

Projeto Mecânico (SEM 0347)

Notas de aulas v.2021

Aula 8 - Transmissão

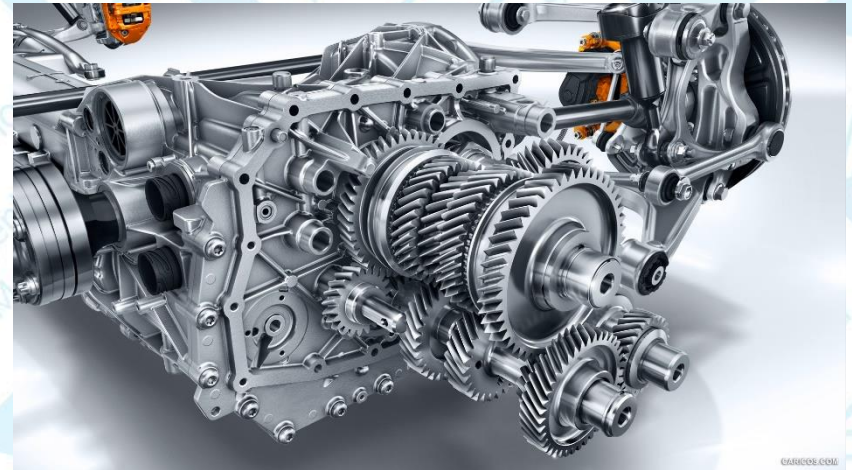
Professor: Carlos Alberto Fortulan
Colaborador: Thiago Azevedo

Departamento de Engenharia Mecânica
Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo

Em uma máquina, acionamentos são necessários para transmitir energia de um motor para vários componentes, geralmente de um eixo para outro, e é feito por componentes de transmissão.

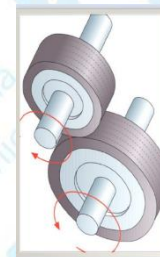
Componentes de transmissão

- Engrenagem
- Chaveta
- Acoplamento
- Correia
- Corrente
- Cabo de aço



Seleção dos componentes de transmissão

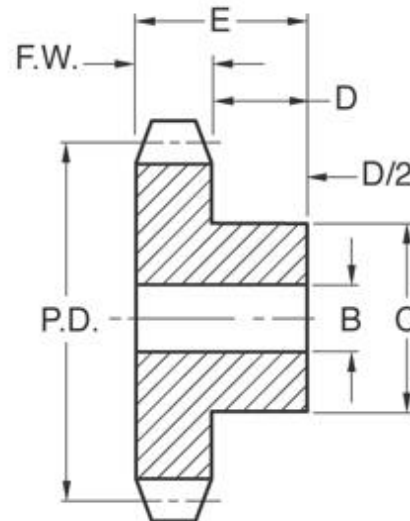
- Espaço requerido;
- Precisão;
- Exigências de funcionamento;
- Formas construtivas;
- Peso e preço



	Engrenagens Cilíndricas	Parafuso sem fim	Corrente	Correia plana	Correia em V	Correia dentada	Rodas de atrito
Potência (kW)	3.000	120	200	150	100	100	25
Relação	10	50	6	5	8	8	6
Velocidade Tangencial (m/s)	50	25	10	60	25	40	25
Rotação (rpm)	150.000	40.000	10.000	200.000	8.000	30.000	10.000
Eficiência	93-99	50-96	97-98	96-98	92-94	96-98	90-98
Precisão	Alta	Alta	Média	Baixa	Baixa	Média	Baixa
Ruído	Médio	Médio	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Custo	Alto	Alto	Médio	Baixo	Médio	Médio	Baixo

Engrenagem

- As engrenagens são amplamente utilizadas para transmitir energia em máquinas, têm perfil dentado e podem ser classificadas em:
 - Engrenagens de dentes retos;
 - Engrenagens helicoidais;
 - Engrenagens cônicas;
 - Sem-fim.



Estado da Técnica - Engrenagens

- ✓ Maior variedade de potências, rotações e relações de transmissão
- ✓ Rendimento entre 96 e 99%
- ✓ Potência de até 25.000 CV
- ✓ Não há deslizamento

Diâmetro: 13,2m
Massa: 73,5 T
Geração: 17000kW



Transmissão por engrenagens

- ✓ As engrenagens são usadas quando os eixos estão perto uns dos outros.
- ✓ Transmissão positiva (não há deslizamento).
- ✓ Trem de engrenagens é uma combinação de pares de engrenagens, que são utilizados para a transmissão de movimento de um eixo para outro em cadeia.

Características

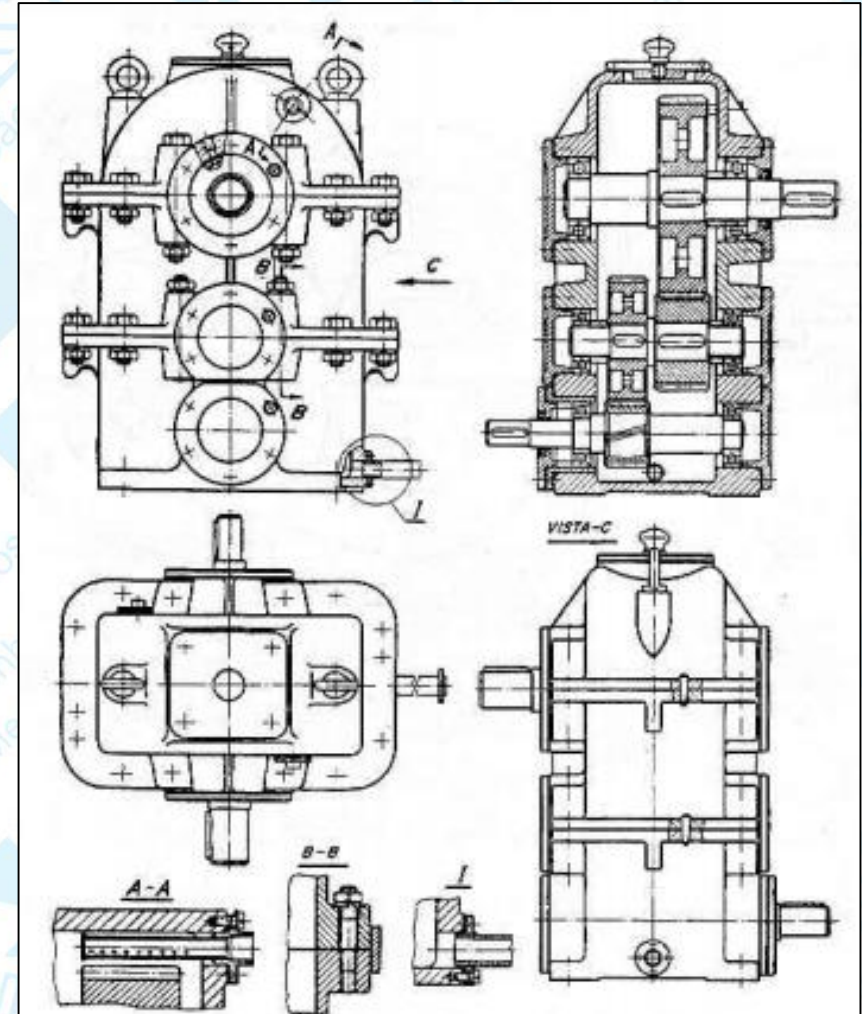
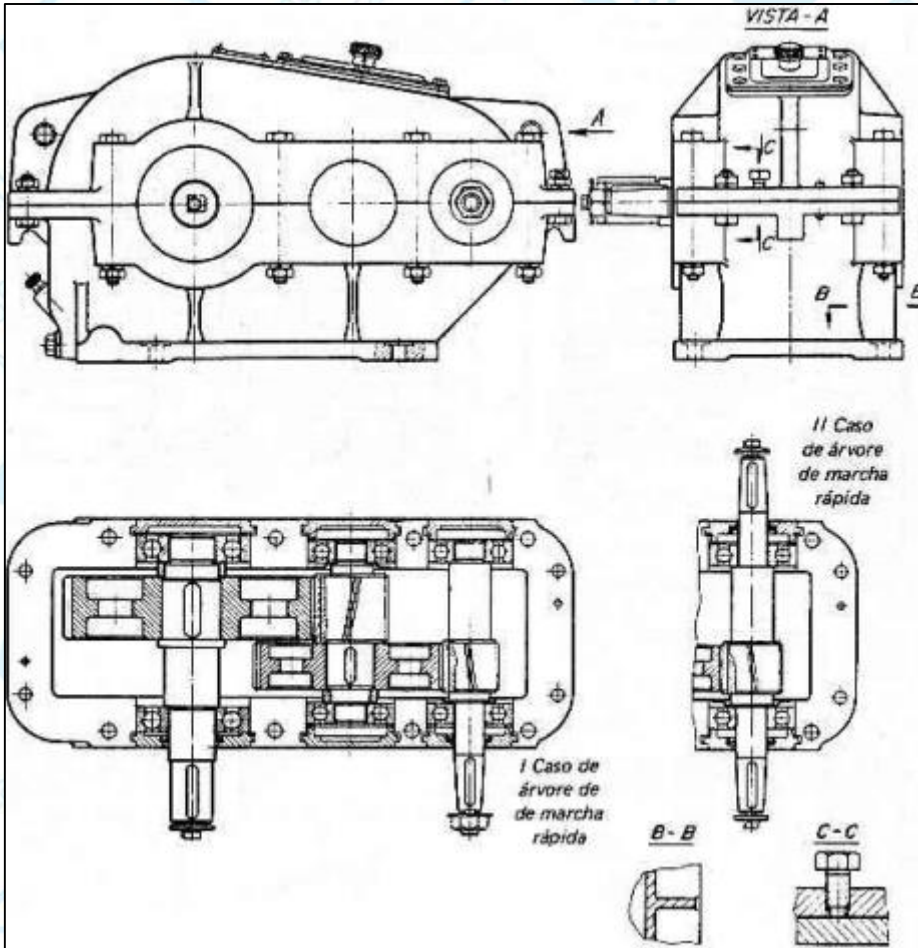
Prós:

- ✓ Boa vida útil;
- ✓ Alto carregamento;
- ✓ Altas relações de transmissão x espaço;

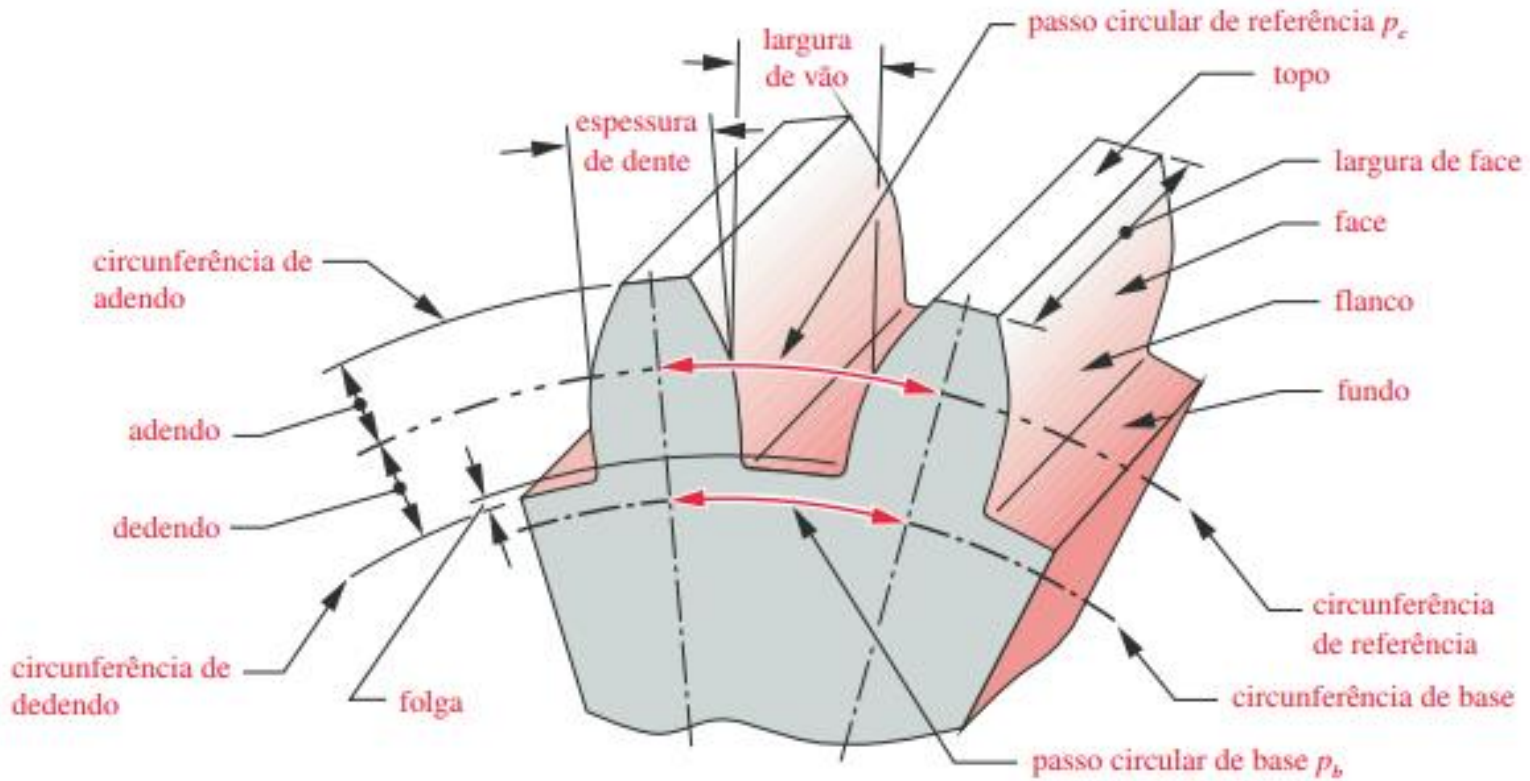
Contras:

- ✓ Custo (relativo às polias);
- ✓ Requer manutenção frequente (lubrificação);
- ✓ Ruído.

Exemplos de aplicação



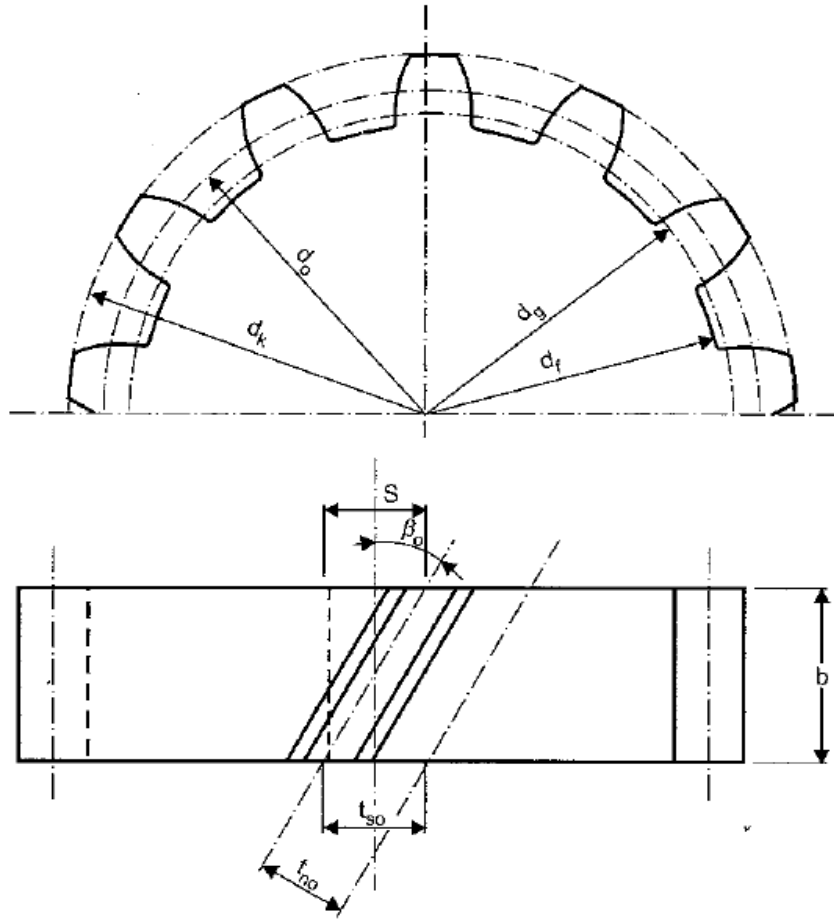
Engrenagem de dentes retos



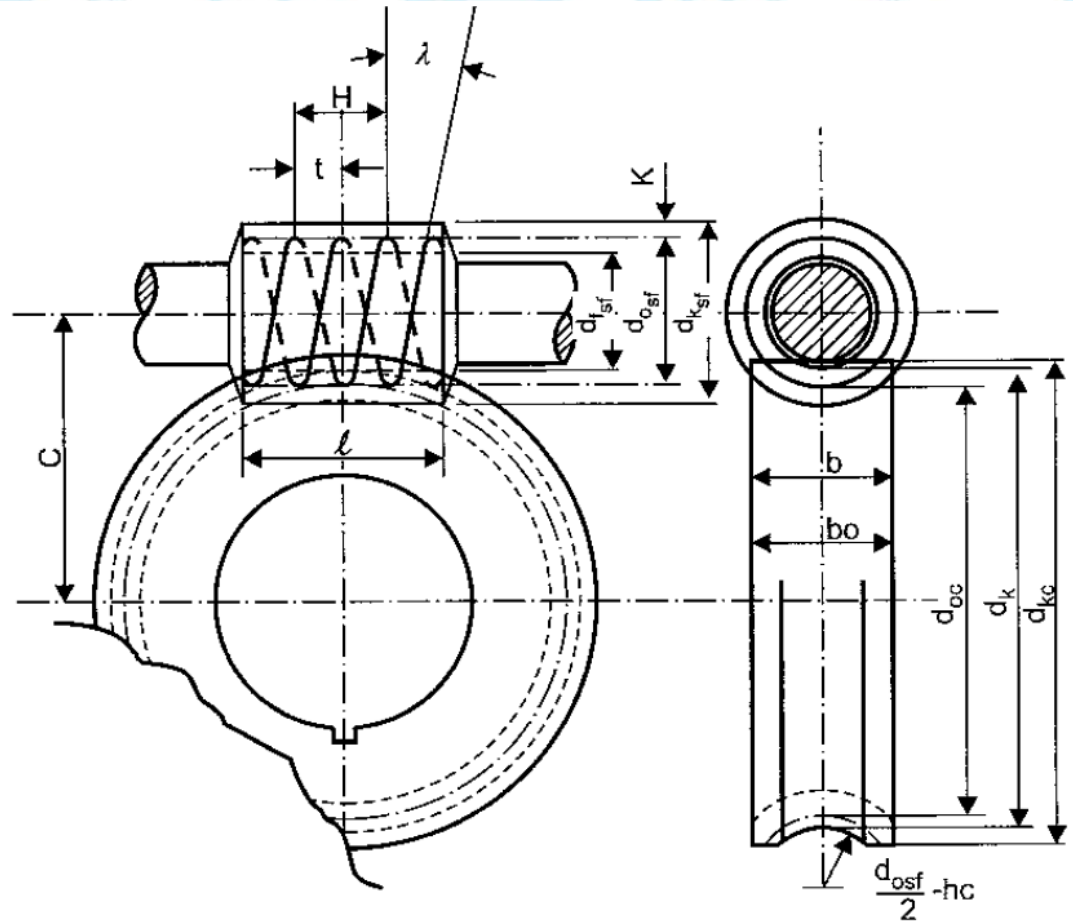
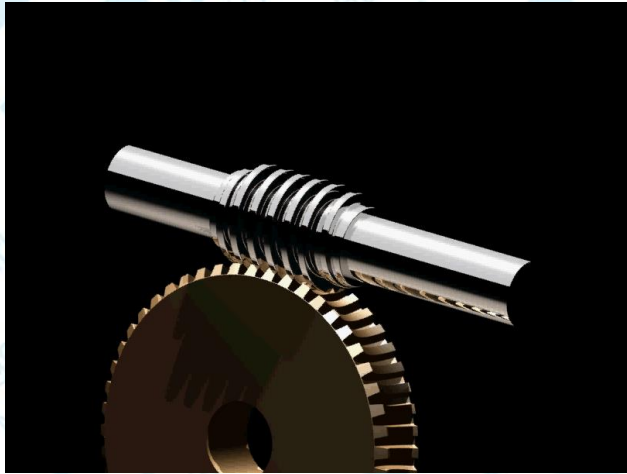
$$m_v = \pm \frac{r_{int}}{r_{ext}} = \pm \frac{d_{int}}{d_{ext}} = \pm \frac{N_{int}}{N_{ext}}$$

$$m_v = N_1 * N_2 * \dots * N_n$$

Engrenagem helicoidais

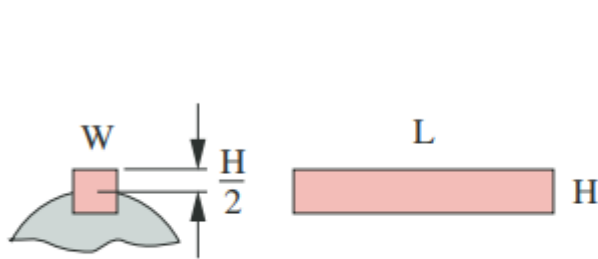


Sem-fim

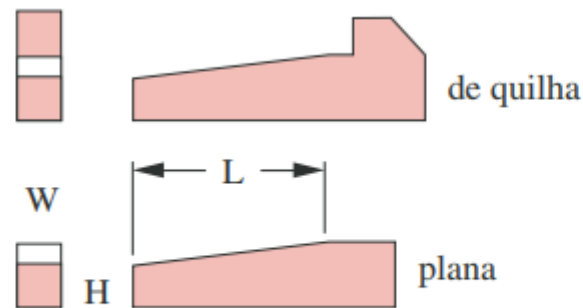


Chaveta

- A ASME define uma **chaveta** como “*uma parte de maquinaria desmontável que, quando colocada em assentos, representa um meio positivo de transmitir torque entre o eixo e o cubo*”
- Tipos de chaveta



(a) chaveta paralela



(b) chaveta afunilada
(ou cônica)

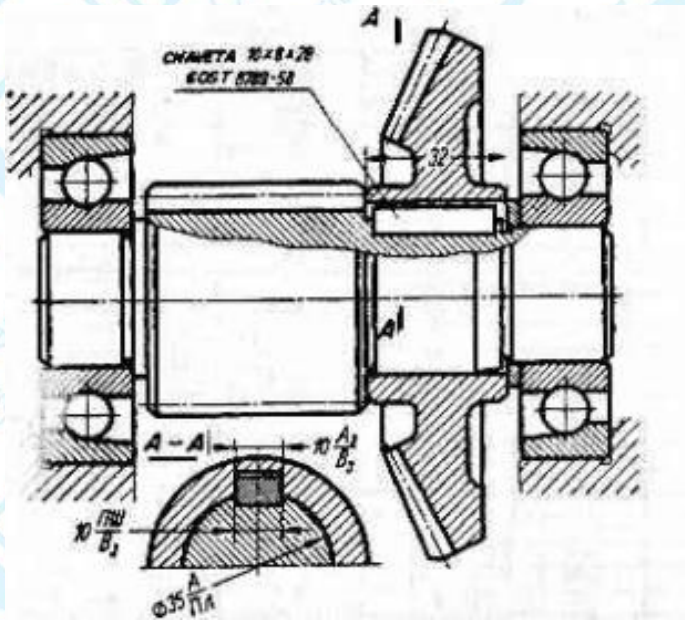


(c) chaveta Woodruff
(meia-lua)

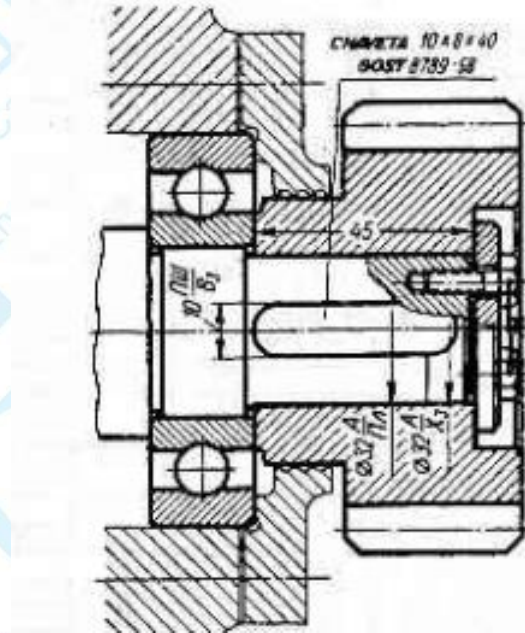
- Padronização ANSI e ISO para chavetas prismáticas

Diâmetro do eixo (in)	Largura nominal da chaveta (in)	Diâmetro do parafuso (in)	Diâmetro do eixo (mm)	Largura x altura da chaveta (mm)
$0,312 < d \leq 0,437$	0,093	#10	$8 < d \leq 10$	3 × 3
$0,437 < d \leq 0,562$	0,125	#10	$10 < d \leq 12$	4 × 4
$0,562 < d \leq 0,875$	0,187	0,250	$12 < d \leq 17$	5 × 5
$0,875 < d \leq 1,250$	0,250	0,312	$17 < d \leq 22$	6 × 6
$1,250 < d \leq 1,375$	0,312	0,375	$22 < d \leq 30$	8 × 7
$1,375 < d \leq 1,750$	0,375	0,375	$30 < d \leq 38$	10 × 8
$1,750 < d \leq 2,250$	0,500	0,500	$38 < d \leq 44$	12 × 8
$2,250 < d \leq 2,750$	0,625	0,500	$44 < d \leq 50$	14 × 9
$2,750 < d \leq 3,250$	0,750	0,625	$50 < d \leq 58$	16 × 10
$3,250 < d \leq 3,750$	0,875	0,750	$58 < d \leq 65$	18 × 11
$3,750 < d \leq 4,500$	1,000	0,750	$65 < d \leq 75$	20 × 12
$4,500 < d \leq 5,500$	1,250	0,875	$75 < d \leq 85$	22 × 14
$5,500 < d \leq 6,500$	1,500	1,000	$85 < d \leq 95$	25 × 14

Exemplos de aplicação



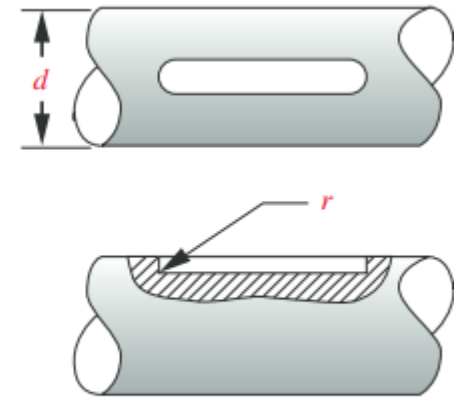
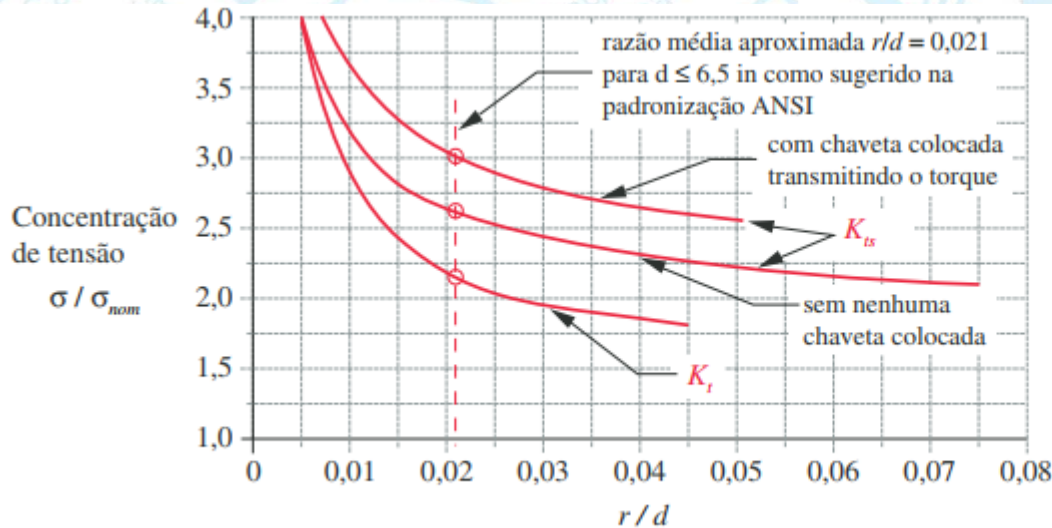
União com chaveta prismática de roda dentada cônica de transmissão principal de um automóvel



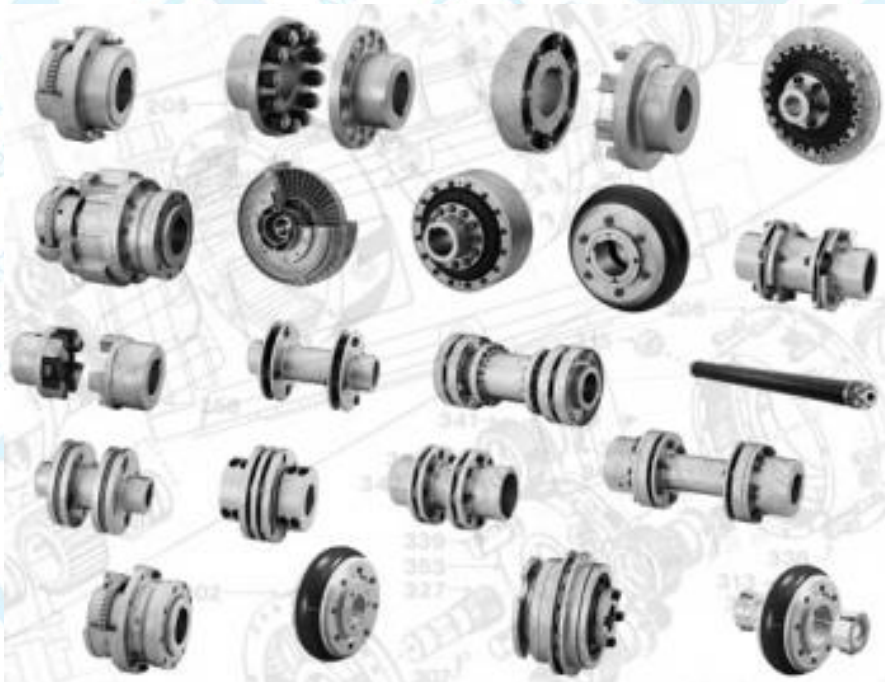
União com chaveta prismática de roda dentada com eixo de um redutor

Considerações de projeto

- Material Dúctil – geralmente dimensionado para falhar antes do cubo e eixo;
- Comprimento e número de chavetas
- Concentração de tensões no eixo



Acoplamento



✓ Rígidos;

✓ Complacentes;

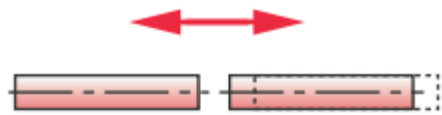
Acoplamentos rígidos

- Os acoplamentos rígidos travam os dois eixos conjuntamente, não permitindo movimento relativo entre eles.
- Usados quando a precisão e fidelidade da transmissão do torque são da mais absoluta importância, como, por exemplo, quando a relação de fase entre o dispositivo motor e o dispositivo movido deve ser mantida com precisão.

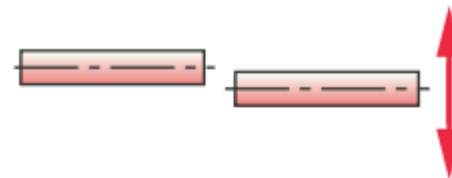


Acoplamentos complacentes

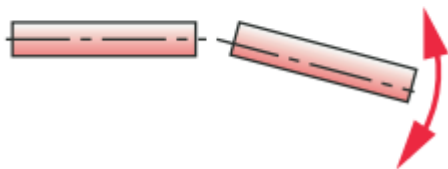
- É comum que exista desalinhamento em montagens.
- Numerosos projetos de acoplamentos complacentes foram manufaturados e cada um oferece uma combinação diferente de características. Normalmente, o projetista pode encontrar disponível no mercado um acoplamento apropriado para qualquer aplicação.



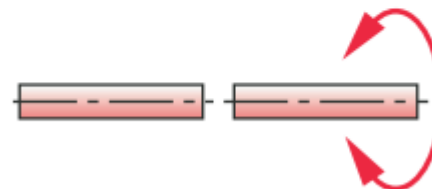
desalinhamento axial



desalinhamento paralelo



desalinhamento angular

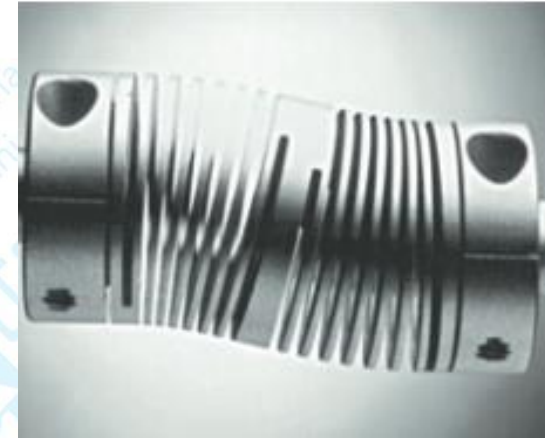


desalinhamento torcional

Acoplamentos complacentes



Acoplamento de mandíbula



Acoplamento de espiral e sanfonado



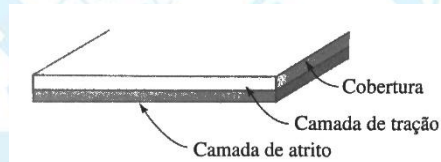
Acoplamento de Hooke



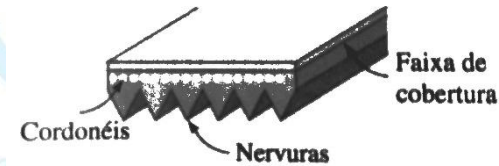
Acoplamento Schimidt

Correias

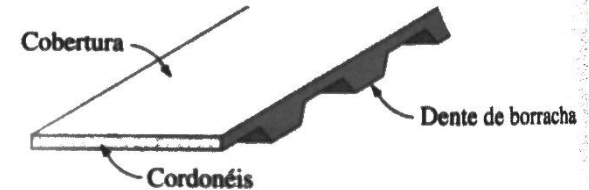
✓ Correia Plana;



✓ Correia em "V";



✓ Correia Sincronizadora



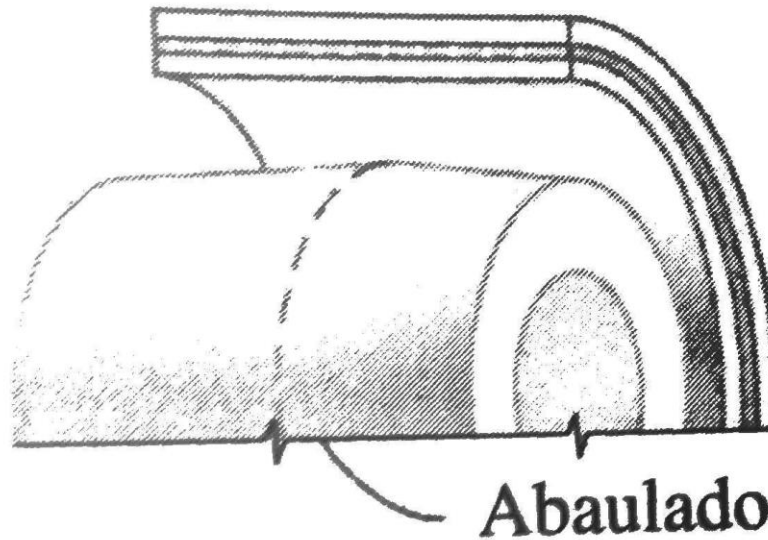
Correias planas

- Seção transversal retangular
- Construção simples;
- Baixo custo;
- Alta flexibilidade;
- Elevada tolerância à sobrecarga;
- Boa resistência em ambientes abrasivos;
- Ruidosa;
- Deslizamento é provável;
- Baixa eficiência em baixas velocidades;
- Tensionamento é necessário.



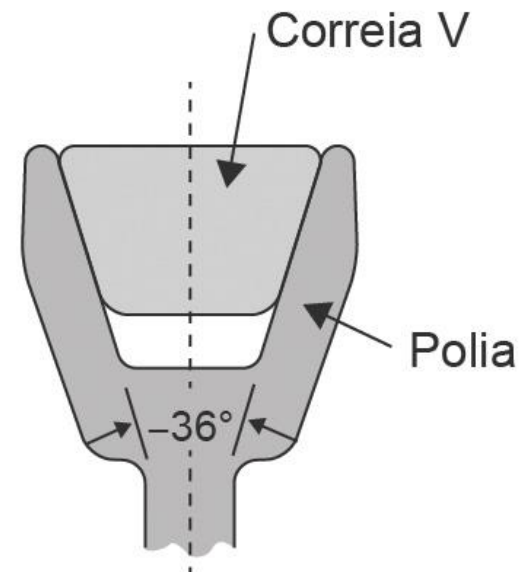
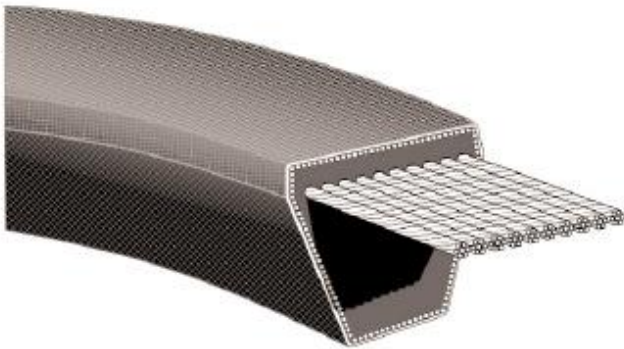
Polias para correias planas

- As polias são abauladas para correia plana
- - Esse tipo de polia provê uma trajetória estável para a correia -



Correias trapezoidais

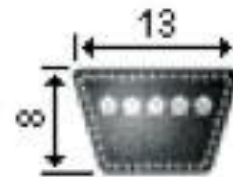
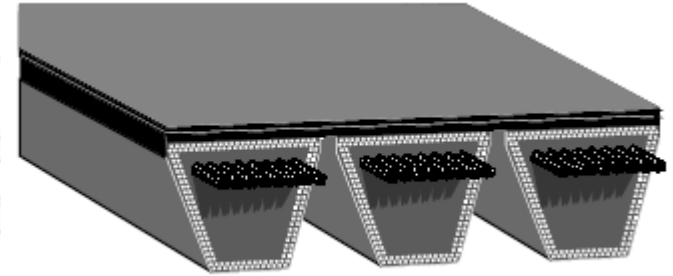
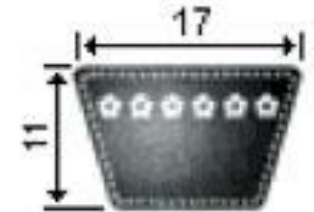
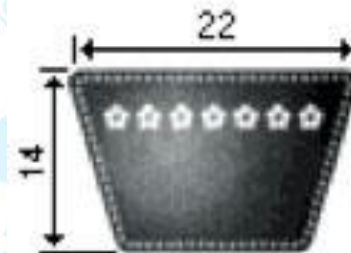
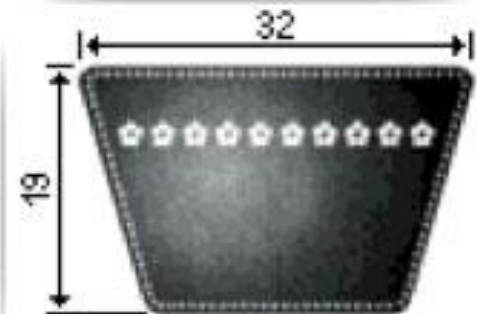
Transmissão por atrito, a correia em formato "V" tende a uma espécie de cunha para dentro do canal da polia quanto maior a carga \rightarrow maior a força de atrito



✓ Para alta potência, duas ou mais correias V podem ser utilizadas lado a lado em um arranjo chamado de multi-V, correspondente a feixes multi-canal;

✓ Boa resistência à sobrecargas;

✓ Ações simultâneas entre os feixes podem não ser precisas;

**A****B****C****D**

Correias sincronizadoras (Timing Belts)

São correias dentadas onde o sincronismo é garantido pela presença de dentes. A carga é transferida pelos dentes e pela superfície.

Utilizadas em:

- ✓ impressoras jato de tinta;
- ✓ alguns grandes robôs XY.



Correias sincronizadoras: tipos de dentes



Finalidade do tipo de dente:

- ✓ Redução de ruído;
- ✓ Aumento da carga máxima;
- ✓ Aumento da vida;
- ✓ Aumento da v_{max}

Considerações dinâmicas

A variação da tensão de uma correia ao longo da polia de tração pode ser expressa por:

$$\frac{T}{T_2} = e^{\mu\theta}$$

$$m_v = \frac{n_i}{n_f} = \frac{D_i}{D_f}$$

Onde:

T = tensão de entrada na polia;

T_2 = tensão de saída da polia;

μ = coeficiente de atrito;

θ = ângulo de abraçamento.

m_v = relação de transmissão

n_i = rotação da polia motora

n_f = rotação da polia movida

D_i = diâmetro da polia motora

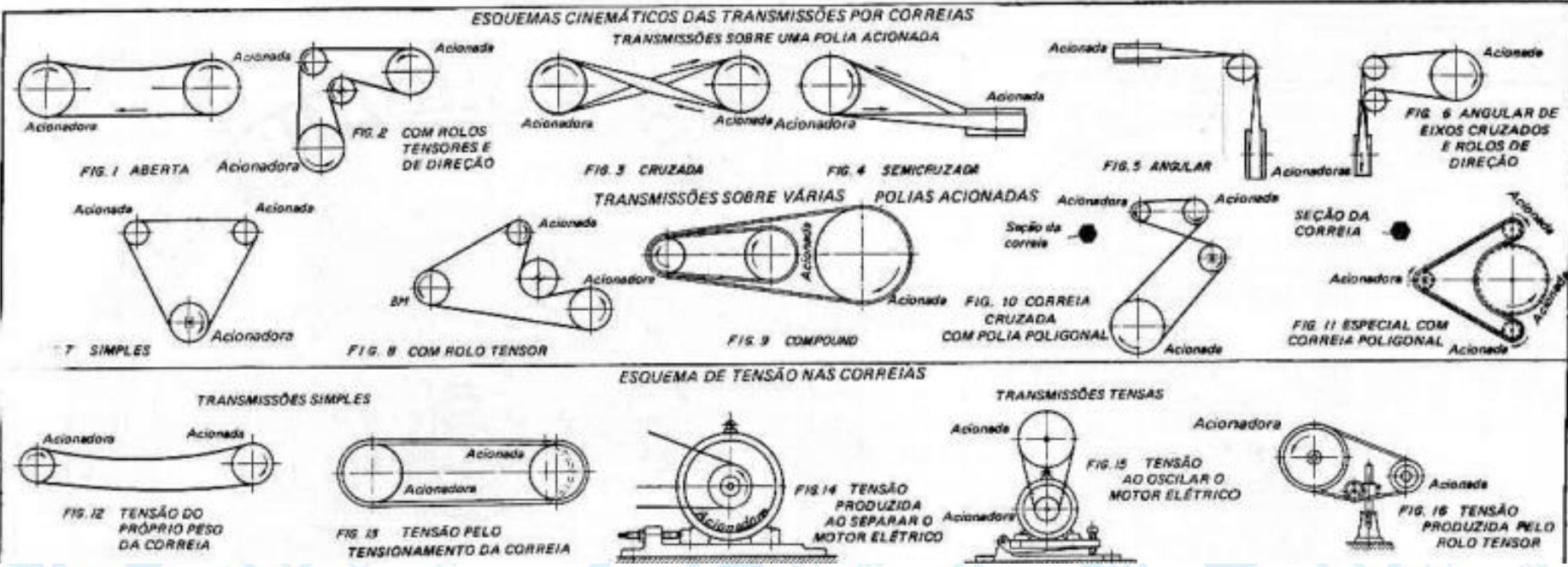
D_f = diâmetro da polia movida

Considerações dinâmicas

É possível aumentar o torque transmitido por:

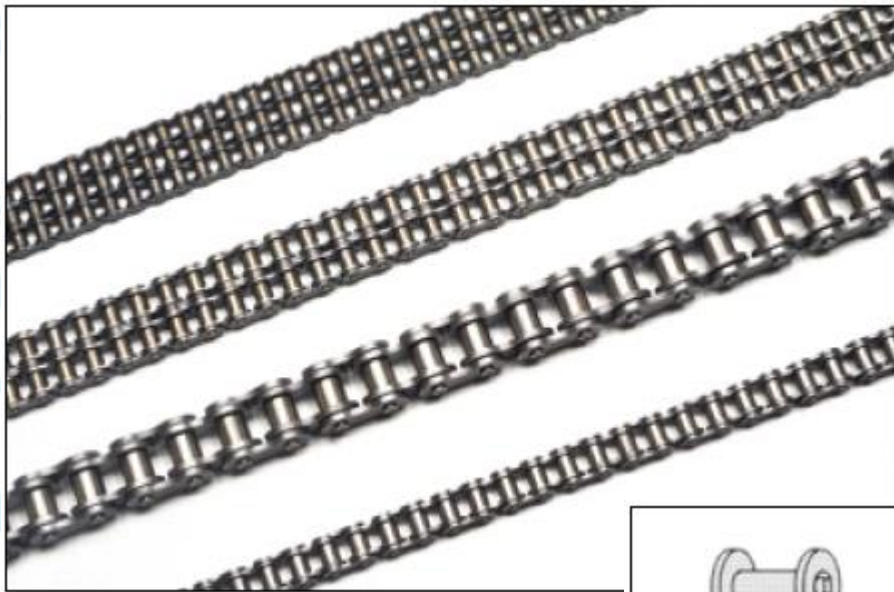
- ✓ Aumento do coeficiente de atrito;
- ✓ Aumento do ângulo de ‘abraçamento’ → empregando polias tensionadoras.
- ✓ A razão de transmissão é igual à razão entre o número de dentes da polia motora pelo da polia movida.

Exemplos de aplicação

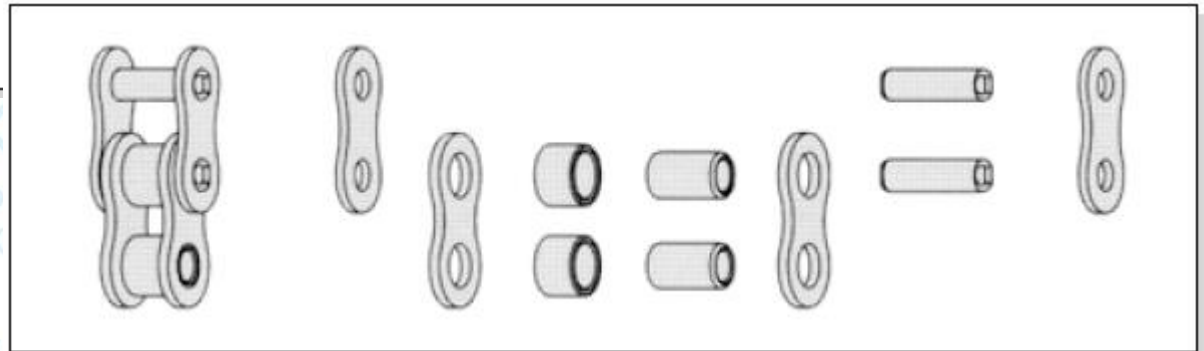


Transmissão por correntes

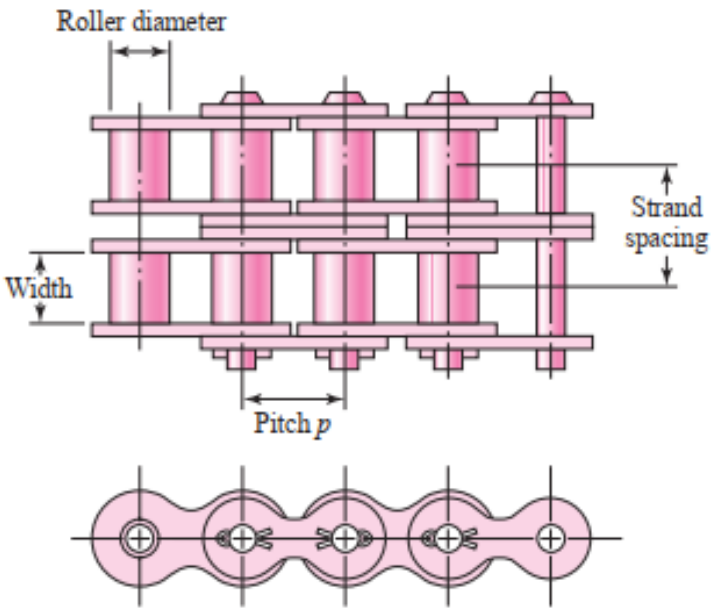
- ✓ As correntes também tem flexibilidade, e são preferidos para distâncias intermediárias.



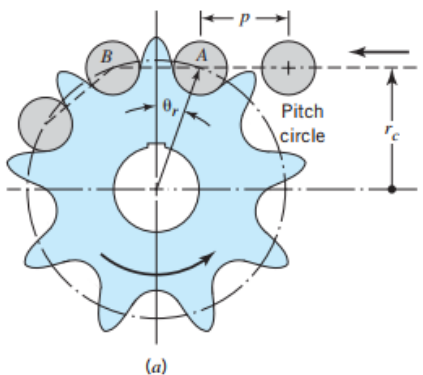
- ✓ Transmissão mais precisa que das correias;
- ✓ Longa vida de serviço;
- ✓ Custo intermediário (maior que com correias e menor que com engrenagens);



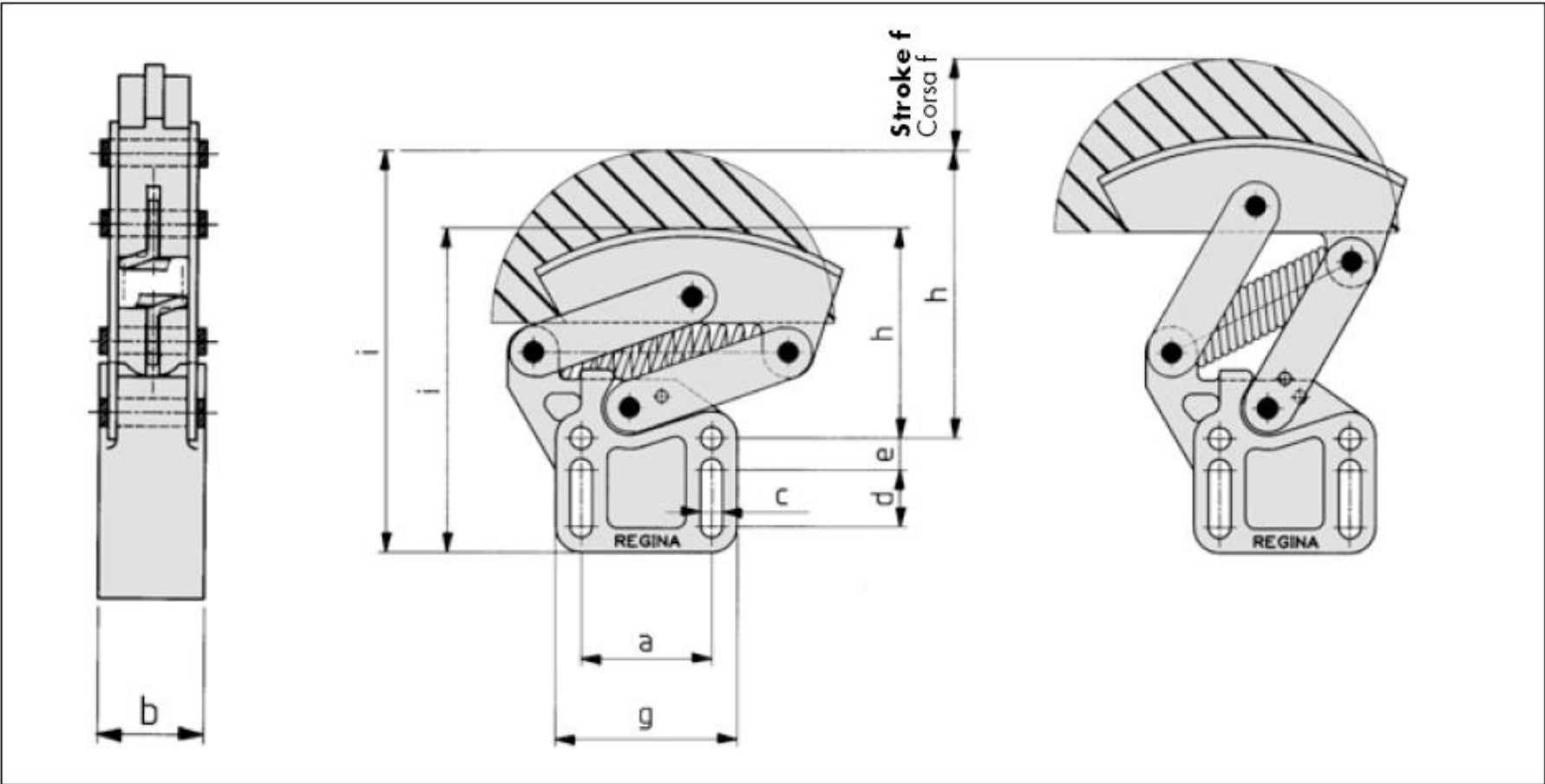
Tipos de correntes



- ✓ Variáveis tabeladas
- ✓ Possibilidade de construção de 1 – 4 filetes de rolos



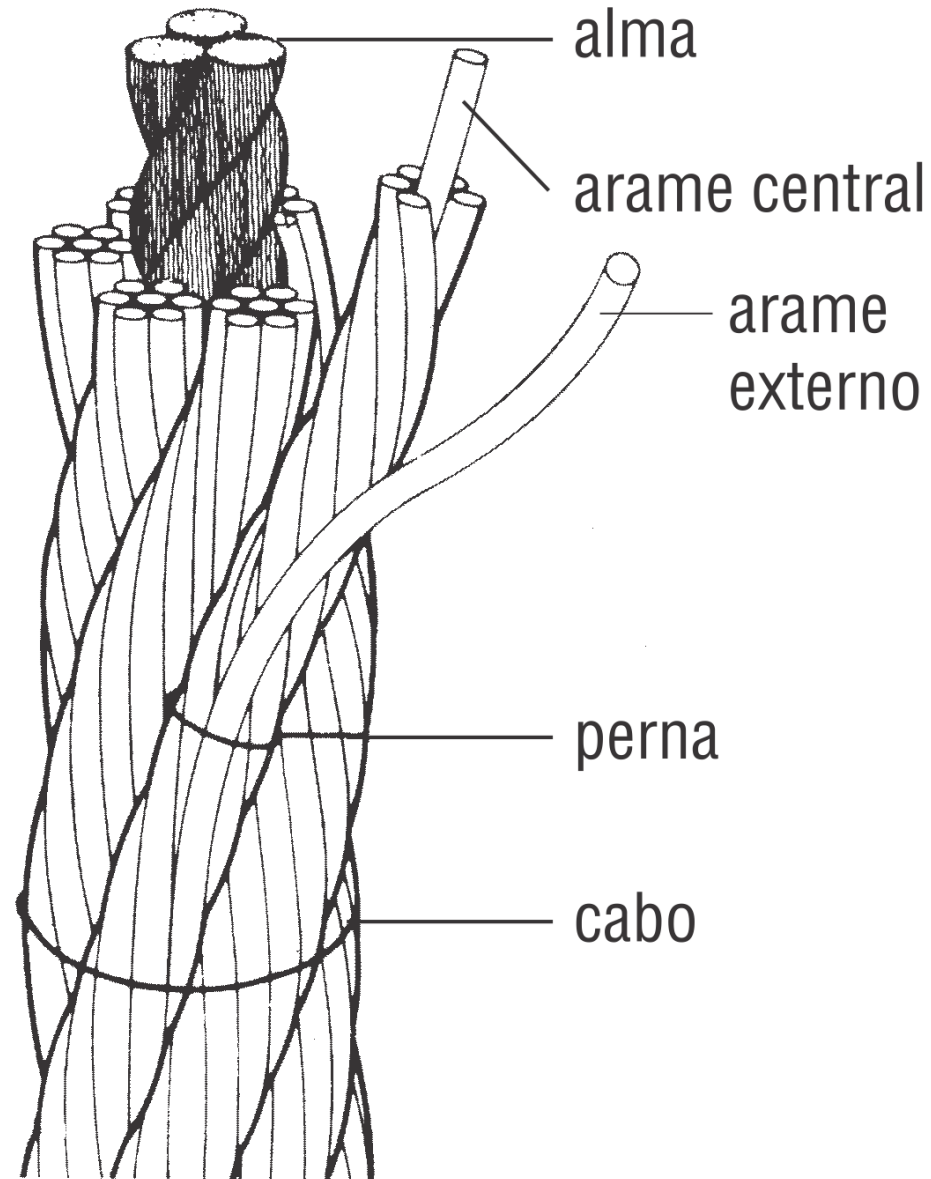
Tensionadores de correntes

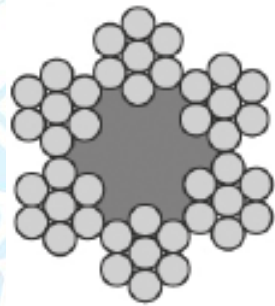


Cabos de aço

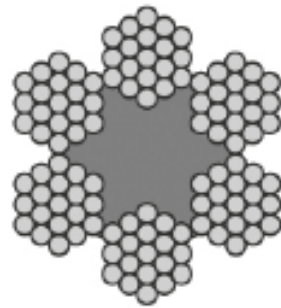
Os cabos de aço são utilizados para aplicações de elevação, reboque ou transporte no qual o cabo suporta carregamento em seu comprimento.

A flexibilidade do cabo é obtida através do uso de um grande número de arames de pequeno diâmetro torcidos em torno da alma.

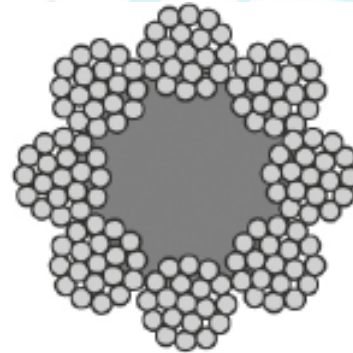




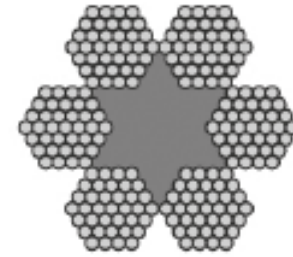
6 x 7
(reboque)



6 x 19
(levantamento padrão)

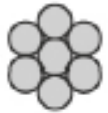


8 x 19
(extraflexível)



6 x 37
(flexível especial)

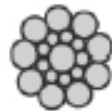
Seleção de seções transversais comuns de cabo de aço.



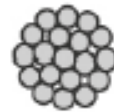
7 fios
(veja acima)



19 Warrington
(W)

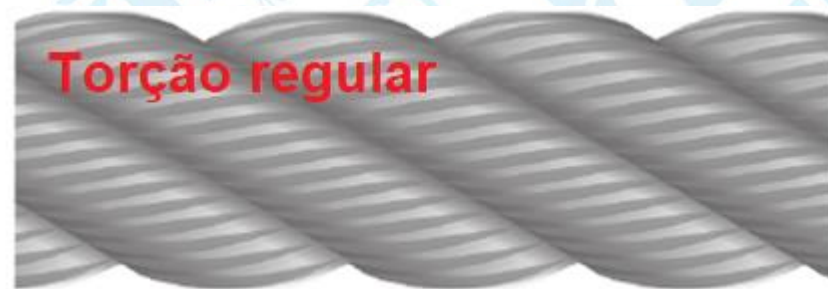


19 Seale
(S)



29 filler wire
(FW)

Alguns dos padrões multiarames disponíveis.
Combinação destes também são disponíveis.



Torção regular



Torção lang

Carga de ruptura dos cabos de aço

- ✓ **Carga de ruptura teórica**

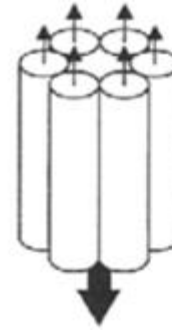
Área metálica x resistência dos arames

- ✓ **Carga de ruptura mínima efetiva**

Carga de ruptura teórica x fator de perda por encabramento

- ✓ **Carga de ruptura prática**

Carga obtida no ensaio de tração



Fatores de segurança aplicados na utilização dos cabos de aço

Aplicação	Fator de segurança
Cabos e cordalhas estáticas	3 a 4
Cabos para tração no sentido horizontal (esteios)	4 a 5
Guinchos	5
Guindastes e escavadeiras	5
Laços (Lingas)	5 a 6
Pontes rolantes	6 a 8
Talhas elétricas e outras	7
Guindastes estacionários	6 a 8
Elevadores de baixas velocidades (carga)	8 a 10
Elevadores de alta velocidade (passageiros)	10 a 12

Bibliografia

Budyas, Richard., and Nisbett J. Jeith. Shigley'S Mechanical Engineering Design, Shigley, McGraw-Hill Education. Pvt Limited. ISBN, 0070668612, 9780070668614.

Juvinall, Robert C., and Kurt M. Marshek. 2000. *Fundamentals of machine component design*. New York: John Wiley.

Norton, Robert L. *Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada*. Porto Alegre : Bookman, 2004.

Reshetov, D. N. Atlas de construção de máquinas. Hemus; 1ª edição. 1998

Tata, Robert P. Mechanical Power Transmission Fundamentals. Curso CED. 2012

Muito obrigado!

Thiago Calabreze de Azevedo
azevedo.thiago@usp.br