

# Estruturas Planas

Prof. António Ressano Garcia Lamas

Estruturas planas são estruturas formadas por barras de eixo plano ligadas entre si de modo a os eixos serem coplanares (geometria plana) e actuadas por forças exteriores<sup>1</sup> situadas no mesmo plano<sup>2</sup> (sistema de forças plano).

O equilíbrio da estrutura, requer que o sistema de forças actuantes seja nulo (i.e.:  $\vec{R} = \vec{0}$  ;  $\vec{M}_O = \vec{0}$  ). No caso do sistema ser plano<sup>3</sup> o equilíbrio, é traduzido por três equações ( $\sum F_x = 0$ ;  $\sum F_y = 0$ ;  $\sum M_{Oz} = 0$ ) em que as duas equações escalares que representam  $\vec{R} = \vec{0}$  podem ser substituídas por equações de momentos em relação a outros pontos que não O.

## **Principais tipos de apoios de estruturas planas e ligações exteriores que asseguram (ver imagens)**

Designam-se por apoios as ligações de um corpo ao meio exterior, que é considerado em repouso ou fixo, e que tanto pode ser o terreno de fundação como outra estrutura. As estruturas em causa são representáveis pelos eixos das barras que as constituem, pelo que as ligações se estabelecem em pontos desses eixos. São, portanto, restrições do movimento das barras estabelecidas nesses pontos mediante dispositivos específicos que impedem um ou alguns dos movimentos possíveis. No caso geral, os movimentos possíveis da estrutura (por exemplo, uma barra) são

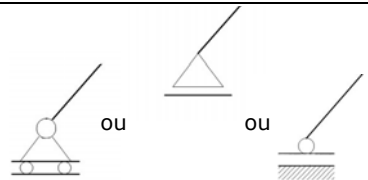
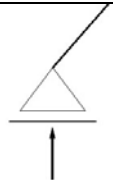
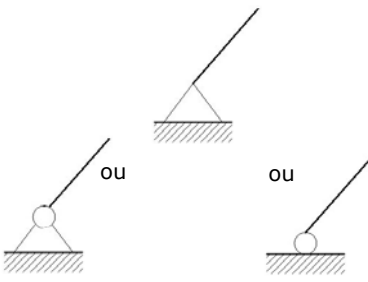
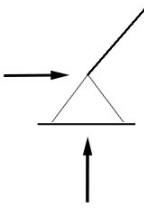

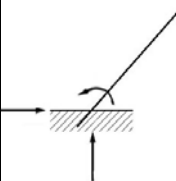
---

<sup>1</sup> Incluindo, variações de temperatura

<sup>2</sup> Incluindo forças exteriores de ligação

de translação e rotação em relação aos três eixos coordenados. O impedimento de cada um destes movimentos simples corresponde à aplicação de uma força (na direcção da translação impedida) ou de um momento (segundo o eixo da rotação impedida). No caso de **estruturas planas**, os movimentos possíveis são duas translações no plano (segundo os eixos **x** e **y**) e uma rotação em torno do eixo que lhe é perpendicular (eixo **z**).

Os dispositivos de ligação ao exterior (apoios) de estruturas planas são classificáveis segundo os movimentos que impedem. Os principais são os seguintes:


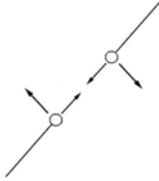
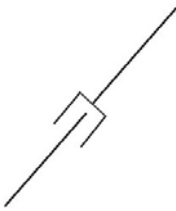

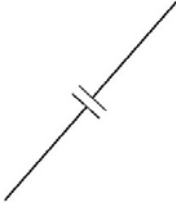
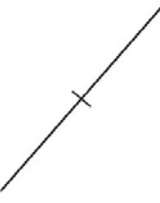

Designação	Símbolos	Número de Ligações ou movimentos impedidos	Forças de ligação associadas
Móvel		<b>1</b>	 1 força perpendicular ao plano de apoio
Fixo		<b>2</b>	 1 força de direcção desconhecida ou 2 forças de direcção conhecida
Encastramento		<b>3</b>	 1 força de direcção desconhecida e 1 momento

<sup>3</sup> No caso geral - estruturas tridimensionais - as duas equações vectoriais são equivalentes cada uma a três equações escalares (ver ...)

## Principais tipos de ligações interiores em estruturas planas

(ver imagens)

**Ligações interiores** são ligações entre partes que constituem a estrutura, restringindo movimentos relativos, isto é, de uma parte (por exemplo, uma barra) em relação a outra parte imaginada como uma fixa. Também no caso geral, uma parte pode ter em relação a outra três movimentos relativos de translação e três rotações relativas. No caso de **estruturas planas**, os movimentos relativos de duas barras podem ser duas translações e uma rotação. As ligações interiores entre barras representadas pelos seus eixos estabelecem-se entre extremidades ou entre pontos intermédios dos eixos e podem ser de quatro tipos simples:

Designação	Símbolo	Número de ligações ou movimentos relativos impedidos	Forças de ligação associadas
Articulação		<b>2</b> (translações relativas impedidas)	 2 forças de direcção conhecida
De corte		<b>2</b> (rotação e deslocamento relativo transversal ao eixo impedidos)	 1 força perpendicular ao eixo da barra e 1 momento
De esforço axial		<b>2</b> (rotação relativa e afastamento axial impedidos)	1 força axial e 1 momento
Ligação de continuidade		<b>3</b> (rotação e translação relativas)	 1 força de direcção desconhecida e um momento

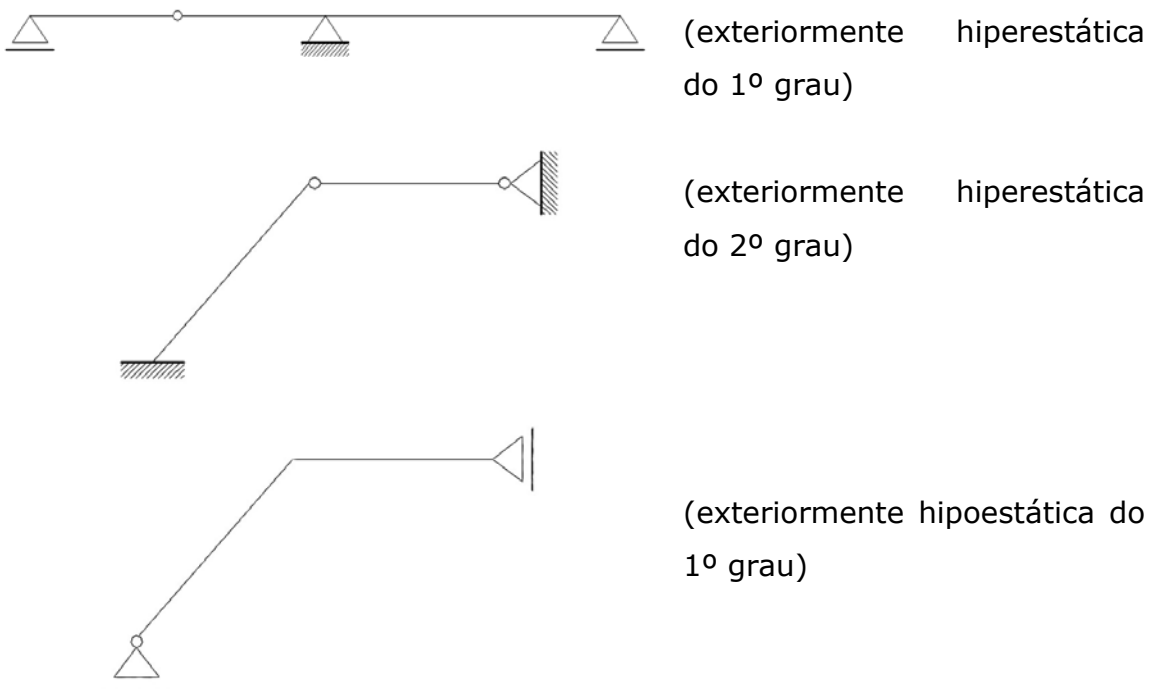
## Análise da estatia

A **análise da estatia exterior** - consiste em verificar se o **número e a disposição** das ligações exteriores é suficiente, mais do que suficiente ou insuficiente para garantir a estatia da estrutura considerada como corpo rígido, isto é, considerada como um corpo rígido não tem movimentos (de translação ou rotação), quaisquer que sejam as acções exteriores.

No plano, o número de ligações exteriores suficiente é, em princípio, de (3). Se esse for o número das ligações exteriores diz-se que a estrutura é **exteriormente isostática** (número de ligações = 3). Se é superior diz-se **exteriormente hiperestática** (número de ligações > 3) e, se for inferior, **exteriormente hipoestática** (número de ligações < 3).

A diferença para 3 do número de ligações determina o **grau de hiperestatia** ou **hipoestatia** de uma estrutura plana<sup>4</sup>.

*Exemplos:*



<sup>4</sup> No espaço o número de ligações necessárias é (6)

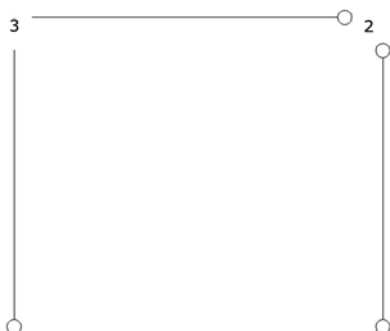
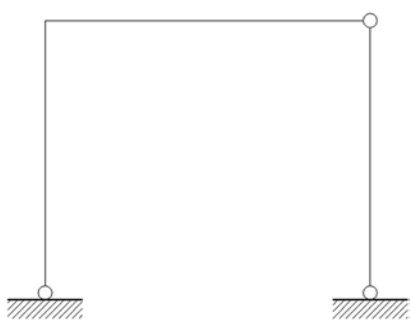
**Análise da estaticidade interior** - consiste em verificar se as partes que constituem a estrutura têm ligações entre si suficientes para garantir que mantêm, entre si, as posições relativas (isto é, se asseguram que a estrutura é um corpo rígido).

O método geral de análise para estruturas constituídas por barras consiste em separar a estrutura em barras ou em conjuntos de barras de modo a que, entre dois pontos, não seja possível estabelecer mais do que um "percurso" interior (isto é não se mantenham malhas ou circuitos fechados).

Estas partes consideram-se separadas dos apoios e devem ser individualmente rígidas. Admite-se que uma barra (ou um conjunto de barras que forme uma parte rígida) está fixa no plano e contam-se os graus de liberdade do conjunto das outras partes (3 por cada uma) e o n.º de ligações interiores.

Se o n.º de ligações for igual ao n.º de graus de liberdade a estrutura é **interiormente isostática**. Se for superior é **interiormente hiperestática** e se for inferior é **interiormente hipoestática**.

*Exemplo:*



n.º de g.l. (graus de liberdade) = 6  
(decompôs-se em 3 partes)

n.º de ligações interiores = 5 (3 na ligação de continuidade e 2 na rótula)

(5 - 6 = -1) a estrutura é interiormente hipoestática do 1º grau



ou

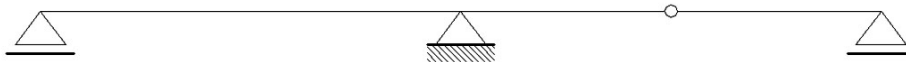
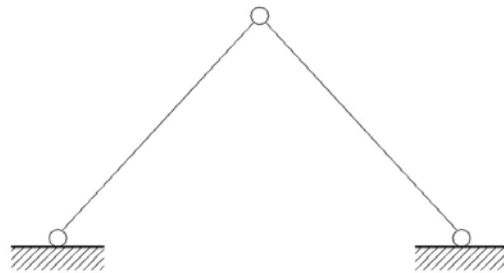
n.º de g.l. (graus de liberdade) = 3

n.º de ligações interiores = 2 (na rótula)

(2 - 3 = -1) a estrutura é interiormente hipoestática do 1º grau

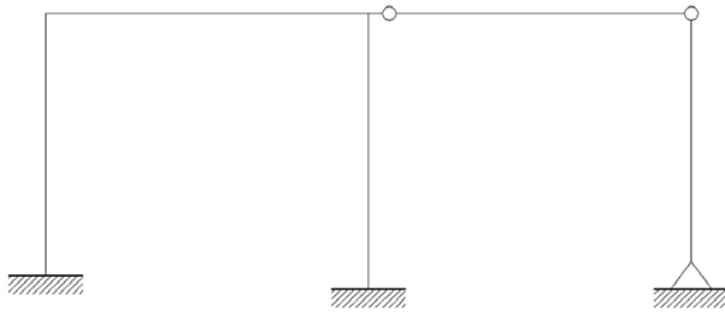
Em algumas estruturas, as ligações exteriores superabundantes podem compensar a falta de ligações interiores, mantendo o conjunto das ligações a forma rígida da estrutura. O contrário já não se verifica, isto é, por mais ligações entre partes interiores que se estabeleçam elas não compensam a falta de ligações exteriores.

*Exemplos:*



A análise conjunta das ligações interiores e exteriores designa-se por **análise global da estatia**: se o conjunto das ligações exteriores e interiores for em número necessário e suficiente para manter a sua forma rígida e a estatia exterior, a estrutura diz-se **globalmente isostática**, e do mesmo modo se for superior ou inferior, diz-se respectivamente **globalmente hiperestática** ou **hipoestática**.

*Exemplo:*

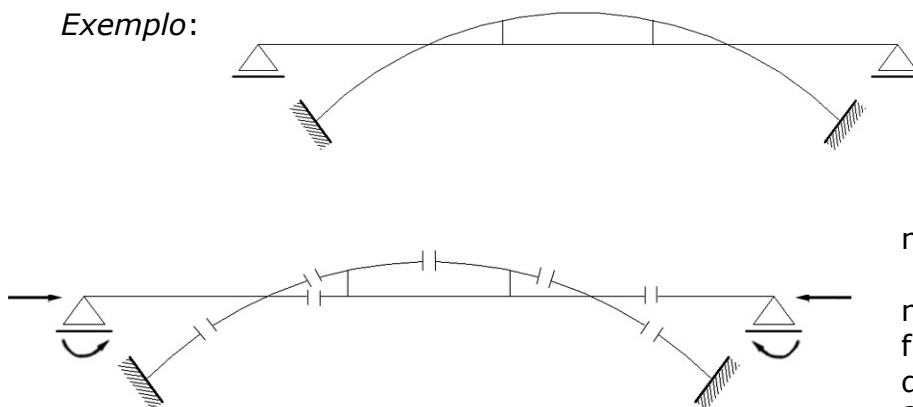


Estrutura globalmente hiperestática do 3º grau.

A análise da estadia global pode ser feita analisando separadamente a estadia exterior e a interior e conjugando os resultados, ou recorrendo a um método directo, designado vulgarmente por **método das estruturas arborescentes**.

**Método das estruturas arborescentes no caso plano** – consiste em decompor a estrutura em estruturas "em árvore"<sup>5</sup> ou **arborescentes** através de cortes. A cada corte corresponde (numa estrutura plana) o "desfazer" de três ligações interiores. É geralmente necessário introduzir ligações ou restrições suplementares fictícias para garantir que estas sub-estruturas são "arborescentes".

Exemplo:



2 restrições fictícias suplementares em cada apoios móveis para garantir encastramentos

n.º de cortes = 6

n.º de restrições fictícias = 4

donde

$$3 \times 6 - 4 = 14$$

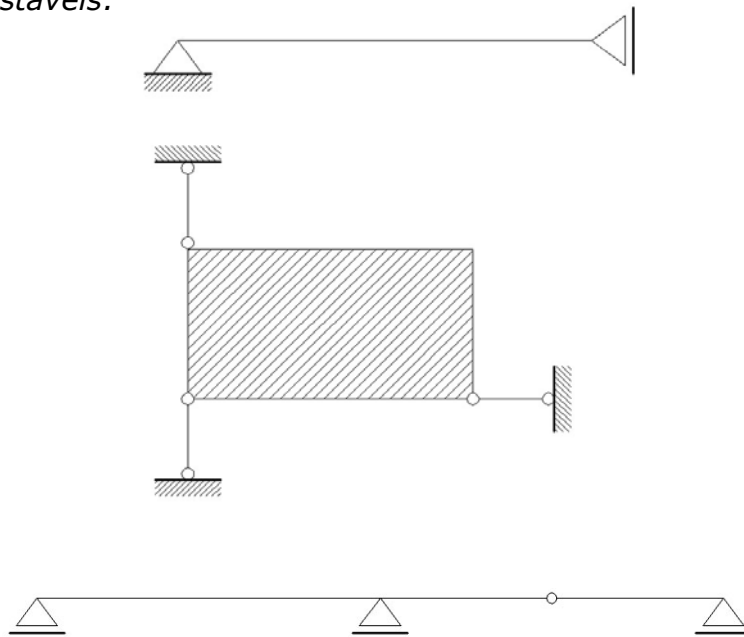
a estrutura é globalmente hiperestática do 14º grau

<sup>5</sup> Uma estrutura em "árvore" ou tipo ramificado, ramifica a partir de um "tronco" encastrado sem "malhas" ou circuitos fechados.

**Excepções a estas métodos simples para a análise da estatia.**

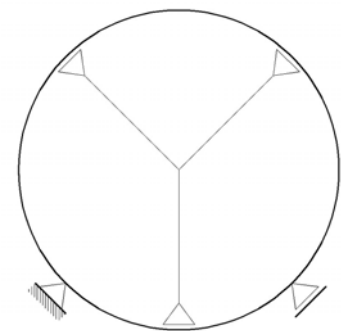
Muitas vezes, o n.º de ligações exteriores ou interiores parece suficiente mas estas encontram-se mal colocadas ou distribuídas e por isso a estrutura não é isostática.

*Exemplos de estruturas aparentemente exteriormente isostáticas mas realmente instáveis:*



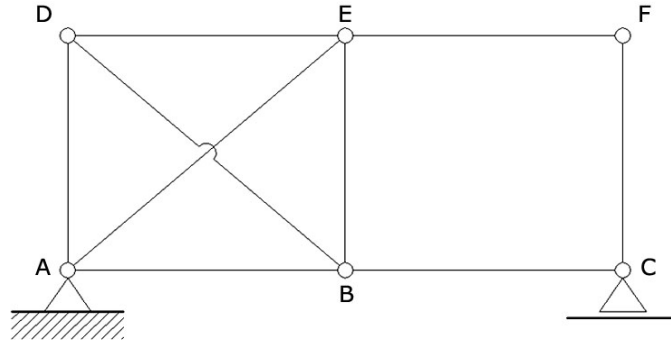
Estes exemplos têm em comum o facto de terem forças de ligação exterior, ou reacções, concorrentes (no 3º exemplo no infinito), pelo que só podem estar em equilíbrio para certos sistemas de forças exteriores (os que concorrem também nesse ponto). Estas estruturas dizem-se com **ligações mal distribuídas**.

Interiormente pode dar-se o mesmo caso. Exemplo:



Outro tipo de má distribuição de ligações é o do exemplo:





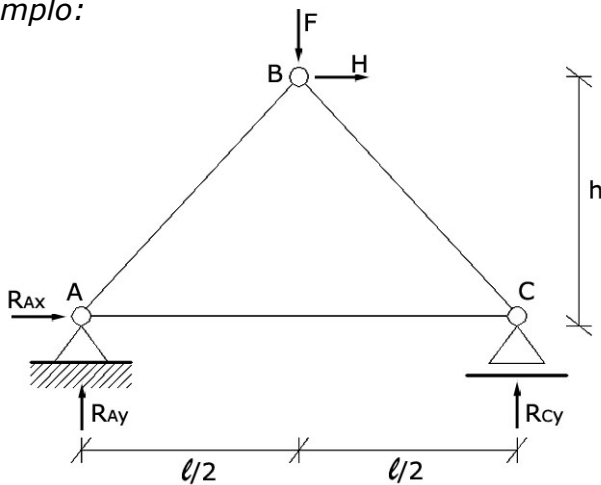
em que parte da estrutura é interiormente hiperestática (a parte esquerda) e outra parte hipoestática (a direita). A mudança da barra BD para EC transformá-la-ia em global isostática.

No âmbito da cadeira de Estática só se estudarão as estruturas **globalmente isostáticas**.

Se a estrutura for simultaneamente exterior e interiormente isostática, a análise inicia-se com o cálculo das ligações exteriores. No caso plano, utilizando três equações que traduzam o equilíbrio (as chamadas equações da estática) e prosseguindo com a determinação das ligações interiores e das forças interiores de ligação como se verá.

A escolha criteriosa das equações de equilíbrio pode simplificar muito o problema.

*Exemplo:*



O equilíbrio das componentes horizontais (paralelas ao eixo  $x$ ) permite concluir que

$$R_{AX} = H$$

Uma equação de momentos em relação a **A** (ou de momentos em relação a um eixo // a OZ passando por **A**) permite calcular :

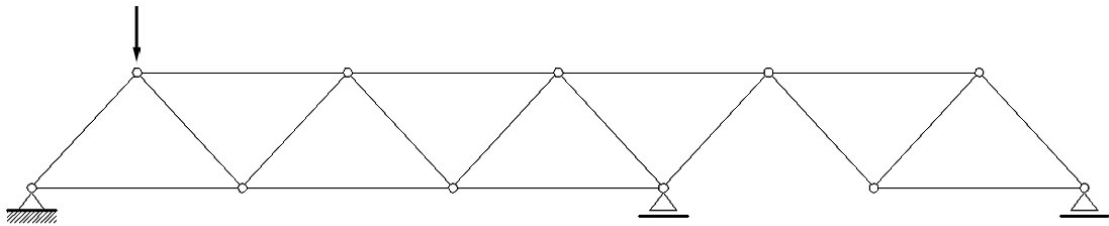
$$\sum M_A = (-F l/2) + H h + R_{CY} l = 0 \quad \text{donde} \quad R_{CY} = (F/2) - H(h/l)$$

Uma equação de equilíbrio de componentes verticais (segundo OY) ou uma equação de momentos em relação a **C** permitiriam calcular  $R_{AY}^{\rightarrow}$  :

$$- F + R_{AY} + R_{CY} = 0 \quad \text{donde} \quad R_{AY} = (F/2) + H(h/l)$$

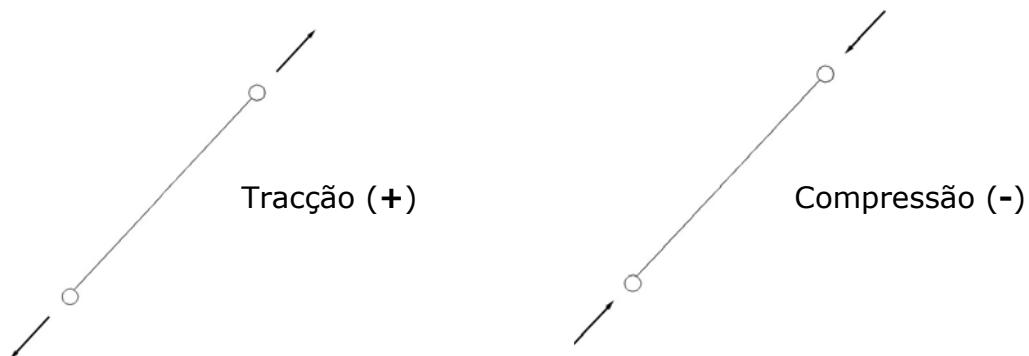
Estruturas como esta, constituídas por barras articuladas entre si nas extremidades (nós) e submetidas a forças aplicadas só nos nós designam-se por **estruturas articuladas** (ou **trianguladas** por serem formadas por sucessivos triângulos).

*Exemplo:*



**Nota:** em cada nó em que se juntam **n** barras estão estabelecidas **2(n - 1)** ligações interiores.

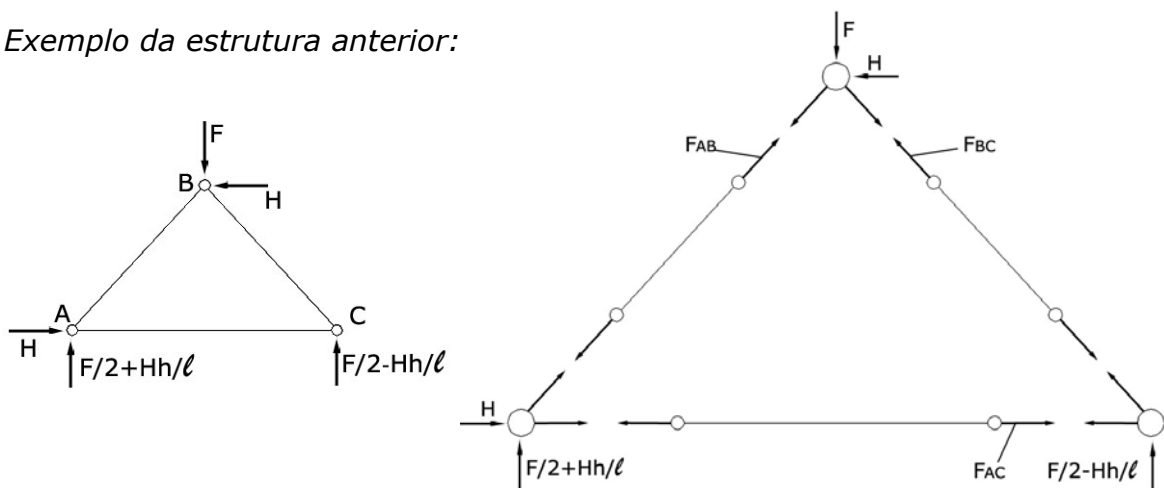
Nestas estruturas assim carregadas as barras, consideradas isoladamente, só podem, por questão de equilíbrio estar submetidas a forças nas extremidades iguais e de sentido contrário, isto é, submetidas a forças (ou esforços) de tracção (+) ou compressão (-). Estas forças representam a acção das forças exteriores e da restante estrutura sobre a barra.



A determinação dos esforços nas barras (no fundo a determinação das ligações interiores) pode ser feita por vários métodos entre os quais se destacam o **método dos nós** e o **método das secções**.

O **método dos nós** consiste em considerar a estrutura decomposta em **barras** e **nós** (peças pontuais fictícias a que se supõe estarem ligadas às barras, e que podem ser assimiladas a pernos introduzidos nos olhais das extremidades das barras articuladas) e em admitir que as barras estão traccionadas e aplicam aos nós (pelo princípio da acção e reacção) forças iguais e de sentido contrário.

*Exemplo da estrutura anterior:*



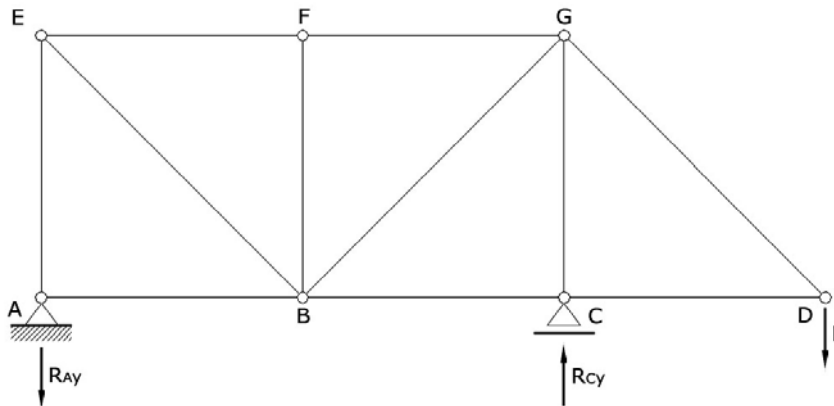
Das condições de equilíbrio dos nós determinam-se as forças desconhecidas correspondentes aos esforços nas barras que se admitiram inicialmente serem de tracção.

Para o estudo do equilíbrio de cada nó, actuado por forças concorrentes, dispõe-se de duas equações, pelo que a "resolução" de cada nó só pode ser feita separadamente se, no máximo, se desconhecerem os esforços em duas barras nele concorrentes.

A aplicação sucessiva do método a todos os nós permite, com uma escolha conveniente da sucessão de nós a equilibrar, o cálculo dos esforços em todas as barras.

Este método é facilmente programável.

Outro exemplo:



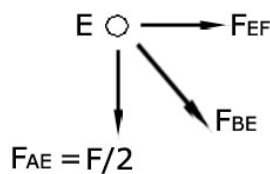
1) Reacções:  $R_{AY} = F/2$     $R_{CY} = 3/2 \cdot F$

2) Equilíbrio do nó **A**:

$$F_{AB} = 0 \quad \text{e} \quad F_{AE} = F/2$$

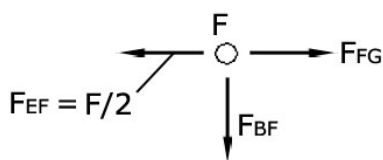
i.e. a barra AE está traccionada

3) Equilíbrio do nó **E**:



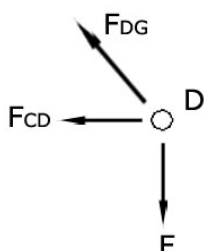
$$\left\{ \begin{array}{l} F_{BE}(\sqrt{2}/2) = - F/2 \rightarrow F_{BE} = - F/\sqrt{2} \text{ (compressão)} \\ F_{EF} + F_{BE}(\sqrt{2}/2) = 0 \rightarrow F_{EF} = F/2 \text{ (tracção)} \end{array} \right.$$

4) Equilíbrio do nó **F**:



$$\left\{ \begin{array}{l} F_{BF} = 0 \\ F_{FG} = F/2 \text{ (compressão)} \end{array} \right.$$

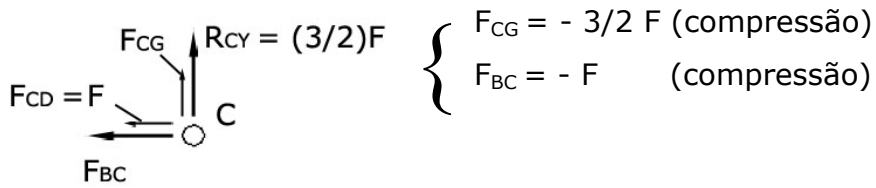
5) Equilíbrio do nó **D**:



$$\left\{ \begin{array}{l} F_{DG} = \sqrt{2} F \text{ (tracção)} \\ F_{CD} = - F \text{ (compressão)} \end{array} \right.$$

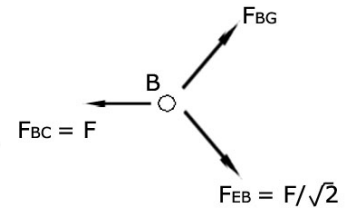
Por semelhança com o nó E.

6) Equilíbrio do nó **C**:



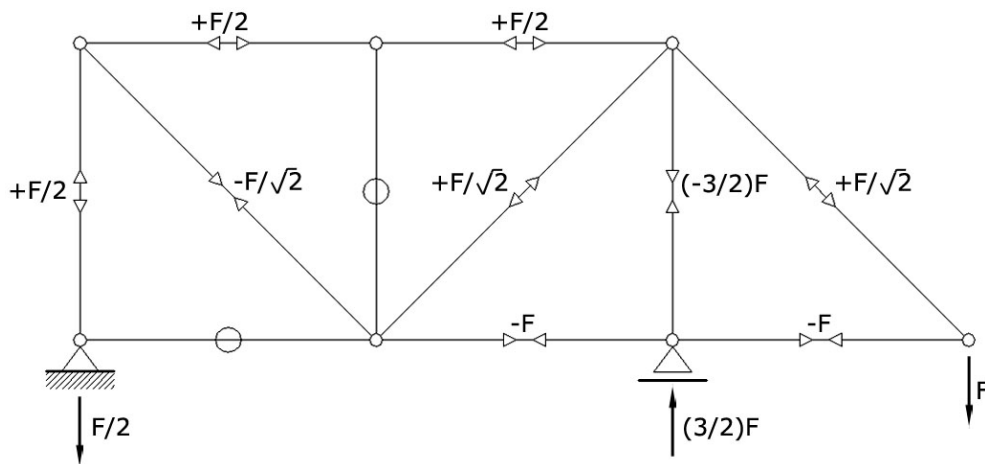
7) Pode-se passar agora ao nó **B** ( $F_{AB}$  e  $F_{BF}$  são nulos)

$$F_{BG} = F/\sqrt{2}$$



(e a segunda equação de equilíbrio serve para verificar os valores obtidos na sequência utilizada).

O resumo dos resultados pode ser representado num diagrama utilizando símbolos de tracção ( $\triangleleft \triangleright$ ) e compressão ( $\triangleright \triangleleft$ ) como indicado na figura.



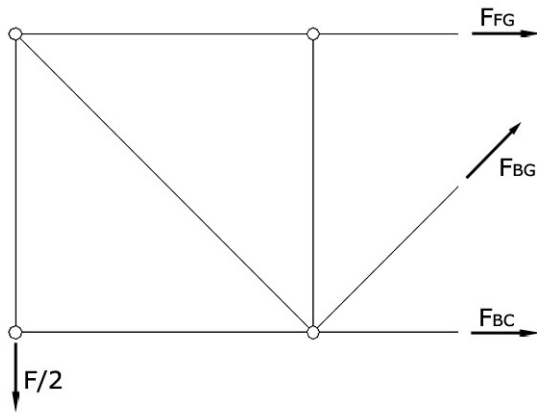
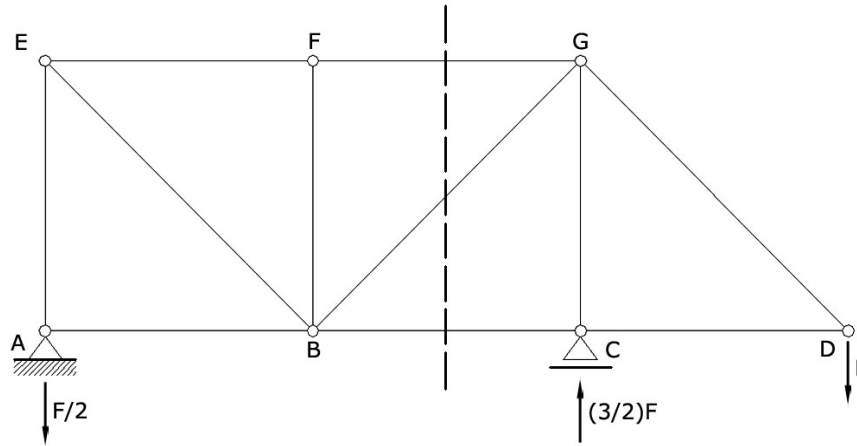
### O método das secções

Tem a vantagem sobre o método dos nós por permitir conhecer o esforço numa ou mais barras sem ter de “passar” pelo cálculo dos esforços em muitas barras. Consiste em decompor a estrutura em duas partes separadas por um corte ou secção que atinja a barra em questão. Se o número de barras seccionadas na decomposição, em que se desconhece o esforço axial for igual ou inferior a três, o equilíbrio de uma das partes da estrutura, considerando as forças exteriores nela aplicadas bem como as acções da outra parte (que se traduzem pelos esforços nas barras

seccionadas), permite o cálculo destes esforços que são forças de ligação interiores.

*Exemplo:*

Calcular na estrutura anterior o esforço na barra BG.

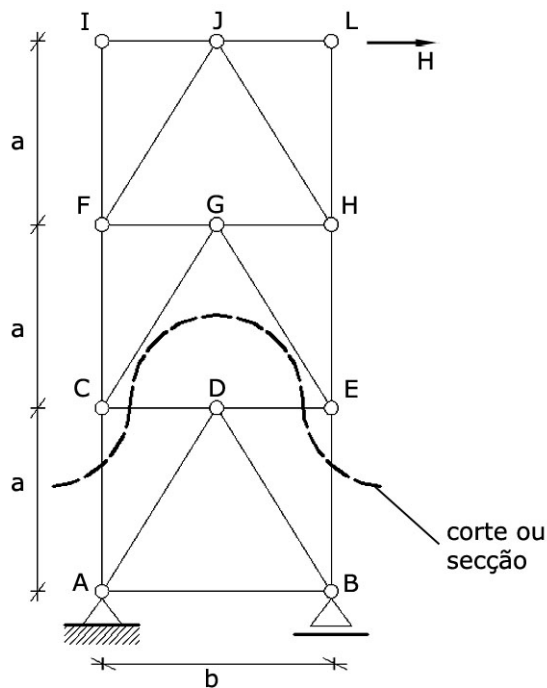


$$\sum F_Y = 0 \rightarrow$$

$$F_{BG} (\sqrt{2}/2) - (F/2) = 0$$

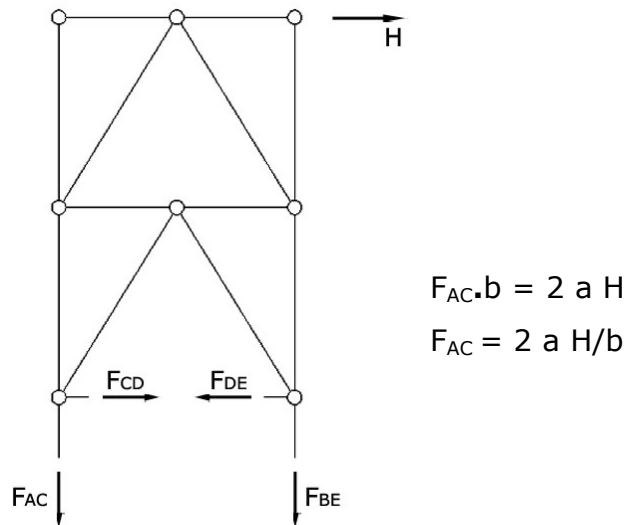
$$\text{donde } F_{BG} = (\sqrt{2}/2) F$$

Nem todas as estruturas, porém, se prestam à aplicação directa deste método ou requerem cuidados especiais.

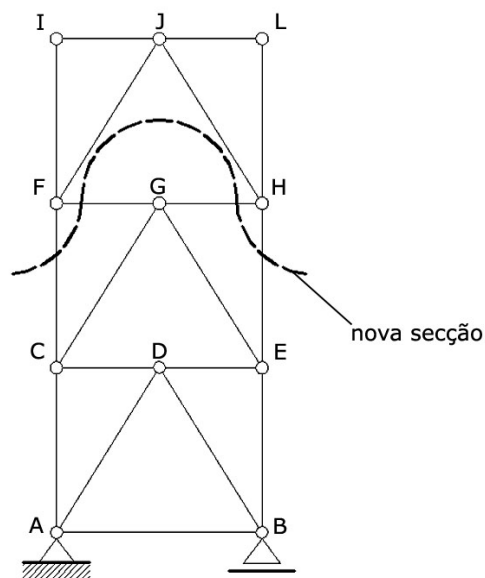


(Exemplo: de estrutura em K)

Por exemplo, na estrutura em K representada na figura, o esforço na barra AC pode ser calculado através de um corte como o indicado apesar deste cortar 4 barras, visto que 3 das forças incógnitas são concorrentes, isto é, uma equação de momentos em relação a E permite calcular  $F_{AC}$ :



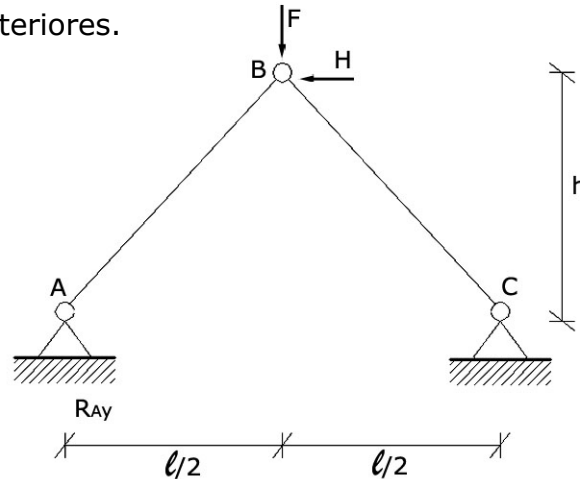
Porém, não seria já possível, calcular o esforço na barra CD por esta via. Ter-se-ia que calcular primeiro o esforço na barra CF (através de um corte semelhante) e por aplicação do método dos nós ao equilíbrio do nó C determinar então  $F_{CD}$ .



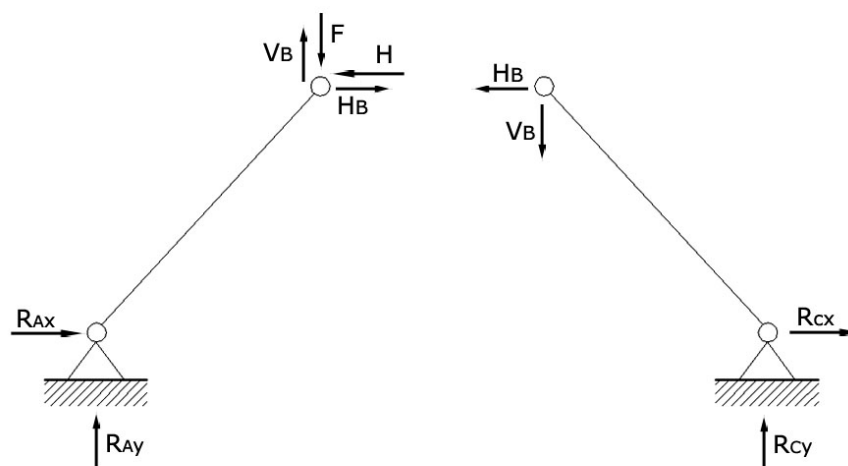
Este é, assim, um exemplo da conjugação dos dois métodos.

## Estruturas globalmente isostáticas, mas exteriormente hipoestáticas

Nestas estruturas não é possível calcular as forças de ligação exteriores (reações) independentemente da determinação das forças de ligação interiores, visto que as ligações exteriores superabundantes compensam a falta de ligações interiores.



O método geral de análise destas estruturas consiste em decompor a estrutura em estruturas mais simples, através de "cortes" por determinadas secções (geralmente há vantagens em "cortar" por rótulas existentes, isto é, pelas secções em que interiormente há "falta" de ligações), e considerar o equilíbrio separado das várias partes tendo em conta as forças interiores de ligação existentes entre as partes separadas.



Das equações que exprimem estes equilíbrios determinam-se as forças de ligação exteriores e interiores.



No exemplo da figura, separando a estrutura pela rótula do vértice, obtêm-se duas subestruturas para o equilíbrio das quais se passa a dispor de 6 equações de equilíbrio (três para cada uma). Há 6 incógnitas que são as 4 forças de reacção e as duas forças interiores de ligação a considerar na secção B:  $V_B$  e  $H_B$ .

Considerando a parte da direita conclui-se imediatamente que

$$H_B = R_{CX} \quad \text{e} \quad V_B = R_{CY}$$

e uma equação de momentos em relação a C permite escrever,

$$C \curvearrowright \quad H_B h + V_B (l/2) = 0$$

Do equilíbrio da parte esquerda conclui-se:

$$R_{AX} = -H_B + H$$

$$R_{AY} = F - V_B$$

e uma equação de momentos em relação a A:

$$A \curvearrowright \quad V_B (l/2) - F(l/2) - H_B h + H h = 0$$

Das duas equações de momentos obtém-se

$$R_{CY} = V_B = (F/2) - H(h/l) \quad \text{e} \quad R_{CX} = H_B = (-Fl/4h) + H/2$$

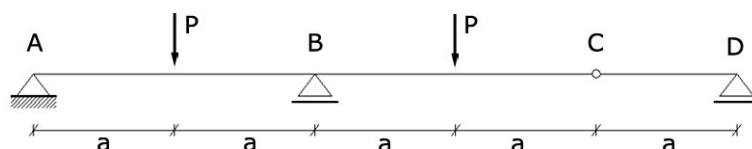
$$E \quad R_{AX} = (Fl/4h) - (3H/2) \quad \text{e} \quad R_{AY} = F/2 + H(h/l)$$

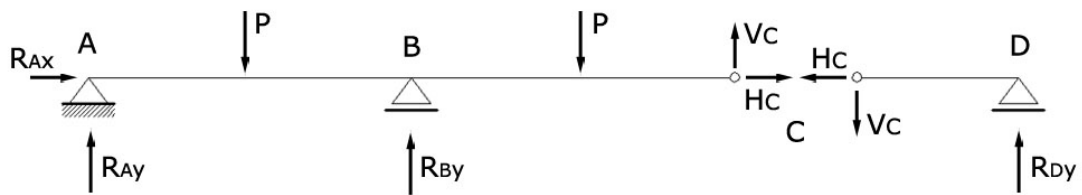
Note-se que a soma das reacções em cada apoio é uma força com a direcção das barras o que podia ter sido imediatamente deduzido se se tivesse constatado que assim teria de ser já que as barras articuladas só estavam carregadas nos nós.

Por outro lado, do equilíbrio do nó B poderia ter-se logo obtido os esforços nas barras e, portanto, as forças de reacção em A e C.

No entanto, o método utilizado é geral.

Por exemplo, aplicado ao caso de uma viga de rótula ou viga tipo Gerber, daria:





Do equilíbrio da parte direita conclui-se que  $H_C = 0$  e da equação de momentos em relação a C tira-se que  $R_{DY} = 0$  e, portanto,  $V_C = 0$  (por equilíbrio de forças verticais).

Do equilíbrio da parte esquerda tira-se que:

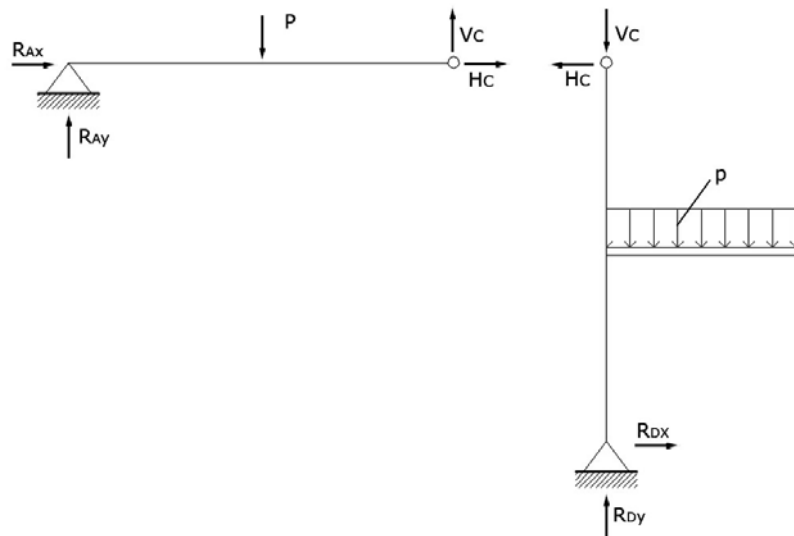
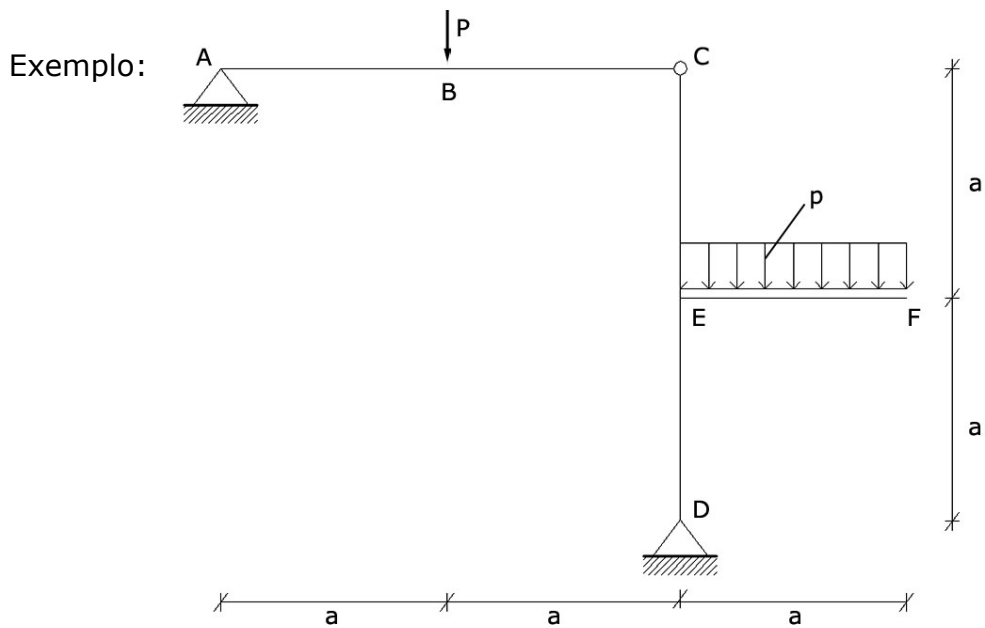
$$R_{AX} = -H_C = 0$$

$$\sum \curvearrowleft - R_{AY}(2a) + Pa - Pa + V_C(2a) = 0 \quad \text{ou} \quad R_{AY} = 0 \quad \text{e} \quad R_{BY} = 2P$$

*Nota:* Nas vigas de rótula, para serem estruturas globalmente isostáticas, o número de rótulas deverá ser igual ao número de apoios móveis suplementares, e serem "bem distribuídas" nos vários tramos, de modo a que:

- *entre duas rótulas não haja mais do que um apoio (contando com as rótulas dos apoios, fixos ou móveis);*
- *entre dois apoios não haja mais do que uma rótula.*

**Diagramas de corpo livre de partes ou troços de estruturas**



Cálculo das reacções:

Equilíbrio da parte direita:

$$C \curvearrowright \quad R_{Dx} 2a - Pa (a/2) \quad \text{ou seja} \quad R_{Dx} = P (a/4)$$

$$\text{e} \quad H_C = R_{Dx} = Pa/4$$

$$R_{Dy} - V_C - pa = 0$$

Equilíbrio da parte esquerda:

$$A \curvearrowright \quad - Pa + V_C (2a) = 0 \quad \text{ou seja} \quad V_C = P/2$$

$$\text{donde} \quad R_{Dy} = P/2 + Pa$$

$$\begin{array}{ll}
 e & R_{AX} + H_C = 0 \quad \text{donde} \quad R_{AX} = - pa/4 \\
 & R_{AY} + V_C - P = 0 \quad \text{ou seja} \quad R_{AY} = P/2
 \end{array}$$

Como referido no capítulo sobre estática dos corpos rígidos, define-se diagrama do corpo rígido o esquema do corpo com todas as forças que o actuam, incluindo as de ligação ao exterior.

O traçado do diagrama de corpo livre de uma parte da estrutura, consiste em isolá-la do resto da estrutura e considerar todas as forças a que está submetida: as forças exteriores aplicadas e as forças de ligação à restante estrutura, aplicadas nas secções efectuadas para a isolar, de tal modo que se reproduzam as condições em que se encontrava integrada no conjunto.

Numa secção em que exista uma rótula deverão considerar-se, como já visto, duas forças de ligação de direcção conhecida (ou uma força de direcção desconhecida) e numa secção onde haja continuidade, isto é, em que o corte “desfaz” três ligações internas, correspondentes a dois deslocamentos e uma rotação relativa dos bordos seccionados, deverão considerar-se duas forças de direcção conhecida e um momento.

No exemplo anterior, para o traçado do diagrama de corpo livre do troço BC (isolado por meio de uma secção feita imediatamente à direita de B), há que determinar as forças e o momento de ligação em B, visto que do cálculo das reacções se obteve as forças de ligação em C ( $H_C$  e  $V_C$ ). Para tal são suficientes as três equações de equilíbrio do troço.



$$H_B = - pa/4$$

$$V_B = - P/2$$

$$A \curvearrowright \quad M_B = - Pa/2$$

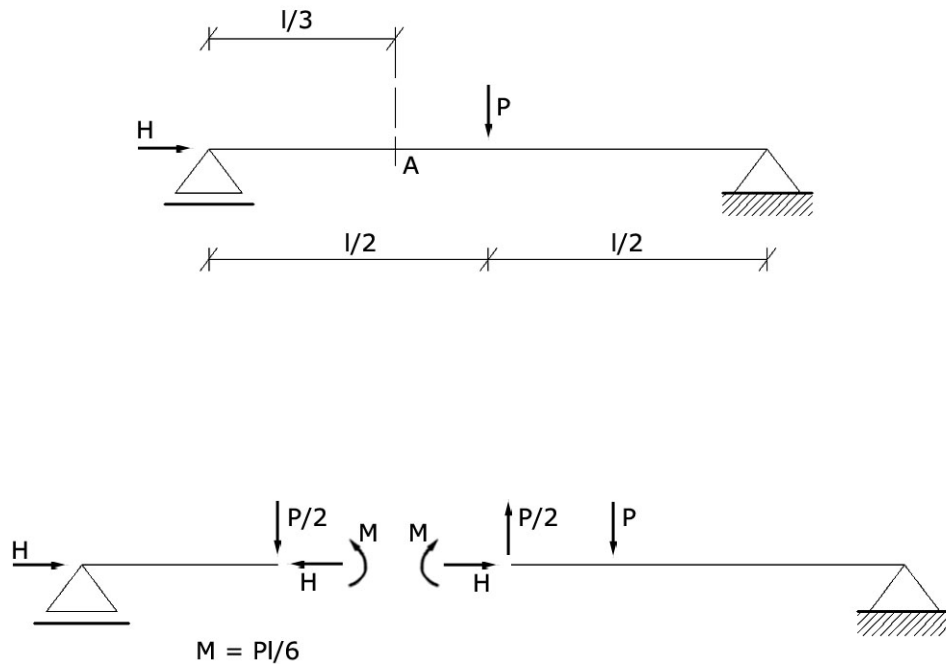
(o significado dos sinais negativos é, como até agora se tem visto, o de os sentidos das forças de ligação em B serem os contrários dos arbitrados na figura)

É útil notar que as forças e momento de ligação em B coincidem com os simétricos dos elementos de redução no ponto B do sistema constituído por todos as outras forças aplicadas ao troço.

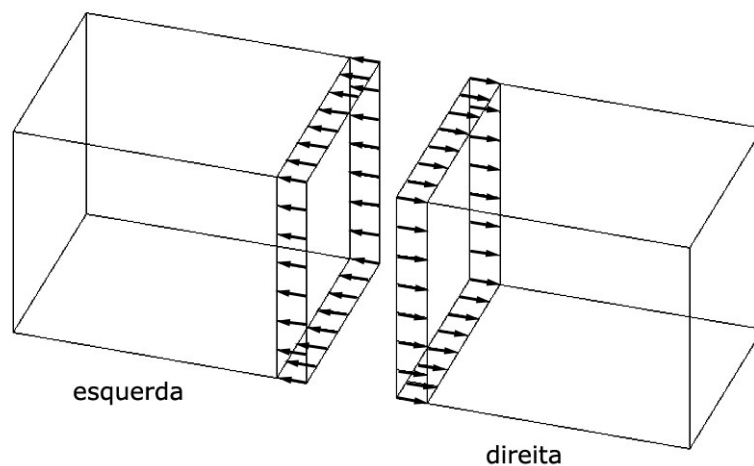
Se a secção em B fosse considerada imediatamente à esquerda de B os valores de  $H_B$  e  $M_B$  mantinham-se, só alterando  $V_B$  por ter agora de se considerar aplicado em B a força  $\vec{P}$ .

**Esforços internos** – as forças de ligação consideradas nas secções cortadas para obter o traçado dos diagramas de corpo livre podem-se entender-se como resultante (...?)

Exemplo:

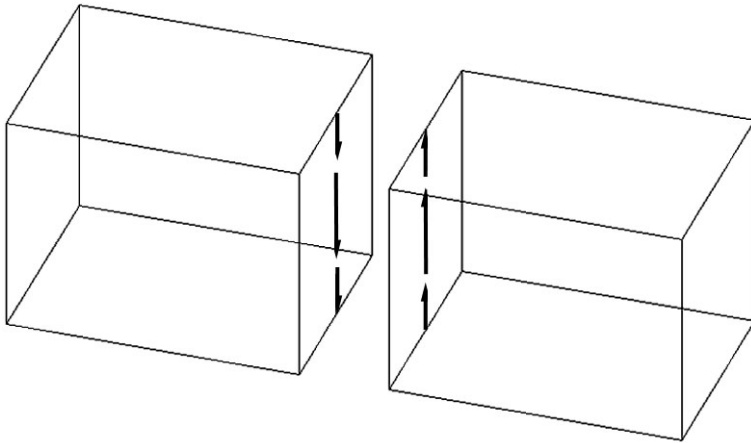


Secção na viga

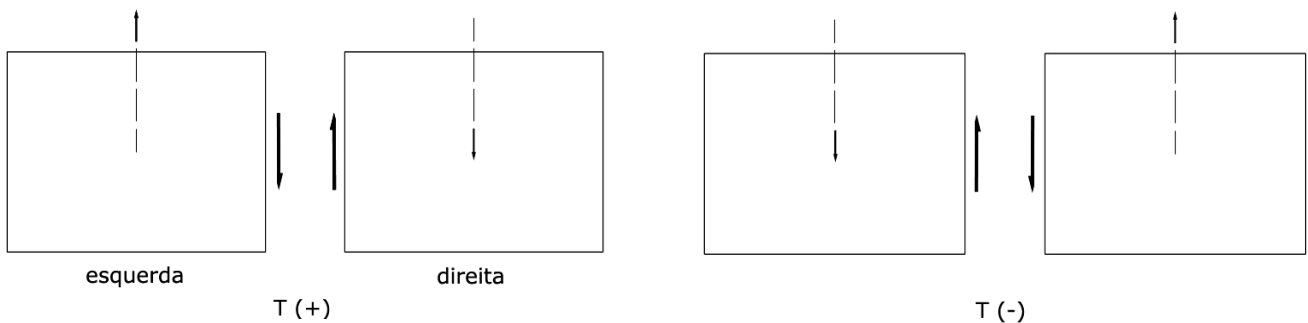


Se a secção da viga for rectangular, à força  $H$  na secção A corresponde um **esforço axial** resultante de uma distribuição uniforme de tensões como a indicada, semelhante ao esforço axial que foi considerado nas barras de

estruturas articuladas. Designa-se por **N** e é positivo por ser de tracção. A força vertical de ligação em A (P/2) pode-se considerar como resultante de forças distribuídas de atrito que se geram e impedem a tendência para os bordos da secção (faces do corte) escorregarem um sobre o outro, se não estivessem ligados.

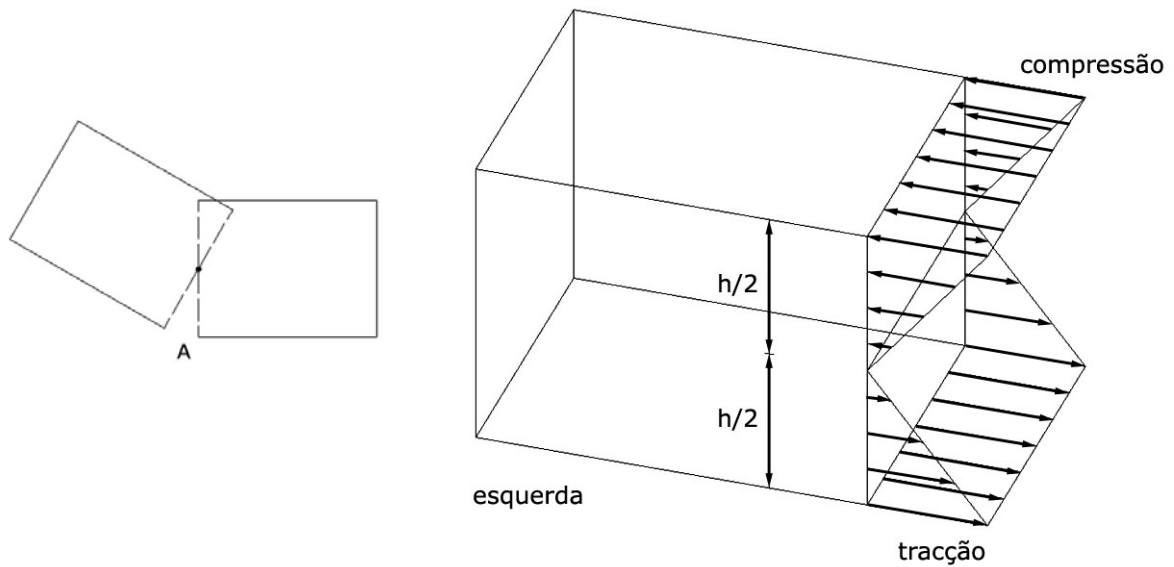


Estas forças são tangenciais às faces cortadas. Esta componente de ligação da força designa-se por **esforço transversal ou de corte (T)** convencionou-se que é positivo se corresponde à tendência da parte esquerda “subir” em relação à direita, isto é:

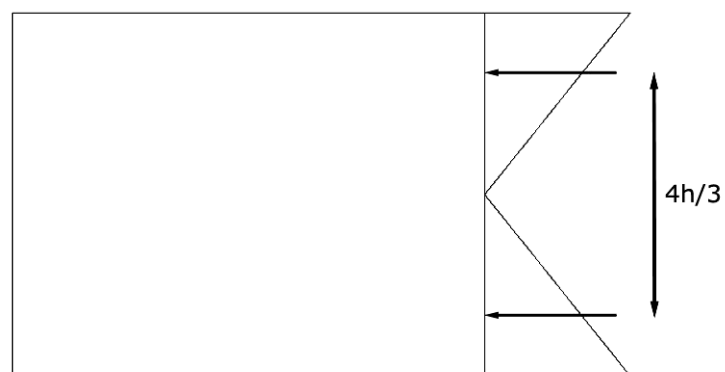


Para aplicação desta convenção é necessário definir previamente em cada barra qual a extremidade esquerda e qual a direita, isto é, “orientar” a barra. Esta orientação é óbvia no caso de barras horizontais mas tem de ser convencionalizada previamente no caso, (..?)

O momento  $M$  na secção  $A$  corresponde ao desenvolvimento simultâneo de tensões de compressão e de tracção nas faces cortadas que se podem considerar como geradas entre as duas partes para impedir a tendência para rodarem uma em relação à outra se não houvesse continuidade ou estivessem articuladas.

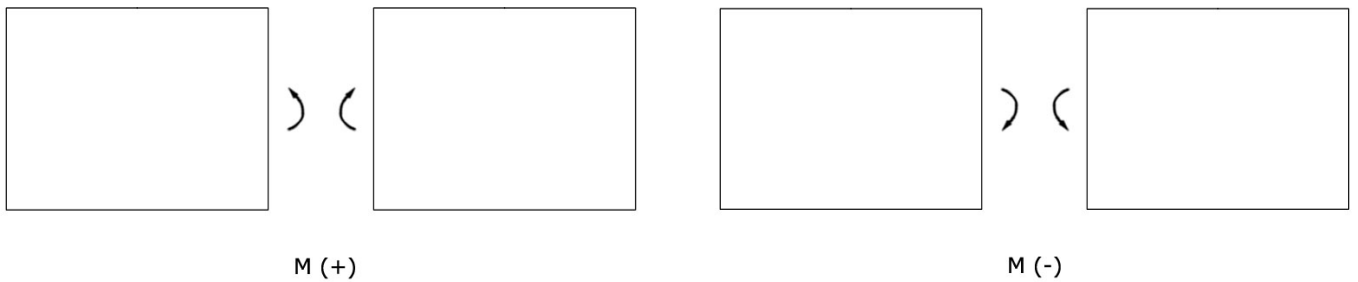


O diagrama de tensões que se gera em  $A$  (face esquerda) e que foi discutido nas aulas teóricas está representado na figura. As resultantes das tensões de compressão e de tracção são duas faces afastadas entre si de  $4h/3$  e que sendo iguais são equivalentes a um conjugado cujo momento é igual a  $M$ .



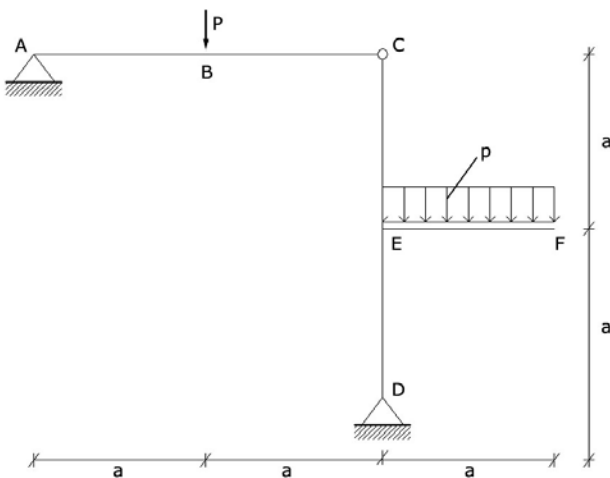


A este esforço interno designa-se por **momento flector (M)**. A convenção de sinais usual corresponde a designar como positivos os momentos flectores que numa barra "orientada" da esquerda para a direita produzam tracções junto da face inferior da secção e compressões na superior como está exemplificado na figura abaixo.



Nota: estes diagramas de tensões correspondente aos três esforços internos a considerar em barras de estruturas planas devem considerar-se sobre pontos (?), por soma pontual das distribuições, se se quiser obter o diagrama de forças distribuídas (ou tensões) nas faces do corte. Recorde-se que estas forças distribuídas representam uma acção de uma parte da estrutura sobre a outra quando se considera a sua separação pela secção em questão.

Exemplo: na estrutura seguinte, teríamos os seguintes esforços se orientássemos as barras como indicado:



- N em B =  $Pa/4$  (ver diagrama de corpo livre de BC)
- T em B à direita =  $-P/2$
- T em B à esquerda =  $P/2$
- M em B à esquerda =  $Pa/2$
- T em C (de BC) =  $-P/2$
- N em C (de BC) =  $Pa/4$
- T em C (de EC) =  $-Pa/4$  (corresponde a  $H_C$ )
- N em C (de EC) =  $-P/2$