



DESIGN DE ESTRUTURAS AEROESPACIAIS

Daniel Afonso
Escola Superior Aveiro Norte,
Universidade de Aveiro
Centro de Tecnologia Mecânica e
Automação (TEMA)
dan@ua.pt www.ua.pt/pt/p/16609746

SUMÁRIO

Atrito

- Atrito entre peças
- Tipos de atrito

Guiamento de movimento com atrito dinâmico

- Guiamento de movimento linear e rotativo

Guiamento de movimento com atrito rolante

- Guiamento de movimento linear e rotativo
- Preocupações com a seleção de componentes de guiamento para o espaço



GUIAMENTO DE MOVIMENTO E REDUÇÃO DE ATRITO

Componentes

MOVIMENTO ENTRE PEÇAS

mecanismo implica movimento entre múltiplas peças



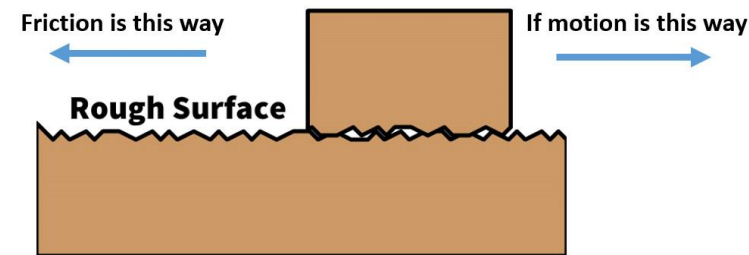
o contacto entre peças gera atrito



o atrito dissipa energia mecânica, provoca aquecimento, provoca desgaste de material, etc.

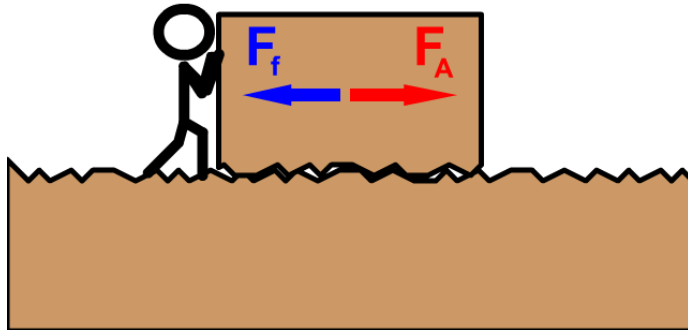
$$F f_s = \mu_s \cdot N$$

$$F f_k = \mu_k \cdot N$$

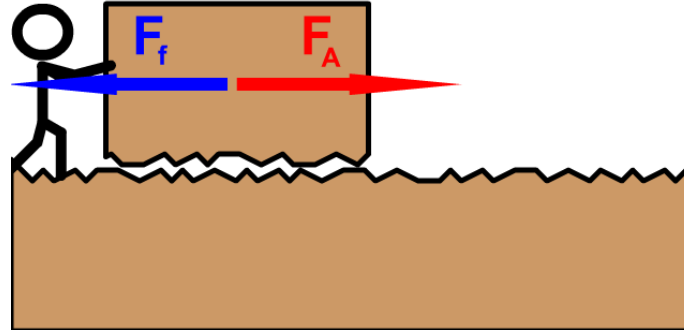


ATRITO

Atrito estático



Atrito dinâmico



Para a maioria da combinação de pares de materiais, o coeficiente de atrito dinâmico é inferior ao coeficiente de atrito estático:
A força necessária para perpetuar o movimento é inferior à necessária para o iniciar

ATRITO

Coeficiente de atrito depende maioritariamente dos materiais que compõem a superfície

Combinação de materiais	Condição de superfície	Coeficiente de atrito estático	Coeficiente de atrito dinâmico
Alumínio – Alumínio	Limpo e seco	1.05 a 1.35	1.4
Alumínio – Alumínio	Lubrificado	0.3	0.3
Alumínio – Aço	Limpo e seco	0.61	0.47
Aço – Aço	Limpo e seco	0.5 a 0.8	0.42
Aço – Aço	Lubrificado	0.15 a 0.23	0.05 a 0.15
Bronze – Aço	Limpo e seco	0.16	0.15
Teflon (PTFE) – Aço	Limpo e seco	0.05 a 0.2	0.04
Fibra de carbono – Aço	Limpo e seco	0.11 a 0.14	
Cobre – Cobre	Limpo e seco	1.6	

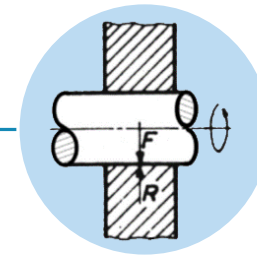
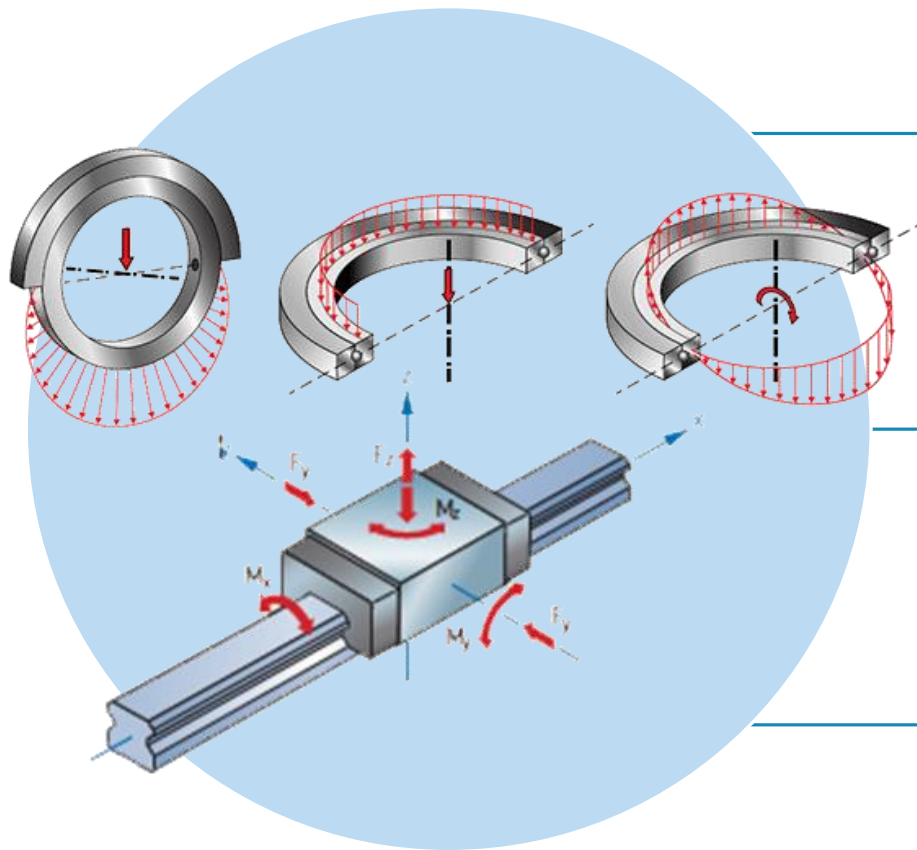
ATRITO

Potência depende da força e da velocidade

- Força no sentido oposto ao movimento provoca uma dissipação de potência
- Necessidade de minimizar a força de atrito no movimento

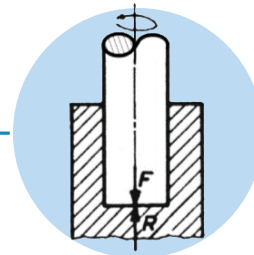
$$P_{dissipada} = F_a \cdot v$$

ESFORÇO ENTRE PEÇAS EM MOVIMENTO



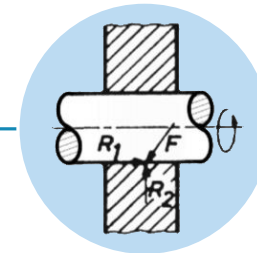
Carga Radial

- movimento rotativo e linear



Carga Axial

- movimento rotativo



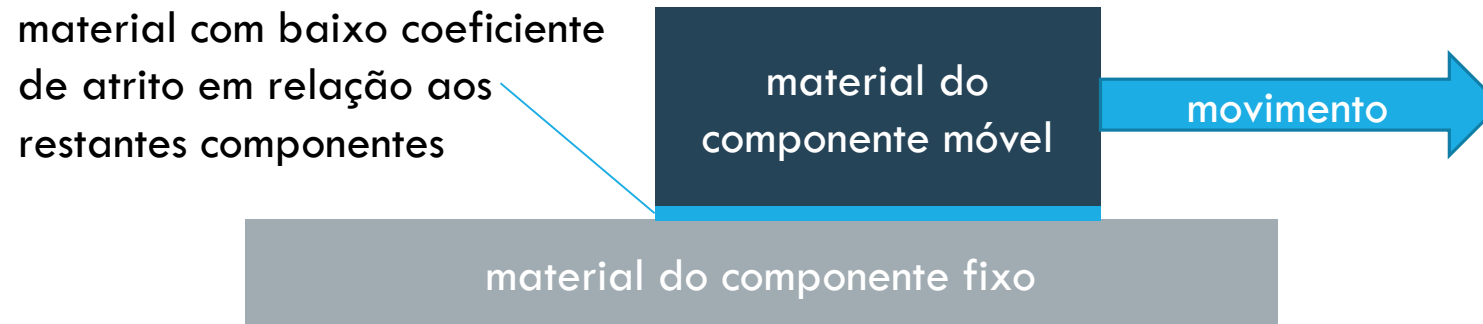
Carga Mista ou Combinada

- movimento rotativo

CASQUILHOS E COMPONENTES DESLIZANTES

A montagem de um mecanismo implica contacto entre peças

- A utilização de peças fabricas em materiais que proporcionam um baixo coeficiente de atrito beneficia o funcionamento do mecanismo



CASQUILHOS

Seleção de casquilhos depende da direção da carga a suportar



radial

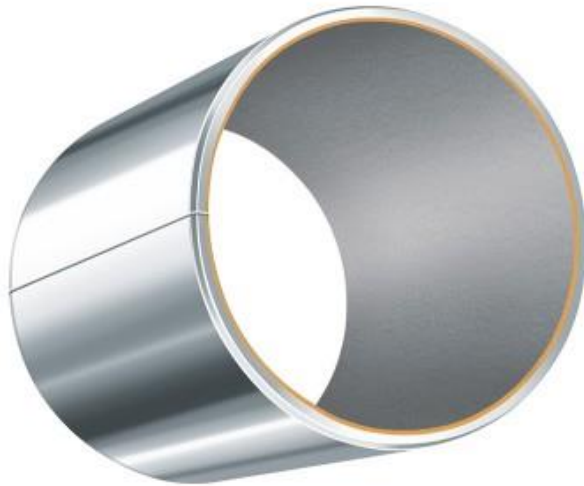


Radial e axial



Axial

CASQUILHOS



Casquilhos simples
montagens com esforço radial

CASQUILHOS



Casquilhos com abas
montagens com esforço radial e uma componente axial
facilidade da montagem

CASQUILHOS



Anilhas deslizantes
montagens com esforço axial/normal

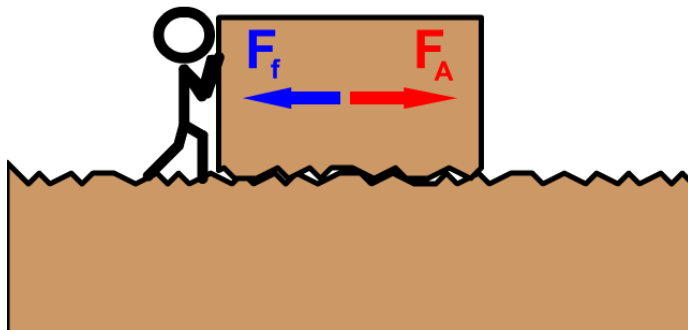
CASQUILHOS



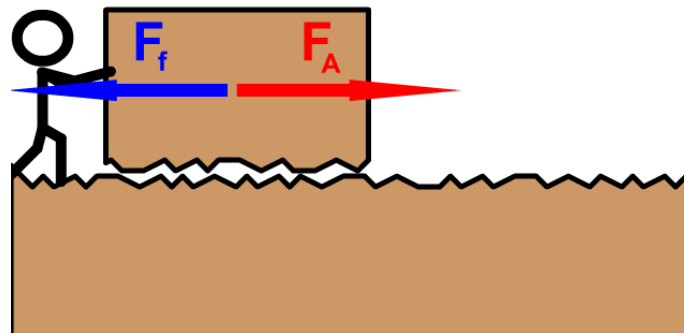
Casquilhos / carros deslizantes
montagens com movimento linear

ATRITO

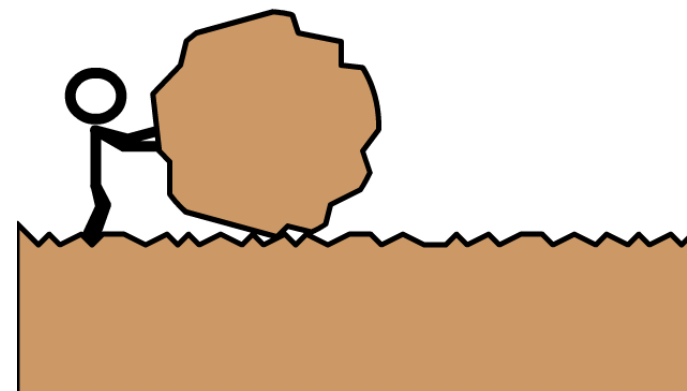
Atrito estático



Atrito dinâmico



Atrito de rolamento



ROLAMENTOS

Elemento utilizado para minimizar o atrito num movimento através de atrito rolante



DIMENSÕES DE ROLAMENTOS



ROLAMENTOS DE ESFERAS

Utilizam carreiras de esferas para produzir o atrito rolante entre um anel fixo e um anel móvel



Simples/Rígido
(radial)



Auto-compensado

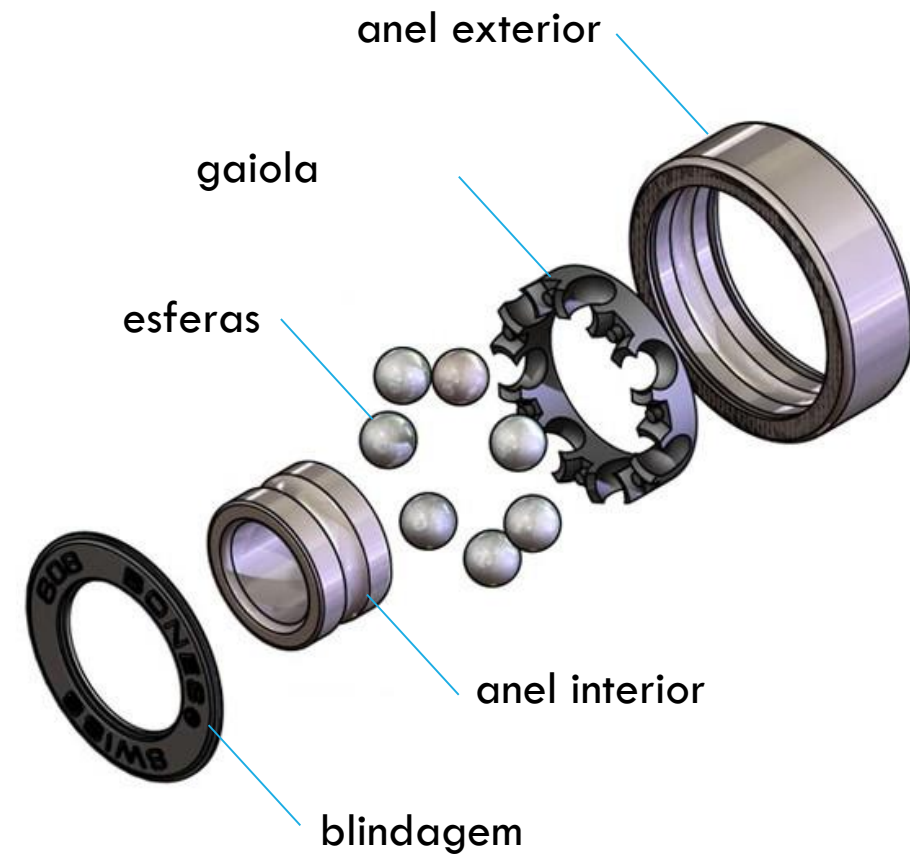
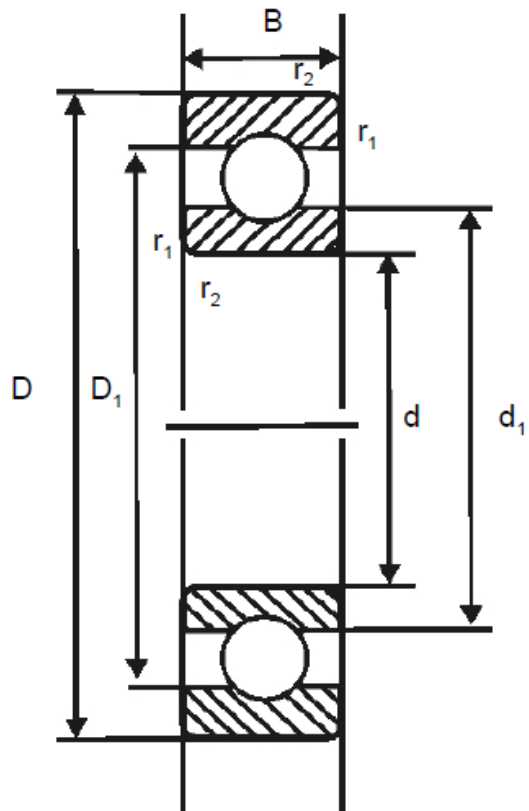


Misto
Contacto angular



Axial

ROLAMENTOS DE ESFERAS



ROLAMENTOS DE ESFERAS



Simple/Rígido
maioria das montagens com esforço radial



Auto-compensado
montagens com esforço radial onde
o veio pode sofrer flexão

ROLAMENTOS DE ESFERAS

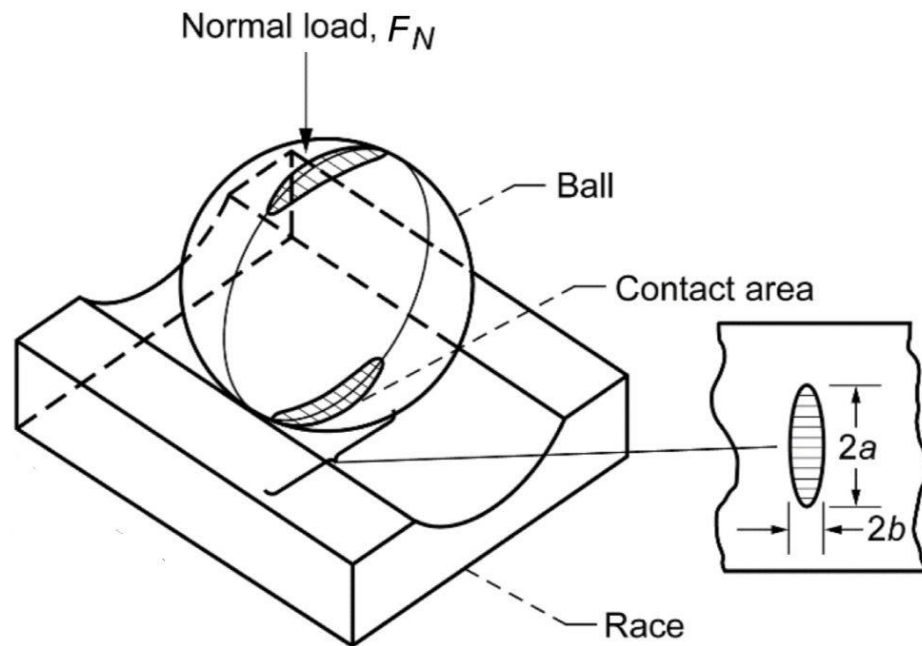


Mistos / Radial-Axial
montagens com esforço maioritariamente radial
e uma componente axial

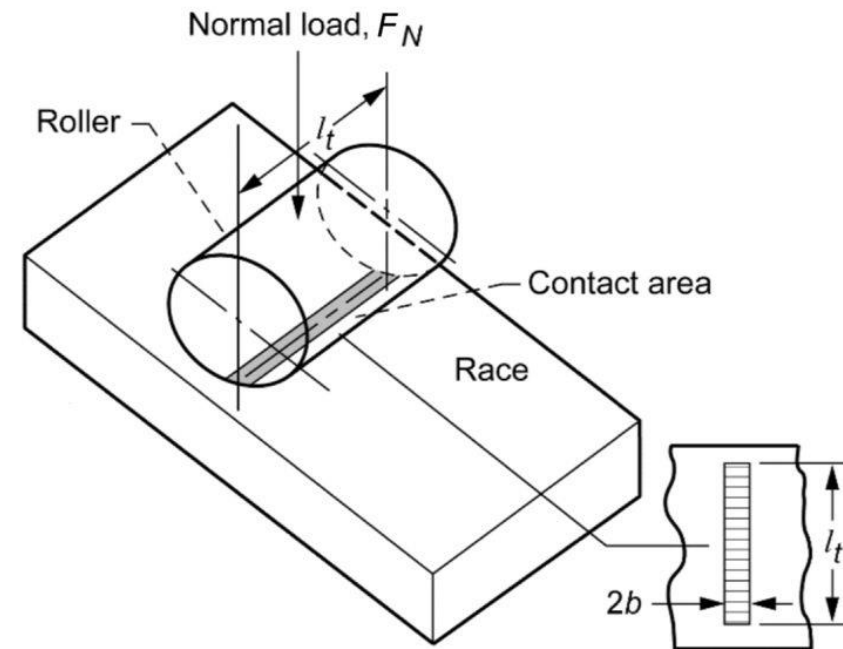


Axiais
montagens com esforço axial

TENSÃO DE CONTACTO EM ROLAMENTOS



$$\sigma_{max} = \frac{3.F}{2.\pi.a.b}$$



$$\sigma_{max} = \frac{2.F}{\pi.b.L}$$

ROLAMENTOS DE ROLOS

Utilizam carreiras de rolos para produzir o atrito rolante entre um anel fixo e um anel móvel em aplicações com cargas elevadas



Radial



Auto-compensado



Misto
Contacto angular



Axial

ROLAMENTOS DE ROLOS



Simples/com caixa interior ou exterior
maioria das montagens com esforço radial

Auto-compensado
montagens com esforço radial onde
o veio pode sofrer flexão

ROLAMENTOS DE ROLOS



Mistos / Radial-Axial / Axial-Radial
montagens com esforço
combinado radial e axial

Axiais
montagens com esforço axial

ROLAMENTOS DE ROLOS



Mistos / Radial-Axial / Axial-Radial
montagens com esforço combinado radial e axial em ambos os sentidos

ROLAMENTOS DE AGULHAS

Utilizam carreiras de agulhas (rolos de pequeno diâmetro) para produzir o atrito rolante entre um anel fixo e um anel móvel em aplicações compactas com cargas elevadas



Radial

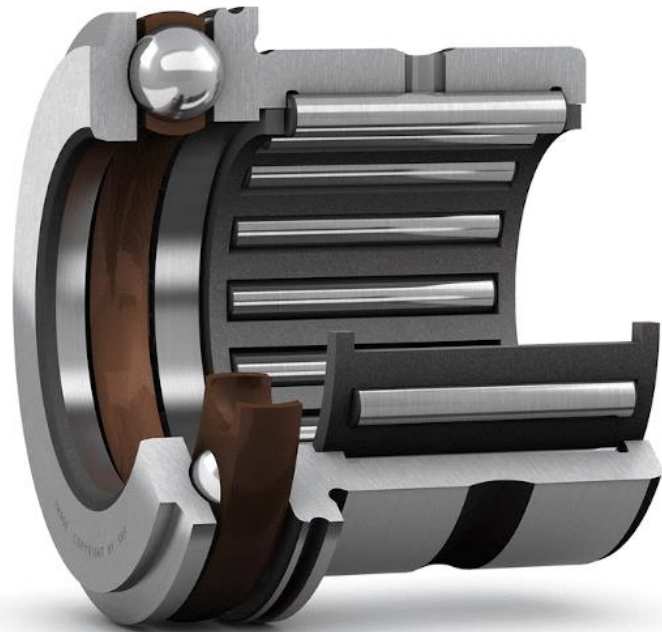


Radial com contacto no veio



Axial

ROLAMENTOS COMBINADOS



ROLAMENTOS LINEARES

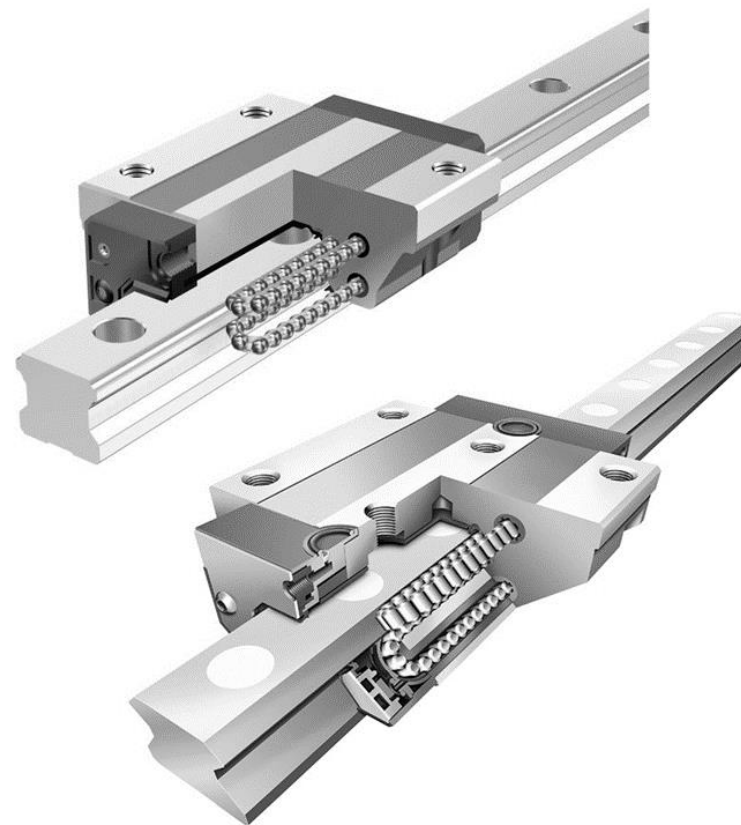
Utilizam carreiras de esferas ou rolos para produzir o atrito rolante entre uma guia e um corpo móvel com movimento linear



ROLAMENTOS LINEARES



Linear para guia cilíndrica
montagens com esforço radial



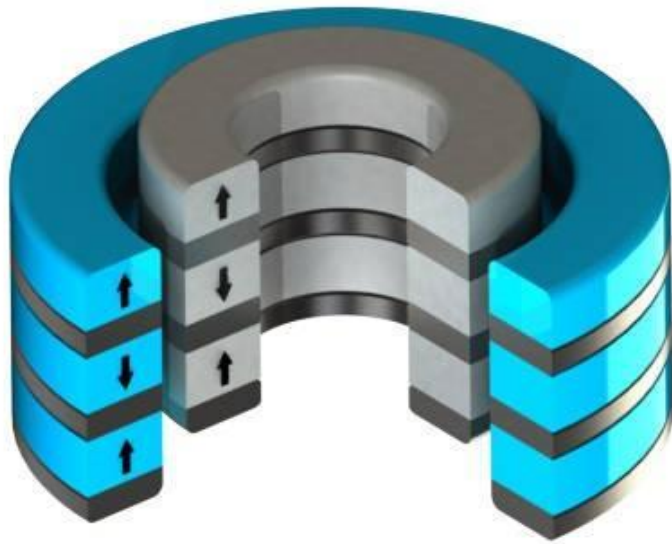
Linear para guia perfilada
montagens com esforço radial e momento fletor

ROLAMENTOS COMBINADOS PARA MOVIMENTO LINEAR



ROLAMENTOS MAGNÉTICOS

Utilizam campos magnéticos (ativos ou passivos) para permitir o movimento de corpos sem contacto



SELEÇÃO DE ROLAMENTOS

Carga suportada

- Adequar a carga suportada à solicitação da aplicação
 - Direção da carga
 - Amplitude da carga

Espaço disponível

- Selecionar a tipologia de rolamento de acordo com o espaço disponível

Facilidade de montagem/desmontagem

- Adequar a tipologia a solução de montagem e fixação
- Possibilidade de utilização de chumaceiras ou mancais (rolamento com caixa para fixação)

SELEÇÃO DE ROLAMENTOS

Precisão da montagem

- Adequar a precisão de montagem do rolamento e atrito deslizante à necessidade da aplicação
- Possibilidade de utilizar molas ou anilhas onduladas para gerir folgas

Desalinhamento da montagem

- Adequar a tipologia a possíveis desalinhamento da montagem
- Criar peças de fixação que permitam a correção de desalinhamento

Velocidade de operação

- Selecionar precisão, atrito deslizante e material dos rolamentos de acordo com a velocidade da aplicação

SELEÇÃO DE ROLAMENTOS

Vibração e ruído

- Selecionar a precisão do rolamento de acordo com os requisitos de vibração da aplicação

Lubrificação e blindagem

- Adequar a seleção do lubrificante e da blindagem às condições de operação
- Adequar a solução de blindagem às condições de limpeza de operação
- Ponderar a necessidade de manutenção

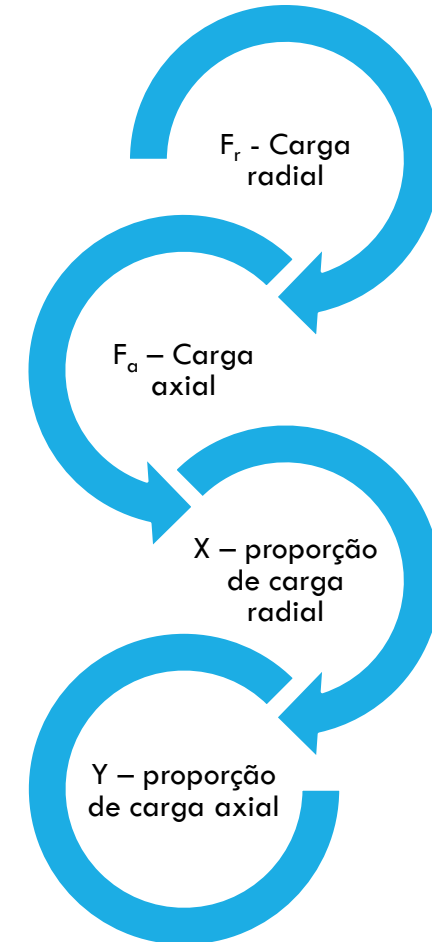
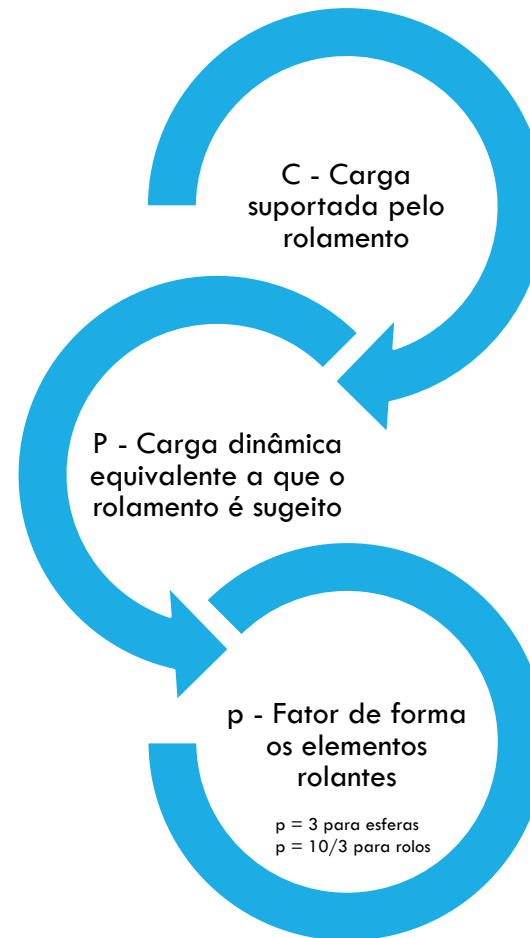
Tempo de vida

- Calcular o tempo de vida de acordo com as condições de funcionamento e nível de confiança pretendido

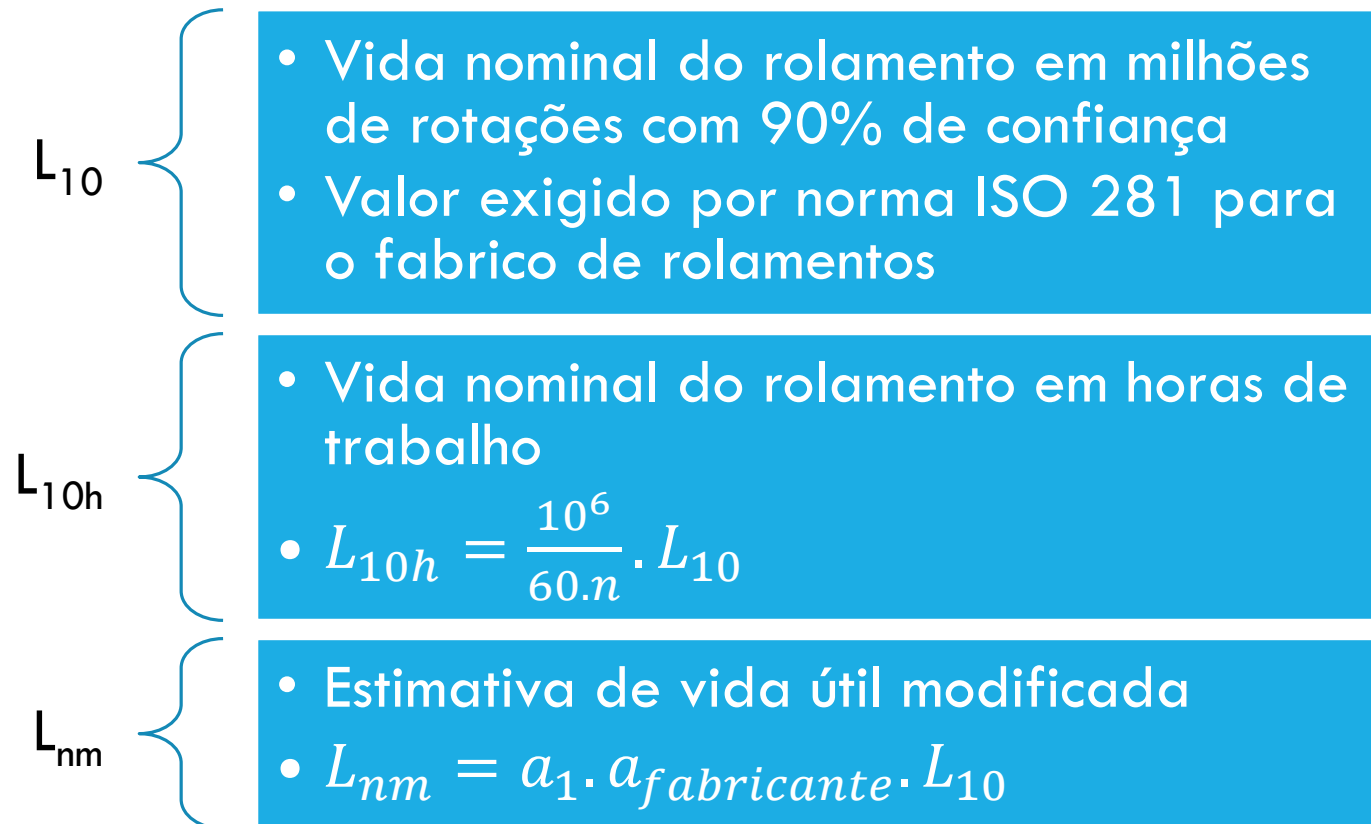
TEMPO DE VIDA DE UM ROLAMENTO

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$



TEMPO DE VIDA DE UM ROLAMENTO



LIMITAÇÕES DE GUIAMENTO DE MOVIMENTO NO ESPAÇO

Trabalho em vácuo

- Desgaseificação reduz a eficácia do óleo ou graxa
 - necessidade de utilização de óleos lubrificantes e graxas de baixa pressão e baixa liberação de gás

Amplitudes térmicas

- Necessidade de garantir a compatibilidade dos materiais e lubrificantes às amplitudes térmicas
- Necessidade de garantir que a dilatação térmica não compromete a performance do rolamento (potencial utilização de cerâmicos)

LIMITAÇÕES DE GUIAMENTO DE MOVIMENTO NO ESPAÇO

Massa dos elementos de guiamento

- Necessidade de seleção de componentes com menor massa
- Utilização de rolamento de esferas ocas

Radiação e variações de campos magnéticos

- Radiação (em particular devido ao sol) pode deteriorar o lubrificante e superfície do rolamento
- Cargas elétricas induzidas podem provocar descargas elétricas que provocam defeitos superficiais (possível ser a falha do Kepler)