

# Elementos de máquinas e mecanismos

LEB 332 - Mecânica e Máquinas Motoras



USP



ESALQ



ENGENHARIA DE  
BIOSISTEMAS  
USP - ESALQ

Thiago Romanelli  
romanelli@usp.br

# Objetivo

Abordar os conceitos básicos que envolvem elementos de máquinas e mecanismos de uso comum em máquinas agrícolas e florestais visando o entendimento do seu funcionamento e aplicações

# Bibliografia

Material no e-Disciplinas

# Conceitos básicos

Elemento de máquina

Par cinemático

Mecanismo

Cadeia cinemática

Bastidor

# Conceitos básicos

**Elemento de máquina** – é o órgão unitário que no conjunto com outros forma os mecanismos e as máquinas

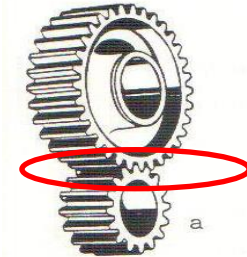
Ex.: parafuso, engrenagem, árvore



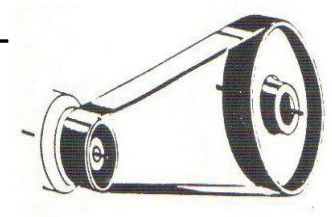
# Conceitos básicos

**Par cinemático** – dois elementos ligados entre si e a vinculação pode ser por:

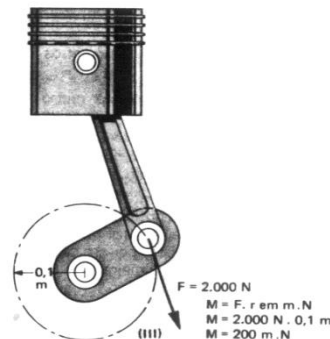
ponto – o dente de engrenamento das engrenagens



elemento flexível – correias



articulação – a rótula entre biela e manivela (mancal)



deslizamento – êmbolo (pistão) e camisa



# Conceitos básicos

**Mecanismo** – é o conjunto de peças ou elementos de máquinas ligados de forma a produzir um movimento específico

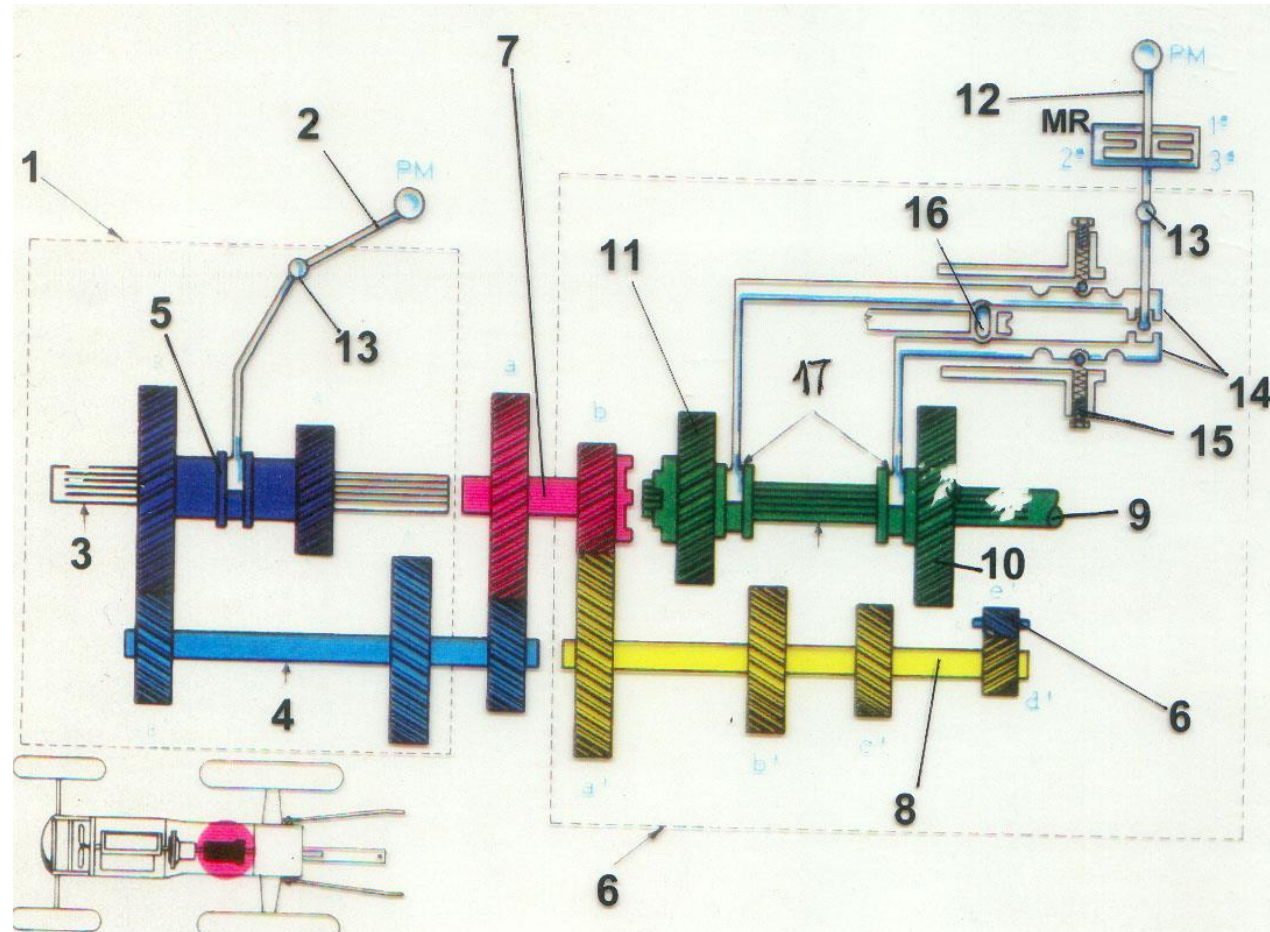
Ex.: par de engrenagens acopladas e fixadas



# Conceitos básicos

**Cadeia cinemática ou sistema** – vários elementos ligados entre si e fixados em bastidores

Ex.: caixa de câmbio





# Conceitos básicos

**Bastidor** – é o elemento fixo

Ex.: carcaça da caixa de câmbio, bloco do motor, chassi



# Elementos ou órgãos

## Elementos de transmissão de movimento:

-eixos e árvores (árvore transmite torque)

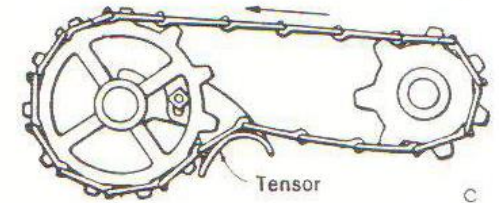
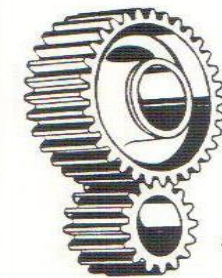
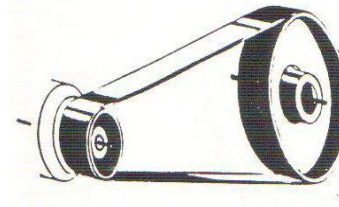
-polias e correia

-engrenagens

-rodas denteadas e correntes

-rodas de atrito

-cabos flexíveis



# Elementos de transmissão de movimento: eixos e árvores

- Eixo X Árvore

Eixo é um elemento fixo, não submetido a esforço de torção e que apenas suporta rodas, polias, etc. Como exemplo tem-se o elemento que suporta as rodas de uma carreta agrícola.



Árvore é um elemento que gira transmitindo potência, portanto é submetido a esforço de torção.

Existem árvores retilíneas, árvores de manivelas (típicas nos motores de combustão interna) e árvores flexíveis formadas por cabo de aço girando envolto em uma capa, também flexível como o caso do cabo do velocímetro de um carro ou do odômetro (contador de giro) do motor do trator.



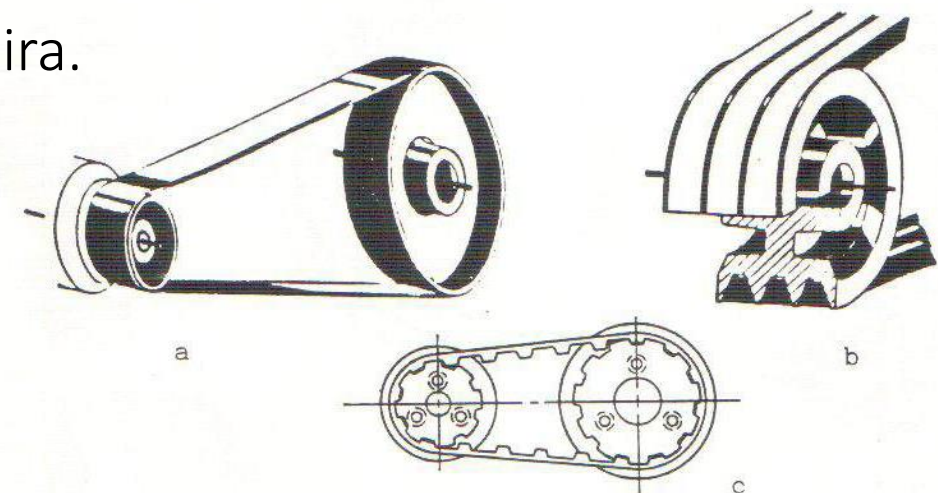
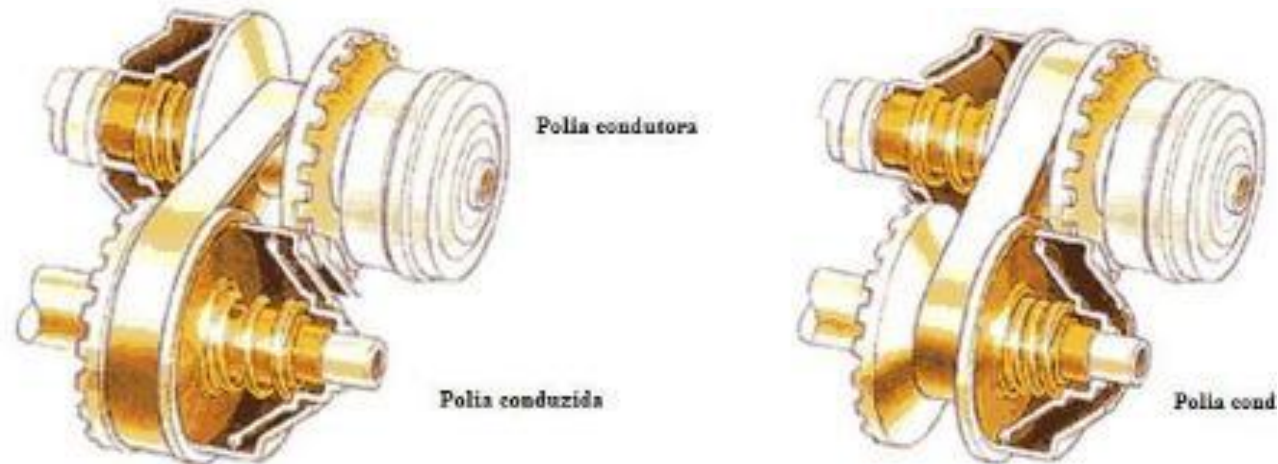
# Elementos de transmissão de movimento: polias e correias

Duas polias formam um par cinemático quando unidas por um elemento flexível denominado de correia. Uma polia sempre será a motora e a outra a movida.

Cada tipo de correia corresponde a um tipo de polia.

As correias podem ser planas, em couro, borracha, lona ou mistas e servem para transmissão ou para transporte.

As polias normalmente são de aço, alumínio ou madeira.

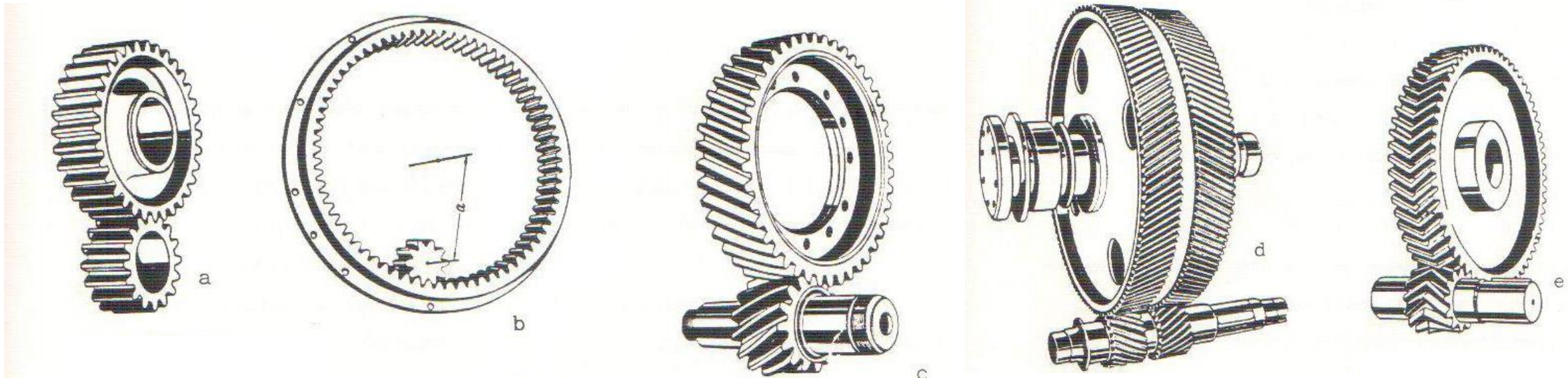


# Elementos de transmissão de movimento: engrenagens

Nos primórdios eram rudimentares e construídas em madeira. Hoje são de ferro fundido, no caso de transmissões de baixa velocidade e torque, ou usinadas em aço e de alta precisão nas transmissões mais complexas.

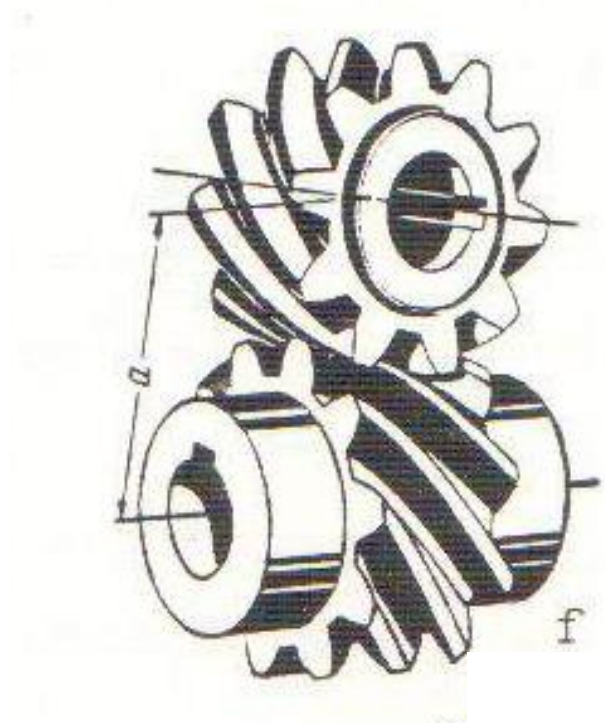
São classificadas pela sua forma construtiva, definindo suas aplicações. Existem engrenagens cilíndricas, helicoidais, cônicas e tipo parafuso sem-fim.

- As engrenagens cilíndricas são utilizadas somente em árvores paralelas e podem ser de dentes retos, inclinados ou duplos (em “V”). Elas podem ter dentes internos ou externos.



# Elementos de transmissão de movimento: engrenagens

- Engrenagens helicoidais ou em espiral servem para engrenamentos com árvores em qualquer ângulo, porém não concorrentes.



# Elementos de transmissão de movimento: engrenagens

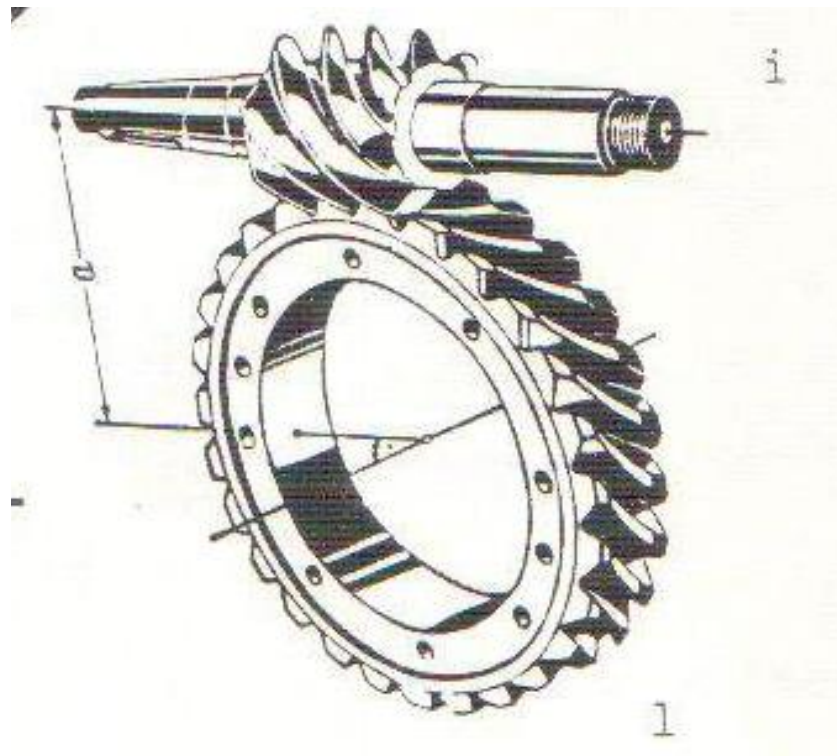
- Engrenagens cônicas servem para engrenamentos em árvores em qualquer ângulo e podem ser de dentes retos, inclinados ou curvos, para árvores concorrentes. No caso de árvores não concorrentes podem ser descentradas e ter dentes curvos (hipóides).



# Elementos de transmissão de movimento: engrenagens

Também existem as engrenagens tipo parafuso sem-fim, específicas para árvores perpendiculares e não concorrentes.

.

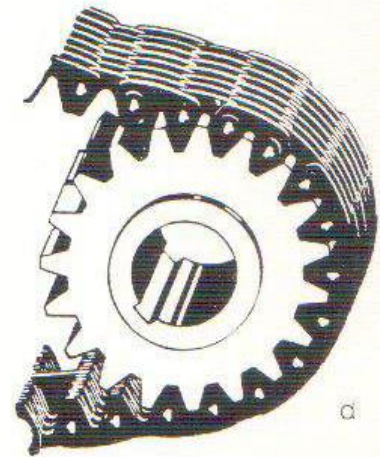
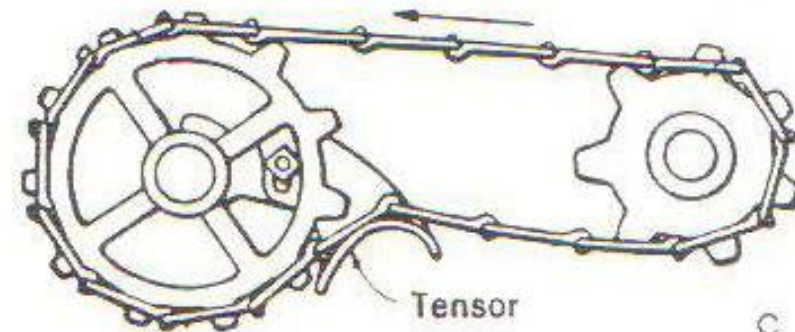
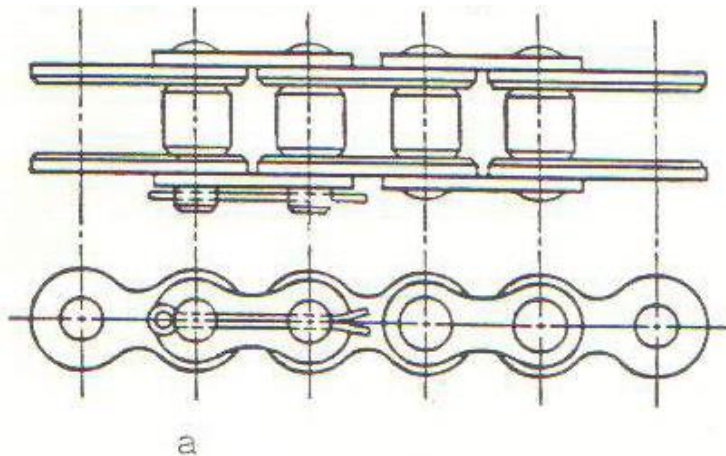




## Elementos de transmissão de movimento: Rodas denteadas e correntes

As rodas denteadas são análogas às polias e as correntes análogas às correias. A diferença é não permitir deslizamento na transmissão.

- As correntes podem ser de rolos, dentes, elos fundidos, estampados ou soldados. Correntes de rolos podem ter uma ou mais carreiras de rolos.
- As correntes de dente são compactas, permitindo transmissões de potências elevadas.

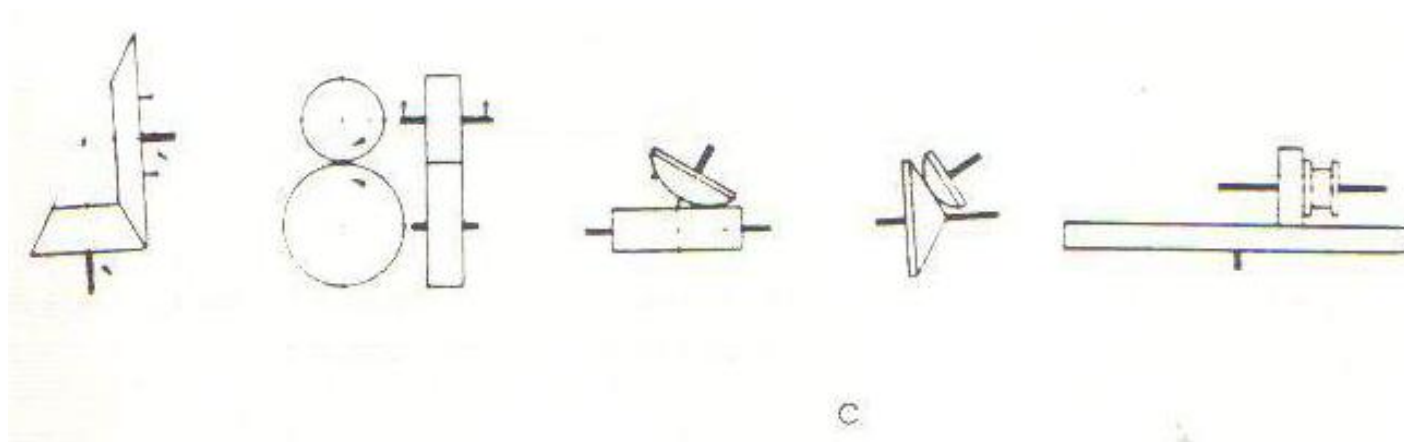


## Elementos de transmissão de movimento: Rodas de atrito

Embora pareça um princípio ultrapassado de transmissão, as rodas de atrito têm sua aplicação, inclusive em máquinas agrícolas e florestais. A maior desvantagem que têm em relação aos outros princípios é o espaço ocupado. Para que haja atrito tem que haver superfície e em transmissão de potências elevadas essa superfície pode se tornar inviável.

As características e tipos são semelhantes às engrenagens, podendo ser para eixos paralelos ou não. A maior diferença entre ambas é que nas engrenagens é impossível haver deslizamento. Nas rodas de atrito ele existe e em alguns casos é até necessário, por isso a utilização desse princípio.

As rodas de atrito são construídas com diferentes materiais, porém na banda de contato utilizam-se materiais antifricção como borrachas, couro e modernamente, algumas ligas metálicas.



# Elementos de união

Muitos elementos têm funções aparentemente secundárias, porém a sua ausência pode inutilizar uma máquina.

Por exemplo, o parafuso no cabeçote de um motor. Se mal apertado ou ausente pode inutilizar o motor em poucas horas de funcionamento. Os órgãos de união servem, portanto, para unir outros órgãos e podem ser subdivididos em desmontáveis, fixos e flexíveis.

# Elementos de união

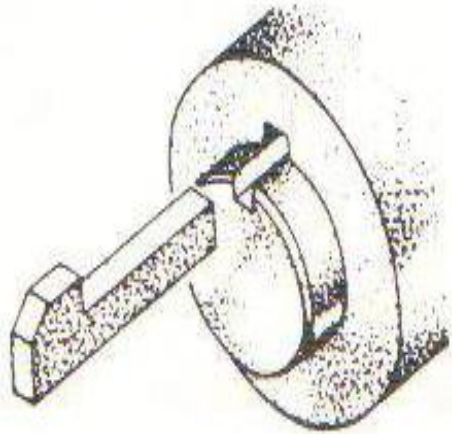
- desmontáveis
  - acoplamentos rígidos

Os acoplamentos ocorrem normalmente entre duas árvores, por exemplo entre a árvore de manivelas de um motor estacionário e uma bomba de irrigação. Dependendo da exatidão desse alinhamento podem ser utilizados diferentes tipos de acoplamentos. Os acoplamentos rígidos se caracterizam por vínculo completo entre as partes. Os elementos envolvidos nesse tipo de acoplamento são as chavetas, árvores estriadas e as flanges (unidas com parafusos e porcas).

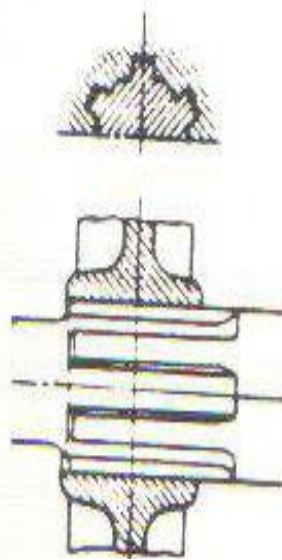
## Elementos de união:

-desmontáveis

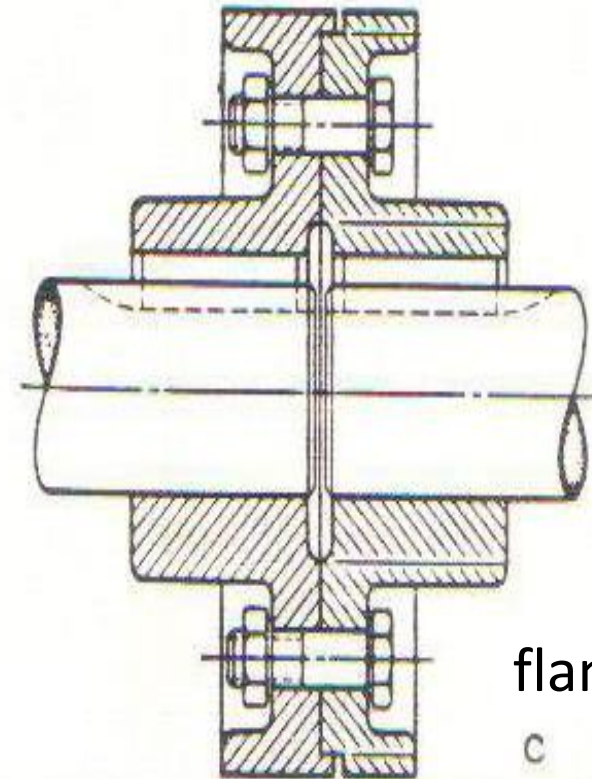
- acoplamentos rígidos



chaveta



árvore estriada



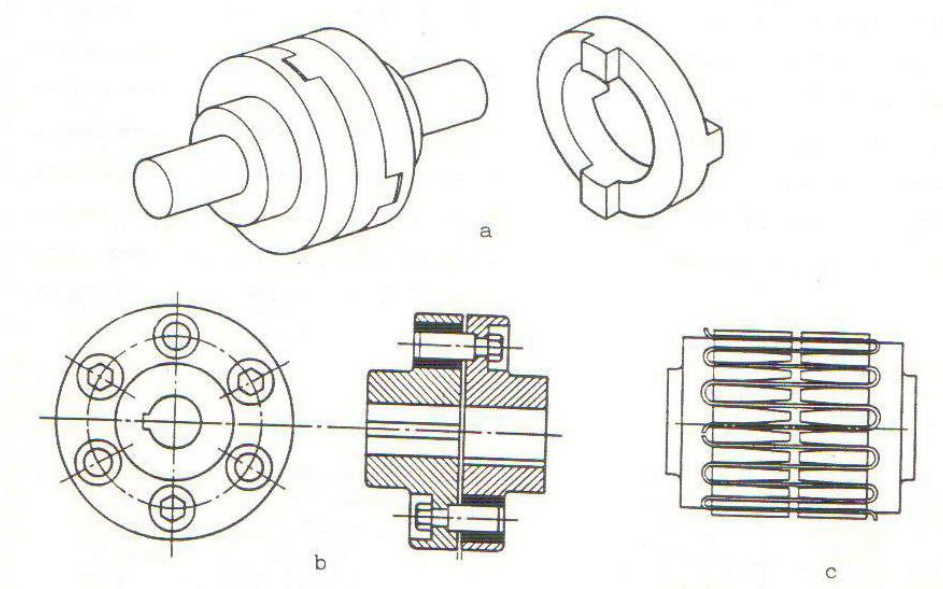
flange

c

## Elementos de união:

-desmontáveis

- acoplamentos flexíveis (com elementos)



elemento intermediário de borracha

com pinos laminados



com corrente de elos; com recortes de correia plana;  
com capa de borracha

## **Elementos de união:**

- desmontáveis

- juntas universais

O trator possui, na sua parte posterior, uma árvore denominada de tomada de potência (TDP).

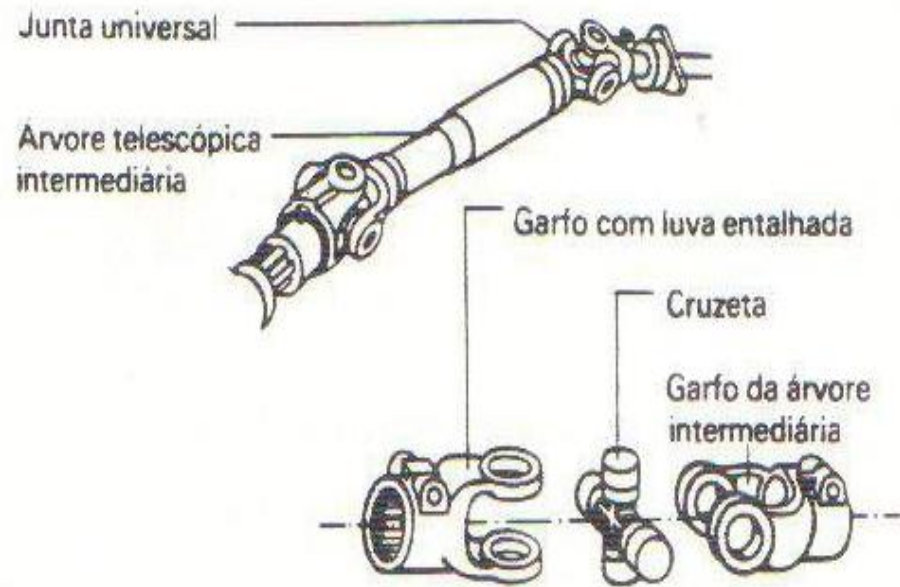
Essa árvore recebe movimento do motor e tem na sua parte terminal, já fora do trator, um acoplamento rígido estriado.

As máquinas a serem acionadas são a ela acopladas, porém não estarão alinhadas com a TDP. Portanto, entre a TDP e o ponto de destino do movimento rotativo que passa para a máquina, devem existir órgãos que permitam a transferência do movimento rotativo com ângulos, às vezes de  $30^\circ$  ou mais.

## Elementos de união:

-desmontáveis

- juntas universais





## **Elementos de união:**

-desmontáveis

- mancais de deslizamento

Os mancais sempre existirão na união entre árvores ou eixos e bastidores, eixos e rodas ou entre elementos especiais como biela e árvore de manivelas no motor.

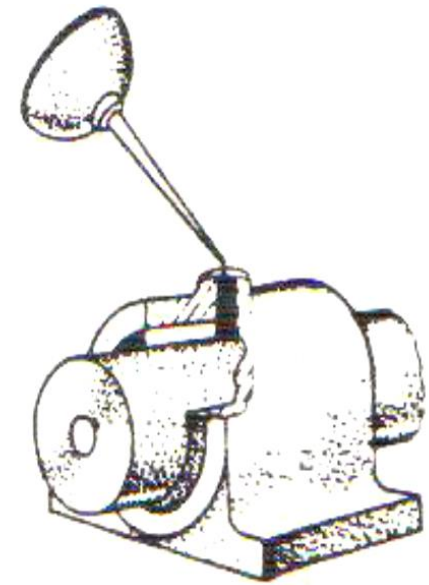
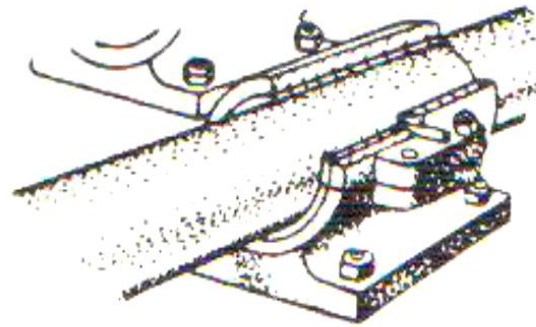
Permitem o movimento relativo entre duas superfícies e minimizar o atrito presente. Independentemente do tipo de mancal, o atrito é tanto maior quanto maior for o esforço atuante sobre a união. Esses esforços podem ser radiais, axiais ou angulares, também denominados de combinados.

Eles podem ser de deslizamento, também conhecidos como mancais de fricção e nesse caso podem apresentar ou não uma camisa de material mais macio que o da árvore ou eixo para que se desgaste e seja substituída sem desgastar a árvore ou eixo. Essa camisa normalmente é feita de bronze.

## Elementos de união:

-desmontáveis

- mancais de deslizamento



## Elementos de união:

-desmontáveis

- mancais de rolamento



## Elementos de união:

-desmontáveis

- parafusos e porcas

- São tipicamente elementos de união e fixação dos mais variados elementos.
- Infinitude de tipos de parafusos e dos mais variados tamanhos.
- As aplicações são numerosas e é difícil se imaginar uma máquina que não os utilize.
- Existem diferentes tipos como de cabeça sextavada, de cabeça quadrada, de cabeça com fenda, com sextavado interno, etc.



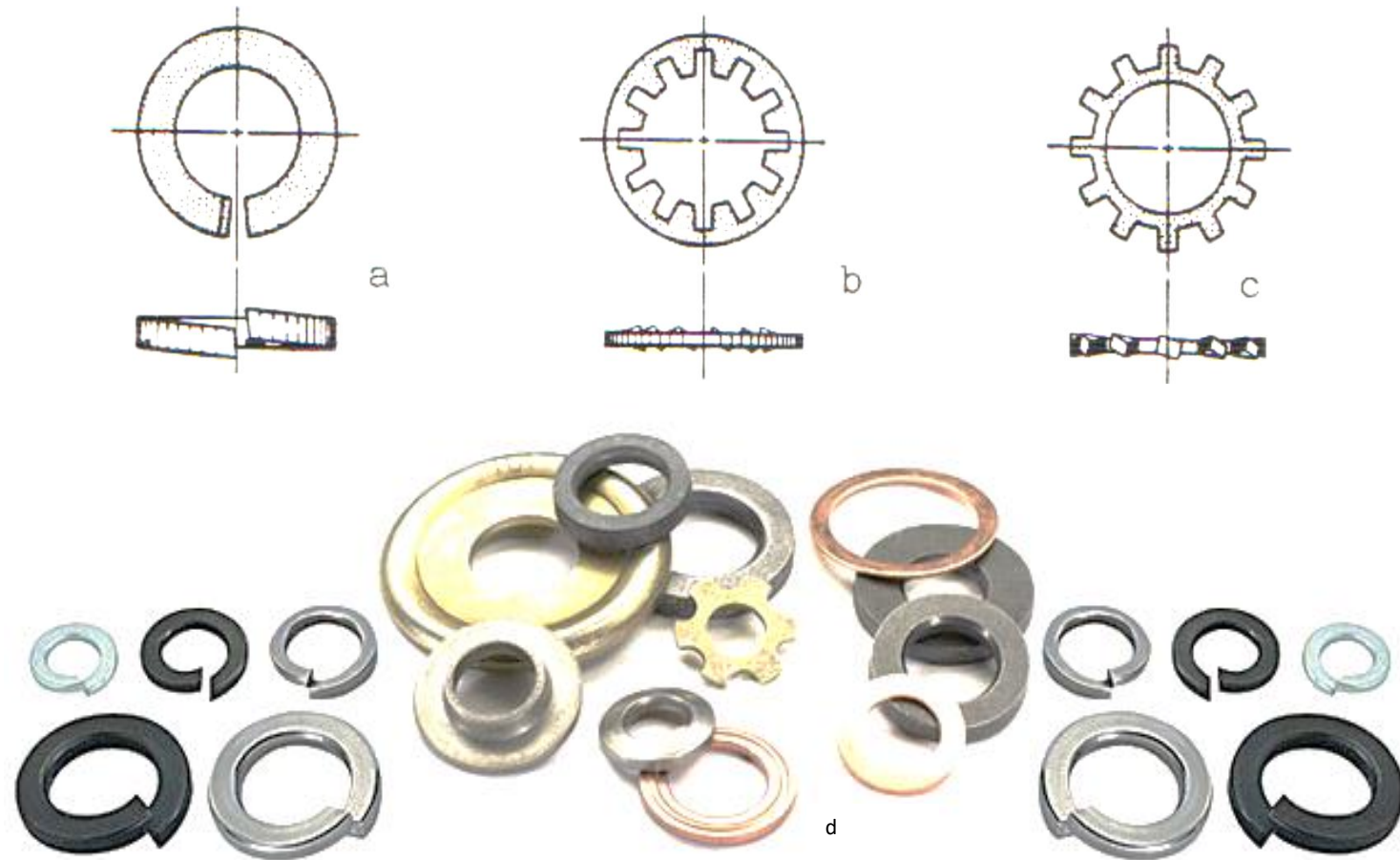
## Elementos de união:

-desmontáveis

- arruelas

- As arruelas são utilizadas juntamente com parafusos e porcas e servem de elemento de separação entre a porca e o elemento que está sendo pressionado por ela. Com isso as vibrações que possam existir não tendem a soltar a porca. Dependendo do rigor dessas vibrações utilizam-se diferentes tipos de arruelas:

- arruelas lisas- são utilizadas em fixações normais.
- arruelas de pressão- são recomendadas para uniões em que há presença de efeitos de vibrações e podem ser cortadas, denteadas ou onduladas.



## Elementos de união:

-desmontáveis

- pinos

A aplicação mais comum para os pinos é na fixação de um elemento a outro. Em máquinas agrícolas utiliza-se pinos para acoplar uma máquina ao trator. Eles podem ser elásticos, que entram sob pressão para não saírem sob o efeito, principalmente da vibração das máquinas, ou cilíndricos maciços.

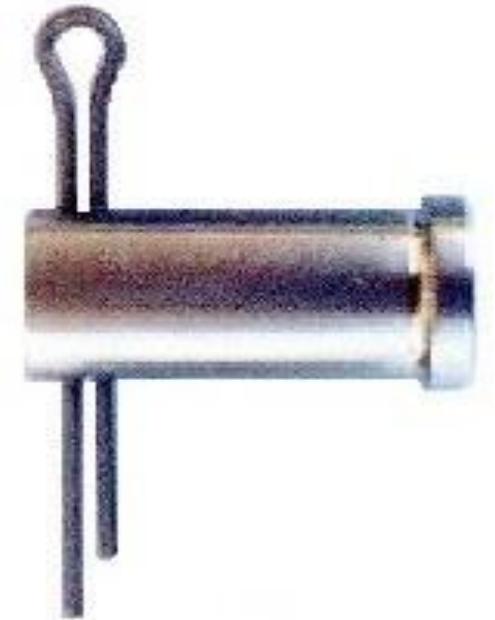


## Elementos de união:

-desmontáveis

- contrapinos ou cupilhas

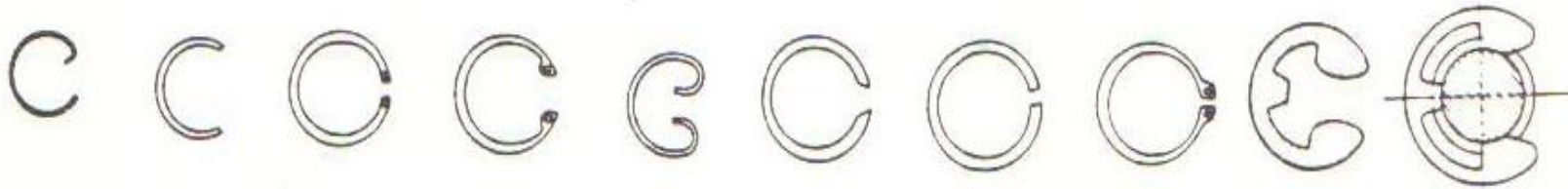
São utilizados em inúmeras aplicações, sempre prendendo um elemento a outro. Em máquinas agrícolas e florestais são comuns na função de prender pinos ou até mesmo porcas para que, com as vibrações, comuns nessas máquinas, não soltem-se.



## Elementos de união:

-desmontáveis

- anéis elásticos





## Elementos de união:

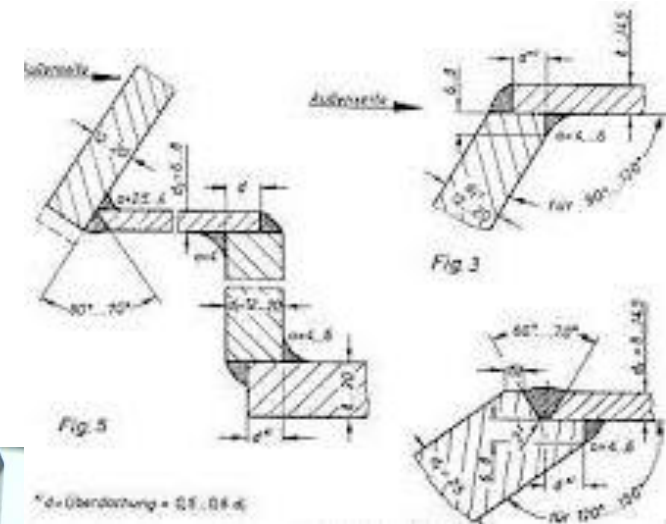
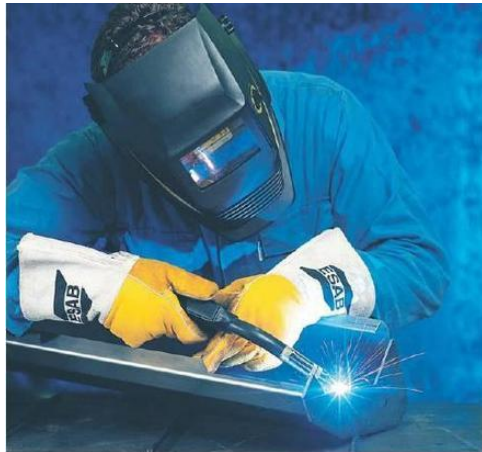
-desmontáveis

- rebites



# Elementos de união:

- fixas
- solda



## Elementos de união:

- flexíveis

- molas

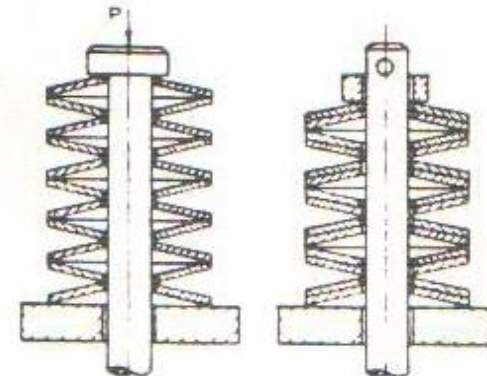
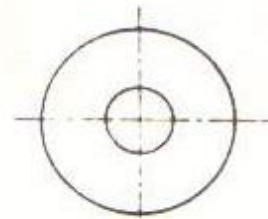
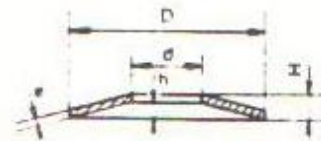
Em máquinas agrícolas e florestais são inúmeras as aplicações de uniões flexíveis realizadas por elementos denominados de molas. As molas servem para:

- absorver energia de cargas súbitas;
- atuar como reservatório de energia;
- assegurar pressão eu força;
- amortecer.



helicoidais

a



tipo prato



tipo lâmina

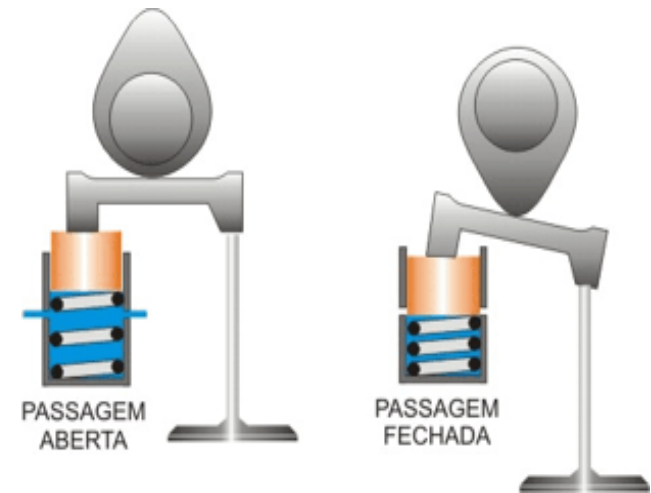
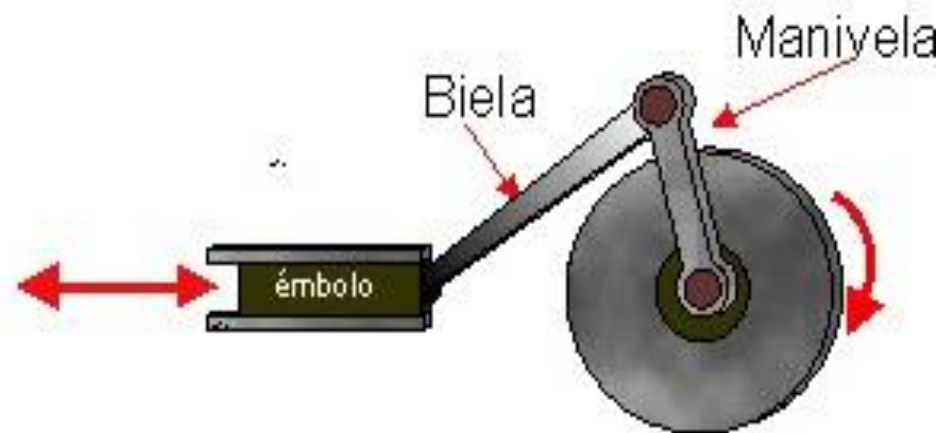
# Elementos de transformação de movimento

Alguns pares cinemáticos têm funções bastante nobres e fundamentais. A transformação de movimento rotativo em linear, ou o seu inverso, são comuns em motores e em muitas máquinas agrícolas e florestais. Especificamente podem ser citadas:

- biela e árvore de manivelas que transformam o movimento retilíneo de um êmbolo em giro do motor produzindo, nesse processo, o torque;
- came do sistema de comando de válvulas de um motor, que transforma movimento rotativo da árvore do comando de válvulas em movimento linear das válvulas;
- excêntricos em geral, comuns, por exemplo, em máquinas que utilizam peneiras, transformando movimento rotativo em linear alternativo para agitar as peneiras.

## Elementos de transformação de movimento:

- biela
- came
- excêntrico



# Mecanismos de transmissão

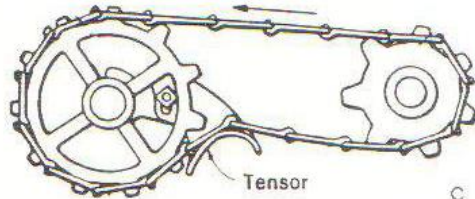
transmissão direta



por correia



por corrente



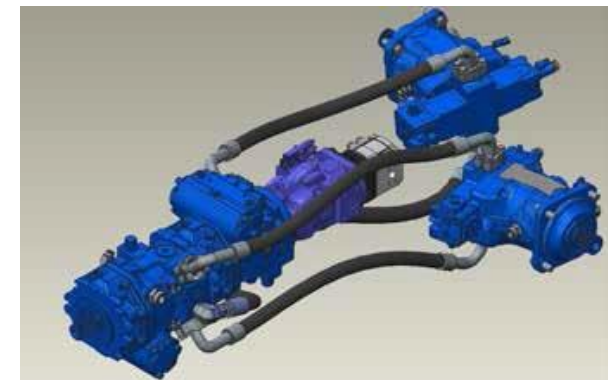
por engrenagens



por rodas de atrito



hidrostática



# Transmissão com mecanismo de segurança

limitadores de torque

freios

acoplamentos direcionais (catracas)

# Eficiência de transmissão

- em qualquer sistema mecânico existem perdas por atrito, dissipação de calor, ruído e outros
- a potência disponibilizada é sempre menor que a fornecida e a razão entre as duas (saída e entrada) é denominada de eficiência

$$E_f = P_{\text{saída}} / P_{\text{entrada}}$$

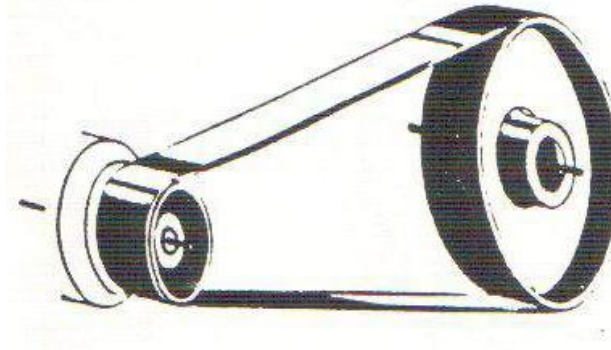


# Relações de transmissão:

Relação de transmissão:

$$i = D_2 / D_1$$

- por polias e correia



$D_1$   $N_1$   $T_1$

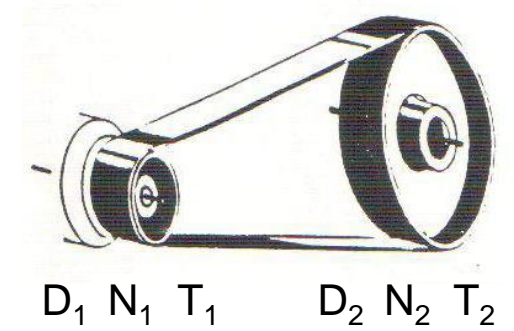
$D_2$   $N_2$   $T_2$

$$D_2 / D_1 = N_1 / N_2 = T_2 / T_1$$

Exemplo:

Motor elétrico:

		$N_1 = 1750 \text{ rpm}$
		$T_1 = 20 \text{ Nm}$
	polia do motor	$D_1 = 220 \text{ mm}$
Moinho		
	polia do moinho	$D_2 = 410 \text{ mm}$
		$E_f = 0,97$



$$D_2 / D_1 = N_1 / N_2 = T_2 / T_1$$

$$i = ?$$

$$N_2 = ?$$

$$P_2 = ?$$

$$\text{Relação de transmissão: } i = D_2 / D_1$$

$$i = 410 / 220$$

$$= 1,86: 1$$

$$= 1,86 \text{ (de redução da rotação)}$$

$$N_2 = N_1 D_1 / D_2$$

$$N_2 = 1750 \cdot 220 / 410$$

$$N_2 = 939 \text{ rpm}$$

$$P_2 = 2 \pi N_2 T_2$$

$$P_2 = 0,97 P_1$$

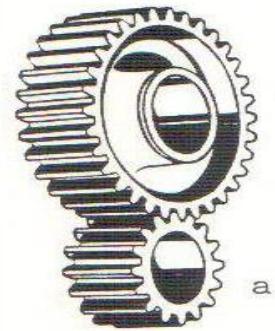
$$P_2 = 0,97 \cdot 2 \pi N_1 T_1$$

$$P_2 = 0,97 \cdot 2 \pi (1750/60) \cdot 20$$

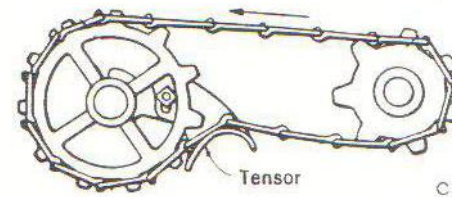
$$P_2 = 3555,1 \text{ W}$$

# Relações de transmissão:

- por engrenagens ou rodas denteadas e correntes



$Z_1 \ N_1 \ T_1$



$Z_2 \ N_2 \ T_2$

$$Z_2 / Z_1 = N_1 / N_2 = T_2 / T_1$$

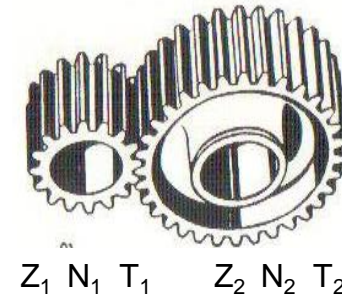
Exemplo:

Motor elétrico:

$$N_1 = 1750 \text{ rpm}$$

$$T_1 = 25 \text{ Nm}$$

$$Z_1 = 15$$



Moinho:

engrenagem do motor

engrenagem do moinho

$$Z_2 = 35$$

$$E_f = 0,98$$

$$\boxed{Z_2 / Z_1 = N_1 / N_2 = T_2 / T_1}$$

$$i = ?$$

$$N_2 = ?$$

$$P_2 = ?$$

Relação de transmissão:  $i = Z_2 / Z_1$

$$i = 35 / 15 = 2,33 : 1$$

$$= 2,33 \text{ (de redução da rotação)}$$

$$N_2 = N_1 Z_1 / Z_2$$

$$N_2 = 1750 \cdot 15 / 35$$

$$N_2 = 750 \text{ rpm}$$

$$P_2 = 2 \pi N_2 T_2$$

$$T_2 = (Z_2 T_1 / Z_1) E_f$$

$$T_2 = (35 \cdot 25 / 15) \cdot 0,98$$

$$T_2 = 57,2 \text{ Nm}$$

$$P_2 = 2 \pi (750 / 60) 57,2$$

$$P_2 = 4492,3 \text{ W}$$