



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**EM608 – Elementos de Máquinas**  
**ES690 – Sistemas Mecânicos**

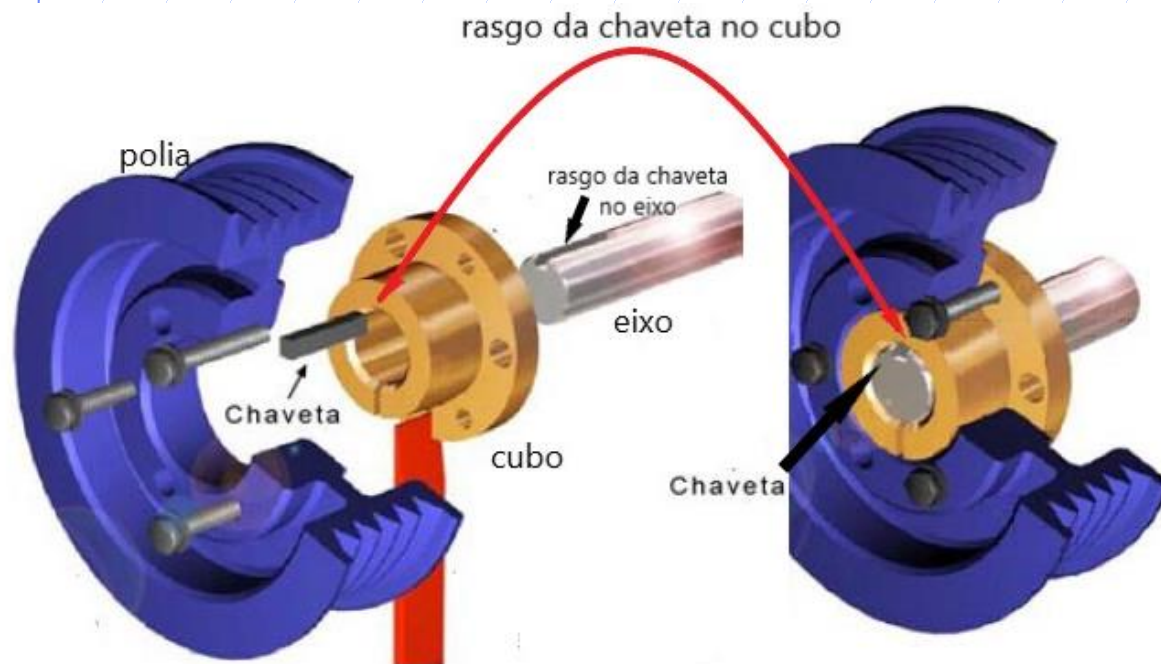
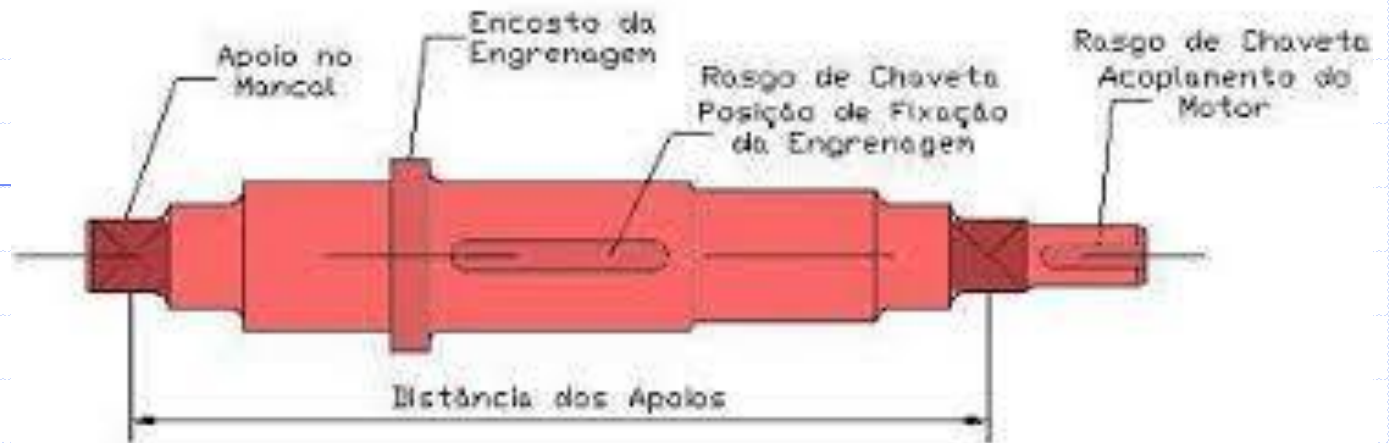
## ***EIXOS DE TRANSMISSÃO*** ***ACOPLAMENTOS RADIAIS***

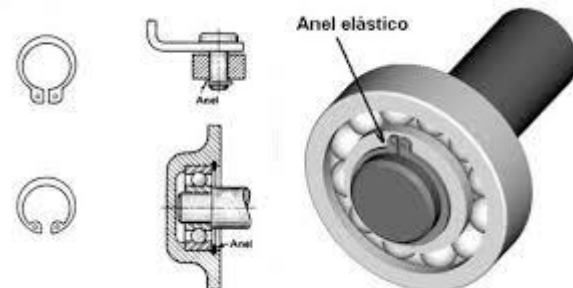
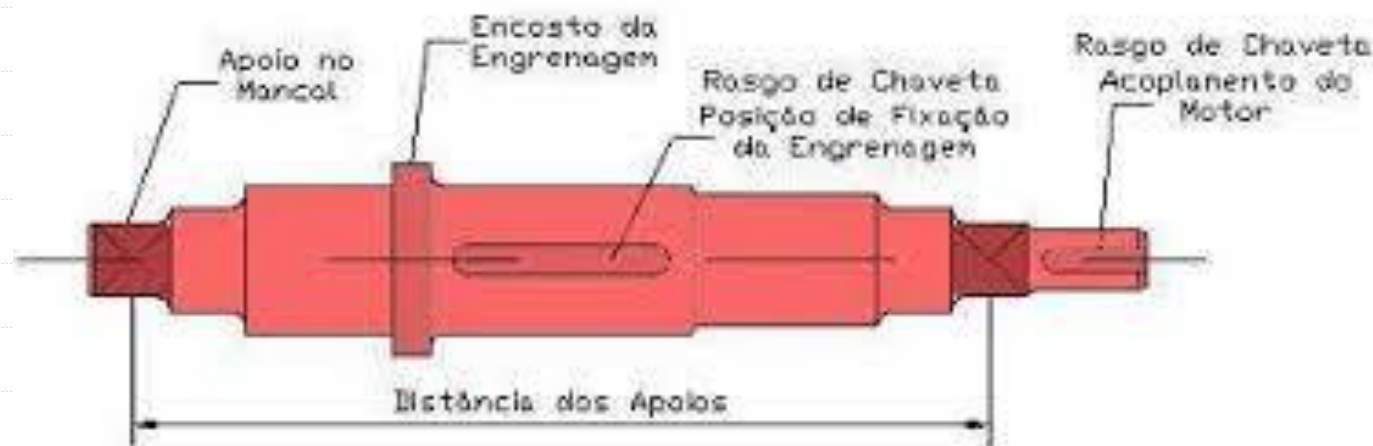
**Prof.<sup>a</sup> Katia Lucchesi Cavalca** [katia@fem.unicamp.br](mailto:katia@fem.unicamp.br)

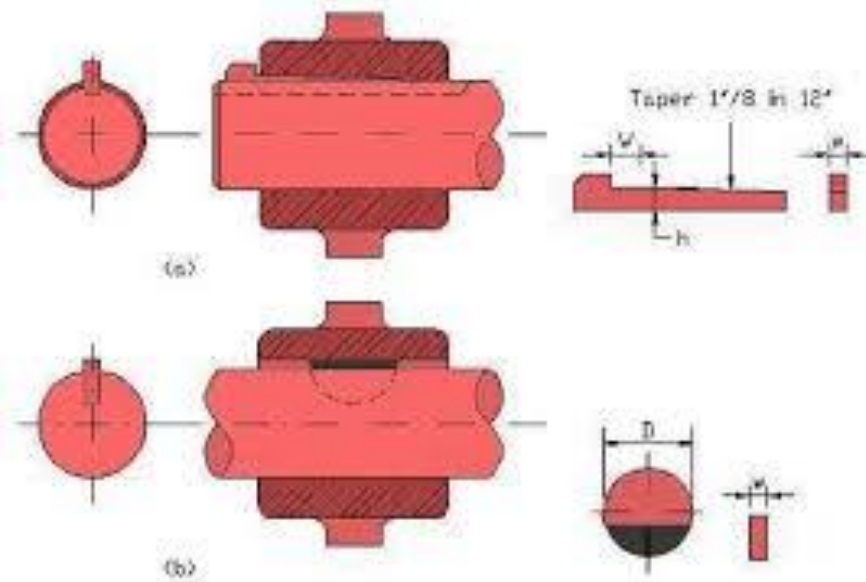
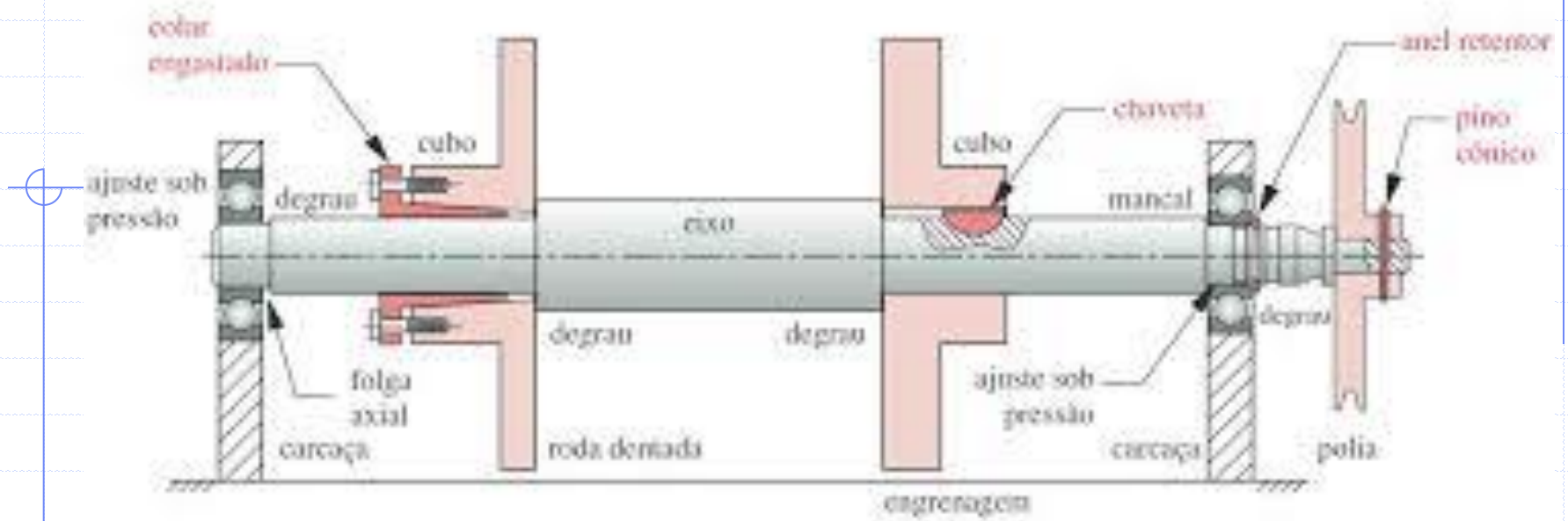
**Prof. Gregory Bregion Daniel** [gbdaniel@fem.unicamp.br](mailto:gbdaniel@fem.unicamp.br)

**Campinas, 2020**





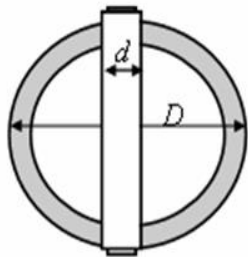




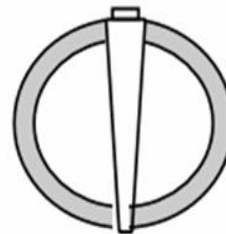
# Acoplamentos Radiais em Eixos de Transmissão

## Pinos

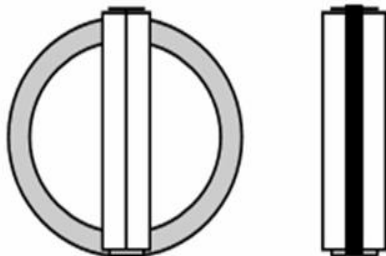
A norma da ASME define um pino (ou uma chaveta) como uma peça desmontável que, quando assentada a um rasgo, produz a transmissão de torque entre o eixo e o elemento associado por esta conexão radial. Pinos e chavetas encontram-se normalizados sob tamanhos e perfis diversos.



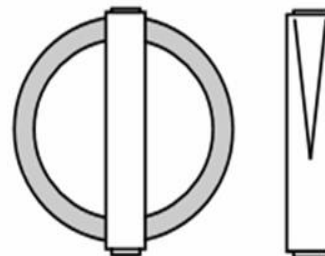
Pino Reto



Pino Cônico



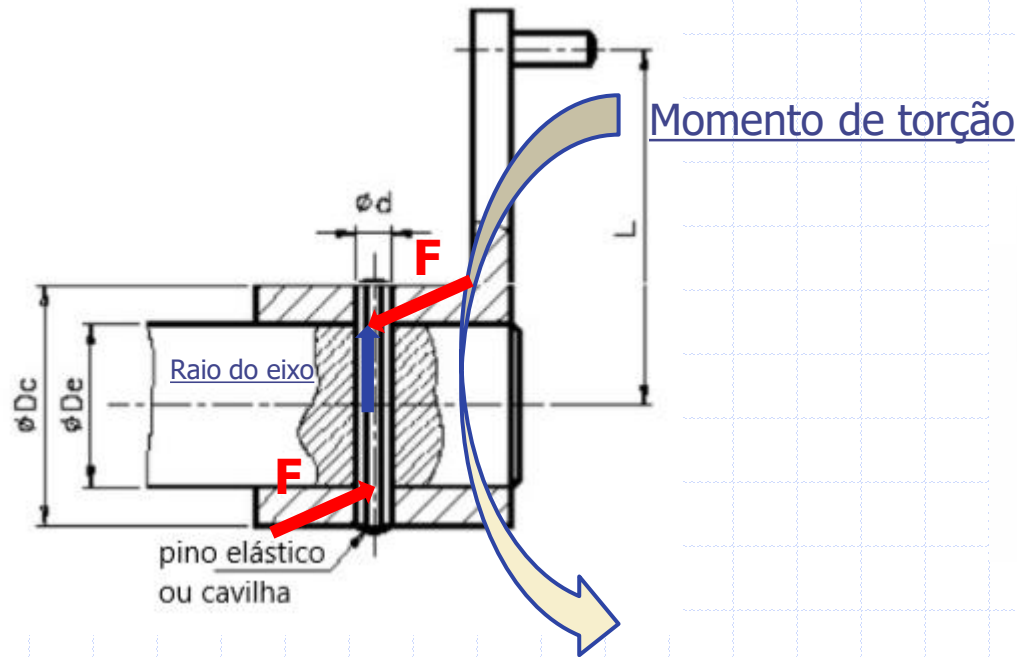
Pino Elástico



Pino Estriado



## Esforços em Pinos



A capacidade de carga de um pino, em relação ao torque, é limitada pela resistência deste elemento ao duplo cisalhamento, em ambas as extremidades do pino. Para um pino sólido de diâmetro  $d_p$  e resistência ao escoamento por cisalhamento  $S_{ys}$ , a capacidade máxima de torque será:

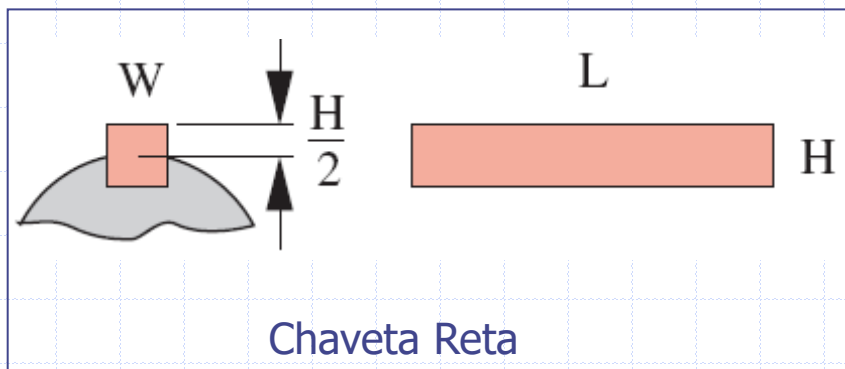
$$T = 2F \frac{D_{eixo}}{2} = \tau_{cis} \cdot A_{cis} \cdot D_{eixo} = \frac{S_{ys}}{N_s} A_{cis} \cdot D_{eixo} = \frac{S_{ys}}{N_s} \frac{\pi d_{pino}^2}{4} D_{eixo}$$



# Acoplamentos Radiais

## Chavetas

### Tipos de Chavetas:





# Acoplamentos Radiais

## Chaveta Reta:

As chavetas retas são as mais comuns. As normas da ANSI definem dimensões de seções de chavetas, e dimensões do assento das mesmas, como uma função do diâmetro do eixo no posicionamento da chaveta, respectivamente.

Chavetas quadradas são indicadas para eixos de diâmetro de até 6,5 in, enquanto que para eixos de diâmetro superior a 6,5 in, recomenda-se o uso de chavetas retangulares.

A norma também prevê que, no sentido de minimizar esforços alternados sobre as chavetas, estas devem apresentar um comprimento de, no máximo, 1,5 vezes o diâmetro do eixo de modo a evitar que seu comprimento venha a interferir na deflexão do eixo.





# Acoplamentos Radiais

## Medidas Padronizadas para Chavetas Retas

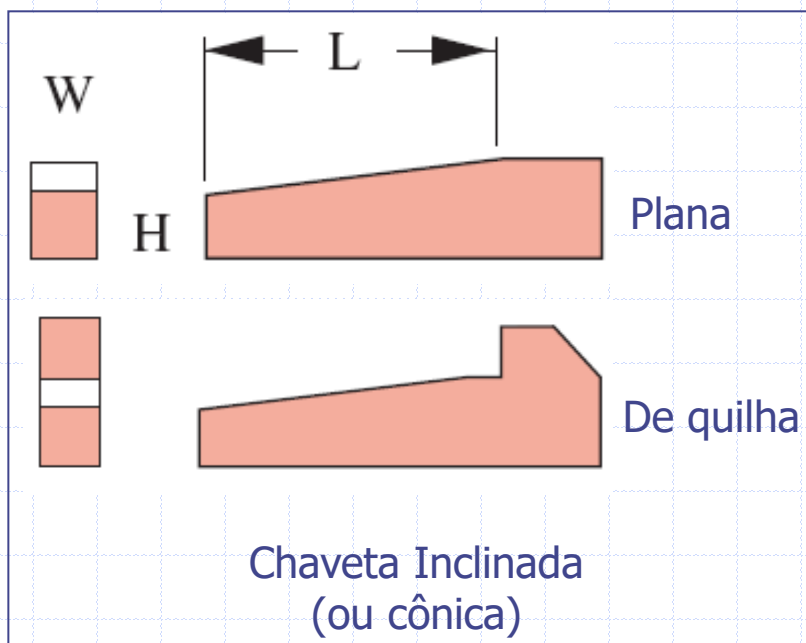
<b>Diâmetro do Eixo (in)</b>	<b>Largura Nominal da Chaveta (in)</b>
$0.312 < d \leq 0.437$	0.093
$0.437 < d \leq 0.562$	0.125
$0.562 < d \leq 0.875$	0.187
$0.875 < d \leq 1.250$	0.250
$1.250 < d \leq 1.375$	0.312
$1.375 < d \leq 1.750$	0.375
$1.750 < d \leq 2.250$	0.500
$2.250 < d \leq 2.750$	0.625
$2.750 < d \leq 3.250$	0.750
$3.250 < d \leq 3.750$	0.875
$3.750 < d \leq 4.500$	1.000
$4.500 < d \leq 5.500$	1.250
$5.500 < d \leq 6.500$	1.500



# Acoplamentos Radiais

## Chavetas

### Tipos de Chavetas:



# Acoplamentos Radiais

## Chaveta Inclinada:

As larguras para chavetas inclinadas, dado um eixo de diâmetro específico, são as mesmas que para chavetas retas. A conicidade e a cabeça deste tipo de chaveta são especificadas na norma.

A conicidade é capaz de travar axialmente o componente acoplado radialmente ao eixo.

As chavetas inclinadas com cabeça são utilizadas em montagens onde, devido às pequenas dimensões, a retirada da chaveta é de difícil acesso.

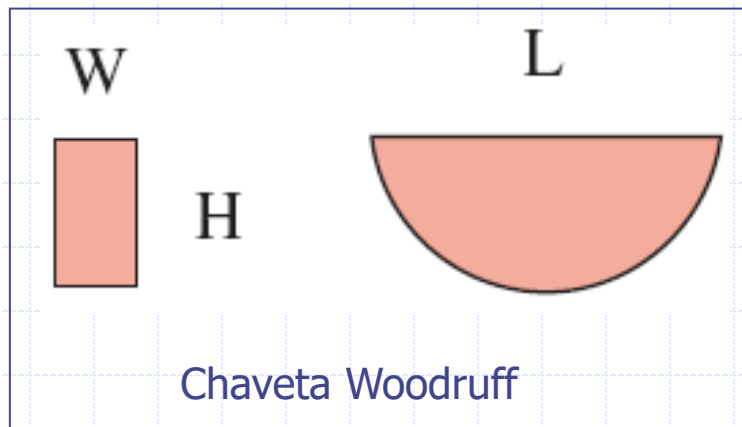
Chavetas inclinadas tendem a criar excentricidades entre o eixo e o cubo, por concentrarem as folgas radiais de um único lado da montagem.



# Acoplamentos Radiais

## Chavetas

### Tipos de Chavetas:



# Acoplamentos Radiais

## Chaveta Woodruff (meia pastilha):

As chavetas Woodruff são auto-alinháveis. O rasgo feito no eixo, para o assentamento deste tipo de chaveta, apresenta perfil semicircular, o que evita cantos vivos e, conseqüentemente, pontos de concentração de tensões.

Cada medida encontra uma especificação numérica para o tipo de chaveta presente na norma. Os dois últimos dígitos fornecem o comprimento nominal da chaveta, em oitavos de polegada, e os dígitos precedentes, fornecem a largura nominal da chaveta, em trinta e dois avos de polegada. Por exemplo, uma chaveta de número 808 define uma chaveta de tamanho  $8/32 \times 8/8$ , ou seja,  $1/4$  in de largura e 1 in de comprimento.



# Acoplamentos Radiais

## Medidas Padronizadas para Chavetas Woodruff (ANSI)

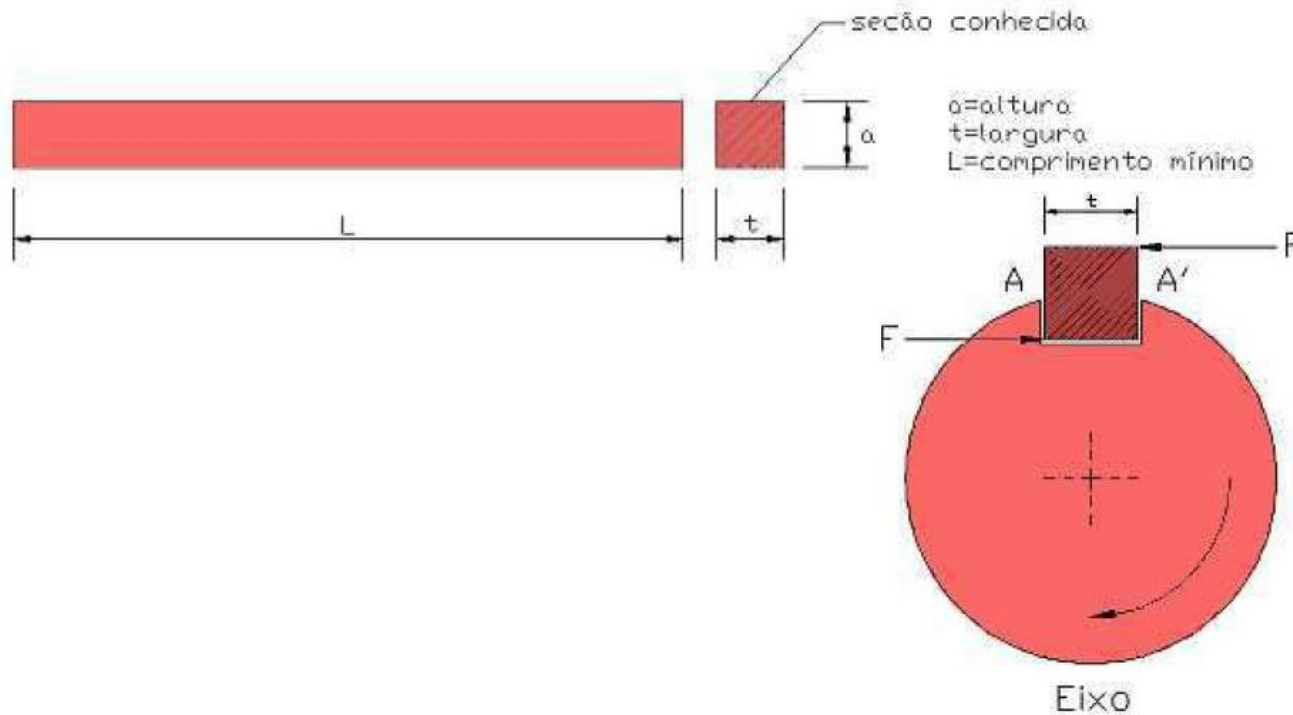
Número da Chaveta	Largura / Comprimento(in)	Altura H (in)
202	0.062x0.250	0.106
303	0.093x0.375	0.170
404	0.125x0.500	0.200
605	0.187x0.625	0.250
806	0.250x0.750	0.312
707	0.218x0.875	0.375
608	0.187x1.000	0.437
808	0.250x1.000	0.437
1208	0.375x1.000	0.437
610	0.187x1.250	0.545
810	0.250x1.250	0.545
1210	0.375x1.250	0.545
812	0.250x1.500	0.592
1212	0.375x1.500	0.592



# Acoplamentos Radiais

## Falhas em Chavetas

Existem dois modos de falha em chavetas: por cisalhamento e por compressão.



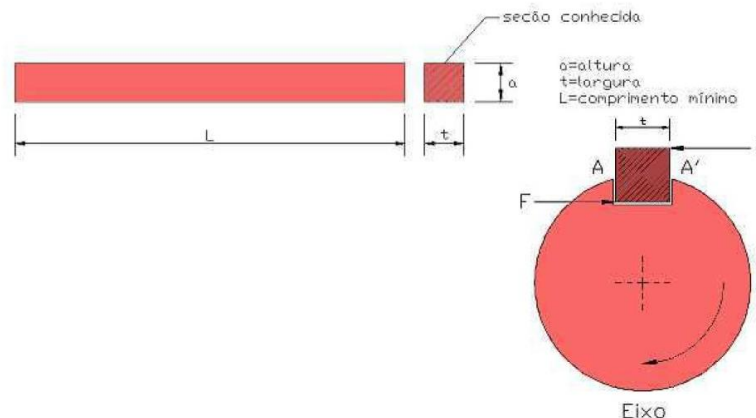


Falha por Cisalhamento: A falha por cisalhamento ocorre quando a chaveta se rompe ao longo de seu comprimento, na interface entre eixo e cubo do componente.

A tensão de cisalhamento, atuando na interface eixo-elemento associado, é definida por:

$$\tau_{cis} = \frac{F}{A_{cis}} = \frac{T / (D_{eixo} / 2)}{A_{cis}} = \frac{T / (D_{eixo} / 2)}{w \times L} = \frac{S_{ys}}{N_s}$$

Onde T é momento torsor aplicado e  $A_{cis}$  é a área da chaveta sujeita ao cisalhamento ( $w$  = largura e  $L$  = comprimento da chaveta).

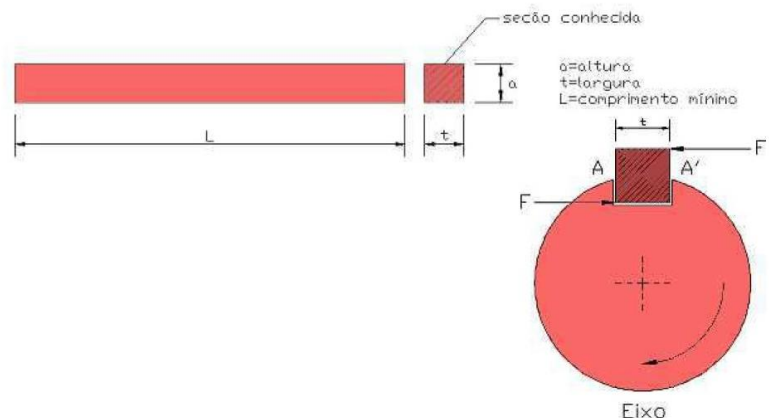


Falha por Compressão: A falha por compressão ocorre quando a chave é submetida a uma compressão excessiva em ambos os lados, sofrendo esmagamento.

A tensão de compressão, na superfície lateral da chave, é definida por:

$$\sigma_{normal} = \frac{F}{A_{compressão}} = \frac{T / (D_{eixo} / 2)}{(H / 2) \times L} = \frac{S_y}{N_y}$$

Onde T é momento torsor aplicado e  $A_{compressão}$  é a área da chave sujeita ao esforço normal de compressão (H = altura e L = comprimento da chave).



## Projeto de Chaveta

Em projeto de chavetas, é comum considerar um estado de tensão onde a chaveta venha a falhar primeiro, e não o seu assento, o que acarretaria a troca do eixo e de um maior número de componentes a este acoplados radialmente.

Tal consideração se deve ao fato de que uma chaveta é um elemento de baixo custo e de fácil reposição, comparado ao eixo e aos componentes montados sobre o mesmo.

Tal fato também justifica o uso de materiais dúcteis em sua confecção, permitindo que a falha ocorra na chaveta e não venha a prejudicar o sistema. Neste caso, a chaveta funcionaria como um dispositivo de segurança.

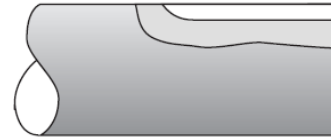
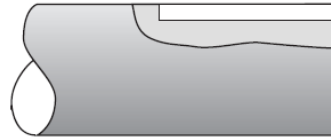
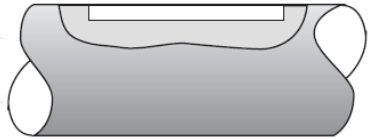


# EIXOS DE TRANSMISSÃO

## Concentração de Tensões em Chaveta

Considerando-se que as chavetas apresentam bordas de raio pequeno (cantos praticamente vivos), assim como os rasgos no eixo, existe então uma significativa concentração de tensão nesta região.

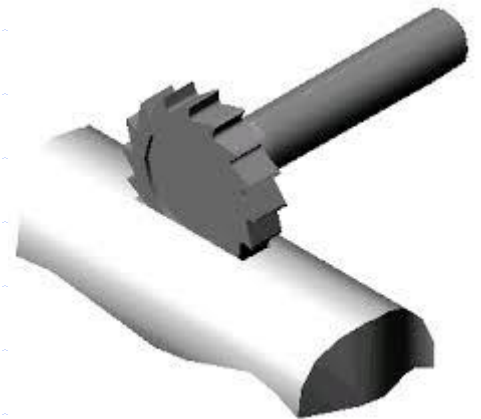
### Tipos de rasgos de chavetas:



(a) Rasgo de chaveta por fresa de topo – extremidade dupla

(b) Rasgo de chaveta por fresa de topo – extremidade única

(c) Rasgo de chaveta arredondado – extremidade única



# EIXOS DE TRANSMISSÃO

Peterson demonstrou, experimentalmente, o acúmulo de tensões nos cantos vivos de rasgos, para eixos submetidos tanto à torção quanto à flexão.

