



# 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](http://www.ua.pt/pt/p/16609746)

# SUMÁRIO

## Ligações em estruturas

- Tipologias de ligações
- Vantagens e desvantagens de tipos de ligação

## Ligações rebitadas

- Princípio de funcionamento
- Tipos de componentes

## Ligações aparafusadas

- Princípio de funcionamento
- Tipos de componentes

## Ligações de painéis compósitos

- Componentes para ligações em materiais compósitos

## Falha e dimensionamento de ligações





# LIGAÇÕES ENTRE ESTRUTURAS

Tipologias e de  
ligação entre  
componentes

# CLASSIFICAÇÃO DE LIGAÇÕES

## Ligações desmontáveis

As peças ligadas podem ser desmontadas

- Utilizam parafusos, chavetas, etc.
  - Diretas se não utilizam elementos adicionais
  - Indiretas se utilizam elementos adicionais

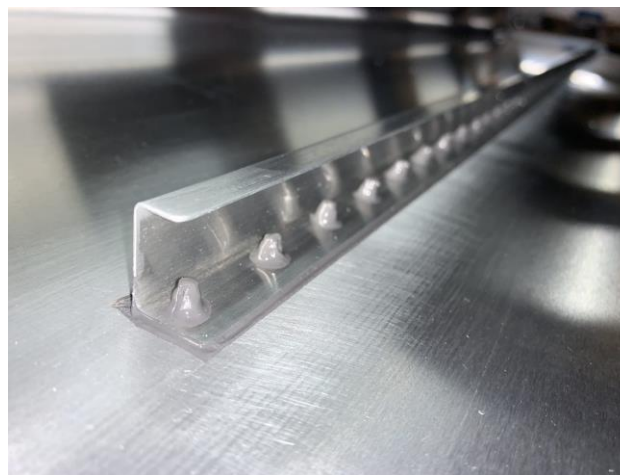


# CLASSIFICAÇÃO DE LIGAÇÕES

## Ligações permanentes

As peças ligadas não podem ser separadas sem destruição

- Utilizam colagem, soldadura, rebites, etc.



# LIGAÇÕES SOLDADAS



## Vantagens

- Resistência da ligação
- Baixo peso de ligação
- Capacidade de vedação



## Desvantagens

- Materiais compatíveis são reduzidos
- Cargas térmicas afetam geometria de peças
- Ligações não permitem manutenção e inspeção não é simples
- Ligação permite propagação de falha de peças
- Elevado custo de ligação

# LIGAÇÕES COLADAS



## Vantagens

- Baixo peso de ligação
- Compatibilidade com muitos materiais
- Capacidade de vedação

## Desvantagens

- Suporta cargas baixas
- Capacidade de suportar carga não é uniforme
- Performance varia com o tempo



# LIGAÇÕES APARAFUSADAS



## Vantagens

- Suporte de forças em múltiplas direções
- Suporte de cargas elevadas
- Possibilidade de desmontagem e manutenção

## Desvantagens

- Maior custo nos componentes e fabrico da ligação
- Maior massa em elementos de ligação
- Maior possibilidade de corrosão
- Possibilidade de desaperto



# LIGAÇÕES REBITADAS



## Vantagens

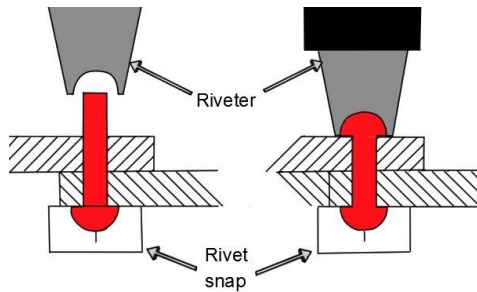
- Estabilidade e confiabilidade da ligação
- Baixo peso da ligação
- Facilidade de montagem
- Facilidade de inspeção e possibilidade de substituição
- Baixo custo de ligação

## Desvantagens

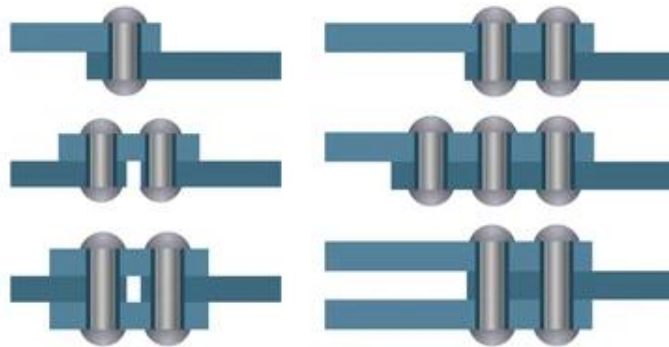
- Necessidade de acesso à ligação em ambos os lados
- Só suportam esforço de corte
- Menor número de materiais do que ligações rosçadas

# PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO DE LIGAÇÕES REBITADAS

Corpo do rebite é inserido em furos alinhados de duas ou mais peças



Deformação plástica do corpo forma uma segunda cabeça

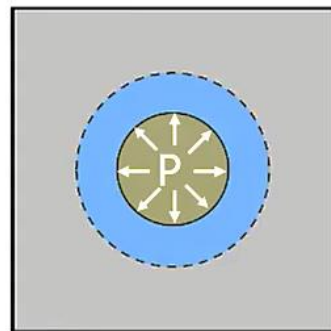
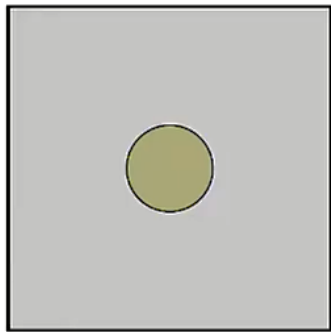


Esforço de corte entre duas peças ligadas é suportado pelos rebites e atrito causado pela sua compressão

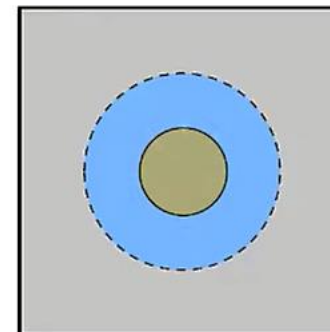
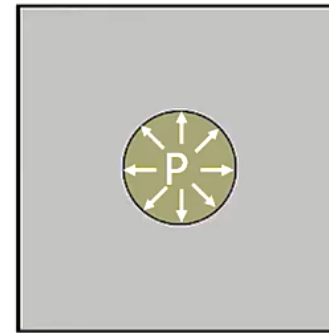
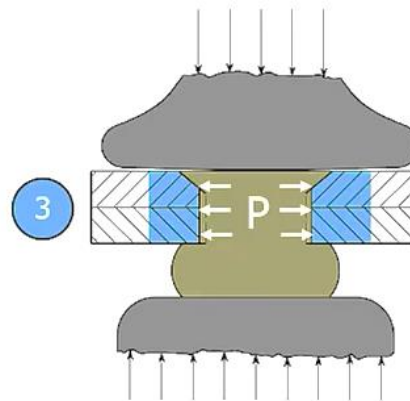
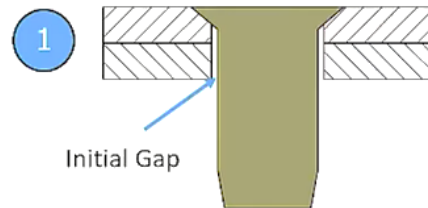
Número de rebites, afastamento e distribuição afetam a ligação

Expansão radial do rebite provoca tensões residuais de compressão que reduzem a concentração de tensão em torno do furo

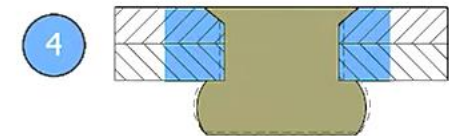
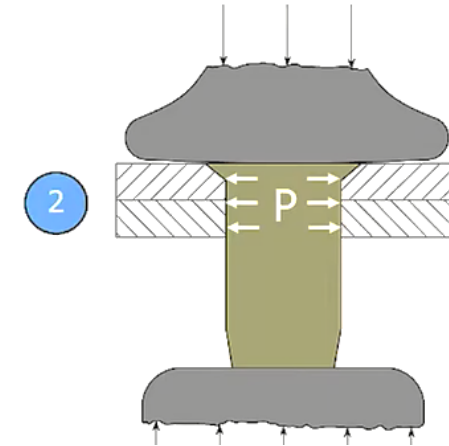
# PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO DE LIGAÇÕES REBITADAS



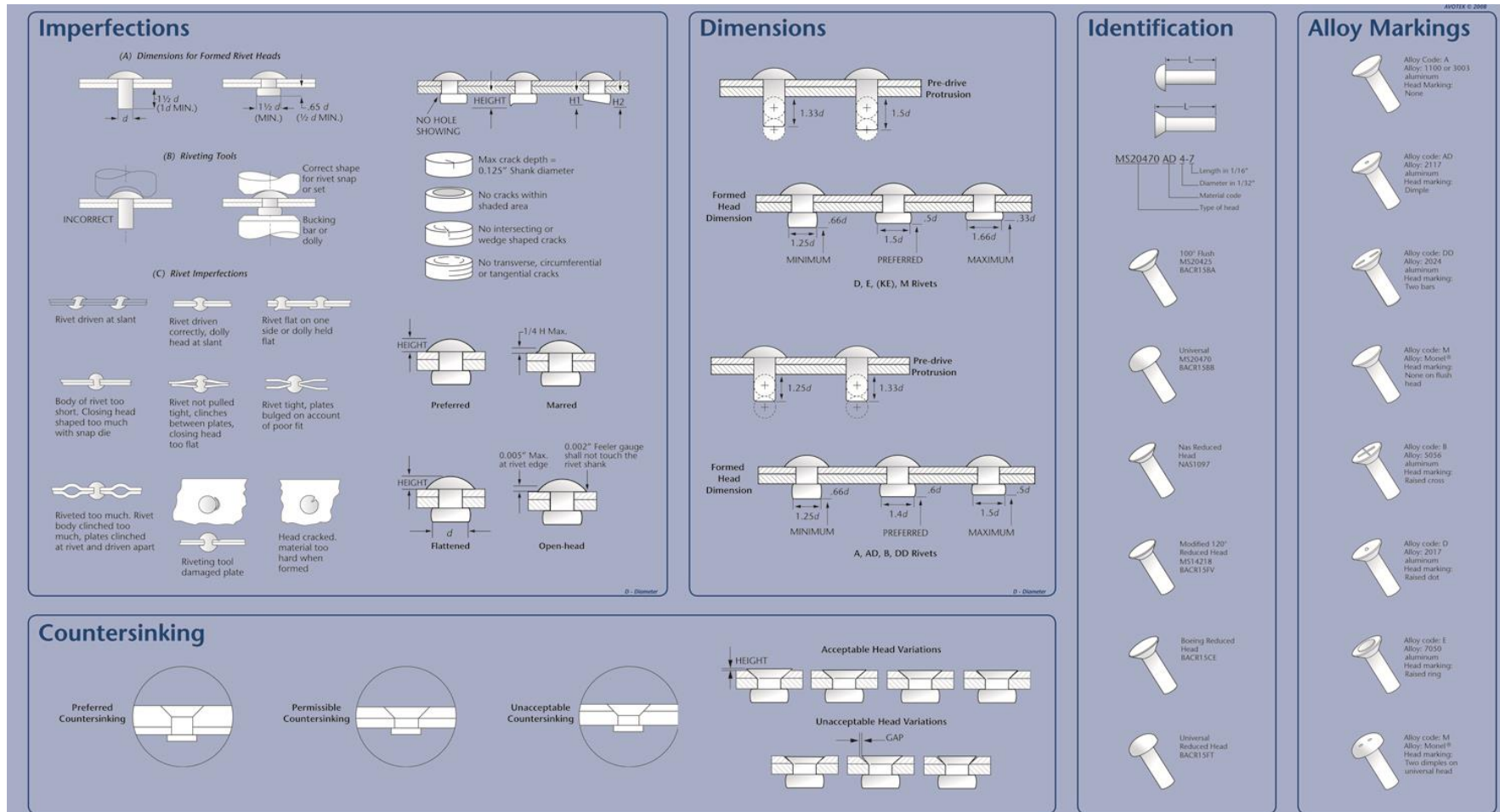
■ Plastic region  
■ Elastic region



■ Plastic region  
■ Elastic region



# LIGAÇÕES REBITADAS



# TIPOS DE REBITES





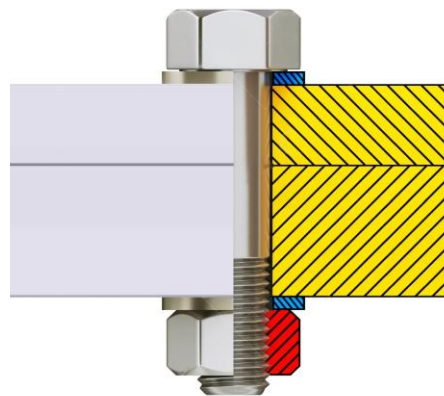
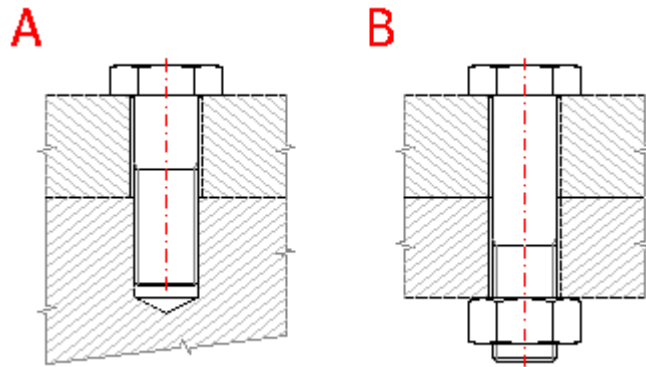
# PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO DE LIGAÇÕES APARAFUSADAS

Parafuso exerce uma força de compressão, evitar esforço de corte no corpo do parafuso

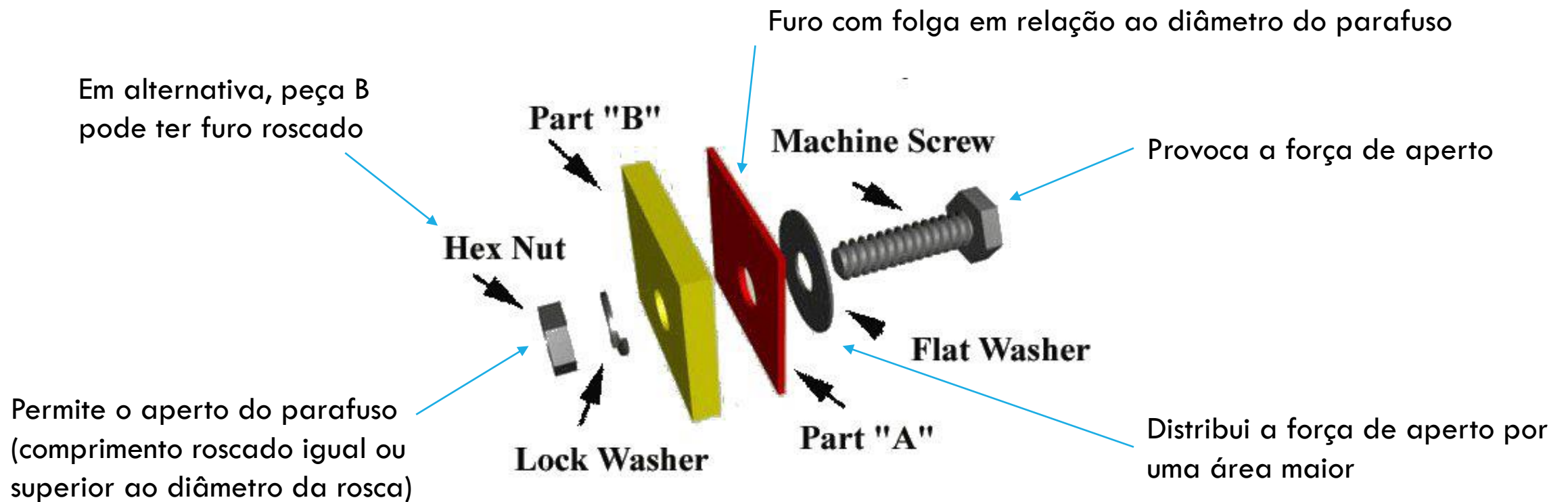
Força de compressão mantém 2 partes fixadas juntas

Esforço normal entre duas peças ligadas é suportado pela compressão exercida pelos parafusos

Esforço de corte entre duas peças ligadas é suportado pelo atrito causado pela compressão exercida pelos parafusos



# LIGAÇÕES APARAFUSADAS



# TIPOS DE COMPONENTES EM LIGAÇÕES ROSCADAS



# LIGAÇÕES DE COMPÓSITOS COM COMPONENTES DE FIXAÇÃO

Materiais compósitos são muito suscetíveis a dano em operações de furação

- Abertura de furos corta fibras que suportam os esforços
- Abertura de furos provoca concentração de tensões

Estruturas sandwich têm um núcleo que não suporta esforços

- Aplicação de componentes de fixação não pode contar com resistência de toda a estrutura, apenas das camadas exteriores

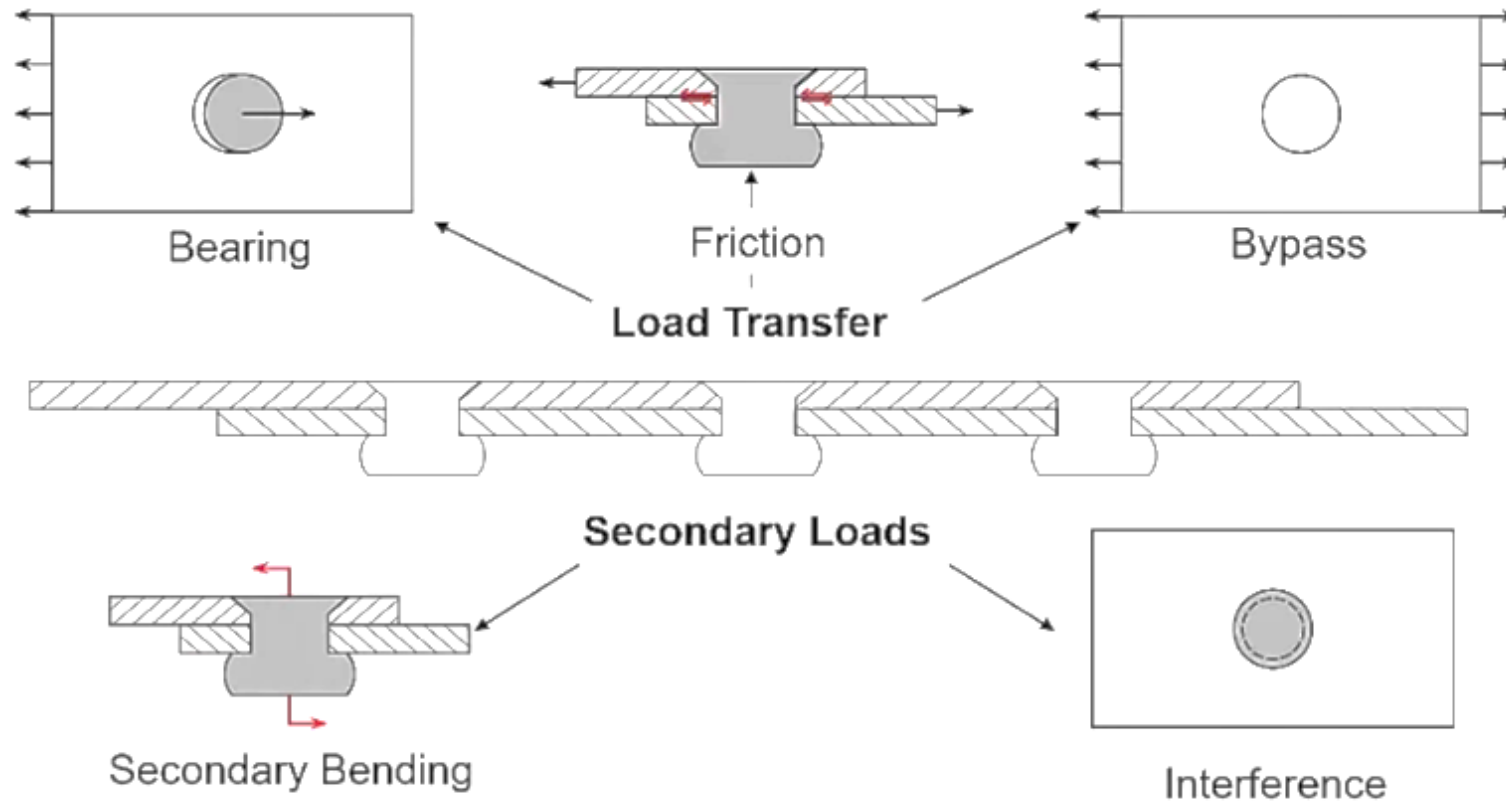
# LIGAÇÕES DE COMPÓSITOS COM COMPONENTES DE FIXAÇÃO

Insertos metálicos são utilizados em estruturas de material compósito para possibilitar a utilização de componentes de fixação

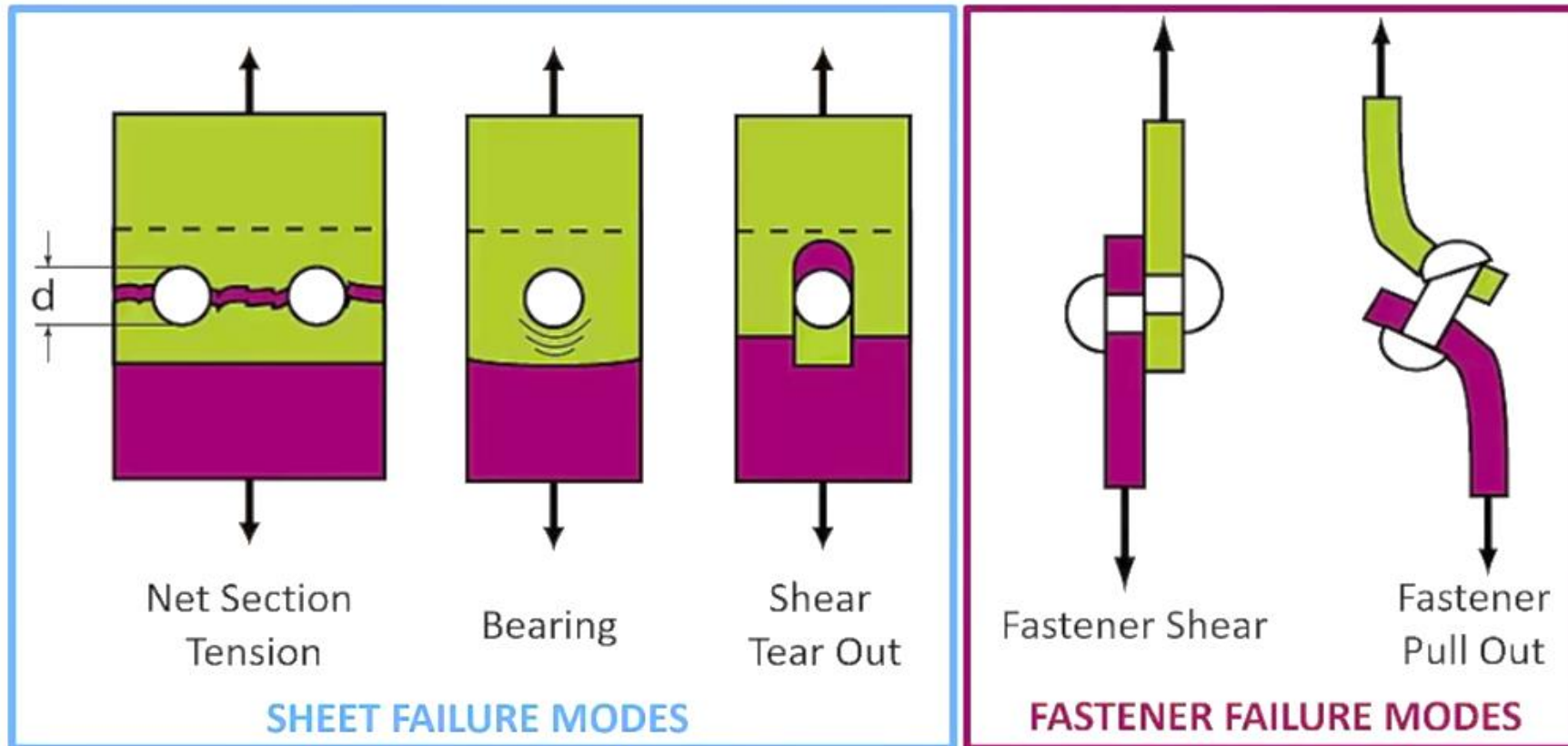




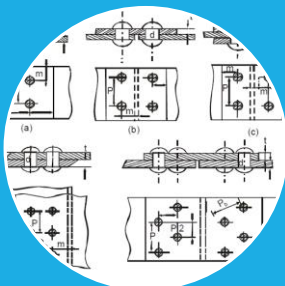
# TRANSMISSÃO DE FORÇA EM LIGAÇÕES



# FALHA DE LIGAÇÕES COM COMPONENTES DE LIGAÇÃO



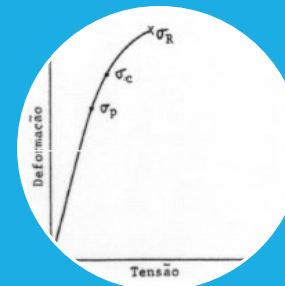
# DIMENSIONAMENTO DE COMPONENTES DE LIGAÇÃO



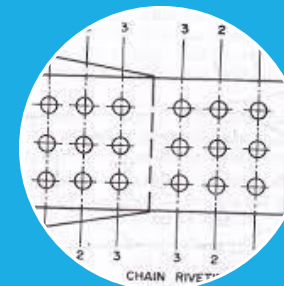
Definição do tipo de junta e processo de ligação

Tabela com propriedades mecânicas, provavelmente para ligas de alumínio, com colunas para designação, espessura (mm), tensão de escoamento ( $\sigma_p$ ), tensão de ruptura ( $\sigma_R$ ) e alongamento (%).

Definição do tipo e dimensão dos componentes de ligação



Seleção do material dos componentes de ligação



Determinação do número e distribuição de elementos de ligação