



ÓRGÃOS DE MÁQUINAS II

Licenciatura em Engenharia Mecânica



Elaborado por Paulo Flores - 2023

Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade do Minho

Campus de Azurém

4804-533 Guimarães

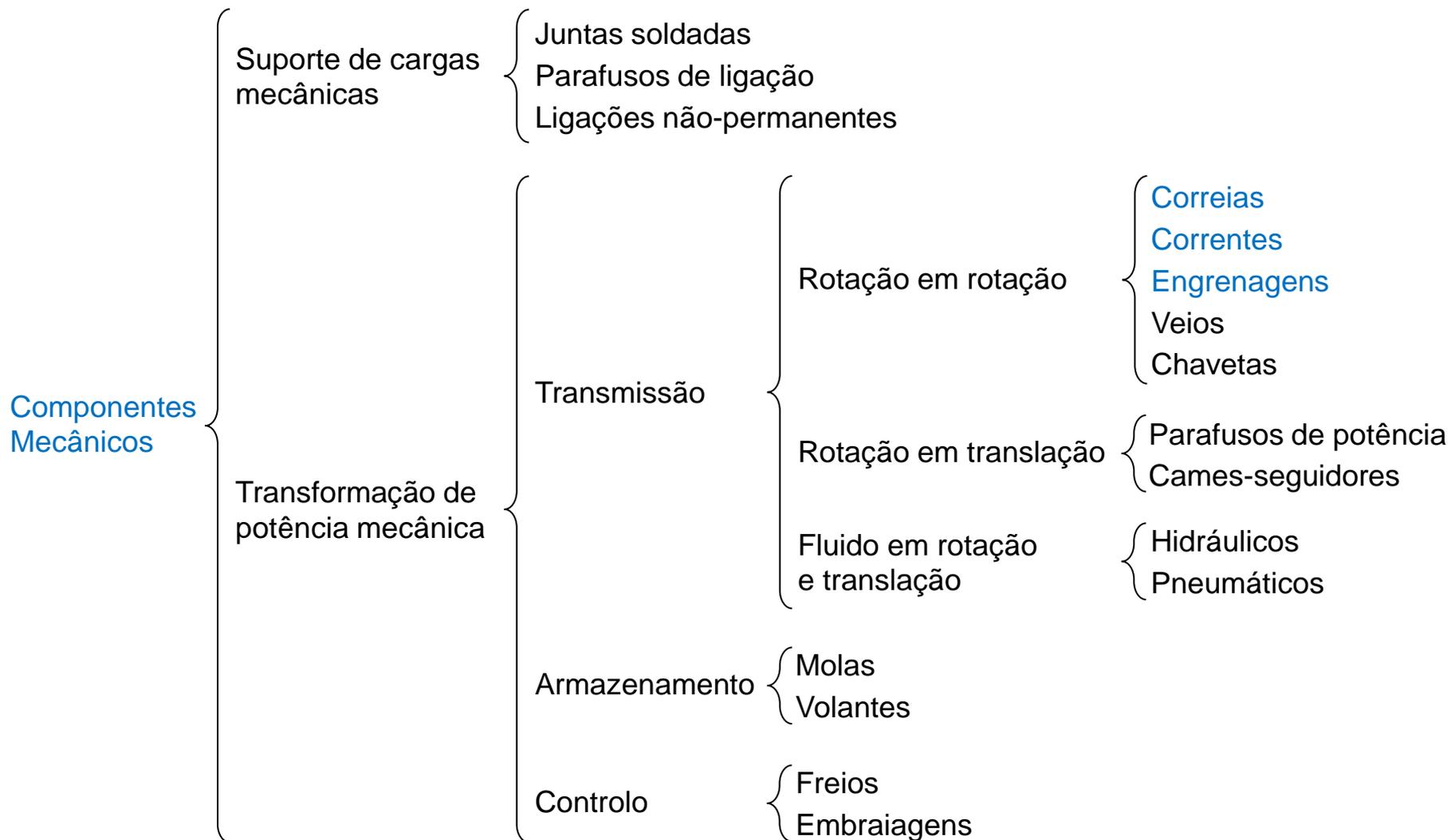
pflores@dem.uminho.pt

T.02 – TRANSMISSÕES MECÂNICAS

- 1. Introdução**
- 2. Classificação das Transmissões**
- 3. Transmissões por Contacto Direto**
- 4. Transmissões por Ligação Intermédia**
- 5. Fatores de Seleção de Transmissões**
- 6. Análise Comparativa de Transmissões**
- 7. Transmissões com Variação de Velocidade**

1. Introdução

Classificação Geral de Componentes Mecânicos



1. Introdução

Sistemas de Transmissão de Movimento

A **transmissão** ou **transformação de movimento entre os órgãos motor e movido** das máquinas e mecanismos pode ser realizada por componentes ou elementos denominados, genericamente, **transmissões**.

No domínio científico-tecnológico das máquinas e dos mecanismos podem considerar-se dois os principais tipos de transmissões, nomeadamente: transmissões **mecânicas** e transmissões **hidráulicas**.



Transmissão mecânica



Transmissão hidráulica

No contexto desta unidade curricular, apenas se estudam as **transmissões mecânicas** cujo princípio de funcionamento (*i.e.* a transmissão do movimento) se baseia no **atrito gerado entre as superfícies** dos componentes mecânicos, ou no **contacto promovido entre os elementos** das máquinas.

1. Introdução

Sistemas de Transmissão de Movimento

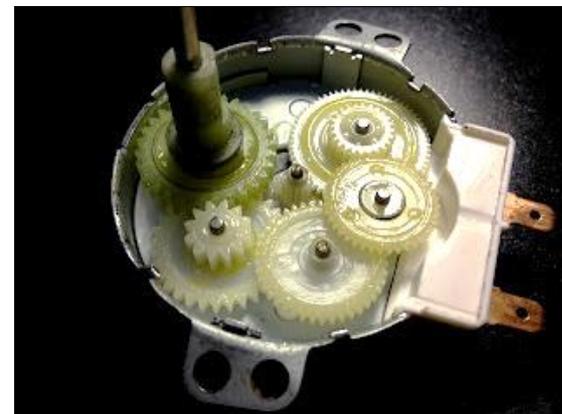
Os principais tipos de **transmissões mecânicas** objeto de estudo nesta unidade curricular são as **correias**, as **correntes** e as **engrenagens**.



Transmissão por correia



Transmissão por corrente



Transmissão por engrenagens

Na verdade, estes sistemas de transmissão são os **mais comumente utilizados** em máquinas e mecanismos para **transmitir potência** (movimento, binário).

Deve ainda referir-se que em todos os sistemas de transmissão supramencionados, se **transforma movimento de rotação** (circular).

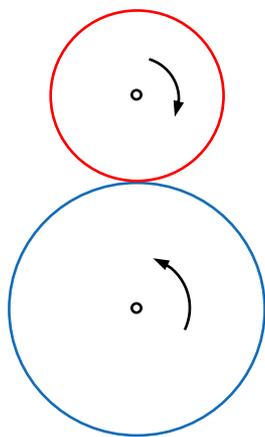
2. Classificação das Transmissões

Transmissões Mecânicas por Contacto Direto e por Ligação Intermédia

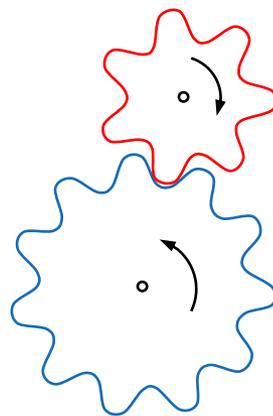
Nas máquinas e equipamentos de uso comum na indústria, a transmissão ou transformação de movimento pode ser realizada de duas formas distintas, nomeadamente:

- Por **contacto direto**,
- Por **ligação intermédia**.

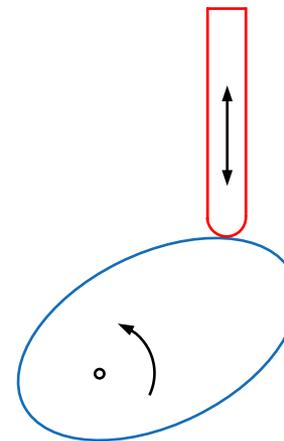
No primeiro caso, o movimento é promovido pelo **contacto entre as superfícies dos órgãos motor e movido**. Neste grupo incluem-se, por exemplo, os sistemas de transmissão por **rodas de atrito**, as **engrenagens** e os mecanismos do tipo **came-seguidor**.



Rodas de atrito



Engrenagem



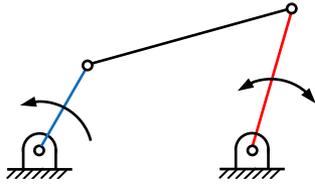
Sistema came-seguidor

2. Classificação das Transmissões

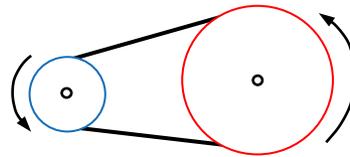
Transmissões Mecânicas por Contacto Direto e por Ligação Intermédia

Por seu lado, no segundo grupo encontram-se os sistemas de transmissão de movimento, em que os **órgãos motor e movido estão ligados por um corpo intermédio**.

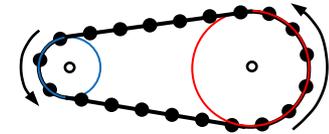
Quando a transmissão de movimento é realizada por ligação intermédia, aquela pode ser **rígida**, como no caso de um mecanismo de quatro barras, ou **flexível**, como nas correias e nas correntes.



Mecanismo de 4 barras

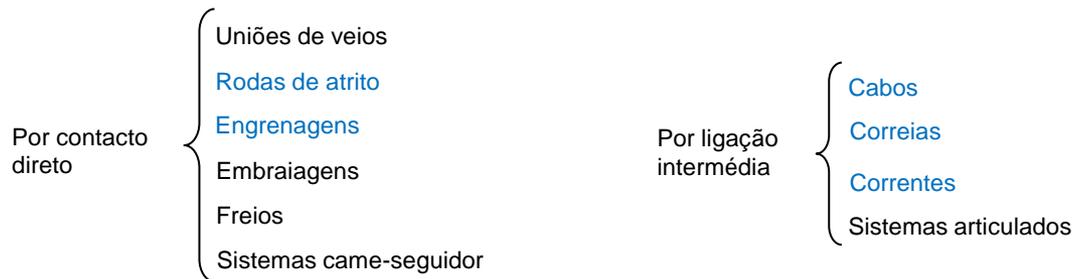


Transmissão por correia



Transmissão por corrente

Abaixo estão listados alguns dos principais **sistemas de transmissão de movimento** utilizados em máquinas e mecanismos.



Sistemas de transmissão de movimento comumente utilizados em máquinas

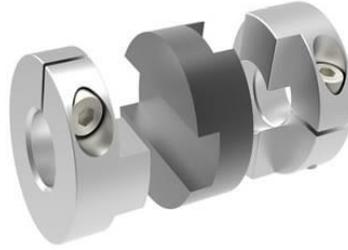
3. Transmissões por Contacto Direto

Exemplos de Transmissões Mecânicas por Contacto Direto

As figuras abaixo mostram **exemplos** de transmissões mecânicas que funcionam por **contacto direto**.



União elástica



Junta *Oldham*



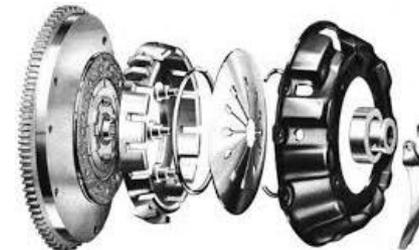
Junta *Cardan*



Rodas de atrito



Engrenagem



Embraiagem



Freio



Came-seguidor



Mecanismo de genebra

3. Transmissões por Contacto Direto

Exemplos de Transmissões Mecânicas por Contacto Direto

Nas **uniões de veios** (e também nas embraiagens), as características do movimento não são modificadas. As **uniões de veios** (também denominadas acoplamentos):

- São utilizadas para unir veios em que os órgãos motor e movido têm os **eixos próximos**,
- São utilizados, em geral, para unir veios que **rodam à mesma velocidade**,
- Suportam ligeiros **desalinhamentos axiais e/ou angulares**.

As figuras abaixo mostram alguns **exemplos de uniões de veios** e possíveis desalinhamentos.



União rígida de flange



União móvel lateral



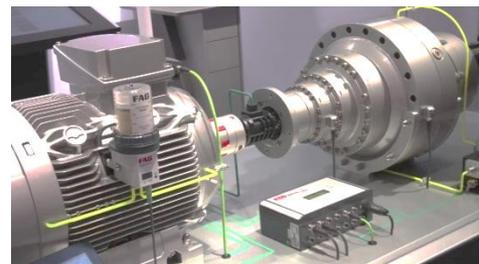
União móvel angular



União elástica



Desalinhamentos angulares e axiais



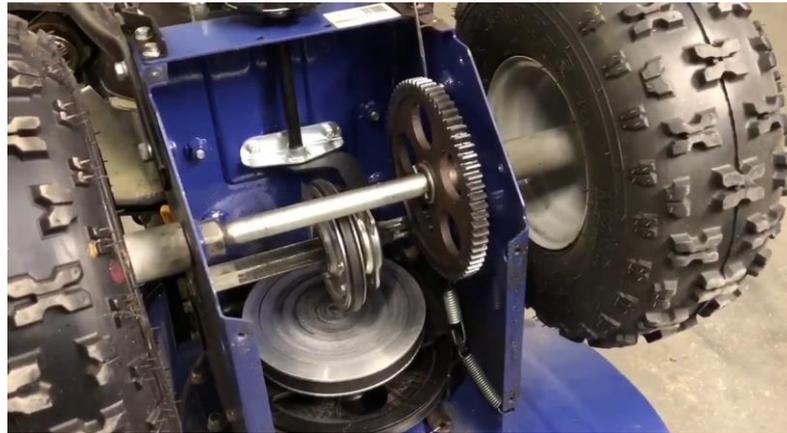
Aplicação de uma união elástica

3. Transmissões por Contacto Direto

Rodas de Atrito

As **rodas de atrito** (ver figura abaixo) são utilizadas nas seguintes situações:

- Quando os **eixos** dos órgãos motor e movido se encontram **afastados** um do outro,
- Quando se pretende obter uma **velocidade de saída diferente** da velocidade de entrada, quer em módulo, quer em sentido.



Transmissão por rodas de atrito

As rodas de atrito têm pouco interesse prático, uma vez que as forças normais podem causar **deformações plásticas nas zonas de contacto** e, concomitantemente, penalizar o seu **desempenho**.

Por outro lado, o **elevado atrito gerado** entre as rodas origina **desgaste significativo**, principalmente na roda de menor diâmetro.

As rodas de atrito são utilizadas em situações particulares que envolvam **potências reduzidas**.

3. Transmissões por Contacto Direto

Rodas de Atrito

A figura do lado representa o esquema de **um par de rodas de atrito**.

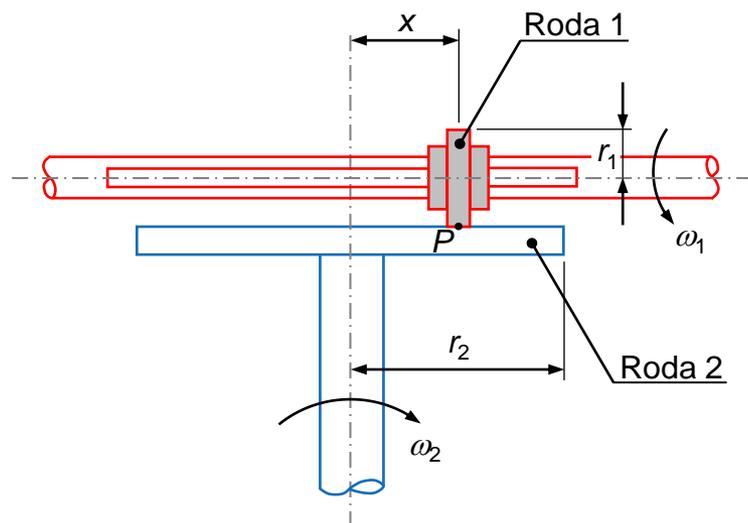
Atendendo a que a posição da roda 1 pode variar em relação ao eixo da roda 2, deduza uma **expressão para a relação de transmissão**.

Não havendo escorregamento, no **ponto de contacto P** a velocidade é a mesma, quer se considere o ponto pertencente à roda 1, quer se considere o ponto pertencente à roda 2, donde resulta que

$$v_p = \omega_1 r_1 = \omega_2 x$$

Atendendo à **definição de relação de transmissão**, da equação anterior obtém-se que

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{x}{r_1}$$



Transmissão por rodas de atrito

4. Transmissões por Ligação Intermédia

Exemplos de Transmissões Mecânicas por Ligação Intermédia

As figuras abaixo mostram alguns exemplos de aplicação de **transmissões mecânicas** que funcionam por **ligação intermédia**.



Sistema articulado



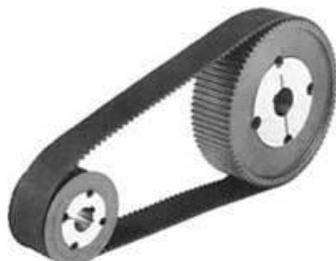
Correias redondas



Correia plana



Correia trapezoidal



Correia dentada



Corrente de rolos



Transmissão por cabo

5. Fatores de Seleção de Transmissões

Fatores na Escolha de uma Transmissão Mecânica

Vários são os **fatores que concorrem para a correta seleção de uma transmissão mecânica** e que devem ser tidos em consideração antes de se proceder ao respetivo cálculo e dimensionamento. Uma transmissão mecânica deve ser escolhida de modo a responder cabalmente às **exigências e condições de funcionamento**.

Listam-se de seguidas os principais parâmetros que influenciam a escolha de uma transmissão mecânica:

- **Condições de funcionamento** – existem limites superiores para potência e velocidade periférica,
- **Disposição relativa dos eixos** dos órgãos motor e movido – eixos paralelos ou perpendiculares,
- **Condições ambientais** – capacidade de resistir a poeira, humidade, etc.,
- **Compacidade e custo** – parâmetros que variam em sentido oposto, requerendo compromisso,
- **Distância entre os eixos** – a distância entre os eixos condiciona o tipo de transmissão,
- **Duração** – em determinadas aplicações requer-se uma duração elevada,
- **Precisão na transmissão do movimento** – garantir constância na relação de transmissão,
- **Manutenção** – a facilidade e frequência de manutenção é também muito importante,
- **Ruído** – o nível de ruído é por demais importante em determinadas aplicações,
- **Fiabilidade** – muito importante em termos de segurança,
- **Rendimento** – tem relevância na problemática da economia de energia,
- **Montagem** – facilidade/dificuldade de acesso.

6. Análise Comparativa de Transmissões

Condições de Funcionamento

Correias

- Devido à **força centrífuga**, as correias têm um **limite superior para a velocidade periférica** (até 25 m/s para correias trapezoidais).
- Em termos de transmissão de potência, as correias são o tipo de **transmissão mecânica mais limitado** (1000 kW para as correias trapezoidais).

Correntes

- As correntes operam a **velocidade de funcionamento inferiores** às das correias e das engrenagens (17 m/s).
- No que diz respeito à transmissão de potência, as correntes situam-se **entre as correias e as engrenagens** (4000 kW).

Engrenagens

- As engrenagens permitem uma **grande variedade de velocidade periférica** de funcionamento (até 200 m/s para as engrenagens cilíndricas).
- O mesmo acontece com a **capacidade de transmissão de potência** (18000 kW para as engrenagens cilíndricas).

6. Análise Comparativa de Transmissões

Posição Relativa dos Eixos

Correias

- As correias **trapezoidais e dentadas** funcionam entre **veios paralelos** e, em geral, na horizontal. As **correias planas** admitem **veios não complanares** com ou sem inversão do sentido de rotação.

Correntes

- As correntes só devem operar entre **veios rigorosamente paralelos**. As correntes requerem ainda um **perfeito alinhamento** entre o pinhão e a roda.

Engrenagens

- As engrenagens possibilitam a transmissão de movimento entre **veios paralelos, concorrentes e não complanares**. As engrenagens requerem elevada **precisão de fabrico e montagem**.

Ruído

Correias

- As correias têm um funcionamento **silencioso**.

Correntes

- As correntes apresentam um funcionamento **mais ruidoso do que as correias**.

Engrenagens

- As engrenagens apresentam um funcionamento **menos ruidoso do que as correntes**.

6. Análise Comparativa de Transmissões

Condições Ambientais

Correias

- As correias apresentam uma **resistência superior às condições ambientais** (humidade e poeira) quando comparadas com as correntes e engrenagens.
- As correias não necessitam de sistemas de proteção contra as condições ambientais.
- As correias têm **baixa resistência** quando funcionam a **temperaturas elevadas**.

Correntes

- As correntes **requerem, em geral, lubrificação**, cujo modo depende das condições de funcionamento (potência e velocidade).
- As correntes apresentam **baixa resistência às condições ambientais**, sendo habitual a necessidade de utilização de sistemas de proteção.

Engrenagens

- As engrenagens resistem relativamente **mal às condições ambientais** (humidade e poeira) requerendo, em geral sistemas de proteção.
- As engrenagens necessitam, na maioria das vezes, de sistema de **lubrificação**.

6. Análise Comparativa de Transmissões

Compacidade e Custo

Correias

- As correias são, em geral, **mais baratas** que as correntes e as engrenagens, necessitam de grandes distâncias entre eixos, sendo, por isso, menos compactas.
- As correias requerem o **ajustamento do entre-eixo e da pré-tensão**.
- As correias dentadas são mais compactas, não requerem pré-tensão, mas implicam **maior custo**.

Correntes

- As correntes apresentam **compacidade e custo entre as correias e as engrenagens**.
- As correntes não necessitam de pré-tensão mas requerem ajustamento do entre-eixo.

Engrenagens

- As engrenagens são **mais compactas e mais caras** do que as correias e correntes.
- Nas engrenagens os **esforços nos veios são inferiores** devido à não existência de pré-tensão e à possibilidade de operarem com velocidades periféricas maiores.

6. Análise Comparativa de Transmissões

Distância Entre os Eixos

Correias

- As correias podem ser utilizadas em aplicações que requeiram **grandes distâncias entre os eixos**, sobretudo as correias planas.
- As correias apresentam limitações quanto ao **entre-eixo mínimo**.
- Nas correias trapezoidais as **relações de transmissão** podem atingir o valor de **8**.

Correntes

- As correntes possibilitam a utilização de **distâncias entre os eixos menores** do que no caso da correias.
- Nas correntes as **relações de transmissão** podem atingir o valor de **7**.

Engrenagens

- As engrenagens **não são utilizadas para grandes distâncias entre os eixos**, uma vez que implicaria a consideração de **rodas intermédias** e, por isso, um incremento no custo.
- Nas engrenagens as **relações de transmissão** podem atingir o valor de **8** (no caso do parafuso sem-fim as relações de transmissão podem atingir o valor de **100**, num único estágio).

6. Análise Comparativa de Transmissões

Duração

Correias

- As correias **trapezoidais** podem ter uma vida até 10000 horas.
- As correias **planas** podem durar até 40000 horas, pois apresentam menores tensões de flexão.
- As correias **dentadas** apresentam menor vida devido à fadiga na raiz dos dentes.

Correntes

- As correntes apresentam uma **duração longa** (até 15000 horas) sem necessidade de substituição da corrente ou das rodas.
- As correntes não têm tanta capacidade de absorção de choques como no caso das correias dada a natureza metálica dos materiais envolvidos.

Engrenagens

- As engrenagens apresentam uma **duração superior** à das correias e das correntes.
- As engrenagens **não absorvem choques** dada a sua rigidez.
- As engrenagens **resistem bem a sobrecargas exteriores** devido à elevada tenacidade dos materiais em que são construídas.

6. Análise Comparativa de Transmissões

Precisão na Transmissão de Movimento

Correias

- As correias planas e trapezoidais **não asseguram uma relação de transmissão constante** devido ao **escorregamento** que ocorre entre as superfícies da polia e da correia. As correias **dentadas** apresentam grande precisão dimensional devido à ausência de escorregamento.

Correntes

- As correntes **não apresentam constância** do valor instantâneo da **relação de transmissão** de velocidade devido ao **efeito poligonal**. Nas correntes a razão de transmissão média é perfeitamente definida e independente da carga transmitida.

Engrenagens

- A **relação de transmissão é rigorosamente constante** e independente da carga transmitida.

Fiabilidade

Correias

- As correias são **menos fiáveis**.

Correntes

- As correntes apresentam uma **fiabilidade intermédia**.

Engrenagens

- As engrenagens são **bastante fiáveis**.

6. Análise Comparativa de Transmissões

Rendimento

Correias

- As planas 96-98%, as trapezoidais 94-97%, as correias dentadas 98%.

Correntes

- As correntes apresentam um rendimento 97-98%.

Engrenagens

- As cilíndricas 96-99%, as cónicas 98-99%, as de parafuso sem-fim roda helicoidal 45-70%.

Montagem

Correias

- As correias planas são mais fáceis de montar do que as trapezoidais. As correias dentadas requerem um sistema de regulação da distância entre os eixos.

Correntes

- As correntes são de montagem bastante fácil. As correntes requerem um sistema de regulação da distância entre os eixos (ajustamento).

Engrenagens

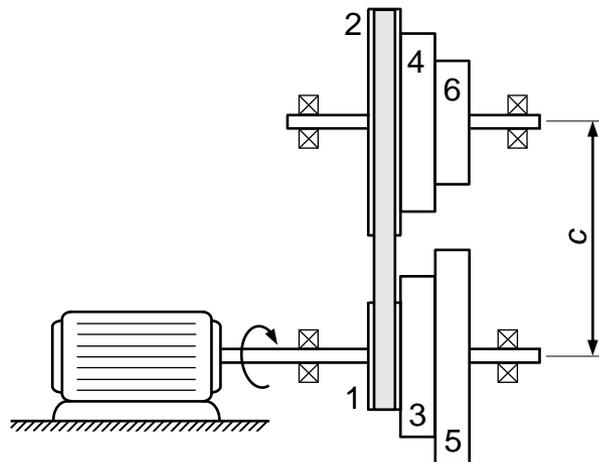
- Nas engrenagens a montagem é bastante fácil, requerendo uma rigorosa afinação da folga entre as rodas (e.g. cónicas e hipoides). As tolerâncias de fabrico são bastante apertadas.

7. Transmissões com Variação de Velocidade

Variação de Velocidade por Escalonamento

No contexto das máquinas e equipamentos industriais é bastante comum encontrar sistemas em que o veio movido funciona com **diferentes velocidades de saída**.

A figura abaixo representa um sistema de transmissão de movimento por correia, com variação de velocidade por **tambores escalonados**.



Transmissão com variação de velocidade por escalonamento

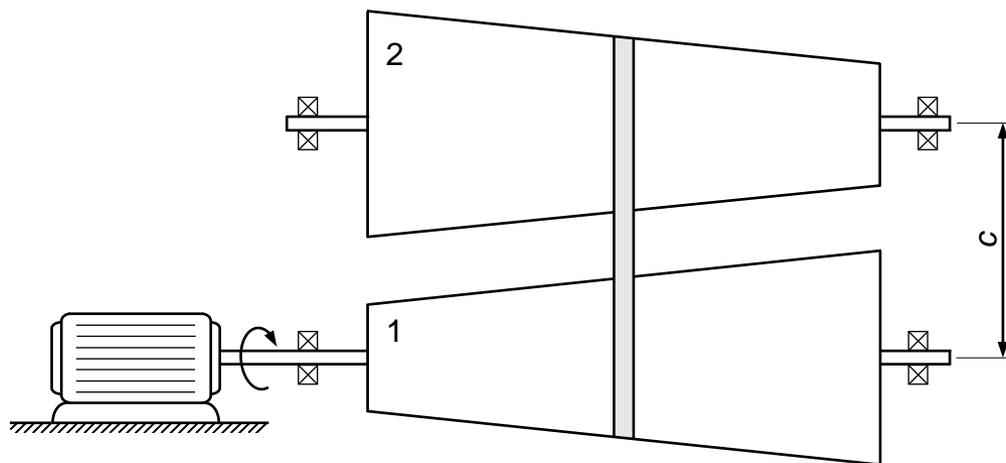
Neste caso, a variação de velocidade pode ser obtida por mudança da posição da correia, a qual é feita quando a **máquina está parada**.

7. Transmissões com Variação de Velocidade

Variação Contínua de Velocidade

A figura abaixo mostra um sistema de transmissão por correia com **tambores cónicos**, permitindo uma **variação contínua da velocidade de saída** por simples deslocamento da correia no sentido longitudinal.

Neste caso, como os tambores têm diâmetro variável, a **relação de transmissão** é função da posição relativa em que a correia se encontra.



Transmissão com variação contínua de velocidade por tambores cónicos e correia plana

É por demais evidente que a variação de velocidade acontece com a **máquina em funcionamento**.

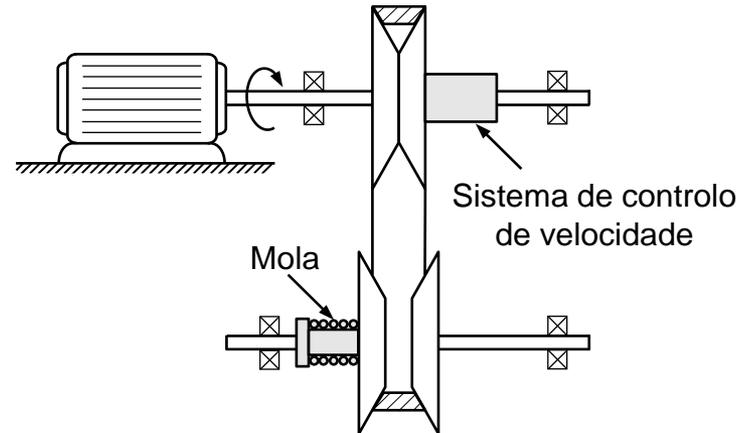
Quando a correia se encontra na posição mais à direita, o diâmetro do tambor movido é menor do que o diâmetro do tambor mandante, acontecendo a situação inversa quando a correia se encontra na posição mais à esquerda.

7. Transmissões com Variação de Velocidade

Variação Contínua de Velocidade

Também se pode obter uma variação contínua da velocidade usando **correias trapezoidais**, em que os tambores são constituídos por **duas metades** que se afastam, ou aproximam, durante o funcionamento.

A figura abaixo mostra um variador contínuo de velocidade com correia trapezoidal. O diâmetro de abraçamento dos tambores varia e, por isso, varia também a **relação de transmissão**.



Variador contínuo de velocidade com correia trapezoidal

Os **tambores são constituídos por dois cones**, cujos ângulos de vértice são tais que definem o ângulo de conicidade, ou de abertura, das cavas das polias convencionais.

A variação de velocidade é feita através da aproximação, ou afastamento, dos cones do tambor mandante. Como a correia tem um comprimento bem definido, a mola montada no tambor mandante leva a que os seus cones se aproximem, ou se afastem, de modo a manter a correia esticada.