças passam por um ponto do plano de Cremona, formando um triângulo no sistema triangulado.



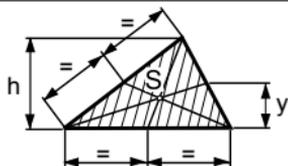
ARCO DE CÍRCULO

$$y = \frac{r \cdot \text{sen } \alpha \cdot 180^\circ}{\pi \cdot \alpha} = \frac{r \cdot s}{b}$$

$$y = 0,6366 \cdot r \quad 2\alpha = 180^\circ$$

$$y = 0,9003 \cdot r \quad 2\alpha = 90^\circ$$

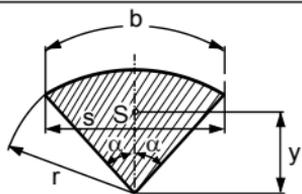
$$y = 0,9549 \cdot r \quad 2\alpha = 60^\circ$$



TRIÂNGULO

$$y = \frac{1}{3} h$$

S está no ponto de intersecção das medianas.



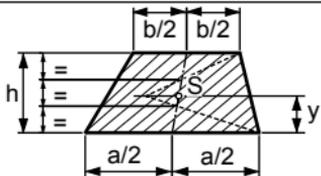
SETOR CIRCULAR

$$y = \frac{2r \cdot \text{sen } \alpha \cdot 180^\circ}{3 \cdot \pi \cdot \alpha} = \frac{2r \cdot s}{3b}$$

$$y = 0,4244 \cdot r \quad 2\alpha = 180^\circ$$

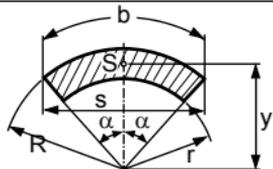
$$y = 0,6002 \cdot r \quad 2\alpha = 90^\circ$$

$$y = 0,6366 \cdot r \quad 2\alpha = 60^\circ$$



TRAPÉZIO

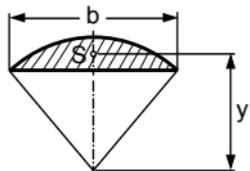
$$y = \frac{h}{3} \cdot \frac{a + 2b}{a + b}$$



SETOR DE COROA CIRCULAR

$$y = \frac{2}{3} \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \cdot \frac{\text{sen } \alpha}{\text{arc } \alpha}$$

$$= \frac{2}{3} \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \cdot \frac{s}{b}$$



SEGMENTO CIRCULAR

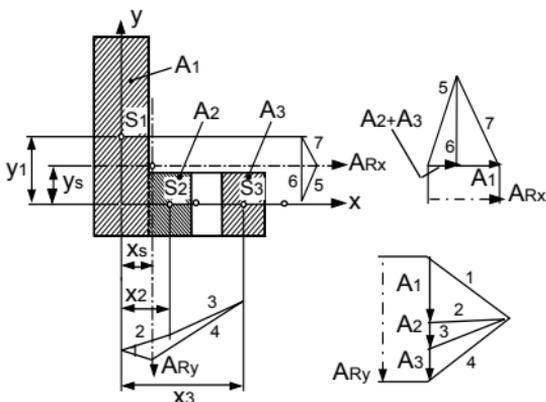
$$y = \frac{s^3}{12A}$$

Superfície A, ver pág. 12

DETERMINAÇÃO DO CENTRO DE GRAVIDADE DE SUPERFÍCIES QUAISQUER

SOLUÇÃO GRÁFICA

Decompor a superfície A em superfícies parciais A_1, A_2, \dots, A_n cujos centros de gravidade sejam conhecidos. Desenhar paralelas aos eixos por estes pontos. As áreas destas superfícies parciais são proporcionais aos pesos agindo nos centros de gravidade. Determinar as linhas de ação das resultantes A_{RX} e A_{RY} para duas posições quaisquer do corpo (em geral duas direções perpendiculares) segundo pág. 18. A intersecção das linhas de ação destas resultantes dá a posição do centro de gravidade S.



SOLUÇÃO ANALÍTICA

Decompor a superfície A em superfícies parciais A_1, A_2, \dots, A_n como abaixo; obtém-se:

Distância	em geral	para o exemplo acima
$x_s =$	$\frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot X_i}{A}$	$\frac{A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + A_3 \cdot x_3}{A}$
$y_s =$	$\frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot Y_i}{A}$	$\frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + A_3 \cdot y_3}{A}$

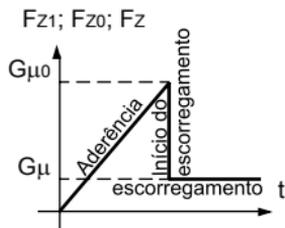
OBS: No exemplo acima, as coordenadas x_1, y_2 e y_3 são nulas.

FORÇA DE TRAÇÃO PARALELA AO PLANO DE ATRITO

Aderência	Início do escorreg.	Atrito do escorreg.
$v = 0$	$v = 0$	$v > 0$
$F_{W1} = -F_{Z1} = G \cdot \tan \rho_1$ $F_N = -G$	$F_{W0} = -F_{Z0} = G \cdot \tan \rho_0$ $F_N = -G$ $\mu_0 = \tan \rho_0 < \mu$ $Q_0 = \text{const.} > \rho$	$F_W = -F_Z = G \cdot \tan \rho$ $F_N = -G$ $\mu = \tan \rho < \mu_0$ $Q = \text{const.} < \rho_0$
$0 < \rho_1 \text{ (variável)} < \rho_0$		

Se F_{Z1} aumenta lentamente, F_{W1} aumenta também mas o corpo ainda não se desloca.

Se F_{Z1} vale: $F_{Z0} = G\mu_0$, o corpo começa a escorregar, A seguir F_Z diminui para $G\mu$. Um aumento da força dá uma aceleração correspondente.

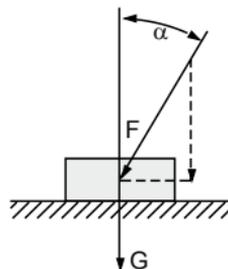


FORÇA DE TRAÇÃO INCLINADA

Força de tração F necessária para pôr em movimento um corpo de peso G .

$$F = G \frac{\mu_0}{\sin \alpha - \mu_0 \cos \alpha} = G \frac{\sin \rho_0}{\sin (\alpha - \rho_0)}$$

Substituir μ_0 por μ para obter a força para deslocar o corpo à velocidade constante. O movimento é impossível se F é negativo.



$F_{W1}, F_{W0}, F_W:$	Força de atrito	$-, \mu_0, \mu:$	coeficientes de atrito
$F_{Z1}, F_{Z0}, F_Z:$	Força de tração	$\rho_1, \rho_0, \rho:$	ângulos de atrito

PLANO INCLINADO

GENERALIDADES

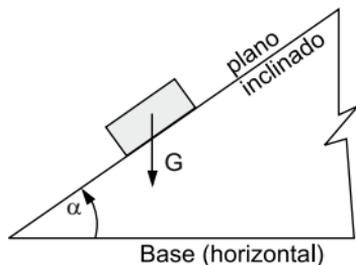
O ângulo α para o qual um corpo desliza à velocidade constante é igual ao ângulo de atrito ρ .

$$\tan \alpha = \tan \rho = \mu$$

Método utilizado para determinar experimentalmente o ângulo de atrito ρ ou o coeficiente de atrito.

$$\mu = \tan \rho$$

Condição de equilíbrio: $\alpha < \rho$



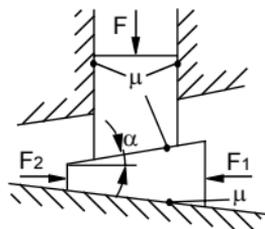
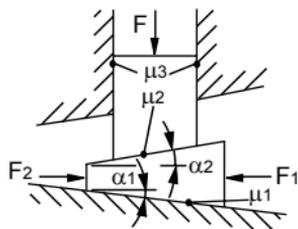
CÁLCULO DAS FORÇAS DE TRACÇÃO

sentido do movimento	Força de tração F para obter uma velocidade constante paralela ao plano inclinado	
		à base
para cima $0 < \alpha < \alpha^*$	$F = G \frac{\text{sen}(\alpha + \rho)}{\cos \rho}$	$F = G \cdot \tan(\alpha + \rho)$
para baixo $0 < \alpha < \rho$	$F = G \frac{\text{sen}(\rho - \alpha)}{\cos \rho}$	$F = G \cdot \tan(\rho - \alpha)$
para baixo $\rho < \alpha < \alpha^*$	$F = G \frac{\text{sen}(\alpha - \rho)}{\cos \rho}$	$F = G \cdot \tan(\alpha - \rho)$

α^* : ângulo de tombamento do corpo

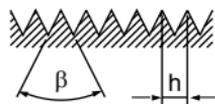
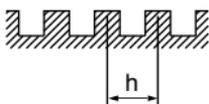
OBS: para o limite repouso, substituir μ por μ_0 e ρ por ρ_0

CUNHAS



Encravamento	$F_1 = F \frac{\tan(\alpha_1 + \rho_1) + \tan(\alpha_2 + \rho_2)}{1 - \tan \rho_3 \cdot \tan(\alpha_2 + \rho_2)}$	$F_1 = F \cdot \tan(\alpha + 2\rho)$
Afrouxamento	$F_1 = F \frac{\tan(\alpha_1 - \rho_1) + \tan(\alpha_2 - \rho_2)}{1 + \tan \rho_3 \cdot \tan(\alpha_2 - \rho_2)}$	$F_2 = F \cdot \tan(\alpha - 2\rho)$
Encunhamento	$\alpha_1 + \alpha_2 \leq \rho_{01} + \rho_{02}$	$\alpha \leq 2\rho_0$

PARAFUSOS



Momento p/parafusar desparaf.	$M_1 = F \cdot r \cdot \tan(\alpha + \rho)$ $M_2 = F \cdot r \cdot \tan(\alpha - \rho)$	$M_1 = F \cdot r \cdot \tan(\alpha + \rho')$ $M_2 = F \cdot r \cdot \tan(\alpha - \rho')$
Condição de travamento p/ o parafuso	$\alpha < \rho$	$\alpha < \rho'$
Rendimento de um parafusar parafuso p/ desparaf.	$\eta = \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha + \rho)}$ $\eta = \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha - \rho)}$	$\eta = \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha + \rho')}$ $\eta = \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha - \rho')}$

M₁: Momento de parafusamento (Nm, kgf.m)

M₂: Momento de desparafusamento (Nm, kgf.m)

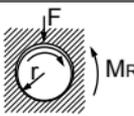
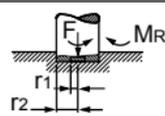
r: Raio efetivo (m, mm)

α : Inclinação do passo: $\tan \alpha = \frac{h}{2 \pi r}$

ρ : Ângulo de atrito: $\tan \rho = \mu$

ρ' : Ângulo de atrito do passo do para fuso: $\tan \rho' = \frac{\mu}{\cos \beta / 2}$

ATRITO DOS MANCAIS

eixos em um cossinete horizontal	atrito de um eixo vertical
	
$M_R = \mu_q \cdot r \cdot F$	$M_R = \mu_L \frac{r_1 + r_2}{2} F$

M_R : Momento de atrito

μ_q : Coeficiente de atrito do eixo

μ_L : Coeficiente de atrito do pino (sem valor fixo)

OBS: μ_q e μ_L se determinam experimentalmente em função de jogo do mancal, do engraxamento e do estado de polimento da superfície. Para superfícies polidas: $\mu_0 \sim \mu_L \sim \mu_q$. Escolher $r_1 > 0$ para o caso de engraxamento.

RESISTÊNCIA AO ROLAMENTO OU ATRITO DE ROLAMENTO

ROLAMENTO DE UM CILINDRO CHEIO

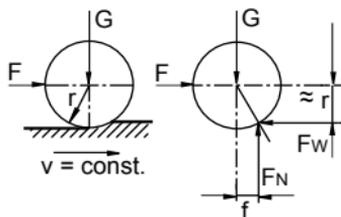
$$F = \frac{f}{r} F_N \approx \frac{f}{r} G$$

CONDIÇÃO DE ROLAMENTO: $F_W < \mu_0 F_N$

F_W : força resistente ao rolamento

f : braço de alavanca da resistência ao rolamento (causado pela deformação da roda e do solo). Veja pág.48.

μ_0 : Coeficiente de aderência entre roda e solo



DESLOCAMENTO DE UMA PLACA SOBRE ROLETES

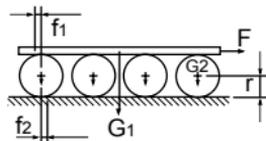
$$F = \frac{(f_1 + f_2) G_1 + n f_2 G_2}{2r}$$

se $f_1 = f_2 = f$ e $n \cdot G_2 < G_1$: $F = \frac{f}{r} G_1$

G_1 ou G_2 : peso da placa de um cilindro

f_1 e f_2 : braço de alavanca da resistência ao rolamento

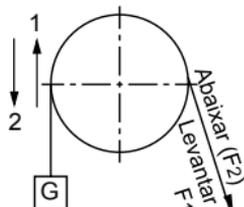
F : força da tração / r : raio de um cilindro / n : número de cilindros



ATRITO DAS CORDAS

Força de tração e de atrito, para levantar

$F_1 = e^{\mu\hat{\alpha}} G$	$F_2 = e^{-\mu\hat{\alpha}} G$
$F_R = (e^{\mu\hat{\alpha}} - 1) G$	$F_R = (1 - e^{-\mu\hat{\alpha}}) G$



Estas fórmulas são válidas se:

O cilindro é fixo e a corda se desloca à velocidade constante, ex. cabeçote de amarração.

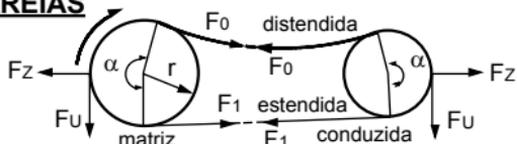
A corda é fixa e o cilindro em movimento, ex. freio de lonas.

CASO DE EQUILÍBRIO $F_2 < F < F_1$ $G e^{\mu\hat{\alpha}} < F < G e^{-\mu\hat{\alpha}}$
(F = força de equilíbrio sem atrito)

ACOPLAMENTO POR CORREIAS

$$F_U = \frac{M_a}{r}$$

$$F_U = F_R$$



Força	em movimento	em repouso
F_0	$F_0 = \frac{F_U}{e^{\mu\hat{\alpha}} - 1}$	$F_0 = F_1 = \frac{F_2 (e^{\mu\hat{\alpha}} + 1)}{2 - e^{\mu\hat{\alpha}} - 1}$
F_1	$F_1 = F_U \frac{e^{\mu\hat{\alpha}}}{e^{\mu\hat{\alpha}} - 1}$	
F_2	$F_2 = F_U \frac{e^{\mu\hat{\alpha}} + 1}{e^{\mu\hat{\alpha}} - 1}$	

F_U : Força circunferencial

F_R : Força de atrito da corda

M_a : Momento de acionamento

$\hat{\alpha}$: ângulo de enrolamento. (Utilizar sempre o menor ângulo de enrolamento)

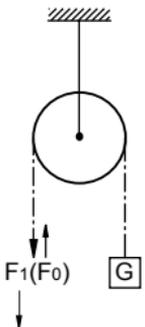
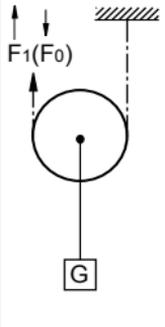
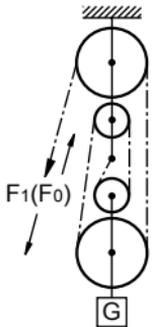
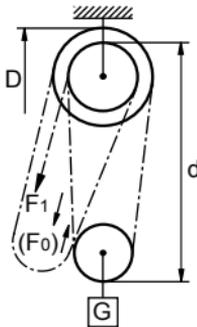
μ : coeficiente de atrito de escorregamento.

v : velocidade da correia

e : 2,718281... (base dos logaritmos naturais)

POLIAS

As fórmulas abaixo levam em consideração a tensão das cordas. O atrito das polias é desprezado.

Incógnita	Polia fixa	Polia móvel	Talhas	
			ordinárias	diferenciais
				
$F_1 =$	$\varepsilon \cdot G$	$\frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon} G$	$\frac{\varepsilon^n (\varepsilon - 1)}{\varepsilon^n - 1} G$	$\frac{\varepsilon^2 \cdot \frac{d}{D}}{\varepsilon + 1} G$
$F_0 =$	$\frac{1}{\varepsilon} G$	$\frac{1}{1 + \varepsilon} G$	$\frac{\frac{1}{\varepsilon^n} (\frac{1}{\varepsilon} - 1)}{\frac{1}{\varepsilon^n} - 1} G$	$\frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon} (\frac{1}{\varepsilon^2} - \frac{d}{D}) G$
$F =$	G	$\frac{1}{2} G$	$\frac{1}{n} G$	$\frac{1}{2} (1 - \frac{d}{D}) G$
$s =$	h	$2 \cdot h$	$n \cdot h$	$\frac{2}{1 - \frac{d}{D}} h$

Relação de transmissão $i = \frac{\text{Força}}{\text{Carga}} = \frac{F}{G} = \frac{h}{s}$

F_1 : Força para levantar a carga sem atrito da polia

F_0 : Força para abaixar a carga sem atrito da polia

F : Força sem tensão das cordas sem atrito da polia

$E = \frac{1}{\eta}$ Coeficiente de perdas por tensão das cordas

η : rendimento

s : percurso da força

n : número de rodas

h : percurso da carga

AS GRANDEZAS MAIS IMPORTANTES DA DINÂMICA E SUAS UNIDADES

MASSA m

Unidades: kg, Mg = ton, g

1 kg é a massa protótipo internacional. A balança de braços mede a massa m em kg, Mg ou toneladas, ou grama.

FORÇA F e Peso G

A força F é o produto da massa m pela aceleração a: $F = m a$

O peso G é o produto da massa m pela aceleração da gravidade:

$$G = m g$$

O dinâmetro e a balança de travessão medem e peso G como a força peso.

Unidades: N, kgf

1 N é a força que comunica a um corpo de massa 1 kg em 1 s uma velocidade de 1 m/s ou uma aceleração de 1 m/s². 1 kgf \approx 9,81 N é o peso de um corpo cuja massa vale 1 kg.

TRABALHO W

O trabalho mecânico é o produto da força F e do espaço percorrido s, se a força constante F age sobre um móvel em direção do espaço percorrido s: $W = F s$

Unidades: Nm = joule = J = Ws, kJ, kgf.m, CVh, kcal

Uma força de 1 N se deslocando sobre um espaço de 1m produz um trabalho de 1 Nm.

POTÊNCIA P

A potência P é o quociente diferencial do trabalho pelo tempo. Se o trabalho cresce ou decresce linearmente, a potência é o quociente do trabalho pelo tempo: $P = W / t$

Unidades: W (Watt), kgf.m.s, CV (cavalo vapor)

1 W é a potência constante se um trabalho de 1J é produzido em 1s.

$$P = 3 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

P: potência elétrica (W)

U : tensão elétrica (V)

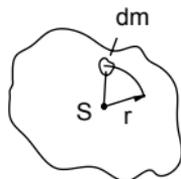
I : corrente elétrica (A)

cos φ : fator de potência

DEFINIÇÃO DE MOMENTO DE INÉRCIA DE MASSA: J

O momento de inércia axial de massa J de um corpo em torno de um eixo é a soma dos produtos dos elementos de massa pelos quadrados de sua distância ao eixo de rotação.

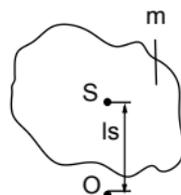
$$J = \sum r^2 \Delta m = \int r^2 dm \quad \text{Nms}^2, \text{ kgf m}^2$$



TEOREMA DE STEINER

Um corpo de massa m e tendo um momento de inércia Js em relação a um eixo S passando pelo centro de gravidade tem um momento de inércia J em relação a um eixo paralelo O à distância ls.

$$J = J_s + m l_s^2 \quad \text{Nms}^2, \text{ kgf m}^2$$



RAIO DE INÉRCIA rj

O raio de inércia rj é o raio de um cilindro de parede delgada de mesma massa m e do mesmo momento de inércia J que o corpo real.

$$m r_j^2 = J \text{ onde } r_j = \sqrt{\frac{J}{m}} \quad \text{m, cm, mm}$$

MOMENTO DE INÉRCIA DE IMPULSO

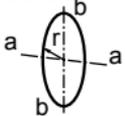
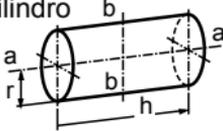
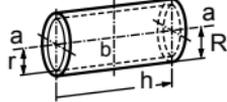
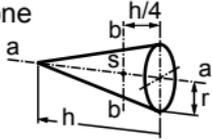
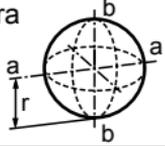
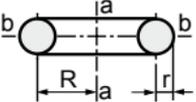
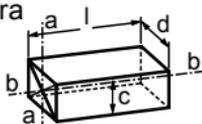
Momento de impulso = $G d_j^2 = 4 g J \quad \text{Nm}^2, \text{ kg cm}^3 \text{ s}^{-2}$
 $d_j^2 = 4 r_j^2 \text{ (veja pág. 33)}$

MASSA REDUZIDA (para corpos rolantes)

$$m_{\text{red}} = \frac{J}{r^2} \quad \text{kg, N m}^{-1} \text{ s}^2$$

FÓRMULAS FUNDAMENTAIS

Movimento retilíneo		Rotação	
Fórmulas	Unidades	Fórmulas	Unidades
$F_a = m a$	N, kgf	$M_a = J a$	Nm, kgf m
$W = F s \text{ (} F=\text{const.)}$	W s, kgf m	$W = M \varphi \text{ (} M=\text{const.)}$	W s, kgf m
$W_K = 1/2 m v^2$	W s, kgf m	$W_K = 1/2 J \omega^2$	W s, kgf m
$W_P = G h$	W s, kgf m	$\omega = 2 \pi n$	s-1, min-1
$W_F = 1/2 F \Delta l$	W s, kgf m	$W_F = 1/2 M \Delta \beta$	W s, kgf m
$P = dW / dt = F v$	W, kW, CV	$P = M \omega$	W, kW, CV

Em relação ao		Corpos
eixo a-a (eixo de rotação)	eixo b-b passando pelo centro de gravidade S	
$J = m r^2$ $d_j^2 = 4 r^2$	$J = \frac{1}{2} m r^2$ $d_j^2 = 2 r^2$	Arco de círculo 
$J = \frac{1}{2} m r^2$ $d_j^2 = 2 r^2$	$J = \frac{m}{12} (3 r^2 + h^2)$ $d_j^2 = \frac{1}{3} (3 r^2 + h^2)$	Cilindro 
$J = \frac{1}{2} m (R^2 + r^2)$ $d_j^2 = 2 (R^2 + r^2)$	$J = \frac{m}{12} (3R^2 + 3r^2 + h^2)$ $d_j^2 = \frac{1}{3} (3R^2 + 3r^2 + h^2)$	Casca cilíndrica 
$J = \frac{3}{10} m r^2$ $d_j^2 = \frac{6}{5} r^2$	$J = \frac{3}{80} m (4 r^2 + h^2)$ $d_j^2 = \frac{3}{20} (4 r^2 + h^2)$	Cone 
$J = \frac{4}{10} m r^2$ $d_j^2 = \frac{8}{5} r^2$	$J = \frac{4}{10} m r^2$ $d_j^2 = \frac{8}{5} r^2$	Esfera 
$J = m (R^2 + \frac{3}{4} r^2)$ $d_j^2 = 4 R^2 + 3 r^2$	$J = m \frac{4 R^2 + 5 r^2}{8}$ $d_j^2 = \frac{1}{2} (4 R^2 + 5 r^2)$	Anel circular ou toróide 
$J = \frac{1}{3} m l^2$ $d_j^2 = \frac{4}{3} l^2$	$J = \frac{m}{12} (d^2 + c^2)$ $d_j^2 = \frac{1}{3} (d^2 + c^2)$	Barra 

ENERGÍA CINÉTICA TOTAL DE UM CORPO

$$W_K = \frac{1}{2} m v_S^2 + \frac{1}{2} J_S \omega^2 \quad W_S, \text{ kgf m}$$

ENERGIA CINÉTICA DE UM CORPO ROLANTE

$$W_K = \frac{1}{2} (m + m_{red}) v_S^2 \quad W_S, \text{ kgf m}$$

$$v^2 = \omega r \quad \text{m/s, km/h}$$

MOMENTO DE UM MOVIMENTO GIRATÓRIO

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2 \pi n} \quad \text{Nm, kgf m}$$

$$= 973,4 \frac{P}{n \text{ min kW}} \text{ kgf m} = 716 \frac{P}{n \text{ min CV}} \text{ kgf m}$$

RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO

$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

RELAÇÃO DOS MOMENTOS

$$\frac{\text{Momento da força}}{\text{Momento da carga}} = \frac{M_F}{M_L} = \frac{1}{i \eta}$$

RENDIMENTO

$$\eta = \frac{\text{trabalho ou potência fornecida}}{\text{trabalho ou potência introduzida}}$$

RENDIMENTO TOTAL DE VÁRIAS TRANSMISSÕES

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \dots$$

v_S : velocidade de translação do centro de gravidade

F_a : força de aceleração

M_a : momento de aceleração

W_K : energia cinética

W_P : energia potencial

W_F : energia de uma mola helicoidal esticada

Δl : alongamento de uma mola helicoidal esticada

$\Delta \beta$: variação de ângulo de uma mola espiral em radianos

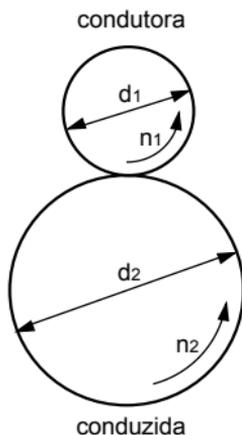
Nm, kgf m

J, kgf m

J, kgf m

J, kgf m

m, cm, mm



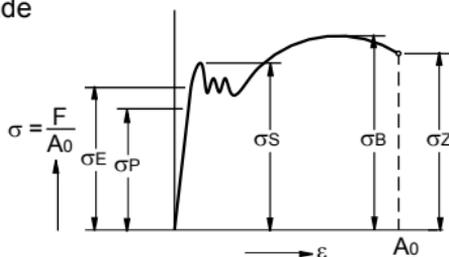
TENSÃO MECÂNICA

A tensão mecânica é o quociente da força (força de tração ou de compressão) pela secção.

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

DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DO AÇO DOCE

- σ_P : limite de proporcionalidade
- σ_E : limite de elasticidade
- σ_F : limite de escoamento
- σ_S : limite de alongamento
- σ_{dF} : limite de contração
- σ_B : resistência à ruptura
- σ_Z : tensão de ruptura
- δ : alongamento de ruptura
- ε : alongamento específico ($\varepsilon = 0$)
- A_0 : secção inicial



TENSÃO OU CONTRAÇÃO ADMISSÍVEL

Deve ser inferior ao limite de proporcionalidade.

Tensão admissível de tração: $\sigma_{z \text{ adm}} = \frac{\sigma_{zB}}{\nu}$

- σ_{zB} : resistência estática à tração
- ν : fator de segurança, constantemente > 1 .
Seu valor é determinado segundo o tipo de sollicitação.

TIPOS DE SOLICITAÇÃO

Natureza da carga	Tipo de sollicitação	Diagrama de carga
I	estática	
II	pulsante	
III	alternada	

TENSÃO DE TRAÇÃO OU COMPRESSÃO σ_z E σ_d

$$\sigma_z = \frac{F}{A} \leq \sigma_{z \text{ adm}}$$

$$\sigma_d = \frac{F}{A} \leq \sigma_{d \text{ adm}}$$

MÓDULO DE ELASTIDADE E

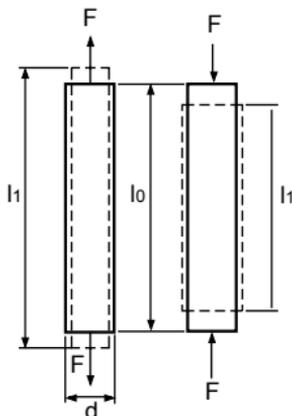
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

COEFICIENTE DE ALONGAMENTO α

$$\alpha = \frac{1}{E} = \frac{\varepsilon}{\sigma}$$

VARIAÇÃO DE COMPRIMENTO Δl

$$\Delta l = l_0 \alpha \sigma = l_1 - l_0$$

**ALONGAMENTO OU ENCURTAMENTO DE RUPTURA ε**

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \sigma$$

ALONGAMENTO ESPECÍFICO DE RUPTURA δ

$$\delta = \frac{\Delta l \cdot 100}{l_0} \% = \frac{\delta}{\varepsilon} 100\% = \alpha \delta 100\%$$

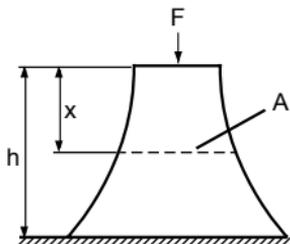
$$\delta_5 \text{ para } l_0 = 5d, \delta_{10} \text{ para } l_0 = 10d$$

VIGA DE IGUAL RESISTÊNCIA *)

A secção necessária A a uma distância qualquer x se calcula pela relação:

$$A = \frac{F}{\sigma_{d \text{ adm}}} e^{\frac{\rho g}{\delta_{d \text{ adm}}} x}$$

*) levando em consideração o peso próprio



$\sigma_{z \text{ adm}}$: tensão admissível de tração (valores pág. 46)

$\sigma_{d \text{ adm}}$: tensão admissível de compressão (valores pág. 46)

e : 2,718281

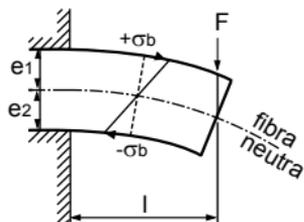
MOMENTO RESISTENTE W_b

$$W_b = \frac{I}{e}$$

TENSÃO DE FLEXÃO σ_b

$$\sigma_b = \frac{M_b e}{I} \leq \sigma_{b \text{ adm}}$$

$$\text{se } e = e_1 = e_2 \quad \sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$



(eixo neutro = eixo de simetria)

MOMENTO FLETOR MÁXIMO M_b

$$M_b = F l$$

MOMENTOS DE INÉRCIA AXIAIS E MOMENTOS RESISTENTES, TENSÕES OU CONTRAÇÕES DE FLEXÃO MÁXIMA

Momento de inércia I	Momento resistente W_b	Tensão de flexão máx. $\delta_{b \text{ max}}$	Secção A
$\frac{b h^3}{12}$	$\frac{b h^2}{6}$	$\frac{6 M_b}{b h^2}$	
$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^3}{32} \approx \frac{d^3}{10}$	$\approx \frac{10 M_b}{d^3}$	
$\frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$	$\frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$	$\frac{10 M_b D}{D^4 - d^4}$	
$\frac{5\sqrt{3} s^4}{144}$	$\frac{5\sqrt{3} s^3}{72}$	$\frac{24 \sqrt{3} M_b}{5 s^3}$	
$\frac{\pi a^3 b}{4}$	$\frac{\pi a^2 b}{4}$	$\frac{4 M_b}{\pi a^2 b}$	

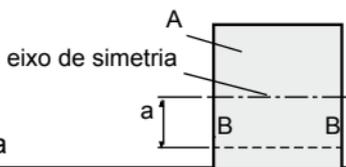
TEOREMA DE STEINER

Momento de inércia da área: $I_B = I + A a^2$

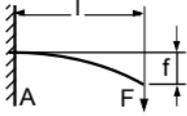
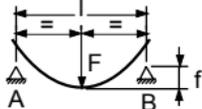
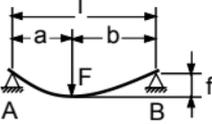
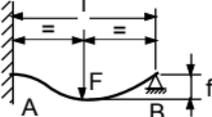
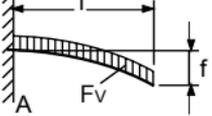
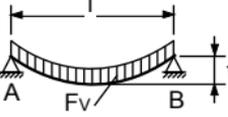
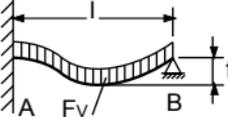
I : momento de inércia de superfície

I_B : em relação ao eixo

e : distância entre o eixo neutro e a borda

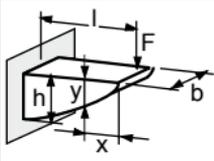
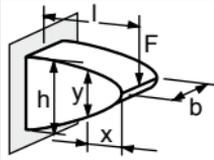
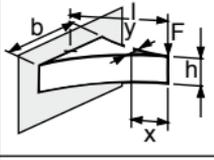
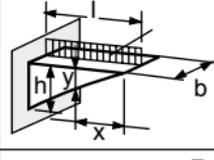
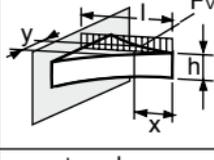
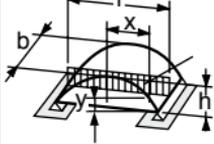


VIGAS DE SEÇÃO CONSTANTE

Reação nos apoios		Momento de engas- te em A	Momento máx. de flexão M_b	Flecha f	Tipo de carga
Força de apoio em A	em B				
F	—	$F l$	$F l$	$\frac{F l^3}{3 E I}$	
$\frac{F}{2}$	$\frac{F}{2}$	—	$\frac{1}{4} F l$	$\frac{F l^3}{48 E I}$	
$\frac{F b}{l}$	$\frac{F a}{l}$	—	$\frac{F a b}{l}$	$\frac{F a^2 b^2}{3 E I l}$	
$\frac{11}{16} F$	$\frac{5}{16} F$	$\frac{3}{16} F l$	$\frac{3}{16} F l$	$\frac{7 F l^3}{768 E I}$	
F_v	—	$\frac{1}{2} F_v l$	$\frac{1}{2} F_v l$	$\frac{F_v l^3}{8 E I}$	
$\frac{F_v}{2}$	$\frac{F_v}{2}$	—	$\frac{1}{8} F_v l$	$\frac{5 F_v l^3}{384 E I}$	
$\frac{5}{8} F_v$	$\frac{3}{8} F_v$	$\frac{1}{8} F_v l$	$\frac{1}{8} F_v l$	$\frac{F_v l^3}{185 E I}$	

F: carga concentrada | F_v : carga uniformemente distribuída

VIGAS DE IGUAL RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Seção	Ordenada y	Flecha máx. f	Forma da viga
$h = \sqrt{\frac{6 F l}{b \sigma_{b \text{ adm}}}}$	$\sqrt{\frac{6 F x}{b \sigma_{b \text{ adm}}}}$	$\frac{8 F}{b E} \left(\frac{l}{h}\right)^3$	 
$b = \frac{6 F l}{h^2 \sigma_{b \text{ adm}}}$	$\frac{6 F x}{h^2 \sigma_{b \text{ adm}}}$	$\frac{6 F}{b E} \left(\frac{l}{h}\right)^3$	
$h = \sqrt{\frac{3 F_v l}{b \sigma_{b \text{ adm}}}}$	$x \sqrt{\frac{3 F_v}{b l \sigma_{b \text{ adm}}}}$	$\frac{3 F_v}{b E} \left(\frac{l}{h}\right)^3$	
$b = \frac{3 F_v l}{h^2 \sigma_{b \text{ adm}}}$	$\frac{3 F_v x^2}{h^2 l \sigma_{b \text{ adm}}}$		
$h = \sqrt{\frac{3 F_v l}{4 b \sigma_{b \text{ adm}}}}$	$\sqrt{\frac{3 F_v l}{4 b \sigma_{b \text{ adm}}} \left(1 - \frac{4x^2}{l^2}\right)}$	$\frac{F_v l^3}{64 E I}$	

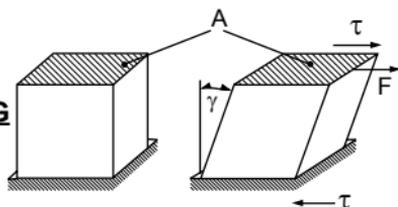
F: carga concentrada | F_v : carga uniformemente distribuída
 $\sigma_{b \text{ adm}}$: tensão admissível de flexão

TENSÃO DE CISALHAMENTO τ

$$\tau = \frac{F}{A} \leq \tau_{a \text{ adm}}$$

MÓDULO DE ESCORREGAMENTO G

$$G = \frac{\tau}{\gamma} = 0,385 E$$



COEFICIENTE AO CISALHAMENTO β

$$\beta = \frac{1}{G} = \frac{\gamma}{\tau}$$

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO τ_{aB}

$$\tau_{aB} = \frac{F_{\max}}{A} = 0,8 \sigma_{zB}$$

ESCORREGAMENTO γ

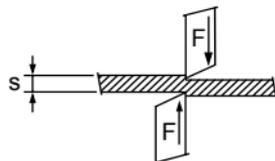
$$\gamma = \beta \tau$$

TENSÃO ADMISSÍVEL DE CISALHAMENTO $\tau_{a \text{ adm}}$

tipo de solitação (veja pág. 35)	estática	$\tau_{a \text{ adm}} \approx$	$\sigma_s / 1,5$
	pulsante		$\sigma_s / 2,2$
	alternada		$\sigma_s / 3,0$

ESFORÇO CORTANTE F

tesouras	estampas
$F \sim 1,7 \tau_{aB} l s$	$F \sim 1,7 \tau_{aB} l u s$



TENSÃO DE CISALHAMENTO NA PRÁTICA τ

O cisalhamento é sempre acompanhado de flexão. A fórmula acima indicada é afetada de um coeficiente segundo a forma da seção. (A flexão é desprezada unicamente para vigas curtas):

Seção			
Tensão de cisalhamento τ	$\frac{3}{2} \cdot \frac{F}{A}$	$\frac{4}{3} \cdot \frac{F}{A}$	$2 \frac{F}{A}$

$\tau_{a \text{ adm}}$: tensão admissível de cisalhamento (valores pág. 46)

F : esforço constante

F_{\max} : carga de ruptura

l : comprimento do corte

lu : perímetro do corte

TENSÃO DE TORÇÃO τ_t

$$\tau_t = \frac{M}{W_t} \leq \tau_{t \text{ adm}}$$

MOMENTO DE TORÇÃO M

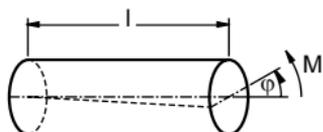
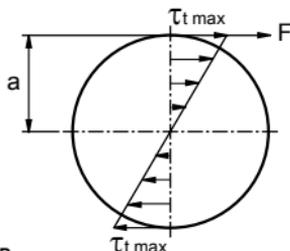
$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2 \pi n} = F a$$

MOMENTO POLAR DE RESISTÊNCIA W_t

$$W_t = \frac{I_P}{a} \quad (a = \text{distância da borda ao centro de gravidade } S)$$

ÂNGULO DE TORÇÃO φ

$$\varphi = \frac{M l}{I_P G}$$



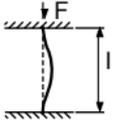
MOMENTOS DE INÉRCIA POLAR DE SUPERFÍCIE E MOMENTOS DE RESISTÊNCIA À TORÇÃO EM RELAÇÃO A S, TENSÃO MÁXIMA

Momento polar de inércia de superfície I_P	Momento polar de resistência W_t	Tensão máxima de torção $\tau_{t \text{ max}}$	Desenho da seção
$\frac{\pi d^4}{32}$	$\frac{\pi d^3}{16}$	$\approx 5,1 \frac{M}{d^3}$	
$\frac{\pi}{32} (D^4 - d^4)$	$\frac{\pi}{16} \frac{D^4 - d^4}{D}$	$\approx 5,1 \frac{M}{D^3} \cdot \frac{1}{1 - \delta^4}$	
—	em 1: $\frac{2}{9} b h^2$ em 2: $\frac{2}{9} b^2 h$	em 1: $\frac{9 M}{2 b h^2}$ em 2: $\frac{9 M}{2 b^2 h}$	

VALORES DE δ PARA AS SEÇÕES CIRCULARES

$\delta = \frac{d}{D}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95
$\frac{1}{1 - \delta^4}$	1,0667	1,1489	1,3160	1,6938	2,9078	5,3910

$\tau_{t \text{ adm}}$: tensão de torção admissível (valores pag. 46)

Tipo de solicitação		Flambagem	
 $l_0 = 2l$	 $l_0 = l$	 $l_0 = 0,7l$	 $l_0 = 0,5l$

DIMENSIONAMENTO PROVISÓRIO

Calcula-se o momento de inércia de superfície admitindo que a flambagem se dê no domínio de Euler.

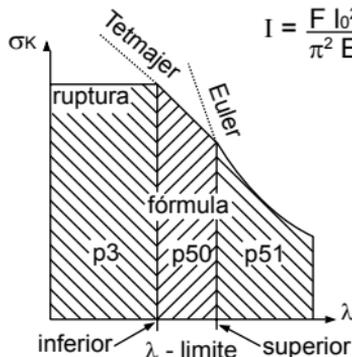
Escolhe-se o perfil e calculam-se as dimensões segundo pág. 36

$$I = \frac{F l_0^2}{\pi^2 E} U_E$$

DIMENSIONAMENTO DEFINITIVO

grau de esbeltez $\lambda = l_0 \sqrt{\frac{A}{I}}$

tensão de flambagem: escolher os limites de λ na tabela abaixo.



Se λ	abaixo	dos limites calcular σ ou σ_K com	p3
	no int.		p50
	acima		p51

FÓRMULA DE TETMAJER: $\sigma_K = a - b\lambda + c\lambda^2 = \sigma_{d adm} U_r \geq \frac{F}{A} U_r$

Material	a (N/mm ²)	b (N/mm ²)	c	l - limites
aço CA24	289	0,818	0	60...100
aço CA 50	589	3,818	0	60...100
ferro fundido	776	12,000	0,054	5 ...80
madeira	30	0,20	0	2...100
carvalho	37	0,25	0	0...100

FÓRMULA DE EULER: $\sigma_K = \frac{\pi^2 E I}{l_0^2 A} = \sigma_{d adm} U_E \geq \frac{F}{A} U_E$

Se $\sigma_K < \frac{F}{A} U$, recomeçar os cálculos com uma secção maior.

σ_K :	tensão de cisalhamento efetiva	F: carga efetiva
$\sigma_{d adm}$:	tensão de compressão admissível (valores pág. 46)	
U _T :	no domínio de Tetmajer:	3...5
U _E :	no domínio de Euler:	máquinas pequenas 6...8 máquinas grandes 4...6

COMPOSIÇÃO DE TENSÕES NORMAIS

Em virtude do princípio de superposição, as tensões resultantes de uma tração e flexão e respectivamente compressão e flexão se obtêm por adição algébrica (+ tensões de tração; - tensões de compressão).

Posição	Solicitação resultante σ_{res}	
	tração e flexão	compressão e flexão
A1	$+ \frac{F_z}{A} - \frac{F_B \cdot l \cdot e_1}{I} \leq \delta_{z adm}$	$- \frac{F_D}{A} + \frac{F_B \cdot l \cdot e_1}{I} \leq \delta_{d adm}$
A2	$+ \frac{F_z}{A} - \frac{F_B \cdot l \cdot e_2}{I} \leq \delta_{z adm}$	$- \frac{F_D}{A} + \frac{F_B \cdot l \cdot e_2}{I} \leq \delta_{d adm}$
$F_z = F \cos \alpha \qquad F_B = F \sin \alpha \qquad F_D = F \cos \alpha$		

As tensões de tração ou de compressão em A1 e A2 podem ser iguais por uma escolha apropriada da forma da seção, o que desloca o eixo neutro (neste caso $e_1 = e_2$). Controlar a resistência à flambagem das vigas finas.

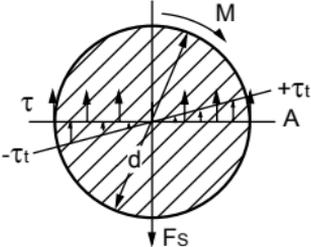
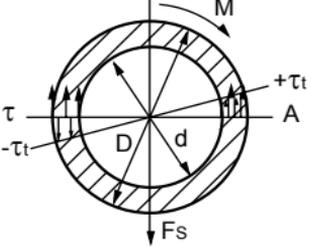
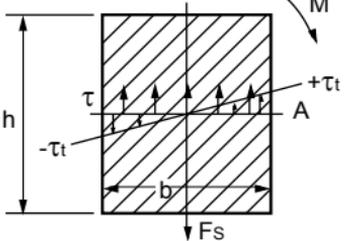
NÓ CENTRAL PARA TENSÕES DE MESMA NATUREZA

Se uma força de tração (ou de compressão) age no interior da superfície pontilhada (nó central), a seção é solicitada somente por tensões de tração (ou de compressão). Em qualquer outro caso, há simultaneamente tensões de tração e de compressão.

$x = \frac{a}{6}$	$u = \frac{b}{6} \quad v = \frac{h}{6}$	$r = \frac{d}{8}$	$r = \frac{D}{8} [1 + (\frac{d}{D})^2]$

COMPOSIÇÃO DAS TENSÕES TANGENCIAIS

Em virtude do princípio de superposição, as tensões resultantes de cisalhamento e de torção se somam algebricamente:

Tensão tangencial τ_{res} máx. no ponto A	Seção
$\frac{5,1 M}{d^3} + \frac{1,7 F_s}{d^2} \leq \tau_{t adm}$	
$\frac{5,1 M D}{D^4 - d^4} + \frac{2,55 F_s}{D^2 - d^2} \leq \tau_{t adm}$	
$\frac{4,5 M}{b^2 h} + \frac{1,5 F_s}{b h} \leq \tau_{t adm}$	

- $\tau_{t adm}$: tensão de torção admissível
 τ : tensão de cisalhamento real
 τ_t : tensão de torção real
 M : momento de torção real

COMPOSIÇÃO DAS TENSÕES NORMAIS E TANGENCIAIS

Em presença de tensões normais e tangenciais calcula-se:

a tensão de comparação σ_v e
o momento de comparação M_v

A tensão de comparação, também chamada de flexão ideal, é a tensão de flexão que tem o mesmo efeito - por ex. ruptura - que as duas tensões (tensão de flexão e de torção). Mesma observação para o momento de comparações.

EIXOS

tensão de comparação

$$\sigma_v \leq \sigma_{b \text{ adm}}$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3(\alpha_0 \cdot \tau_t)^2}$$

momento de comparação

$$M_v = \sqrt{M_b^2 + 0,75 (\alpha_0 \cdot M)^2}$$

Para dimensionar o elemento de construção, é preciso calcular inicialmente o momento resistente W_b .

$$W_b = \frac{M_v}{\sigma_{b \text{ adm}}}$$

Escolhe-se um perfil e calcula-se as dimensões segundo página 36.

σ_b : tensão de flexão real

τ_t : tensão de torção real

M_b : momento fletor real

M : momento de torção real

α_0 : coeficiente de contração

$\alpha_0 \approx 1$ para flexão e torção de mesma solicitação

$\alpha_0 \approx 0,7$ para flexão alternada e torção estática

Material	Módulo de elasticidade de E	Tipo de solicitação *)	Pressão superficial σ_s adm	Tração σ_p adm	Pressão σ_p adm	Flexão σ_f adm	Compressão σ_c adm	Torção σ_t adm
Ferro fundido branco St 37.11	210 000	I	80 ... 120	100 ... 150	100 ... 150	110 ... 165	72 ... 110	65 ... 95
		II	50 ... 70	65 ... 95	65 ... 95	70 ... 105	48 ... 75	40 ... 60
		III	27 ... 33	45 ... 70	45 ... 70	50 ... 75	35 ... 50	30 ... 45
Ferro fundido branco St 50.11	210 000	I	100 ... 150	140 ... 210	140 ... 210	150 ... 220	96 ... 144	85 ... 125
		II	70 ... 100	90 ... 135	90 ... 135	100 ... 150	64 ... 96	55 ... 85
		III	36 ... 50	65 ... 95	65 ... 95	70 ... 105	32 ... 48	40 ... 60
Aço fundido GS - 38	220 000	I	80 ... 100	60 ... 120	90 ... 150	90 ... 120	72 ... 95	36 ... 48
		II	53 ... 67	40 ... 80	60 ... 100	60 ... 80	48 ... 64	24 ... 32
		III	27 ... 33	20 ... 40	---	30 ... 40	24 ... 32	12 ... 16
Ferro fundido GG - 14	100 000	I	---	35 ... 45	85 ... 115	40 ... 55	35 ... 50	30 ... 45
		II	---	27 ... 37	55 ... 75	25 ... 40	25 ... 35	20 ... 30
		III	---	20 ... 30	20 ... 30	20 ... 25	20 ... 25	15 ... 20
Ferro maleável GTW - 35	---	I	50 ... 80	45 ... 70	60 ... 90	45 ... 70	---	30 ... 40
		II	33 ... 53	30 ... 47	40 ... 60	30 ... 47	---	20 ... 27
		III	17 ... 27	15 ... 23	---	15 ... 23	---	10 ... 13
Cobre laminado D-Cu F20	110 000	I	35 ... 50	40 ... 54	40 ... 54	40 ... 54	---	---
		II	23 ... 33	27 ... 36	27 ... 36	27 ... 36	---	---
		III	12 ... 17	13 ... 18	---	13 ... 18	---	---
Bronze - zinco CuSn6 F56	90 000	I	50 ... 75	60 ... 90	60 ... 90	60 ... 90	45 ... 70	45 ... 70
		II	33 ... 50	40 ... 60	---	40 ... 60	30 ... 47	30 ... 47
		III	17 ... 25	20 ... 30	---	20 ... 30	15 ... 23	15 ... 23

*) Explicação, veja página 35

TABELA
 Resistência dos materiais

TENSÕES FLETORAS E TORSORAS PARA MATERIAIS ELÁSTICOS EM N/mm²

Material	Módulo de elasticidade E	*) Tipo de solicitação	σ _{f adm}			Módulo de rigidez G	τ _{t adm}
			A	B	C		
Aço para molas C 75, cementado e temperado	210 000	I	1000	500	150	80 000	650
		II	750	350	120		500
		III	500	250	80		350
Latão CuZn37 HV 150	110 000	I	200	100	40	42 000	120
		II	150	80	30		100
		III	100	50	20		80
Alpaca CuNi18 Zn20 HV160	142 000	I	300	150	50	55 000	200
		II	250	120	40		180
		III	200	100	30		150
Bronze-zinco CuSn6 Zn HV 190	110 000	I	200	100	40	42 000	120
		II	150	80	30		100
		III	100	50	20		80
Bronze-zinco CuSn8 HV 190	117 000	I	300	150	50	45 000	200
		II	220	110	40		180
		III	150	80	30		150

*) Explicação, veja página 35

A: para molas simples (segurança ~ 1,5)
 B: para molas curvas e dobradas (segurança ~ 3)
 C: para molas sem deformação plástica (segurança ~ 10)

COEFICIENTE DE ATRITO DE ESCORREGAMENTO E DE CONTACTO

Substância	sobre substância	Atrito de escorr. μ			Atrito de aderência μ_0		
		seco	molhado	engraxado	seco	molhado	engraxado
Bronze	Bronze	0,20	0,10	0,06	0,19		0,11
	Ferro fundido	0,18		0,08			
	Aço	0,18		0,07			
Madeira	Madeira II	0,50			0,60		
	Madeira †	0,30			0,50		
Ferro fundido	Ferro fundido		0,31	0,10			0,16
	Aço	0,18			0,33		
Borracha	Asfalto	0,50	0,30	0,20			
	Concreto	0,60	0,50	0,30			
Corda	Madeira				0,50		
Couro	Madeira	0,40			0,50		
	Ferro fundido	0,40	0,40	0,20	0,40	0,50	0,25
Aço	Madeira		0,26	0,08		0,65	0,30
	Gelo	0,014			0,027		
	aço	0,10		0,10	0,15		0,12

|| : Fibras dos dois corpos paralelas ao movimento

† : Fibras do corpo que escorrega perpendiculares em movimento

ATRITO DE ROLAMENTO

Substância sobre substância	Braço de alavanca f (mm)
Borracha sobre asfalto	1,0
Borracha sobre concreto	1,5
Madeira de guáiacó sobre madeira de guáiacó	5,0
Aço sobre aço (rolamentos de esfera)	0,05
Aço sobre aço (não-temperado)	0,5
Madeira de olmo sobre madeira de guáiacó	8,0

TABELA

Pot. exigida por diversas aplicações

ELEVAÇÃO

P _x :	Potência exigida (kW)
F :	Força (N)
m :	Massa (kg)
v :	Velocidade de elevação (m/s)
g :	Aceleração da gravidade (m/s ²)
η :	Rendimento total

$$P_x = \frac{F v}{1000 \eta}$$

$$F = m g$$

ROTAÇÃO

M :	Momento (Nm)
n :	Rotação (rpm)
η :	Rendimento total

$$P_x = \frac{M n}{9550 \eta}$$

TRANSLAÇÃO

F _r :	Força resistente à translação (N)
v :	velocidade de translação (m/s)
η :	Rendimento total

$$P_x = \frac{F_r v}{1000 \eta}$$

Para sistema sobre rodas

$$F_r = m g \left[\frac{2}{D} \left(m \frac{d}{2} + f \right) + c \right]$$

Para sistema sem rodas (atrito puro)

m :	Massa do sistema (kg)
g :	Aceleração da gravidade (m/s ²)
D :	Diâmetro da roda (mm)
d :	Diâmetro do mancal (mm)
μ :	Coefficiente do atrito
f :	Braço de alavanca da resistência ao rolamento (mm)
c :	Adicional de atrito lateral

$$F_r = \mu \cdot m \cdot g$$

MOMENTO DE CARGA

M _x :	Momento de carga (Nm)
n _M :	Rotação do motor (rpm)

$$M_x = \frac{P_x \cdot 9550}{n_M}$$

MAGMA-M



Engrenagens	Coroa e rosca sem-fim
Disposição dos eixos	Ortogonais
Redução simples	10 a 80
Redução duplex	100 a 4.000
Torque	10 a 1.300 Nm
Motores disponíveis	0,12 a 5,5 kW
Fixação	Carcça, pés, flange, braço de torção
Eixo de saída	Vazado (padrão), maciço, duplo

MAGMA-K



Engrenagens	Coroa e rosca sem-fim
Disposição dos eixos	Ortogonais
Redução simples	10 a 80
Redução duplex	100 a 4.000
Torque	960 a 19.000 Nm
Motores disponíveis	3,7 a 22 kW
Fixação	Carcça, pés, flange, braço de torção
Eixo de saída	Vazado (padrão), maciço, duplo

ALUMAG



Engrenagens	Coroa e rosca sem-fim
Disposição dos eixos	Ortogonais
Redução simples	10 a 80
Redução duplex	100 a 6.400
Torque	12 a 76 Nm
Motores disponíveis	0,12 a 1,1 kW
Fixação	Carcça, pés, flange, braço de torção
Eixo de saída	Vazado (padrão), maciço, duplo

ACOPLAMENTOS



Flexível e torçionalmente elástico, com elementos em poluretano. Admite desalinhamentos radiais, axiais e angulares entre os eixos acoplados e absorve vibrações da máquina movida ou motora. Em 12 tamanhos, com capacidades de 10.000 a 580.000 Nm e eixos com diâmetros de 30 mm a 470 mm.

MOTORREDUTORES. Compactos, modulares e versáteis. Maior eficiência e desempenho

COAXIAL



Engrenagens Helicoidais retificadas
Disposição dos eixos Concêntricos
Reduções 2 ou 3 estágios 4 a 200
Reduções 4, 5 ou 6 estágios, 200 a 28.000
Torque 80 a 18.000 Nm
Motores diponíveis 0,12 a 55 kW
Opções de entrada Eixo Maciço, flange KTR, flange lanterna, Motor tipo 1 WEG
Fixação Péis, flange, pé + flange
Eixo de saída Maciço

VERTIMAX



Engrenagens Helicoidais retificadas
Disposição dos eixos Paralelos
Reduções 2 ou 3 estágios 4 a 200
Reduções 4, 5 ou 6 estágios, 200 a 30.000
Torque 115 a 32.000 Nm
Motores disponíveis 0,12 a 55 kW
Opções de entrada Eixo Maciço, flange KTR, flange lanterna, motor tipo 1 WEG
Fixação Péis, pés + flange, braço de torção, esticador
Eixo de saída Maciço, oco com chaveta, oco com disco de contração

MAGMAX



Engrenagens Helicoidais retificadas
Disposição dos eixos + coroa e rosca sem-fim
Reduções 2 ou 3 estágios 7, 4 a 500
Reduções 4, 5 ou 6 estágios, 200 a 23.000
Torque 57 a 1.550 Nm
Motores disponíveis 0,12 a 11 kW
Opções de entrada Eixo Maciço, flange KTR, flange lanterna, motor tipo 1 WEG
Fixação Péis, pés + flange, braço de torção
Eixo de saída Maciço, ponta dupla, oco com chaveta, oco com disco de contração

CONIMAX



Engrenagens Helicoidais retificadas
Disposição dos eixos Ortogonais
Reduções 2 ou 3 estágios 7, 3 a 180
Reduções 4, 5 ou 6 estágios, 200 a 20.000
Torque 390 a 18.000 Nm
Motores disponíveis 0,12 a 55 kW
Opções de entrada Eixo Maciço, flange KTR, flange lanterna, motor tipo 1 WEG
Fixação Péis, pés + flange, braço de torção
Eixo de saída Maciço, ponta dupla, oco com chaveta, oco com disco de contração

REDUTORES.
Força e eficiência para os setores mais exigentes da indústria.

HELMIMAX



Engrenagens Helicoidais retificadas
Disposição dos eixos Paralelos / ortogonais
Reduções 6,3 a 355
Torque 2.000 a 600.000 Nm
Fixação Carcaca, braço de torção
Eixo de saída Maciço, duplo, vazado com chaveia, vazado com disco de contração

HELICON HV



Engrenagens Helicoidais rectificadas
Disposição dos eixos Paralelos
Reduções 9 a 35
Torque 300 a 16.000 Nm
Fixação Braço de torção
Eixo de saída Vazado

HELMIMAX - extrusora



Engrenagens Helicoidais retificadas
Disposição dos eixos Paralelos
Reduções 6,3 a 18
Torque 4.000 a 132.000 Nm
Fixação Carcaca
Eixo de saída Vazado especial para extrusoras

HELICON - extrusora



Engrenagens Helicoidais retificadas
Disposição dos eixos Paralelos
Reduções 6,3 a 25
Torque 560 a 20.000 Nm
Fixação Carcaca
Eixo de saída Vazado especial para extrusoras

VERTIMAX - extrusora



Engrenagens Helicoidais retificadas
Disposição dos eixos Paralelos
Reduções 5,51 a 28
Torque 680 a 13.000 Nm
Fixação Carcaca
Eixo de saída Vazado especial para extrusoras

CENTRO DE SERVIÇOS.

Completa infraestrutura para oferecer o melhor atendimento.



SERVICE WEG-CESTARI.

Novo conceito em serviços para redutores e motorredutores de velocidade.



24 horas por dia | 365 dias por ano.

É o centro de serviços com a confiabilidade da marca WEG-CESTARI.

O Service WEG-CESTARI oferece uma ampla gama de serviços diferenciados, de acordo com as exigências e necessidades do mercado, visando a total satisfação de seus clientes e a continuidade de seus processos produtivos com alto grau de eficiência em manutenções preditiva, preventiva e corretiva.

- ▶ Testes de medição
- ▶ Start-up
- ▶ Avaliação de desempenho
- ▶ Renovação de garantia de fábrica
- ▶ Manutenção, reforma e repotenciamento de redutores de diversas marcas
- ▶ Assistência em campo
- ▶ Serviços de usinagem
- ▶ Testes finais de ruído, vibração e aquecimento
- ▶ Pronto atendimento para peças de reposição
- ▶ Engenharia especializada em projetos especiais, customização e consultoria
- ▶ Soluções em manutenção preventiva e revisão de equipamentos



FÁBRICA:

Rod. Monte Alto/Vista Alegre, km 3
Monte Alto | SP | Brasil | 15910-000

VENDAS | (16) 3244-1000 | vendas@cestari.com.br

SERVICE | (16) 3244-1020 | service@cestari.com.br

SAC | (16) 3244-1018 | sac@cestari.com.br

www.wegcestari.com