



Introdução aos Elementos de Máquinas

PMR3320

Aula 5

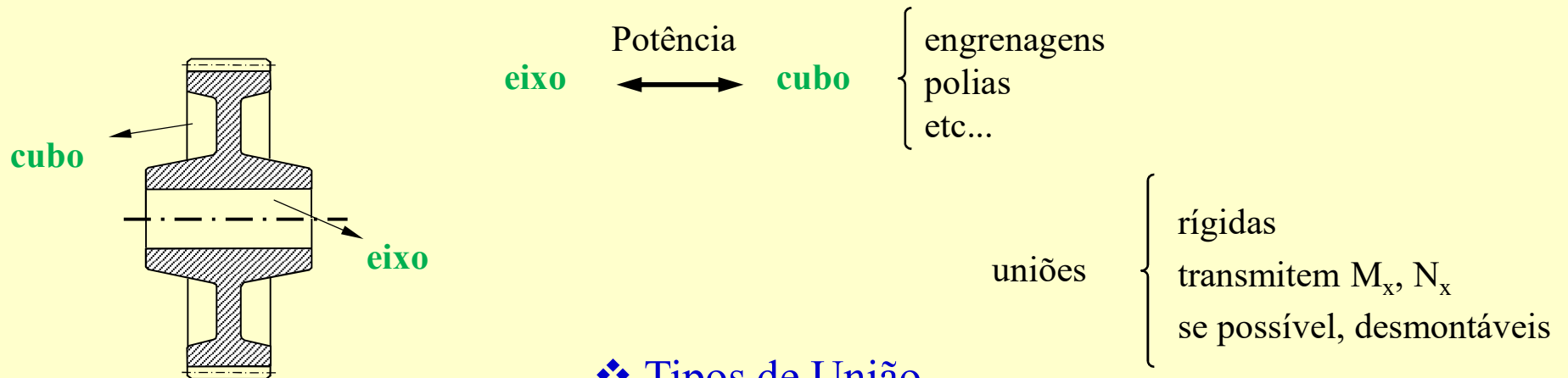
Uniões Eixo – Cubo

Chavetas



1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
-----------------------------------	--	--	--	----------------------------

1. Introdução



❖ Tipos de União

I - UNIÕES POR ATRITO

- através de ajuste com interferência transversal
- através de ajuste com interferência longitudinal
- com cubo bipartido
- com ajuste cônico

II - UNIÕES ENCAIXADAS

- pino transversal
- chaveta paralela
- estrias

III - UNIÕES ENCAIXADAS SOB TENSÃO

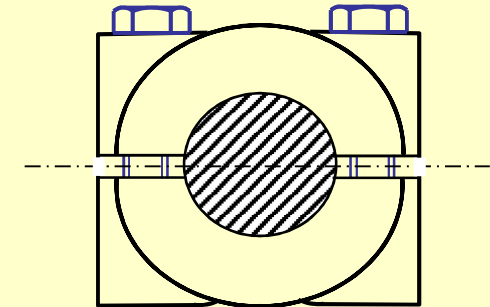
- chaveta meia-lua inclinada
- chaveta inclinada
- chaveta tangencial



1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
-----------------------------------	--	--	--	----------------------------

I - UNIÕES POR ATRITO

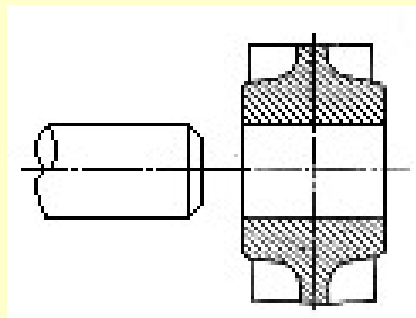
- através de ajuste com interferência transversal
- através de ajuste com interferência longitudinal
- com cubo bipartido
- com ajuste cônico



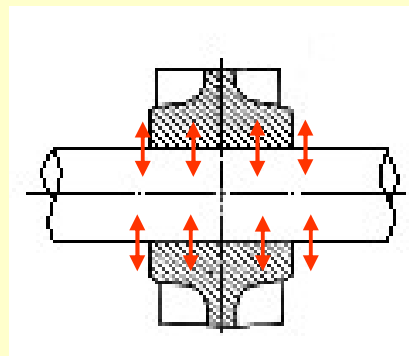
cubo bipartido

Montagem com prensa

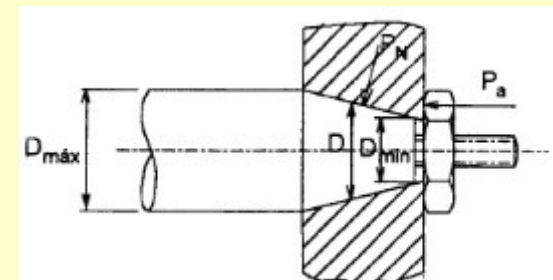
Montagem com dilatação térmica



Interferência longitudinal



Interferência transversal



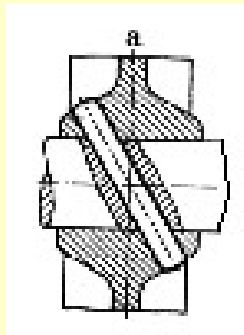
ajuste cônico



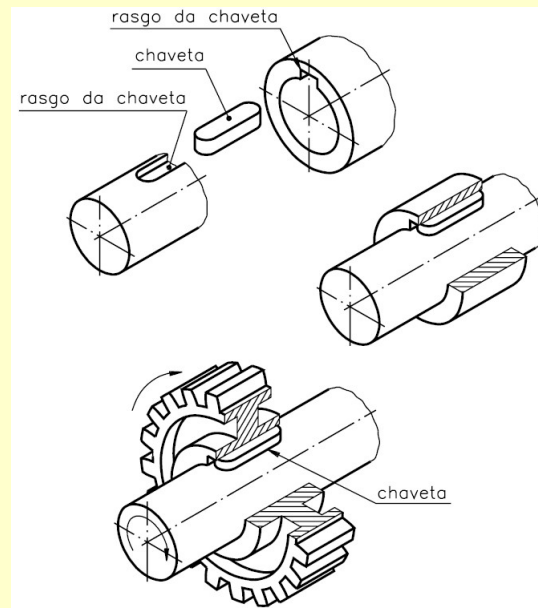
1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Unões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
---	---	---	--	-----------------------------------

II - UNIÕES ENCAIXADAS

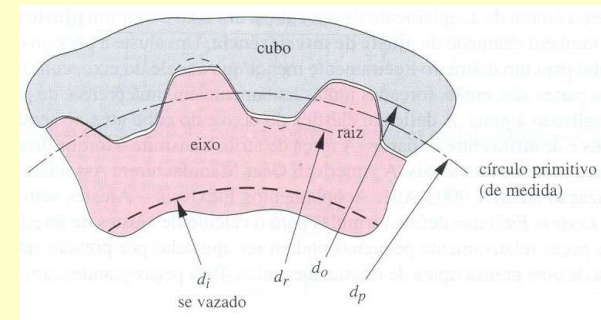
- pino transversal
- chaveta paralela
- estrias



pino transversal



chaveta paralela



estrias

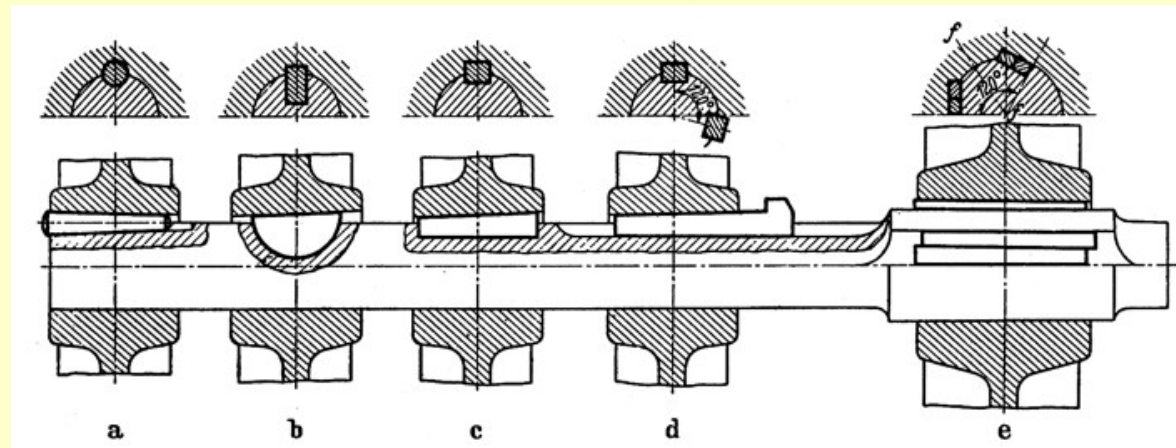


1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Unições Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
---	---	---	--	-----------------------------------

III - UNIÕES ENCAIXADAS SOB TENSÃO

- chaveta meia-lua inclinada
- chaveta inclinada
- chaveta tangencial

Protensão é conseguida com pinos / chavetas com conicidade





1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
-----------------------------------	--	--	--	----------------------------

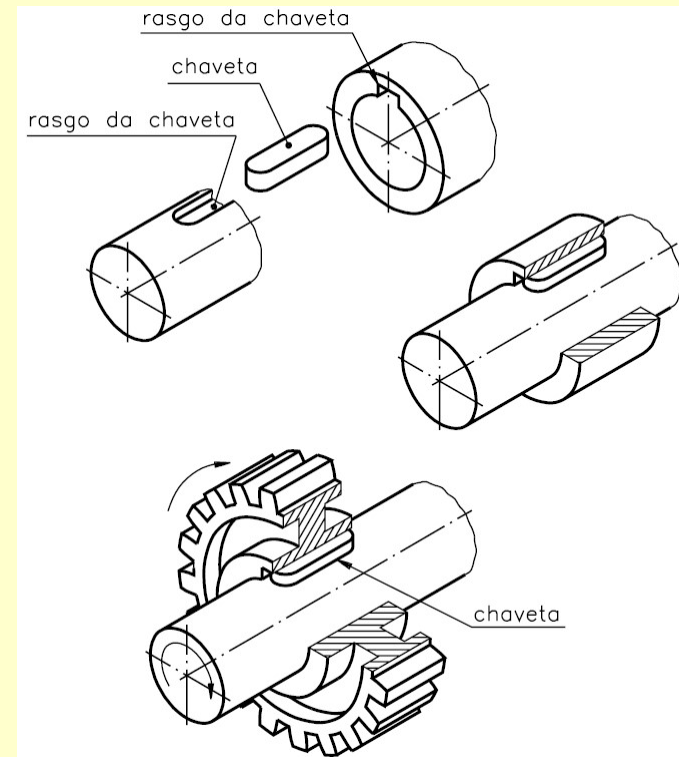
2. Uniões Encaixadas

II - UNIÕES ENCAIXADAS

- pino transversal
- chaveta paralela \Rightarrow união eixo-cubo mais comum
- estrias



Detalhe da ranhura e de uma chaveta paralela utilizada para fixar a engrenagem ao eixo





1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
-----------------------------------	--	--	--	----------------------------

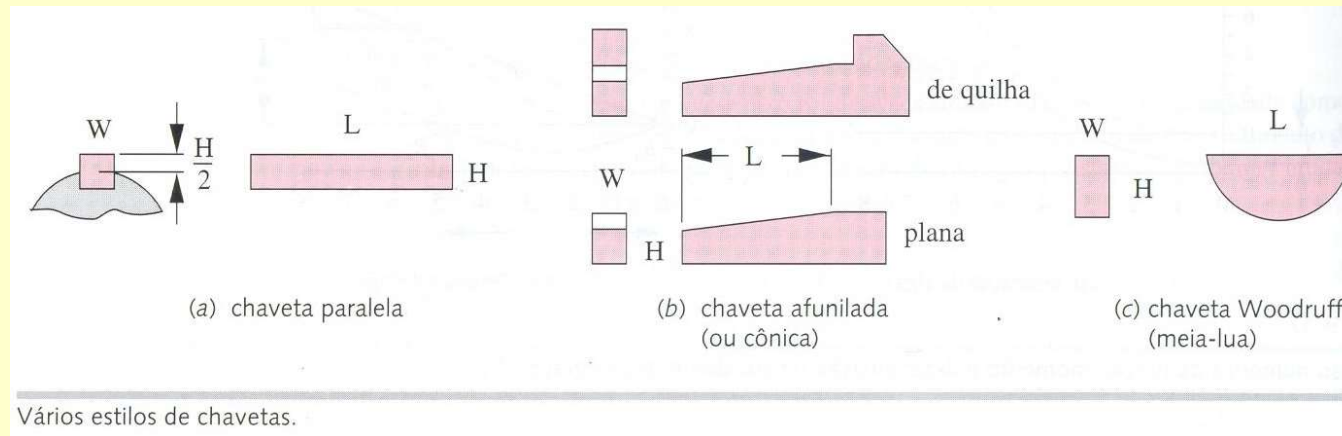
Sobre chavetas em geral: **fusível** \Rightarrow deve falhar antes do eixo e do elemento associado (apresentar baixa tensão de escoamento \Rightarrow aço 1020, 1030);
São **padronizadas** pelo tamanho e pela forma em diversos estilos:
Normas ANSI B17.1 – 1967 e B17.2 – 1967

ANSI: American National Standards Institute

- peça desmontável
- transmite torque entre o eixo e o elemento associado (cubo)
- tipos mais comuns: reta ou paralela
afunilada ou cônica
woodruff ou meia lua



1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
--	---	---	--	-----------------------------------





1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
-----------------------------------	--	--	--	----------------------------

❖ Chavetas paralelas

Sobre chavetas paralelas: seção transversal quadrada ou retangular e de altura e largura constantes ao longo do seu comprimento.

A padronização define os tamanhos particulares das seções transversais e a profundidade dos assentos (rasgos) das chavetas.



1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
--	---	---	--	-----------------------------------

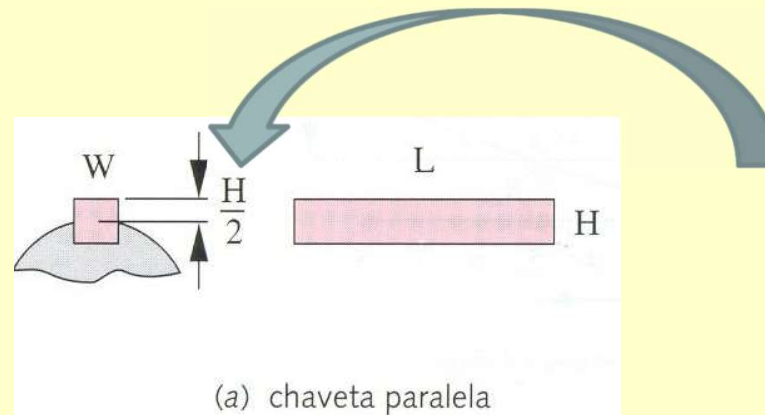
Chavetas padronizadas e tamanhos de parafusos para eixos com dimensões US e métricas

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 x 3
$0,437 < d \leq 0,562$	0,125	#10	$10 < d \leq 12$	4 x 4
$0,562 < d \leq 0,875$	0,187	0,250	$12 < d \leq 17$	5 x 5
$0,875 < d \leq 1,250$	0,250	0,312	$17 < d \leq 22$	6 x 6
$1,250 < d \leq 1,375$	0,312	0,375	$22 < d \leq 30$	8 x 7
$1,375 < d \leq 1,750$	0,375	0,375	$30 < d \leq 38$	10 x 8
$1,750 < d \leq 2,250$	0,500	0,500	$38 < d \leq 44$	12 x 8
$2,250 < d \leq 2,750$	0,625	0,500	$44 < d \leq 50$	14 x 9
$2,750 < d \leq 3,250$	0,750	0,625	$50 < d \leq 58$	16 x 10
$3,250 < d \leq 3,750$	0,875	0,750	$58 < d \leq 65$	18 x 11
$3,750 < d \leq 4,500$	1,000	0,750	$65 < d \leq 75$	20 x 12
$4,500 < d \leq 5,500$	1,250	0,875	$75 < d \leq 85$	22 x 14
$5,500 < d \leq 6,500$	1,500	1,000	$85 < d \leq 95$	25 x 14



1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
-----------------------------------	--	--	--	----------------------------

- Tolerância negativa
- Folga causa “backlash” (jogo) em torque alternado
- Comprimento máximo igual a 1,5 vezes o diâmetro do eixo
- Se for necessário maior resistência, podem ser usadas duas chavetas





1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
-----------------------------------	--	--	--	----------------------------

3. Tensões nas chavetas

❖ Falha por cisalhamento

A chaveta é cisalhada ao longo de sua largura na interface eixo-cubo

$$\tau_{xy} = \frac{F}{A_{cis}}$$

Figura lousa

- Se o torque for constante basta comparar a tensão de cisalhamento atuante (τ_{xy}) e a tensão de cisalhamento no escoamento (S_{ys})
- Se o torque for variável \Rightarrow fadiga \Rightarrow calcular τ_a e τ_m e usá-las para calcular tensões efetivas de von Mises



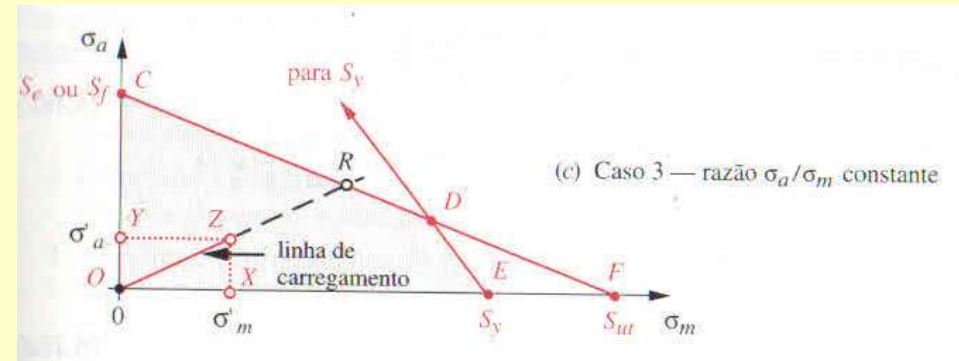
1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
-----------------------------------	--	--	--	----------------------------

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_{m_{axial}})^2 + 3\tau_m^2}$$

Equação de projeto

$$\frac{1}{N_f} = \frac{\sigma'_a}{S_f} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}$$





1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
-----------------------------------	--	--	--	----------------------------

❖ Falha por esmagamento

A chaveta é esmagada em qualquer lado em compressão

$$\sigma_{xx} = \frac{F}{A_{esm}}$$

Figura lousa

A tensão de esmagamento deve ser calculada usando a máxima força aplicada. Como são **tensões de compressão**, **não** causam falha por **fadiga** e podem ser consideradas estáticas.

Basta comparar a tensão máxima de esmagamento (σ_{xx}) com o limite de escoamento sob compressão (S_y).



1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
-----------------------------------	--	--	--	----------------------------

4. Materiais para chavetas

- por serem carregadas em cisalhamento, são usados **materiais dúcteis**
- aço de **baixo carbono**, exceto em ambiente corrosivo (aço inoxidável ou latão)
- frequentemente padronizadas de **laminação a frio**

5. Projeto de chavetas

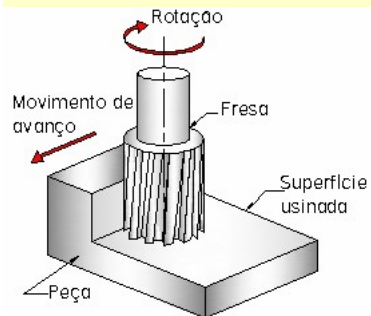
- poucas variáveis de projeto: **altura e largura determinadas** pelo diâmetro do eixo
- apenas o **comprimento e o número de chavetas** são variáveis de projeto



1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
-----------------------------------	--	--	--	----------------------------

6. Concentração de Tensões em Rasgos de Chavetas

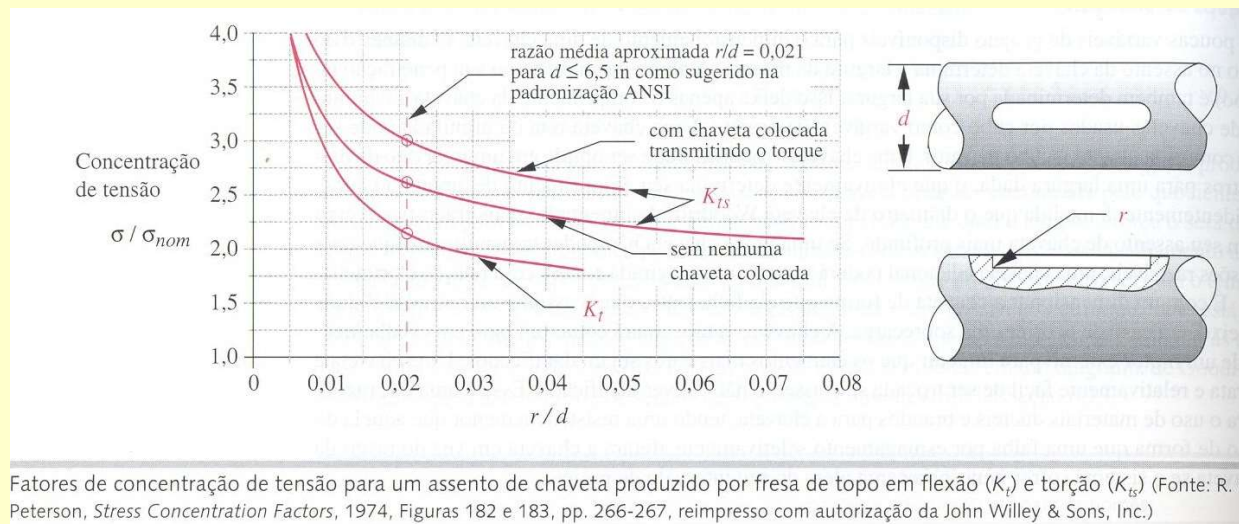
- cantos das chavetas ($< 0.02 \text{ mm}$)
- se for usada fresa de topo o rasgo terá cantos afiados





1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha Esmagamento por	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
--	---	---	--	-----------------------------------

estilos de rasgos de chavetas em eixos



curvas obtidas experimentalmente



1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
-----------------------------------	--	--	--	----------------------------

Exercício 1: Analisar o coeficiente de segurança para um comprimento 0,5 in
Utilizar o exercício 2 da aula 4.

Carregamentos: $T_a = T_m = 73,1 \text{ lb in}$
no plano de $F_g \Rightarrow M_a = M_m = 32,2 \text{ lb in}$
no plano de F_1 e $F_2 \Rightarrow M_a = M_m = 0 \text{ lb in}$

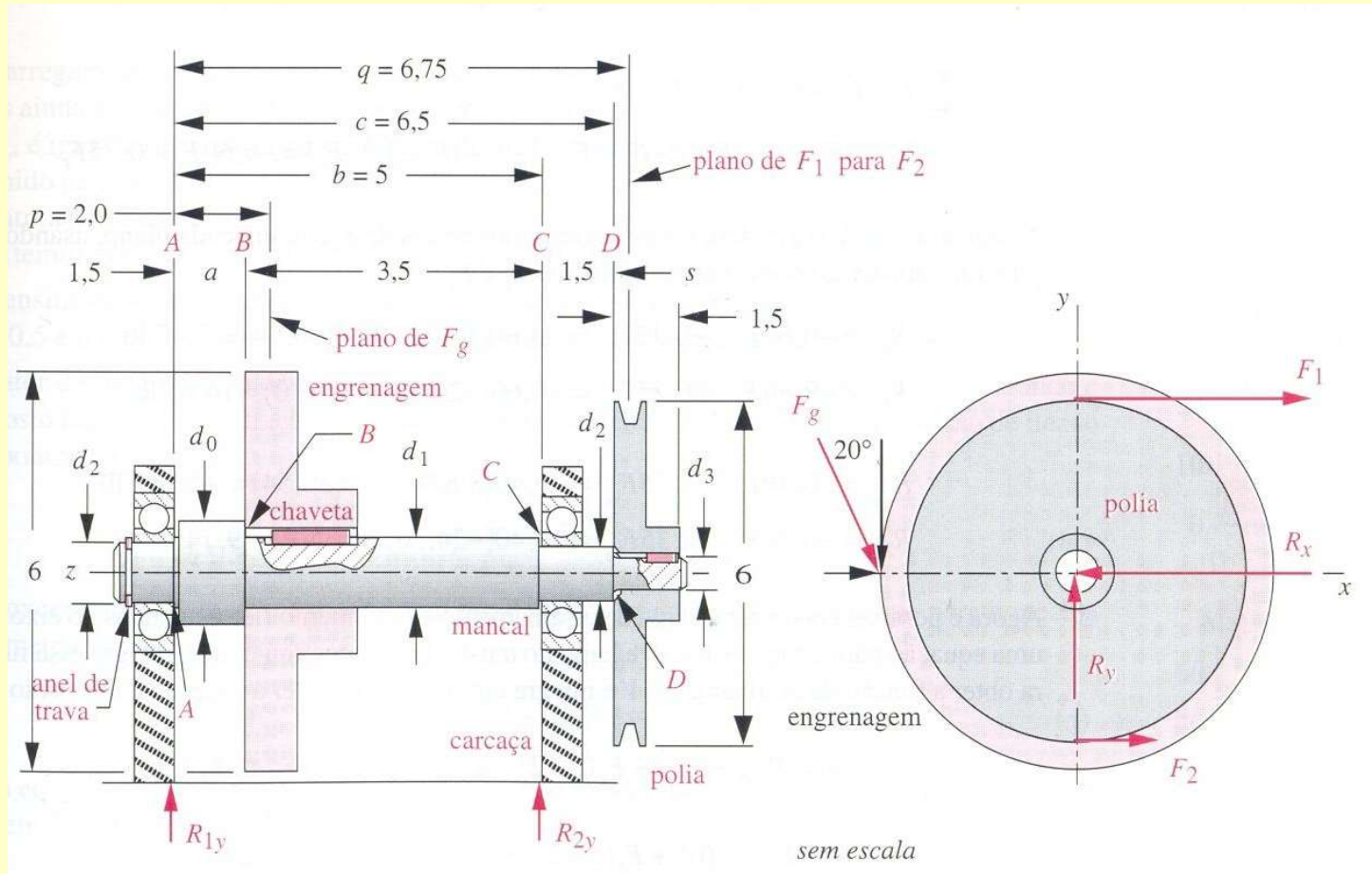
Diâmetros calculados: $d_1 = 0,632 \text{ in} \Rightarrow 0,750 \text{ in}$
 $d_3 = 0,512 \text{ in} \Rightarrow 0,531 \text{ in}$

Utilizar chavetas quadradas, paralelas com rasgos produzidos por fresa de topo e material aço SAE 1010

$$S_{ut} = 53000 \text{ psi}$$
$$S_y = 44000 \text{ psi}$$
$$S_e = 22900 \text{ psi}$$



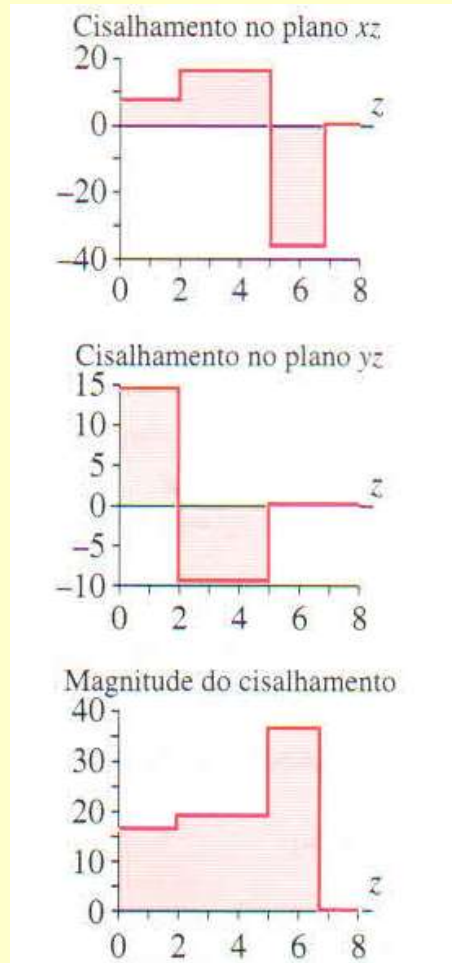
1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
--	---	---	--	-----------------------------------



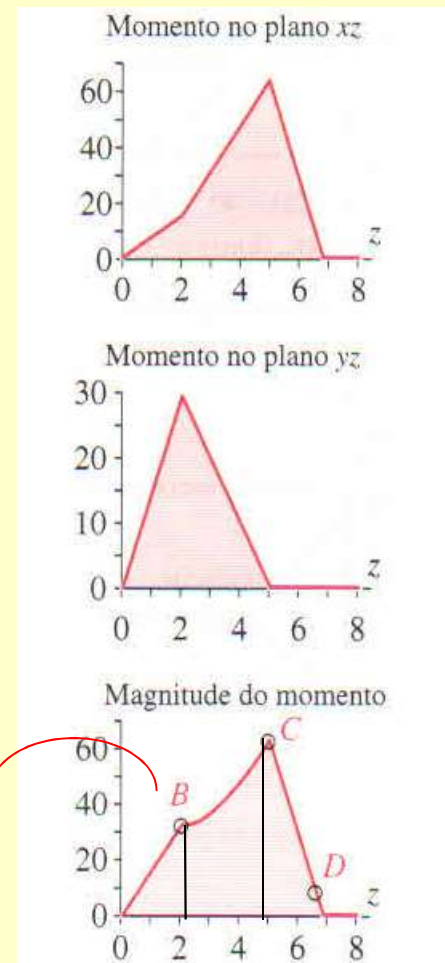


1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
--	---	---	--	-----------------------------------

diagramas



Plano de F_g
 $M=32,8 \text{ lb in}$





1. Introdução ❖ Tipos de União	2. Uniões Encaixadas ❖ Chaveta Paralela	3. Tensões nas Chavetas ❖ Falha por Cisalhamento ❖ Falha por Esmagamento	4. Materiais para Chavetas 5. Projeto de Chavetas	5. Concentração de Tensões
-----------------------------------	--	--	--	----------------------------

Exercício 2:

Um eixo de aço UNS G 41300 tratado termicamente com $S_y = 460$ MPa e $S_{ut} = 731$ MPa tem um diâmetro de 70 mm, roda a 720 rpm e transmite, por intermédio de uma engrenagem, um torque variado no tempo entre os valores $T_{min} = 500$ Nm e $T_{max} = 2500$ Nm. Selecione o número e o tipo de chaveta paralela para esta união, com um fator de segurança 2,0. A chaveta é de aço UNS G10200 com $S_{ut} = 420$ MPa e $S_y = 350$ MPa.

Considerar para a chaveta: Acabamento usinado
Confiabilidade de 99%
Trabalho em temperatura ambiente



PERGUNTAS?

