Uniões eixo-cubo

Como transmitir torque do eixo para o cubo — ajustes com interferência, chavetas, eixos estriados, uniões cônicas e cubos de aperto — com o torque que cada um transmite, as vantagens e desvantagens e como dimensioná-los.

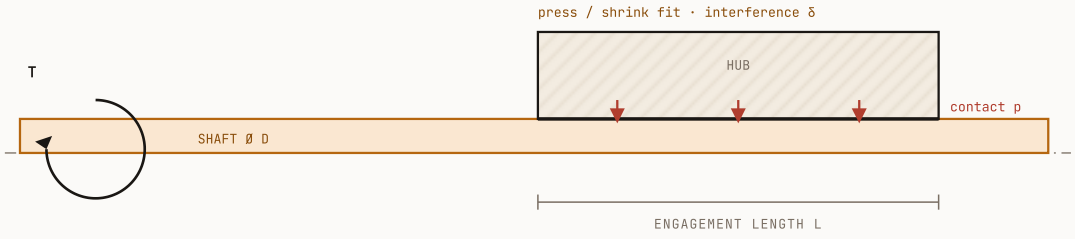
REVISÃO	PUBLICADO	RESPONSÁVEL	COMPLEMENTO
1.0	June 2026	Engenharia Ideambox	Referência em PDF

RESUMO

Uma união eixo-cubo transmite torque (e às vezes carga axial) entre um eixo rotativo e uma engrenagem, polia, roda dentada ou acoplamento. A escolha — ajuste com interferência, chaveta, eixo estriado, cone, parafuso de fixação ou cubo de aperto — equilibra capacidade de torque contra precisão de centralização, facilidade de montagem e desmontagem, dano ao eixo e custo.

A Seção 1 compara os métodos. A Seção 2 trata dos ajustes com interferência (prensados/a quente) e de seu torque. A Seção 3 trata das chavetas e dos rasgos de chaveta. A Seção 4 trata dos eixos estriados. A Seção 5 aborda uniões cônicas, cubos de aperto, buchas de fixação sem chaveta e parafusos de fixação. A Seção 6 é um checklist de seleção.

SHAFT-HUB INTERFERENCE FIT — SECTION



UM AJUSTE COM INTERFERÊNCIA TRANSMITE TORQUE APENAS POR ATRITO SOB A PRESSÃO DE CONTATO — SEM RASGO DE CHAVETA, SEM CONCENTRADOR DE TENSÃO. OS OUTROS MÉTODOS (CHAVETAS, ESTRIAS, CONES, CUBOS DE APERTO) TROCAM TORQUE, CENTRALIZAÇÃO, CUSTO E FACILIDADE DE DESMONTAGEM.

SUMÁRIO

1. Comparação dos métodos
2. Ajustes com interferência (prensados/a quente)
3. Chavetas e rasgos de chaveta
4. Eixos estriados
5. Uniões cônicas, cubos de aperto e buchas sem chaveta
6. Checklist de seleção

1. Comparação dos métodos

MÉTODO	TORQUE	CENTRALIZAÇÃO	MONTAGEM/DESMONTAGEM	DANO AO EIXO	OBSERVAÇÕES
Ajuste com interferência (prensado/a quente)	alto	excelente	difícil (prensa/aquecimento)	nenhum	Limpo, sem concentrador de tensão; exige força ou calor
Chaveta paralela + rasgo	moderado–alto	boa	fácil	rasgo (concentrador de tensão)	Barato, normalizado, a opção padrão
Eixo estriado	muito alto	excelente	fácil (deslizamento axial)	nenhum adicional	Muitos dentes dividem a carga; usinagem cara
União cônica (+ porca)	alto	excelente	moderada	nenhum	Autocentrante, precisa, desmontável
Cubo de aperto / bipartido	moderado	boa	muito fácil	nenhum	Reposicionável; sem usinagem do eixo
Bucha de fixação sem chaveta / disco de contração	muito alto	boa	moderada	nenhum	Torque alto sem rasgo de chaveta
Parafuso de fixação (sobre rebaixo plano)	baixo	ruim	muito fácil	marca o eixo	Somente serviço leve; use um rebaixo plano

1.1 Termos

`Interferência (δ)`	Quanto o eixo é maior que o furo antes da montagem
`Pressão de contato (p)`	Pressão radial na interface do ajuste (pelas equações de Lamé)
`Comprimento de assento (L)`	Sobreposição axial entre eixo e cubo — o torque é proporcional a ele
`Relação do cubo`	Diâmetro externo/interno do cubo — cubos finos atingem antes o limite de tensão circunferencial

2. Ajustes com interferência (prensados/a quente)

O eixo é feito ligeiramente maior que o furo; a montagem gera uma pressão de contato **p** (a partir da interferência δ e das equações de Lamé para cilindros de parede grossa, com a geometria do cubo e o E e o ν dos dois materiais). O atrito sob essa pressão transmite a carga:

- **Torque** $T = \mu \cdot p \cdot \pi \cdot D^2 \cdot L / 2$
- **Força axial de extração** $F = \mu \cdot p \cdot \pi \cdot D \cdot L$

onde D é o diâmetro do ajuste, L o comprimento de assento e μ o coeficiente de atrito (≈0.1–0.15 aço a seco; menor se lubrificado na prensagem). Use a ferramenta *Interferência de ajuste prensado* para obter p, T e F a partir de δ.

- **Especifique com ajustes ISO 286 (ABNT NBR 6158):** leve `H7/p6`, médio `H7/s6`, forte `H7/u6`. Maior interferência → mais torque, mas também maior tensão circunferencial no cubo (verifique se o cubo não escoa) e maior força de montagem.
- **Montagem a quente/por resfriamento** (aquecer o cubo ou resfriar o eixo) atinge a mesma interferência com pouca força de montagem e plena capacidade de retenção
  a melhor opção para ajustes grandes ou de alta interferência.
- **O acabamento superficial importa:** as superfícies rugosas se achatam na montagem, de modo que a interferência
  efetiva
  é menor que a medida
  um ajuste especificado a partir das dimensões nominais superestima o torque com acabamento grosseiro.

3. Chavetas e rasgos de chaveta

Uma chaveta paralela (quadrada/retangular) alojada em rasgos correspondentes no eixo e no cubo é o método padrão e barato. Dimensione-a para que não cisalhe nem esmague, e considere o rasgo como um concentrador de tensão à fadiga no eixo.

- **Cisalhamento:** a largura × comprimento da chaveta resiste a `F = 2T/D` no plano de cisalhamento da chaveta.
- **Esmagamento (pressão de contato):** o apoio da lateral da chaveta na parede do rasgo costuma ser o limite; verifique-o também.
- **Dimensões normalizadas (DIN 6885, chaveta b × h por Ø do eixo):**

Ø do eixo (mm)	Chaveta b × h	Ø do eixo (mm)	Chaveta b × h
10–12	4 × 4	30–38	10 × 8
12–17	5 × 5	38–44	12 × 8
17–22	6 × 6	44–50	14 × 9
22–30	8 × 7	50–58	16 × 10

O rasgo usinado no eixo eleva a tensão local (Kt ≈ 2–3) — um problema de fadiga em eixos com reversão ou muito carregados. Use raios generosos nas extremidades do rasgo, ou um método sem chaveta, quando a fadiga for determinante.

4. Eixos estriados

As estrias são várias chavetas usinadas integralmente no eixo, de modo que a carga se divide entre todos os dentes — torque muito maior e melhor centralização que uma chaveta única, sem peça separada para cisalhar.

- **De flancos retos** (mais antigas, simples) vs **evolventais** (mais resistentes, autocentrantes, mais fáceis de fabricar e verificar com calibre)
  a evolvental é o padrão atual.
- Permitem **deslizamento axial sob carga** (por exemplo, eixos cardã, trocas de marcha) enquanto transmitem torque.
- São mais caras de produzir (brochamento/fresamento por geração), por isso ficam reservadas a aplicações de alto torque ou com deslizamento.

5. Uniões cônicas, cubos de aperto e buchas sem chaveta

- **União cônica (+ porca de fixação):** um eixo/furo cônico se autocentraliza com precisão e trava por atrito; é desmontável. Comum em fusos de máquinas-ferramenta e polias de virabrequim.

  - Torque de uma união eixo-cubo cônica: a força axial F_a da porca pressiona o cone, gerando uma força normal $F_N = F_a / (\sin(\alpha/2) + \mu \cdot \cos(\alpha/2))$ e um torque de atrito $T = \mu \cdot F_N \cdot d_m / 2$ (α = ângulo total do cone, d_m = diâmetro médio do cone, $\mu \approx 0.10–0.15$ aço a seco).

  - A ponta de eixo cônica normalizada é **1:10** (DIN 1448 / ISO 775): $\alpha/2 \approx 2.86°$, portanto $\tan(\alpha/2) \approx 0.05 < \mu$ e a união é autotravante depois de montada; para removê-la é necessário um saca-polias.

  - Exemplo: $d_m = 30$ mm, $F_a = 20$ kN, $\mu = 0.12 \rightarrow F_N \approx 118$ kN $\rightarrow T \approx 210$ N·m. Uma chaveta no cone posiciona o cubo angularmente; em um cone corretamente apertado ela deve transmitir pouco do torque.

- **Cubo de aperto / bipartido:** um cubo com fenda, apertado por um parafuso, prende o eixo por atrito
  sem usinagem do eixo, reposicionável continuamente; torque moderado. Ótimo para protótipos e montagens ajustáveis.

- **Buchas de fixação sem chaveta / discos de contração:** anéis cônicos são apertados para fixar o cubo ao eixo com torque muito alto, sem rasgo de chaveta e sem entalhe de fadiga
  usados onde as chavetas falhariam por fadiga.

- **Parafusos de fixação:** somente serviço leve; assente-os sempre sobre um **rebaixo plano** (ou use ponta cilíndrica em um furo) para que não criem rebarbas no eixo nem deslizem. Dois parafusos a 90° resistem melhor que um.

6. Checklist de seleção

- **Torque**
  valor contínuo, mais picos de reversão ou de choque (estes direcionam a escolha para soluções sem chaveta ou estriadas).

- **Centralização / batimento**
  interferência, cone e estrias centralizam melhor; parafusos de fixação, pior.

- **Comportamento axial**
  o cubo precisa deslizar (estriado) ou ficar posicionado (ajuste/chaveta/porca)?

- **Montagem/desmontagem**
  acesso e frequência de manutenção: aperto/sem chaveta para remoção fácil, ajustes para uniões permanentes.

- **Dano ao eixo**
  evite rasgos de chaveta e marcas de parafuso de fixação em eixos críticos à fadiga ou temperados (use soluções sem chaveta).

- **Custo**
  chaveta é a mais barata; estriado e bucha sem chaveta, as mais caras.

- **Em seguida:** dimensione o método (interferência pela ferramenta de ajuste prensado; chaveta por cisalhamento + esmagamento; estriado/sem chaveta pelos torques nominais do fornecedor) e verifique a fadiga do eixo em qualquer rasgo de chaveta.

This document is also a web page, kept up to date:
https://ideambox.com/pt/downloads/shaft-hub-connections/

Designing something that needs this? ideambox.com/contact