LIGAÇÔES ADESIVAS NA INDUSTRIA METALOMECÂNICA

José Luís Esteves

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 PORTO, Portugal
Email: jesteves@fe.up.pt

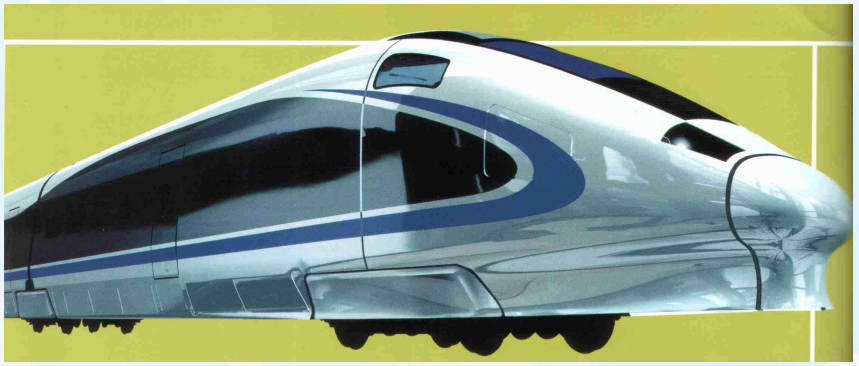
Introdução

- **Nos diferentes sectores da indústria metalomecânica as ligações entre mais do que um componente, têm conhecido ao longo dos tempos uma evolução bastante grande, tanto na diversificação de processos de ligação, assim como na grande evolução de tecnologias utilizadas.**

- **Para além dos métodos mais tradicionais tais como a soldadura, rebitagem e aparafusagem, nos últimos 60 anos tem-se vindo a desenvolver o processo de ligação de materiais recorrendo á colagem com adesivos estruturais, sendo uma tecnologia utilizada presentemente para algumas situações como primeira escolha em termos de projecto apresentando avanços económicos relevantes.**

United States

COMPOSITAIR



Nota Bibliográfica

- A colagem foi uma das primeiras técnicas a serem utilizadas pelo homem para proceder à ligação de peças diferentes. A utilização desta técnica apresentando já um certo grau de sofisticação remonta ao tempo do Egípcios, quinze séculos antes de Jesus Cristo, onde já eram empregues colas (adesivos) à base de gelatina, caseína, albumina, ovo, grude, balsamos e resinas extraídas de diferentes árvores, sendo o caso mais conhecido a utilização de "Gum Arabic" extraída da Acácia.

- No século IX eram utilizadas colas á base de glutina e caseína (utilizando como matéria prima o queijo), para a união de tábuas de altares de igrejas.

- Nos primeiros processos de escrita verificava-se a utilização de adesivos, através da colagem de letras de ouro sobre as folhas de papel com colas à base de ovo.

- **Os adesivos (vulgarmente apelidados de colas) são fabricados na sua quase generalidade a partir de produtos de origem orgânica.**

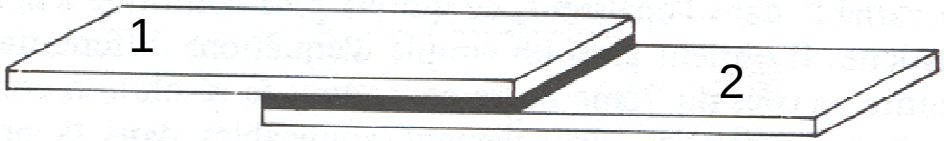
- **Inicialmente os adesivos provinham de produtos naturais, de origem animal, vegetal ou mineral (dextrina, fécula, amido, caseina, goma, gelatina, albumina, etc.)**

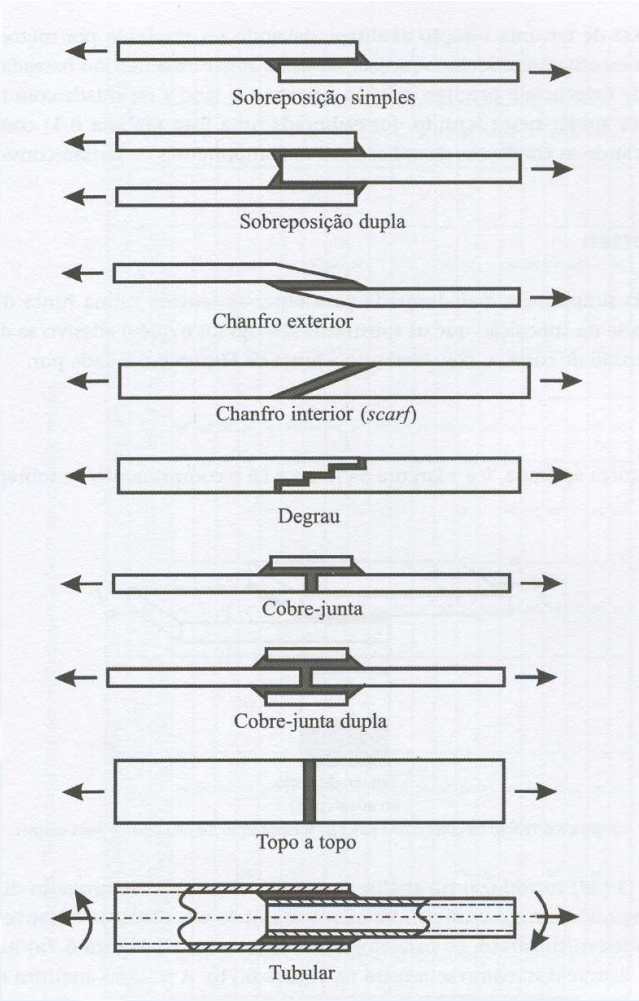
- **A partir de 1925 foram desenvolvidos industrialmente os primeiros adesivos sintéticos, tendo sido obtidos resultados prometedores com os adesivos fenólicos.**

- **A partir do final dos anos 40 com a grande evolução da química de síntese, apareceram uma grande quantidade nova de adesivos sintéticos, registando-se um enorme progresso a partir da descoberta das resinas epoxidicas.**

Junta adesiva

- **Uma junta adesiva de ligação entre dois componentes é constituída basicamente por dois aderentes ou substratos (componente 1 e 2) e por uma camada ou filme de adesivo (cola).**

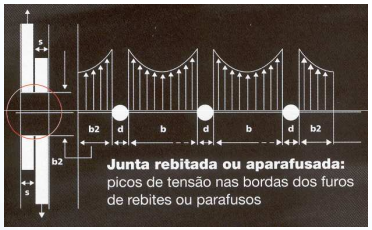


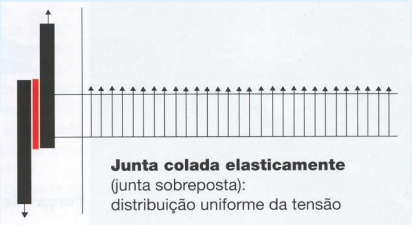


Vantagens

- **Possibilidade de obtenção de estruturas leves com elevada rigidez, livres dos defeitos tradicionais causados pelos métodos de ligação convencionais, tais como zonas de concentração de tensões, zonas afectadas pelo calor, tensões de origem térmica, pontos facilitadores de corrosão, etc…**

- **- Distribuição mais uniforme das tensões**
- **- Amortecimento de vibrações**
- **- Comportamento á fadiga**
- **- Ligação de materiais diferentes**
- **- Geometrias complexas**
- **- Contacto continuo entre superficies**





Desvantagens

- - Necessidade de serem efectuados tratamentos superficiais
- - Resistência afectada função dos factores ambientais de utilização
- - Resistência à temperatura moderada
- - Resistirem mal a esforços de arrancamento
- - O tempo de cura do adesivo pode ser elevado
- - Degradação das propriedades ao longo do tempo
- - Pouca informação disponível sobre critérios de dimensionamento

Processo de Adesão

- **Existem diferentes teorias que explicam os fenómenos de adesão, verificando-se que os fenómenos de adesão não dependem em separado de uma só teoria mas da associação de mais do que uma.**

- **Teoria Mecânica : preenchimento de micro cavidades e poros da superfície originando uma ancoragem mecânica**

- **Teoria da Difusão : Interpenetração de moléculas que são ligadas por efeito mecânico e por forças intermoleculares**

- **Teoria da Adsorção : Forças de superficie. Quando as moléculas do adesivo e do substrato se encontram suficientemente próximas podem ocorrer entre as moléculas forças de Van der Waals, interacções ácido-base e ligações de hidrogénio**

- **Teoria Electrostática : O sistema adesivo-aderente é identico a um condensador. A adesão é provocada por forças de atracção entre as duas armaduras formadas pelo adesivo e pelo aderente.**

Adesivos

- **A maior parte dos adesivos são produzidos a partir de polímeros orgânicos, existindo alguns sistemas adesivos com origem inorgânica.**

- **Podem ser classificados de diferentes formas.**

Em dois grandes grupos função da sua natureza:

Naturais

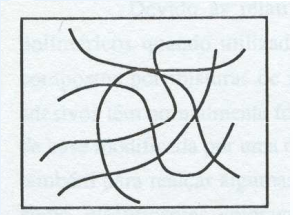
Semi-Sintéticos

Sintéticos

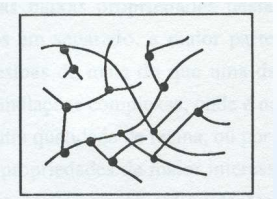
Ou segundo características especificas ou funções:

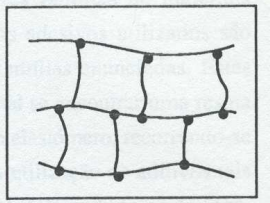
Função - **Estruturais**
Não Estruturais

Propriedades Físicas inerentes à sua estrutura molécular -
Termoplásticos
Termoendurecíveis
Elastómeros


a) Estrutura linear não ramificada

Composição Química – **Fenólicos**
Poliuretanos
Acrilicos
Cianocrilatos
Silicone
Epoxidos
.....


b) Estrutura linear ramificada


c) Estrutura reticulada

Modo de endurecimento ou reacção –

- Reacção Química
- Evaporação de um Solvente
- Arrefecimento após Fusão

Forma Física ou Apresentação –

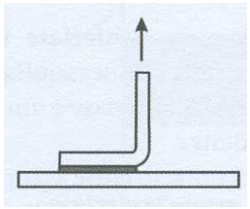
- Liquido de um componente com ou sem Solvente
- Líquido de vários componentes com ou sem Solvente
- Emulsões
- Pastoso (gel) de um componente com ou sem Solvente
- Pastoso (gel) de vários componentes com ou sem Solvente
- Sólido (Barra, Filme, Pó, etc.)

Tipo de Aplicação –

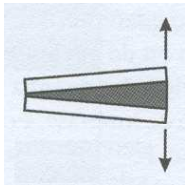
- Spray (líquidos de baixa viscosidade)
- Pincel, rolo, escova, etc. (líquidos)
- Seringas ou Pistolas de Mastique (pastas ou gel)

Comportamento físico e mecânico

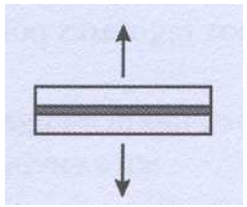
Esforços



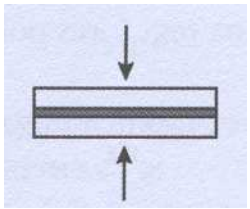
Arrancamento



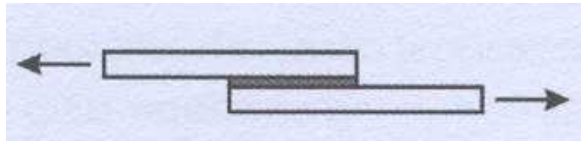
Clivagem



Tracção

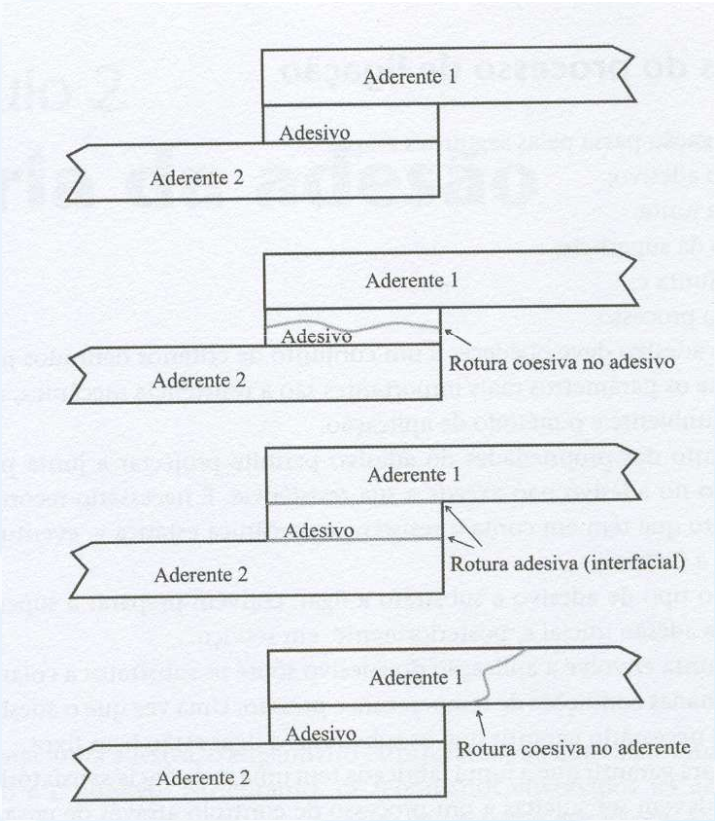


Compressão



Corte

Tipo de Rotura



Projecto de Ligações Adesivas

- **Sempre que se estuda a possibilidade de utilização de uma ligação adesiva, na sua análise preliminar é necessário recolher informação relativa aos materiais a serem ligados (aderentes), ao material de ligação (adesivo), geometria da junta de ligação, esforços a que vai estar sujeita e condições ambientais de serviço.**

- **Podem ser considerados como parâmetros que condicionam o projecto e dimensionamento de uma ligação adesiva os seguintes:**

  Materiais a serem ligados (aderentes) –

  Módulo de Elasticidade
  Coeficiente de Poisson
  Tensão de cedência
  Tensão de rotura

Material de ligação (adesivo) –

- Módulo de Elasticidade
- Coeficiente de Poisson
- Tensão de rotura ao corte
- Tensão de rotura à tracção
- Tensão de rotura à compressão

Geometria da Junta –

- Forma da junta
- Espessura dos aderentes
- Comprimento de sopreposição
- Espessura do adesivo

Tratamento superficial –

- Rugosidade das superfícies
- Limpeza e desengorduramento
- Eliminação de óxidos
- Tratamento químico

- **Solicitações a que vai estar sujeita –**
  - **Forças**
  - **Momentos**
  - **Deslocamentos**
  - **Rotações**
- **Condições Ambientais de utilização –**
  - **Temperatura**
  - **Humidade**
  - **Agentes Químicos**
  - **Radiação**

Análise da distribuição de tensões

Teorias analíticas

- Aderente Rigido
- Volkersen (1938)
- Golan e Reissner (1944)
- Hart-Smith (1973)

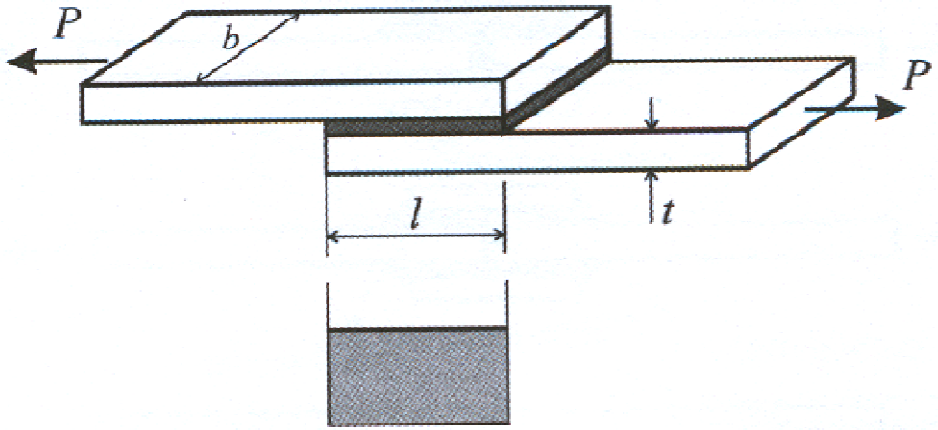
Métodos Numéricos

- Método dos Elementos Finitos

Teorias analíticas

- **Aderente Rigido**

  Os aderentes não se deformam e o adesivo só se deforma ao corte



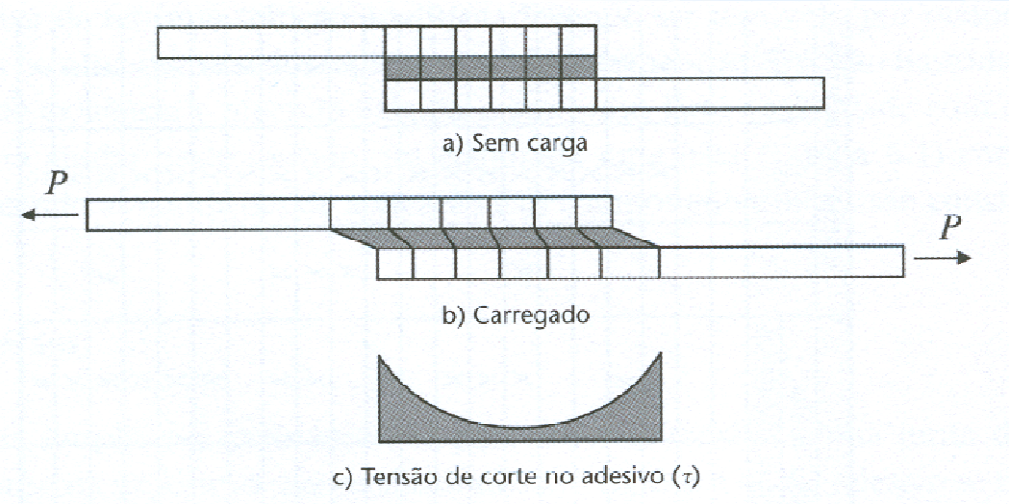
Tensão de corte no adesivo (τ)

$$\tau = \frac{P}{bl}$$

Teorias analíticas

- **Volkersen (1938)**

  Os aderentes têm comportamento elástico existindo continuidade na interface adesivo/aderente



$$\bar{\tau} = \frac{P}{bl} \qquad \phi = \frac{E_1 t_1}{E_2 t_2} + 1$$

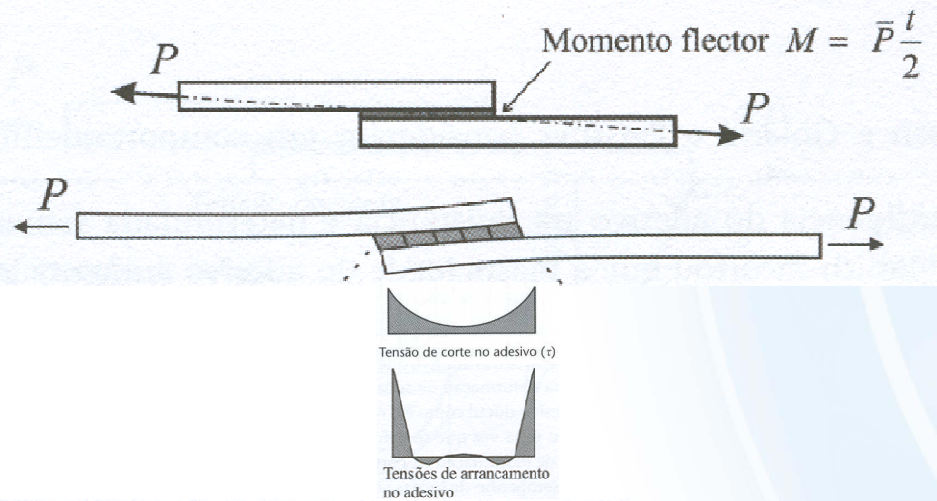
$$\lambda^2 = \frac{G_a}{t_a}\left(\frac{1}{E_1 t_1} + \frac{1}{E_2 t_2}\right)$$

$$\frac{\tau}{\bar{\tau}} = \frac{\lambda l}{\phi \sinh(\lambda l)}\left[(\phi - 1)\cosh\left(\lambda(l - x)\right) + \cosh(\lambda x)\right]$$

Teorias analíticas

- **Golan e Reissner (1944)**

  Aderentes elásticos e considera o efeito de rotação da junta, provocado pelo momento flector, originado pela excentricidade da junta



$$\beta^2 = \frac{8G_a t}{Et_0} = \frac{4E_a t}{Et_a(1+\nu_a)}$$

$$k' = \frac{Vc}{\bar{P}t} = \frac{kc}{t}\sqrt{3(1-\nu^2)\frac{\bar{P}}{tE}}$$

$$\gamma^4 = 6\frac{E_a}{E}\frac{t}{t_a}$$

$$\lambda = \gamma\frac{c}{t}$$

$$R_1 = \cosh\lambda\sin\lambda + \sinh\lambda\cos\lambda$$

$$R_2 = \sinh\lambda\cos\lambda - \cosh\lambda\sin\lambda$$

$$\Delta = \frac{1}{2}(\sinh 2\lambda + \sin 2\lambda)$$

$$\tau = -\frac{1}{8}\frac{\bar{P}}{c}\left[\frac{\beta c}{t}(1+3k)\frac{\cosh\left(\frac{\beta c}{t}\frac{x}{c}\right)}{\sinh\frac{\beta c}{t}} + 3(1-k)\right]$$

$$\tau_{max} = -\frac{1}{8}\frac{\bar{P}}{bc}\left[\frac{\beta c}{t}(1+3k)\coth\left(\frac{\beta c}{t}\right) + 3(1-k)\right]$$

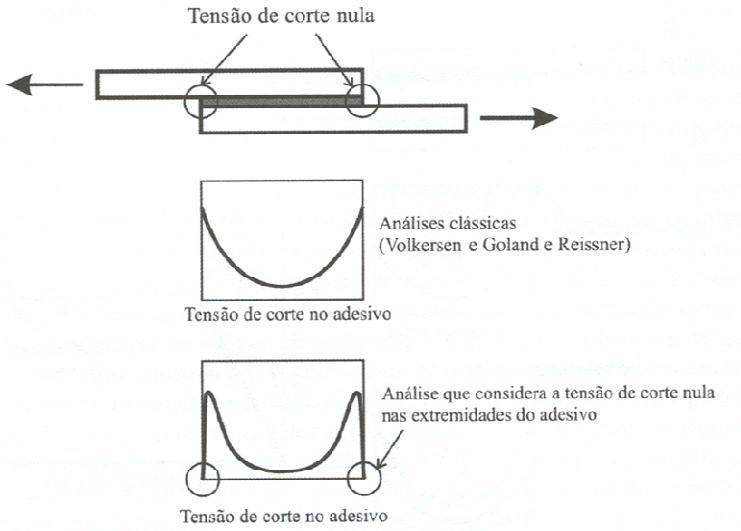
$$\sigma_{max} = \frac{\bar{P}t}{c^2}\left(\lambda^2\frac{k}{2}\frac{\sinh(2\lambda)-\sin(2\lambda)}{\sinh(2\lambda)+\sin(2\lambda)} + \lambda k'\frac{\cosh(2\lambda)+\cos(2\lambda)}{\sinh(2\lambda)+\sin(2\lambda)}\right)$$

$$\sigma = \frac{\bar{P}t}{c^2}\frac{1}{\Delta}\left[\left(R_2\lambda^2\frac{k}{2} + \lambda k'\cosh\lambda\cos\lambda\right)\cosh\left(\lambda\frac{x}{c}\right)\cos\left(\lambda\frac{x}{c}\right) + \left(R_1\lambda^2\frac{k}{2} + \lambda k'\sinh\lambda\sin\lambda\right)\sinh\left(\lambda\frac{x}{c}\right)\sin\left(\lambda\frac{x}{c}\right)\right]$$

Teorias analíticas

- **Hart-Smith (1973)**

  Considera comportamento elasto-plástico para o adesivo, e tensão de corte nula nas extremidades do adesivo



$$\lambda' = \sqrt{\left[\frac{1+3\left(1-\nu^2\right)}{4}\right]\frac{2G_a}{t_a E t}} \qquad A_2 = \frac{K\tau_p}{\cosh\left(\lambda' d\right)}$$

$$A_2 = \frac{G_a}{t_a E t}\left[\bar{P} + \frac{6\left(1-\nu^2\right)M}{t}\right]\frac{1}{2\lambda'\sinh\left(2\lambda' c\right)}$$

$$C_2 = \frac{1}{2c}\left[\bar{P} - 2\frac{A_2}{2\lambda'}\sinh\left(2\lambda' c\right)\right]$$

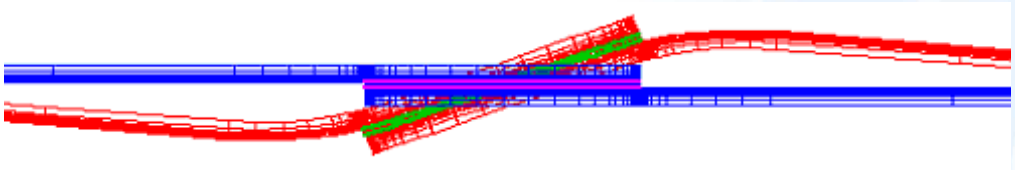
$$M = \bar{P}\left(\frac{t+t_a}{2}\right)\frac{1}{1+\xi c+\frac{\xi^2 c^2}{6}} \qquad \xi^2 = \frac{\bar{P}}{D}$$

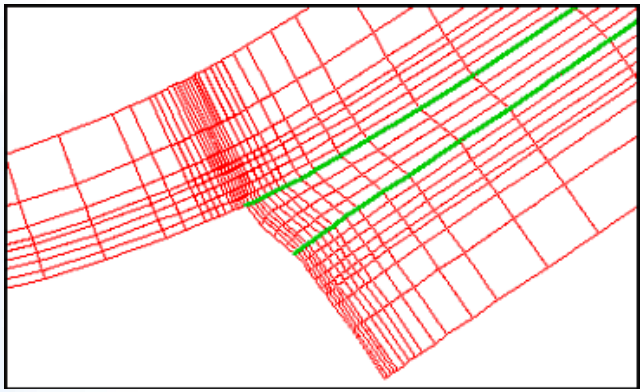
$$\tau = A_2\cosh\left(2\lambda' s\right) + C_2 \quad \text{(zona elástica)}$$

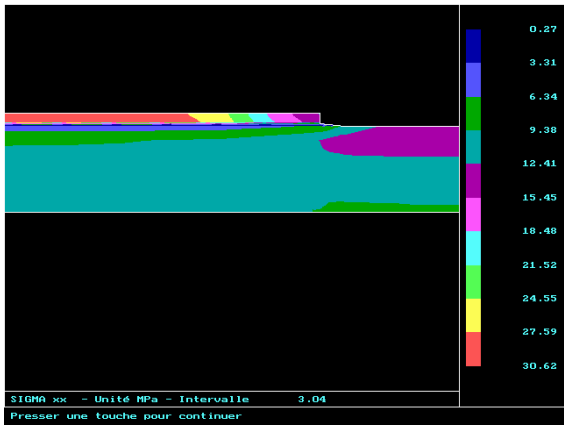
$$\frac{\tau_{med}}{\tau_p}\left(\lambda' l\right) = 2\lambda'\left(\frac{l-d}{2}\right) + \tanh\left(\lambda' d\right) + \left(1-K\right)\left[\lambda' d - \tanh\left(\lambda' d\right)\right] \quad \text{(zona plástica)}$$

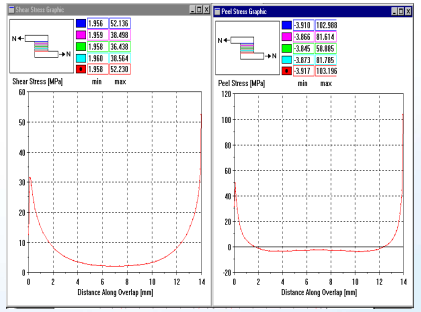
Método dos Elementos Finitos

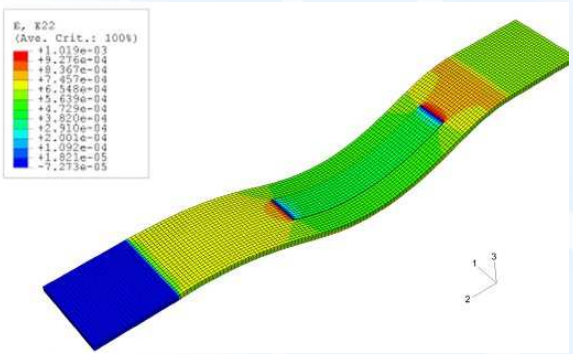
Análise de tensões e deformações

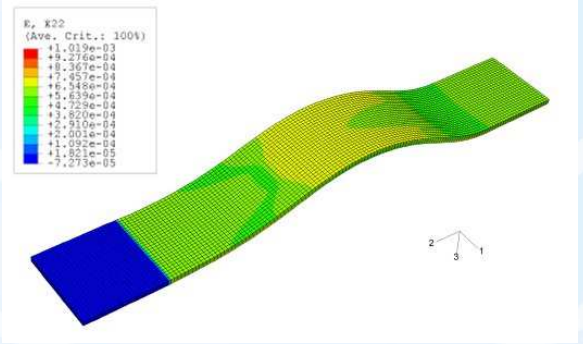






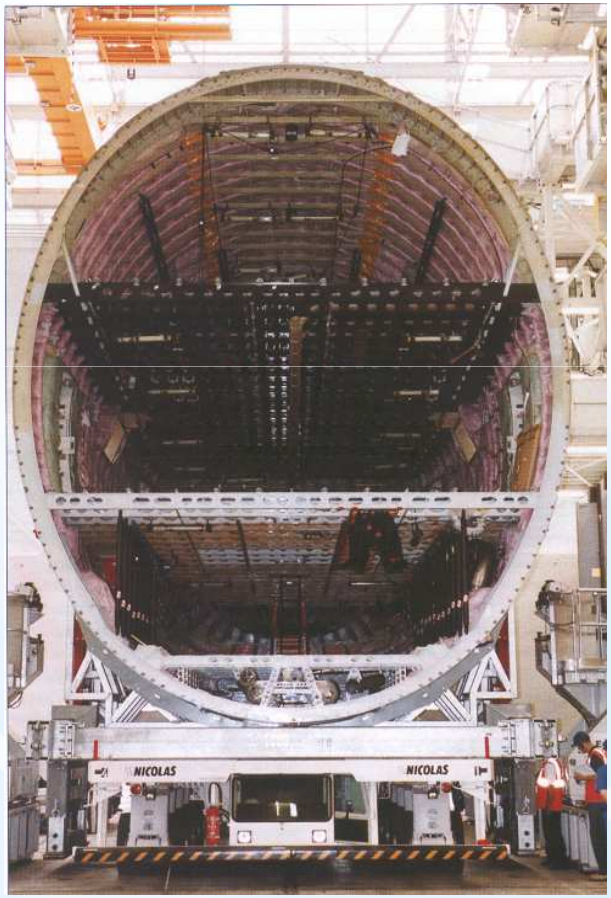






Exemplos de Aplicações

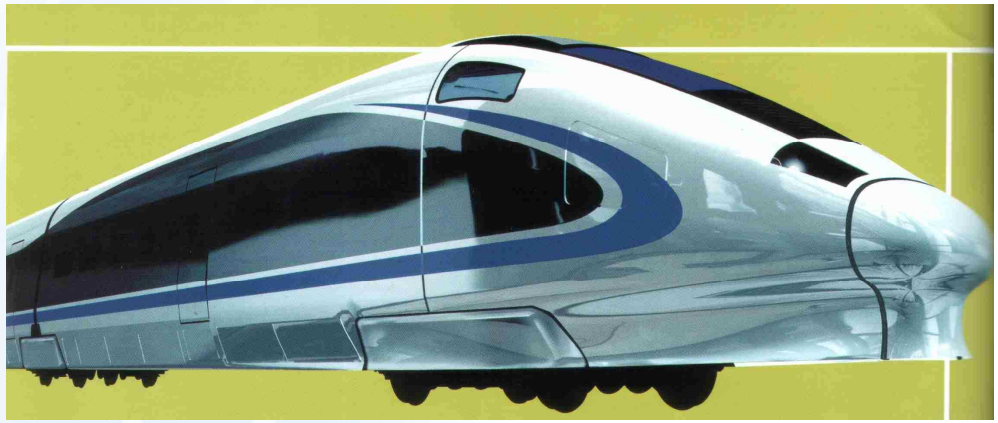
Airbus may take aerospace composites in an innovative new direction with its first adoption of Glare for primary aircraft structure. These Glare upper fuselage panels are fabricated complete with high-strength stringers. (Picture courtesy of Airbus.)



N700JJ

G-BGHF
Westland 30

And one of the most recent: the Aston Martin V12 Vanquish.
Carbon Fibre/Composite materials



Tracção

COMPOSITAIR

COLMAR
15

LIGAÇÔES ADESIVAS NA INDUSTRIA METALOMECÂNICA

José Luís Esteves

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 PORTO, Portugal
Email: jesteves@fe.up.pt