

CAPÍTULO 2

2 - ESTRUTURA DO FICHEIRO DE DADOS

2.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste capítulo a estrutura do ficheiro em que é colocada toda a informação necessária à execução dos programas *prefemix*, *femix* e *posfemix* é apresentada e descrita em pormenor. Esse ficheiro de dados tem a extensão *_gl.dat* e é um ficheiro formatado que pode ser preparado e modificado com qualquer editor de texto. É no entanto preferível recorrer a programas de geração automática de ficheiros de dados (Capítulo 5).

O ficheiro com a extensão *_gl.dat* é lido e validado pelo programa *prefemix*, sendo gravado um ficheiro não formatado (binário) com a extensão *_gl.bin*. Os programas *femix* e *posfemix* lêem os dados no ficheiro *_gl.bin*, ignorando qualquer alteração que seja efectuada no ficheiro *_gl.dat* após a execução do programa *prefemix*.

Os programas *prefemix*, *femix* e *posfemix* podem ser executados sem qualquer argumento na linha de comandos, sendo toda a informação necessária solicitada interactivamente ao utilizador. A primeira pergunta corresponde sempre ao *jobname*, que é a palavra que antecede a extensão *_gl.dat*, *_gl.bin*, etc. nos nomes dos ficheiros. No caso do programa *prefemix* nada mais é pedido, devendo a execução terminar com a mensagem *###Success###*. Se tal não acontecer terá de ser consultada a mensagem de erro e as mensagens que a antecedem para se poder concluir qual a validação que falhou e em seguida proceder à correcção do ficheiro de dados.

O programa *prefemix* pode também ser executado com o *jobname* como argumento da linha de comandos. Por exemplo:

prefemix demol

Sempre que não seja utilizado um programa de geração automática de dados, o ficheiro com a extensão *_gl.dat* deve ser preparado com base num dos ficheiros exemplo (*d1v30_gl.dat* a *d9v30_gl.dat*). Deste modo é facilitada a identificação do conteúdo dos diversos blocos de dados devido à presença de inúmeros comentários, diminuindo assim a probabilidade de cometer erros na preparação dos dados.

Na Fig. 2.1 apresenta-se a malha, condições de apoio e solicitações correspondentes a uma estrutura submetida a um estado plano de tensão.

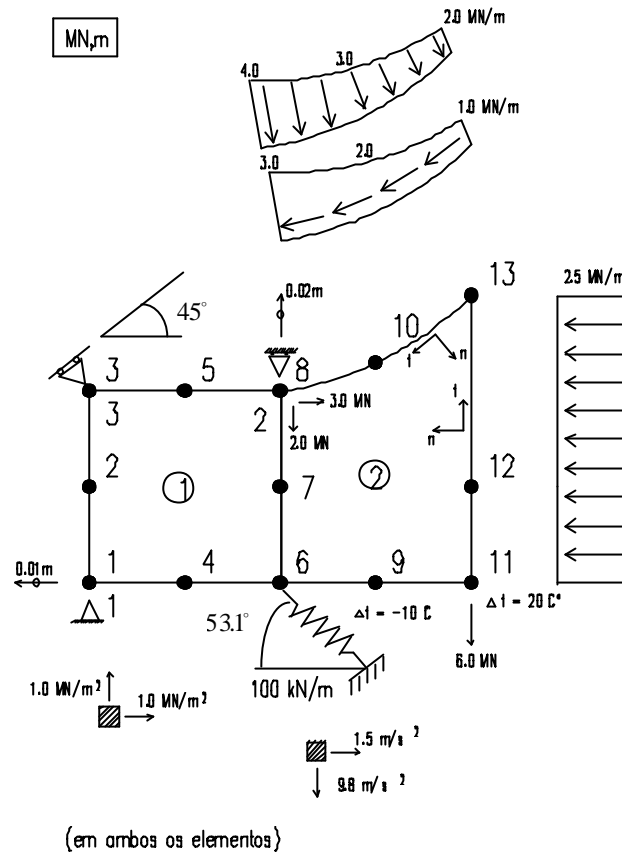


Fig. 2.1 - Malha, condições de apoio e solicitações correspondentes a uma estrutura submetida a um estado plano de tensão.

Apresenta-se em seguida o ficheiro de dados correspondente à referida estrutura:

```

### Main title of the problem
Main title

### Main parameters
2 # nelem (n. of elements in the mesh)
13 # npoin (n. of points in the mesh)
3 # nvfix (n. of points with fixed degrees of freedom)
2 # ncase (n. of load cases)
2 # nmats (n. of sets of material properties)
2 # nspen (n. of sets of element nodal properties)
1 # ntype (problem type)
8 # nnode (n. of nodes per element)
3 # ngaus (n. of Gauss points in the integration rule) (element stiffness)
2 # ngstr (n. of Gauss points in the integration rule) (stresses)
2 # ndime (n. of geometric dimensions)
2 # ndofn (n. of degrees of freedom per node)
1 # nnsccs (n. of points with specified coordinate system)
1 # nsscs (n. of specified coordinate systems)
1 # npspr (n. of springs)
1 # nsspv (n. of spring vectors)
4 # nprop (n. of material properties used in the formulation)
1 # npren (n. of element nodal properties used in the formulation)
0 # nwink (n. of element faces with Winkler coefficients)

### Material properties index, element nodal properties index,
    
```

```

### and list of the nodes of each element
# ielem matno ielnp lnods ...
    1      2      2      1    4    6    7    8    5    3    2
    2      1      1      6    9   11   12   13   10   8    7

### Coordinates of the points
# ipoin coord-x1 coord-x2
    1      0.0      0.0
    2      0.0      1.0
    3      0.0      2.0
    4      1.0      0.0
    5      1.0      2.0
    6      2.0      0.0
    7      2.0      1.0
    8      2.0      2.0
    9      3.0      0.0
   10      3.0      2.3
   11      4.0      0.0
   12      4.0      1.0
   13      4.0      3.0

### Points with fixed degrees of freedom and fixity codes (1-fixed;0-free)
# ivfix nofix      ifpre ...
    1      1      1  1
    2      8      0  1
    3      3      0  1

### Points with specified coordinate system
### (index, point number and type of coordinate system)
# ipses nospe itycs
    1      3      1

### Specified coordinate system index
### Coordinate system vector index and
### vector components in the global coordinate system
# isscs
    1
# ivect coscs...
    1  0.707107  0.707107
    2 -0.707107  0.707107

### Spring index, point number, type of spring vector, spring constant value and
### flag to distinguish between translational rigidity (t) and rotational rigidity (r)
# ipspr nsprp ityvs      sprva trrig
    1      6      1      100.0    t

### Spring vector index
### Components of the spring vector in the global coordinate system
# isspv cgspv ...
    1  -0.6  0.8

### Sets of material properties
### (Young modulus, Poisson ratio, mass per unit volume and thermic coeff.)
# imats young poiss dense alpha
    1  170000.0  0.2  7800e-6  1e-4
    2  120000.0  0.3  2500e-6  2e-4

### Sets of element nodal properties
# ispen
    1
# inode thickness
    1      0.3
    2      0.3
    3      0.3
    4      0.3
    5      0.3

```

```

        6          0.3
        7          0.3
        8          0.3
# ispen
  2
# inode thickness
  1          0.2
  2          0.2
  3          0.2
  4          0.2
  5          0.2
  6          0.2
  7          0.2
  8          0.2

# =====

### Title of the first load case
Load case title (1)

### Load parameters
  2 # nplod (n. of point loads in nodal points)
  1 # ngrav (gravity load flag: 1=yes;0=no)
  2 # nedge (n. of edge loads) (F.E.M. only)
  2 # nface (n. of face loads) (F.E.M. only)
  1 # nteme (n. of elements with temperature variation) (F.E.M. only)
  0 # nudis (n. of uniformly distributed loads) (3d frames and trusses only)
  0 # ntral (n. of trapezoidal distributed loads) (3d frames and trusses only)
  0 # nepoi (n. of bar point loads) (3d frames and trusses only)
  0 # ntemb (n. of bars with temper. variation) (3d frames and trusses only)
  2 # nprva (n. of prescribed and non zero degrees of freedom)

### Point loads in nodal points (loaded point and load value)
### (global coordinate system)
# iplod lopop pload-fx1 pload-fx2
  1      11          0.0      -6.0
  2       8          3.0      -2.0

### Gravity load (gravity acceleration)
### (global coordinate system)
# gravi-tx1 gravi-tx2
  1.5          -9.8

### Edge load (loaded element, loaded points and load value)
### (local coordinate system)
# iedge loele
  1      2
# lopoe fel fe2
  11      0.0  2.5
  12      0.0  2.5
  13      0.0  2.5
# iedge loele
  2      2
# lopoe fel fe2
  13      1.0  2.0
  10      2.0  3.0
  8       3.0  4.0

### Face load (loaded element, loaded points and load value)
### (local coordinate system)
# iface loelf
  1      1
# lopof fs1 fs2
  1      1.0  1.0
  4      1.0  1.0
  6      1.0  1.0

```

```

    7  1.0  1.0
    8  1.0  1.0
    5  1.0  1.0
    3  1.0  1.0
    2  1.0  1.0
# iface  loelf
    2      2
# lopof  fs1  fs2
    6  1.0  1.0
    9  1.0  1.0
   11  1.0  1.0
   12  1.0  1.0
   13  1.0  1.0
   10  1.0  1.0
    8  1.0  1.0
    7  1.0  1.0

### Thermal load (loaded element, loaded nodes
### and uniform temperature variation)
# iteme  loelt
    1      2
# inode      teuni
    1          0.0
    2         -10.0
    3          20.0
    4          0.0
    5          0.0
    6          0.0
    7          0.0
    8          0.0
### Prescribed variables (point, degree of freedom and prescribed value)
### (global coordinate system)
# iprva  nnodp  ndofp  prval
    1      8      2      0.02
    2      1      1     -0.01

# =====

### Title of the second load case
Load case title (2)

### Load parameters
0 # nplod (n. of point loads in nodal points)
1 # ngrav (gravity load flag: 1=yes;0=no)
0 # nedge (n. of edge loads) (F.E.M. only)
0 # nface (n. of face loads) (F.E.M. only)
0 # nteme (n. of elements with temperature variation) (F.E.M. only)
0 # nudis (n. of uniformly distributed loads) (3d frames and trusses only)
0 # ntral (n. of trapezoidal distributed loads (3d frames and trusses only)
0 # nepoi (n. of bar point loads) (3d frames and trusses only)
0 # ntemb (n. of bars with temper. variation) (3d frames and trusses only)
0 # nprva (n. of prescribed and non zero degrees of freedom)

### Point loads in nodal points (loaded point and load value)
### (global coordinate system)
# iplod  lopop  pload-fx1  pload-fx2

### Gravity load (gravity acceleration)
### (global coordinate system)
# gravi-tx1  gravi-tx2
    0.0      -9.8

### Edge load (loaded element, loaded points and load value)
### (local coordinate system)
# iedge  loele
# lopoe  fel  fe2

```

```

### Face load (loaded element, loaded points and load value)
### (local coordinate system)
# iface loelf
# lopof fs1 fs2

### Thermal load (loaded element, loaded nodes
### and uniform temperature variation)
# iteme loelt
# inode teuni

### Prescribed variables (point, degree of freedom and prescribed value)
### (global coordinate system)
# iprva nnode ndofp prval

END_OF_FILE

```

Qualquer ficheiro de dados tem em comum os seguintes aspectos:

- i) As linhas em branco são ignoradas pelo programa *prefemix*, podendo estas ser acrescentadas em qualquer local ou eliminadas.
- ii) Todos os caracteres à direita do símbolo # são ignorados pelo programa de leitura de dados. Desta forma é permitido ao utilizador comentar livremente o ficheiro de dados de forma a torná-lo mais compreensível.
- iii) Os diferentes dados numéricos devem estar separados por um ou mais espaços em branco, sendo a leitura efectuada em formato livre.

A análise do ficheiro de dados relativo à Fig. 2.1 permite verificar que ele é constituído pelos seguintes blocos:

- 1 - Título do problema - “*Main title of the problem*”;
- 2 - Parâmetros principais - “*Main parameters*”;
- 3 - Definição da topologia da malha - “*Material properties index, element nodal properties index, and list of the nodes of each element*”;
- 4 - Coordenadas cartesianas dos nós - “*Coordinates of the points*”;
- 5 - Ligações da estrutura ao exterior - “*Points with fixed degrees of freedom and fixity codes*”;
- 6 - Nós com sistema de eixos especificado - “*Points with specified coordinate system*”;
- 7 - Índice do sistema de eixos especificado - “*Specified coordinate system index*”;
- 8 - Índice do vector do sistema de eixos especificado e componentes do vector no sistema de eixos global - “*Coordinate system vector index and vector components in the global coordinate system*”;

- 9 - Índice do apoio elástico, número do nó, tipo de vector que caracteriza a direcção do apoio elástico, rigidez do apoio elástico e apontador para distinguir entre rigidez extensional (t) e rigidez rotacional (r) - *“Spring index, point number, type of spring vector, spring constant value and flag to distinguish between translational rigidity (t) and rotational rigidity (r)”*;
- 10 - Índice do vector que define a direcção do apoio elástico e cosenos dos ângulos que o vector realiza com os eixos do referencial global - *“Spring vector index. Components of the spring vector in the global coordinate system”*;
- 11 - Propriedades físicas dos materiais - *“Sets of material properties”*;
- 12 - Propriedades geométricas associadas aos nós dos elementos - *“Sets of element nodal properties”*;
- 13 - Título do caso de carga - *“Title of the i th load case”*;
- 14 - Parâmetros que caracterizam as acções em cada caso de carga - *“Load parameters”*;
- 15 - Forças generalizadas aplicadas em pontos nodais - *“Point loads in nodal points (loaded point and load value)”*;
- 16 - Acção gravítica - *“Gravity load (gravity acceleration)”*;
- 17 - Forças generalizadas distribuídas por unidade de comprimentos em bordos de elementos - *“Edge load (loaded element, loaded points and load value)”*;
- 18 - Forças generalizadas distribuídas por unidade de área nas faces dos elementos - *“Face load (loaded element, loaded points and load value)”*;
- 19 - Acção térmica em estruturas discretizadas por elementos finitos - *“Thermal load -FEM- (n. of elements with temperature variation)”*;
- 20 - Deslocamentos prescritos - *“Prescribed variables (point, degree of freedom and prescribed value)”*;
- 21 - Palavra chave indicando o fim do ficheiro de dados - *“END_OF_FILE”*.

No caso de estruturas tridimensionais discretizadas por elementos de volume, lajes e cascas (estruturas do tipo 4, 5, 6 e 9, respectivamente - ver Quadro 1.1), entre os blocos 12 e 13 é inserido o bloco de dados relativo a faces de elementos apoiadas em meio elástico:

- 13 - Índice da face de elemento sob a acção de coeficientes de Winkler, número do elemento, nós do elemento e correspondente coeficiente de Winkler - *“Face index, element number, points of element face and Winkler coefficients”*;

No caso de estruturas reticuladas (estruturas do tipo 7 e 8, ver Quadro 1.1), entre os blocos 19 e 20 são inseridos os seguintes blocos de dados:

- 21 - Forças generalizadas distribuídas uniformemente por unidade de comprimento em elementos de barra “*Uniformly distributed load in 3d frame or truss bars (loaded bar and load value) (local coordinate system)*”
- 22 - Forças generalizadas distribuídas trapezoidalmente por unidade de comprimento em elementos de barra “*Trapezoidal distributed load in 3d frame or truss bars (loaded bar and load value at left and right bar extremity) (local coordinate system)*”
- 23 - Forças generalizadas aplicadas em pontos de elementos de barra “*Point load in 3d frame or truss bars (loaded bar, distance to the left end and load value) (global coordinate system)*”
- 24 - Variação de temperatura em elementos de barra “*Thermal load (loaded bar, uniform temperature variation, l2 differential temperature variation, l2 cross section thickness, l3 differential temperature variation and l3 cross section thickness)*”

A ordem destes blocos não pode ser alterada e o ficheiro de dados tem de terminar com a palavra END_OF_FILE.

2.2 - BLOCOS QUE CONSTITUEM UM FICHEIRO COMPLETO DE DADOS

Em seguida apresenta-se a descrição detalhada dos blocos que constituem um ficheiro de dados tipo.

A análise dos diferentes blocos será feita pela ordem referida na Secção 2.1, que corresponde à sequência existente num ficheiro de dados genérico, como é exemplo o ficheiro de dados relativo ao problema representado na Fig. 2.1.

Serão inseridas referências ao caso das estruturas discretizadas por barras prismáticas e a estruturas laminares apoiadas em meio elástico.

2.2.1 - Título do problema

A frase correspondente ao título do problema não pode exceder os 80 caracteres.

2.2.2 - Parâmetros principais

nelem = número de elementos em que a estrutura está discretizada.

npoin = número de nós da malha de elementos finitos.

nvfix = número de nós com uma ou mais ligações ao exterior.

ncase = número de casos de carga que solicitam a estrutura.

nmats = número de materiais com propriedades físicas diferentes.

nspen = número de secções nodais com propriedades geométricas distintas.

ntype = parâmetro que indica qual o tipo de estrutura, podendo assumir os seguintes valores:

1 => estrutura submetida a estado plano de tensão

2 => estrutura submetida a estado plano de deformação

3 => estrutura submetida a estado axissimétrico de tensão e deformação

4 => estrutura tridimensional discretizada por elementos de volume (*bricks*)

5 => laje (formulação de Mindlin)

6 => casca espessa (formulação de Ahmad)


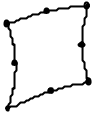
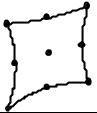




7 => estrutura reticulada tridimensional (pórtico)

8 => estrutura articulada tridimensional (treliça)

9 => casca plana (formulação de Mindlin)

nnode = número de nós por elemento finito. Os elementos disponíveis dependem do tipo de estrutura a analisar e a sua correspondência é apresentada no Quadro 2.1

Quadro 2.1 - Elementos disponíveis para cada tipo de estrutura

<i>n</i> type	Elementos disponíveis na discretização da estrutura	
1,2,3,5,6,9	elemento de Lagrange de 4 nós	
	elemento de Serendipity de 8 nós	
	elemento de Lagrange de 9 nós	
4	elemento de volume de 8 nós	
	elemento de volume de 20 nós	
7	elemento de barra de 2 nós (com continuidade)	
8	elemento de barra de 2 nós (articulada)	

ngaus = número de pontos de gauss em cada direcção do sistema de eixos local do elemento utilizado no cálculo da matriz de rigidez. Em meios contínuos (*n*type de 1 a 6 e 9), *ngaus* pode tomar os valores 1, 2 ou 3. No Anexo A apresenta-se algumas considerações sobre o número de pontos de Gauss aconselhado para cada tipo de elemento. Em estruturas reticuladas e articuladas (*n*type 7 ou 8) não é efectuada a integração de Gauss, sendo utilizadas as expressões dos termos da matriz de rigidez do elemento (Barros *et al.* 1996). Por este motivo, o valor de *ngaus* não é utilizado, devendo este parâmetro figurar no ficheiro de dados com o valor 2.

ngstr = número de pontos de Gauss em cada direcção do sistema de eixos local do elemento utilizado no cálculo das tensões ou esforços. Verifica-se que se obtém melhores resultados quando este parâmetro toma o valor 2, qualquer que seja o tipo de elemento seleccionado entre os disponíveis na presente versão do programa e qualquer que seja o número de pontos de Gauss utilizado na integração numérica da matriz de rigidez. Em estruturas reticuladas e articuladas (*n*type 7 ou 8), uma vez que os esforços são calculados nas extremidades da barra, tem de ser atribuído o valor 2 ao parâmetro *ngstr*.

ndime = número de coordenadas cartesianas que definem a posição de cada nó (ver o Quadro 2.2).

Quadro 2.2 - Correspondência entre o tipo de estrutura (***ntype***) e o parâmetro ***ndime***.

<i>ntype</i>	Estrutura	<i>ndime</i>
1, 2, 3, 5, 9	Bidimensional	2
4, 6, 7, 8	Tridimensional	3

ndofn = número de graus de liberdade por nó. A correspondência entre o tipo de estrutura (***ntype***) e o número de graus de liberdade (deslocamentos generalizados) por nó (***ndofn***) é indicada no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 - Correspondência entre o tipo de estrutura (***ntype***) e o número de graus de liberdade de cada nó (***ndofn***).

<i>ntype</i>	<i>ndofn</i>
1, 2, 3	2
4, 5, 8	3
9	5
6(*), 7	6

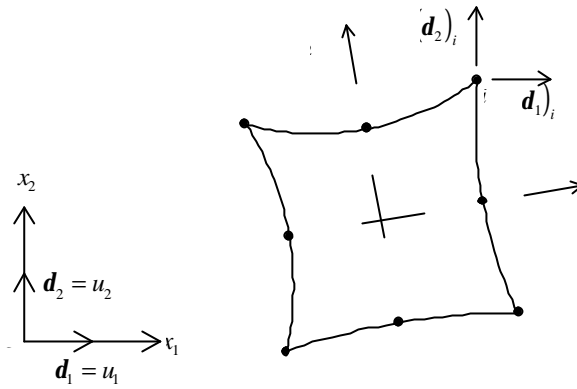
(*) Nos nós coplanares (ver adiante) o programa só considera os 5 primeiros graus de liberdade.

Nas figs. 2.2 a 2.9 representam-se os graus de liberdade (deslocamentos generalizados) para cada tipo de estrutura, sendo considerada a seguinte nomenclatura:

u - deslocamento

θ - rotação

δ - deslocamento generalizado (u ou θ)

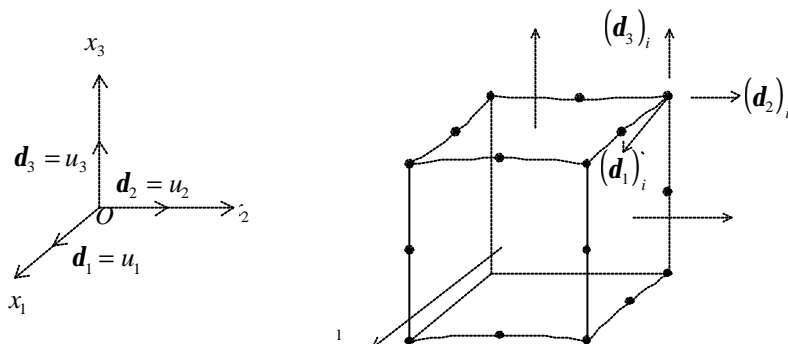


$0x_1x_2$ = referencial geral

$0s_1s_2$ = referencial local do elemento

$(d_1)_i, (d_2)_i$ = graus de liberdade num nó genérico i (referencial geral)

Fig. 2.2 - Referenciais e graus de liberdade para $ntype = 1, 2$ ou 3 .

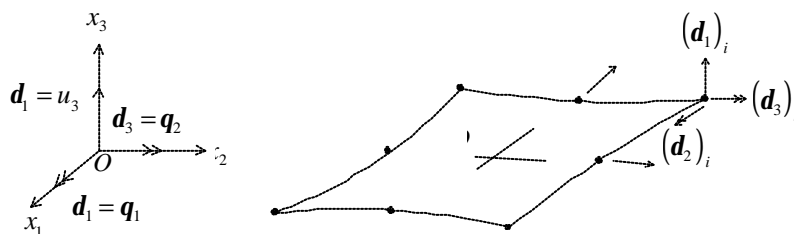


$0x_1x_2x_3$ = referencial geral

$0s_1s_2s_3$ = referencial local do elemento

$(d_1)_i, (d_2)_i, (d_3)_i$ = graus de liberdade num nó genérico i (referencial geral)

Fig. 2.3- Referenciais e graus de liberdade para $ntype = 4$.



$0x_1x_2x_3$ = referencial geral (a laje está contida no plano $0x_1x_2$)

$0s_1s_2$ = referencial local do elemento

$(d_1)_i, (d_2)_i, (d_3)_i$ = graus de liberdade num nó genérico i (referencial geral)

Fig. 2.4- Referenciais e graus de liberdade para $ntype = 5$.

Nas estruturas discretizadas com o elemento de casca espessa podem coexistir dois tipos de nós: coplanares e não coplanares. A distinção é efectuada comparando as direcções das normais à superfície média dos elementos que concorrem em cada nó (ver Fig. 2.5). Se essas normais forem coincidentes então o nó será coplanar, caso contrário será não coplanar.

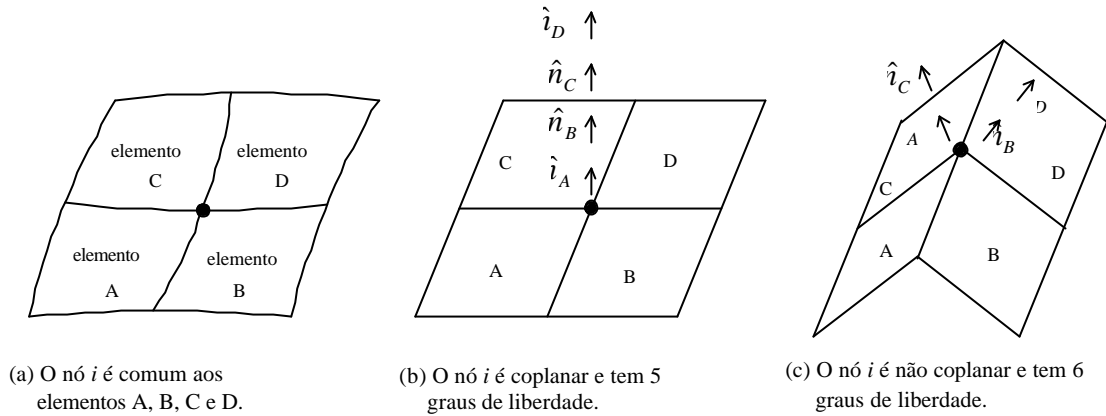


Fig. 2.5 - Distinção entre nós coplanares e não coplanares para $n\text{type} = 6$.

Nos nós coplanares existem cinco graus de liberdade por nó (Fig. 2.6), três deslocamentos no referencial geral $((\mathbf{d}_1)_i, (\mathbf{d}_2)_i, (\mathbf{d}_3)_i)$ e duas rotações segundo os eixos n_1 e n_2 do sistema local do nó $(\mathbf{d}_4)_i$ e $(\mathbf{d}_5)_i$.

Na Fig. 2.6, os vectores n_1 e n_2 definem um plano que contém o nó i e é tangente à superfície média ($s_3 = 0$). No Anexo B apresenta-se o critério adoptado na definição dos referenciais locais associados aos nós dos elementos.

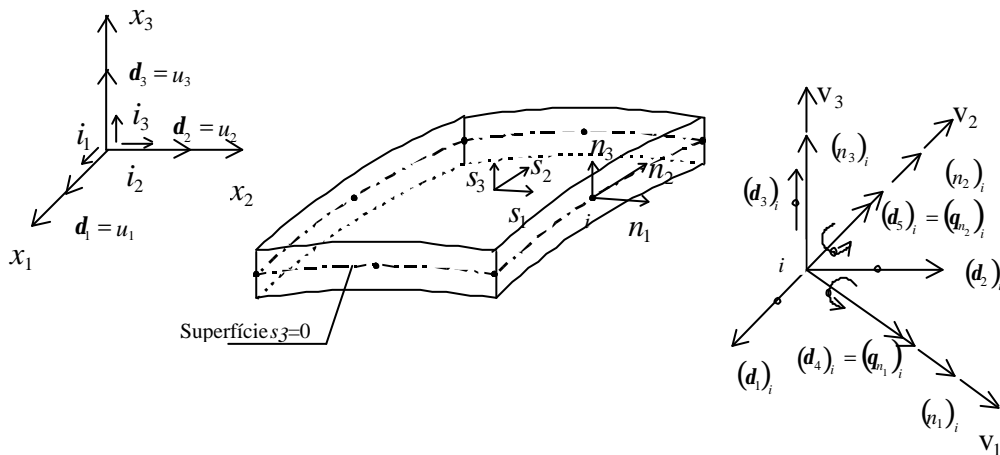


Fig. 2.6 - Referenciais e graus de liberdade em nós coplanares.

Nos nós não coplanares os graus de liberdade $(d_1)_i$, $(d_2)_i$, $(d_3)_i$, $(d_4)_i$, $(d_5)_i$ e $(d_6)_i$ vêm referidos ao sistema global de eixos (Fig. 2.7).

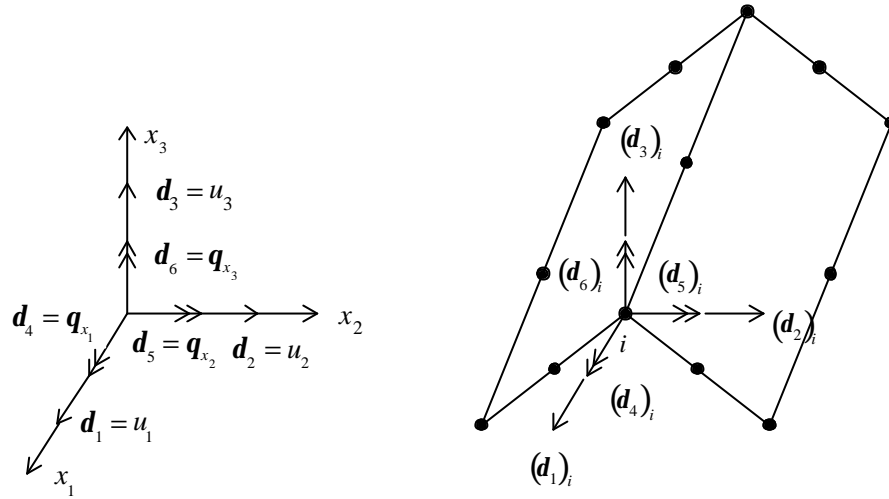


Fig. 2.7 - Referenciais e graus de liberdade em nós não coplanares.

Nas estruturas discretizadas com o elemento de casca de Ahmad podem coexistir nós com cinco ou seis graus de liberdade, devendo ser sempre atribuído à variável *ndofn* o valor 6.

Nos pórticos (*ntype* = 7), os graus de liberdade $(d_1)_i$, $(d_2)_i$, $(d_3)_i$, $(d_4)_i$, $(d_5)_i$ e $(d_6)_i$ vêm referidos ao sistema de eixos global (ver Fig. 2.8).

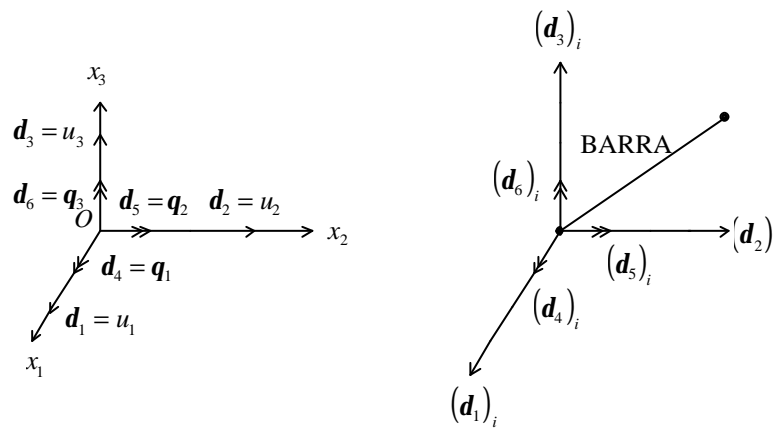


Fig. 2.8 - Referenciais e graus de liberdade para *ntype* = 7 (ver também o Anexo C).

Nas treliças (*ntype*=8), apenas existem três deslocamentos por nó que também se encontram no referencial geral (ver Fig. 2.9).

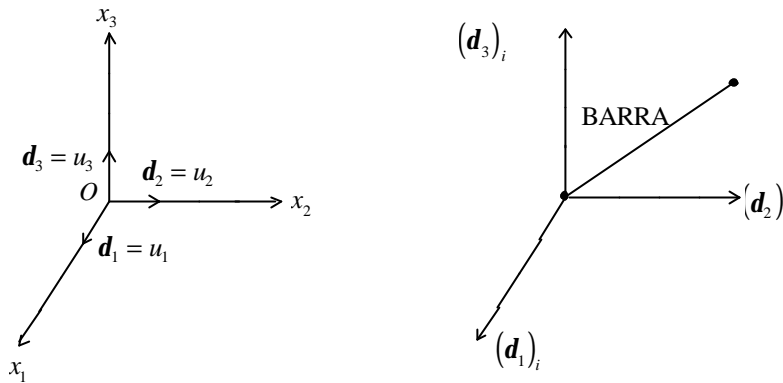
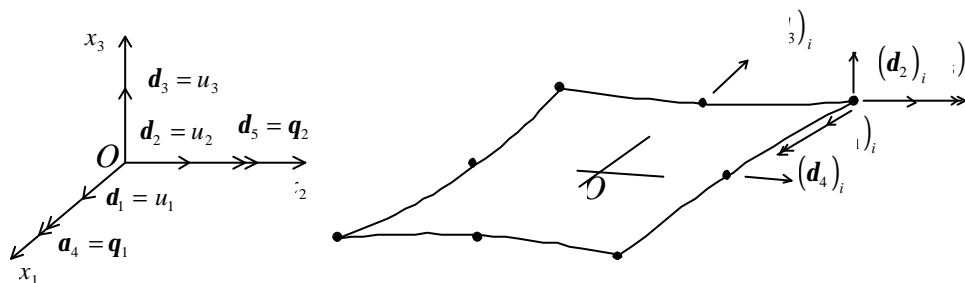


Fig. 2.9 - Referenciais e graus de liberdade para *ntype* = 8 (ver também o Anexo C)

Nas cascas planas (*ntype*=9), os graus de liberdade $(d_1)_i$, $(d_2)_i$, $(d_3)_i$, $(d_4)_i$ e $(d_5)_i$ vêm referidos ao sistema de eixos global (ver Fig. 2.10).



$0x_1x_2x_3$ = referencial geral (a casca está contida no plano $0x_1x_2$)

$0s_1s_2$ = referencial local do elemento

$(d_1)_i, (d_2)_i, (d_3)_i, (d_4)_i, (d_5)_i$ = graus de liberdade num nó genérico *i* (referencial geral)

Fig. 2.10- Referenciais e graus de liberdade para *ntype* = 9.

Os graus de liberdade podem ainda ser definidos em referenciais auxiliares, conforme se exporá em próximos parágrafos.

nns = número de pontos nodais da estrutura com sistema de eixos especificado.

nss = número de sistemas de eixos especificados distintos.

npspr = número de apoios elásticos.

nsspv = número de vectores distintos que definem a direcção dos apoios elásticos.

nprop = número de propriedades físicas que caracterizam o material de cada elemento. Para todos os tipos de estruturas (*ntype* de 1 a 9), deve ser atribuído a este parâmetro o valor 4.

npren = número de propriedades geométricas associadas aos nós dos elementos. No Quadro 2.4 é apresentada a correspondência entre o tipo de estrutura (*ntype*) e a variável *npren*.

Quadro 2.4- Correspondência entre o tipo de estrutura (*ntype*) e a variável *npren*.

<i>ntype</i>	<i>npren</i>
1, 5, 6, 8, 9	1
2, 3, 4	0
7	5

nwink = número de faces de elementos em que actua uma rigidez por unidade de superfície (F/L^3), como é o caso dos coeficientes de Winkler, que traduzem o módulo de reacção de um solo. A rigidez por unidade de superfície apenas pode actuar nos seguintes tipos de problemas: *ntype* =4, 5, 6 e 9.

2.2.3 - Definição da topologia da malha

Neste bloco de dados é necessário fornecer as seguintes características:

- Na 1ª coluna (***ielem***) o número do elemento por ordem crescente.
- Na 2ª coluna (***matno***) o número do material do elemento em correspondência com o bloco de dados que contém as propriedades dos materiais.
- Nos tipos de estrutura correspondentes a ***ntype*** = 1, 5, 6, 8, 9 deve ser colocado na 3ª coluna (***ielnp***) o número da secção nodal em correspondência com o bloco de dados que contém as propriedades geométricas nodais. Para os restantes tipos de estruturas esta coluna não existe.
- Nas restantes colunas (***lnods***) devem ser colocados os nós dos elementos, de acordo com as indicações da Fig. 2.11.

<i>n</i> type	Elemento
1,2,3,5,6,9	
4	
7,8	

Fig. 2.11 - Numeração dos nós dos elementos para os diversos tipos de estrutura.

A numeração dos nós dos elementos finitos correspondentes a estruturas do tipo casca (*n*type = 6) devem ter um sentido de acordo com o que está indicado na Fig. 2.12. No caso das barras prismáticas deve figurar em primeiro lugar o nó com numeração global mais baixa, que também se designa por extremidade esquerda.

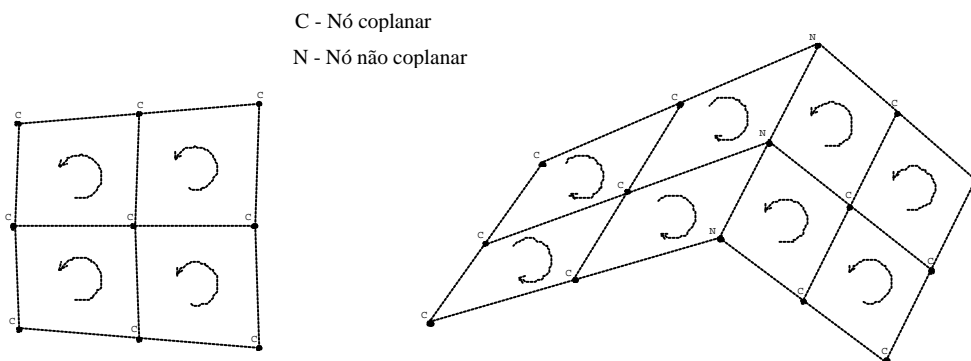


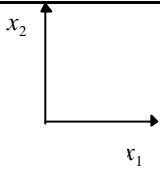
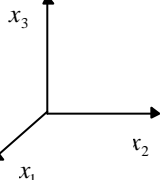
Fig. 2.12 - Sentidos de numeração dos nós de elementos de casca espessa (Ahmad) (*n*type = 6).

2.2.4 - Coordenadas cartesianas dos nós

Este bloco contém as coordenadas cartesianas dos nós da estrutura no referencial global (dimensão [L]).

As coordenadas de todos os nós devem ser fornecidas por ordem numérica crescente. Os referenciais utilizados em cada tipo de estrutura estão representados no Quadro 2.5.

Quadro 2.5 - Referenciais em que são fornecidas as coordenadas cartesianas dos nós.

Tipo de Estrutura	Referencial	Número de coordenadas que devem figurar no ficheiro
1, 2, 3, 5, 9		2
4, 6, 7, 8		3

Nota: os referenciais têm que ser directos

2.2.5 - Ligações da estrutura ao exterior

Neste bloco de dados são definidas as características das ligações ao exterior.

Na primeira coluna encontra-se um contador dos nós que estão ligados ao exterior. Na segunda coluna deve ser colocado o correspondente número do nó. As restantes colunas contêm os códigos de ligação ao exterior do nó declarado na coluna anterior. Esta informação é constituída por um número de valores (unitários ou nulos e separados por espaços) em correspondência com o número de graus de liberdade que o nó possui (ver Quadro 2.3). O valor unitário significa que o grau de liberdade tem um deslocamento fixo e o valor nulo significa que o grau de liberdade é livre.

Os graus de liberdade dos nós ligados ao exterior podem ser estabelecidos no referencial global ou num referencial especificado. Neste último caso é necessário caracterizar o referencial especificado, conforme será descrito na próxima secção.

Se os graus de liberdade dos nós ligados ao exterior não estiverem associados a um referencial especificado, estes graus de liberdade encontram-se no referencial global, excepto no caso do

elemento de casca (*ntype* = 6). No caso do elemento de casca, os graus de liberdade correspondentes a deslocamentos encontram-se também no referencial geral. No entanto, os graus de liberdade correspondentes a rotações de nós coplanares e não coplanares vêm referidos a sistemas de eixos diferentes. Assim, num nó não coplanar as três rotações são referidas ao sistema de eixos geral. Num nó coplanar as duas rotações encontram-se no referencial local associado ao nó (ver Anexo B), podendo na posição correspondente ao 6º grau de liberdade (3ª rotação) ser colocado qualquer valor, pois este é ignorado (ver Quadro 2.6).

Quadro 2.6 - Referenciais em que são definidas as características dos nós ligados ao exterior (excepto os nós associados a referenciais especificados).

<i>ntype</i>	Graus de liberdade	Referencial
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	Todos	Geral
6	Deslocamentos em qualquer nó	Geral
	Rotações em nós não coplanares	Geral
	Rotações em nós coplanares	Local (*)

(*) O último grau de liberdade é ignorado.

2.2.6 - Pontos nodais com sistema de eixos especificado

Neste bloco de dados é necessário fornecer as seguintes características:

- Na 1ª coluna (*ipscs*) o contador dos pontos nodais com deslocamentos generalizados estabelecidos num sistema de eixos especificado. Este contador deve ser fornecido por ordem crescente.
- Na 2ª coluna (*nospe*) o número do ponto nodal que está associado a um sistema de eixos especificado.
- Na 3ª coluna (*itycs*) o número do sistema de eixos especificado em correspondência com o bloco de dados em que são definidas as direcções dos eixos desse sistema.

2.2.7 - Sistemas de eixos especificados

Este bloco é constituído por um número de módulos em correspondência com a variável *nssc* (número de sistemas de eixos especificados distintos - ver secção 2.2.2). A identificação do ponto nodal com o correspondente conjunto de sistema de eixos especificado é efectuada por intermédio da variável *itycs* (terceira coluna do bloco correspondente aos pontos nodais com sistema de eixos especificado - ver Secção 2.2.6).

Em cada módulo deve ser fornecido, na primeira linha e por ordem crescente, o contador dos diferentes sistemas de eixos especificados (*isscs*). Segue-se um número de linhas igual ao número de coordenadas cartesianas associadas ao tipo de problema (ver Quadro 2.2). Em cada uma destas linhas deverá figurar, além da numeração do vector, os cosenos dos ângulos que os eixos do sistema especificado fazem com os eixos do sistema global.

2.2.8 - Apoios elásticos em pontos nodais da estrutura

Neste bloco é necessário fornecer os seguintes dados:

- Na 1ª coluna (*ipspr*) o contador dos apoios elásticos. Este contador deve ser fornecido por ordem crescente.
- Na 2ª coluna (*nsprp*) o número do ponto nodal com apoio elástico.
- Na 3ª coluna (*ityvs*) o número do vector associado ao apoio elástico, em correspondência com o bloco de dados em que é definida a direcção desse vector.
- Na 4ª coluna (*sprva*) o valor da rigidez do apoio elástico.
- Na 5ª coluna (*trrig*) um caracter (*t* ou *r*) que define se o apoio elástico introduz uma rigidez extensional (correspondente a um grau de liberdade de deslocamento) ou uma rigidez rotacional (correspondente a um grau de liberdade de rotação).

2.2.9 - Vectores que definem a direcção dos apoios elásticos

Este bloco é constituído por um número de módulos em correspondência com a variável *nsspv* (número de vectores distintos que definem a direcção dos apoios elásticos - ver Secção 2.2.2). A identificação do vector associado ao apoio elástico é efectuada por intermédio da variável *ityvs* (3ª coluna do bloco correspondente aos apoios elásticos em pontos nodais da estrutura - ver Secção 2.2.8).

Em cada módulo deve ser fornecido, na primeira linha e por ordem crescente, o contador dos diferentes vectores associados aos apoios elásticos (*sspv*). Na linha seguinte deverá figurar os cosenos dos ângulos que o vector que define a direcção do apoio elástico realiza com os eixos do referencial global. O número de cosenos directores deverá ser igual ao número de coordenadas cartesianas do tipo de problema em causa (ver Quadro 2.2).

2.2.10 - Propriedades físicas dos materiais

O bloco de dados correspondente às propriedades físicas dos materiais é constituído por um número de linhas em número igual ao valor atribuído à variável *nmats* (número de materiais com propriedades físicas diferentes).

Em cada linha deve ser colocada a seguinte informação:

- 1ª coluna - *imats* - número do conjunto de propriedades (ordem crescente)
- 2ª coluna - *young* - módulo de elasticidade [FL^{-2}]
- 3ª coluna - *poiss* - coeficiente de Poisson [adimensional]
- 4ª coluna - *dense* - massa específica [ML^{-3}] = [$FL^{-4}T^2$]
- 5ª coluna - *alpha* - coeficiente de dilatação térmica [$(^{\circ}C)^{-1}$]

2.2.11 - Propriedades geométricas associadas aos nós dos elementos

Este bloco é constituído por um número de módulos em correspondência com a variável *nspen* (número de secções nodais com propriedades geométricas distintas) (ver Secção 2.2.2). A identificação do elemento com o correspondente conjunto de propriedades nodais é efectuada por intermédio da variável *ielnp* (terceira coluna do bloco correspondente aos dados que definem a topologia da malha) (ver Secção 2.2.3).

Em cada módulo deve ser fornecido, na primeira linha e por ordem crescente, o contador dos diferentes conjuntos de propriedades nodais (*ispn*). Segue-se um número de linhas igual ao número de nós do elemento a caracterizar. Em cada uma destas linhas deverá figurar, além da numeração local do nó, um número de valores em correspondência com o que é indicado no Quadro 2.7. Para *ntype* igual a 2, 3 ou 4, todo este bloco de dados tem que ser omitido.

Quadro 2.7 - Propriedades geométricas nodais em função do tipo de estrutura (*ntype*)

	Propriedades geométricas associadas aos nós dos elementos				
Tipo de estrutura (<i>ntype</i>)	2ª coluna	3ª coluna	4ª coluna	5ª coluna	6ª coluna
1, 5, 6, 9	espessura [L]				
7	barea [L^2]	binet [L^4]	binl2 [L^4]	binl3 [L^4]	bangl [graus]
8	barea [L^2]				

Este modo de fornecer as características geométricas dos elementos permite a existência de descontinuidade de propriedades entre elementos adjacentes.

Na segunda coluna, para *ntype* = 1, 5, 6, 9 encontra-se a espessura do elemento nos nós.

Para *ntype* igual a 7 ou 8 deverão ser fornecidas as características das secções transversais da barra nos nós. Na presente versão do programa, as propriedades dos dois nós terão de ser exactamente iguais (barra de secção constante). Estas propriedades encontram-se no referencial local da barra l_1 , l_2 , l_3 , cuja definição se encontra no Anexo C. O significado das abreviaturas do Quadro 2.7 é a seguinte:

<i>barea</i> =>	área da secção transversal
<i>binet</i> =>	momento de inércia à torção da barra (só coincide com a inércia polar em certos casos particulares).
<i>bin21</i> =>	momento de inércia à flexão em relação ao eixo l_2 .
<i>bin31</i> =>	momento de inércia à flexão em relação ao eixo l_3 .
<i>bangl</i> =>	ângulo que define a posição dos eixos l_2 e l_3 na secção transversal da barra (ver Anexo C).

2.2.12 - Faces de elementos apoiadas em meio elástico

Este bloco é constituído por um número de módulos em correspondência com a variável *nwink* (número de faces de elementos em que actua uma rigidez por unidade de superfície (F/L^3)) (ver Secção 2.2.2). Esta rigidez simula correntemente os módulos de reacção do solo, representados pelos coeficientes de Winkler. A rigidez por unidade de superfície apenas pode actuar nos seguintes tipos de problemas: *ntype* =4, 5, 6 e 9.

Em cada módulo deve ser fornecido, na primeira linha e por ordem crescente, o contador das faces de elementos apoiadas em meio elástico (*iwink*) e o número do elemento a que a face pertence. Segue-se um número de linhas igual ao número de nós da face do elemento. Em cada uma destas linhas deverá figurar, além da numeração global do nó, um número de valores em correspondência com o que é indicado no Quadro 2.8. A rigidez superficial é referida ao sistema local do elemento, S_i .

Quadro 2.8 - Rigidez superficial (coeficientes de Winkler) em função do tipo de estrutura (*n*type).

Tipo de estrutura (<i>n</i> type)	Fases de elementos apoiadas em meio elástico		
	2ª coluna	3ª coluna	4ª coluna
5	rigidez segundo s_3 [FL ⁻³]	-	-
4, 6, 9	rigidez segundo s_1 [FL ⁻³]	rigidez segundo s_2 [FL ⁻³]	rigidez segundo s_3 [FL ⁻³]

2.2.13 - Acções

No ficheiro de dados relativo ao programa *FEMIX* podem existir vários conjuntos independentes de acções constituindo cada um deles um caso de carga.

No Quadro 2.9 encontra-se a lista das possíveis acções e, para cada uma delas, os tipos de estruturas em que essa acção pode ser aplicada.

Quadro 2.9 - Disponibilidade das diferentes acções para os diversos tipos de estruturas.

Acção	<i>n</i> type	
Forças generalizadas aplicada em pontos	nodais	1 a 9
	do interior do elemento	7 e 8
Gravítica		1 a 9
Forças generalizadas distribuídas por unidade de comprimento	em elementos	1 a 6 e 9
	uniformemente em barras	7 e 8
	trapezoidalmente em barras	7 e 8
Forças generalizadas distribuídas por unidade de área nas faces dos elementos		1 a 6 e 9
Térmica	em nós	1 a 4, 6, 9
	em elementos	7 e 8
Deslocamentos prescritos		1 a 9

2.2.13.1 - Título do caso de carga

A frase correspondente ao título do caso de carga não pode exceder os 80 caracteres.

2.2.13.2 - Parâmetros que caracterizam as acções em cada caso de carga.

Este bloco de dados é constituído por dez linhas (ver ficheiro de dados exemplo), contendo cada uma delas um parâmetro que traduz o número de vezes que cada tipo de acção ocorre. Qualquer dos parâmetros pode ser nulo indicando, nesse caso, a inexistência desse tipo de acção.

- nplod*** - (*ntype* de 1 a 9) - número de carregamentos correspondentes a forças generalizadas aplicadas em pontos nodais.
- ngrav*** - (*ntype* de 1 a 9) - o valor unitário significa que se pretende solicitar a estrutura com a acção gravítica. O valor nulo significa que esta acção não é considerada.
- nedge***- (*ntype* de 1 a 6 e 9) - número de carregamentos correspondentes a forças generalizadas distribuídas por unidade de comprimento em bordos de elementos.
- nface*** - (*ntype* de 1 a 6 e 9) - número de carregamentos correspondentes a forças generalizadas distribuídas por unidade de área nas faces dos elementos.
- nteme***- (*ntype* 1 a 6 e 9) - número de elementos sujeitos a uma variação de temperatura não nula.
- nudis*** - (*ntype* 7 ou 8) - número de carregamentos correspondentes a forças generalizadas distribuídas uniformemente nas barras.
- ntral*** - (*ntype* 7 ou 8) - número de carregamentos correspondentes a forças generalizadas distribuídas trapezoidalmente nas barras.
- nepoi*** - (*ntype* 7 ou 8) - número de carregamentos correspondentes a forças generalizadas aplicadas num ponto do interior da barra.
- ntemb*** - (*ntype* 7 ou 8) - número de carregamentos correspondentes a variação de temperatura não nula em barras.
- nprva*** - (*ntype* de 1 a 9) - número de graus de liberdade com o respectivo deslocamento generalizado prescrito. Os graus de liberdade com deslocamento generalizado prescrito têm de ser ligados ao exterior.

2.2.13.3 - Forças generalizadas aplicadas em pontos

Esta acção tem um tratamento e um bloco de dados distinto conforme se trate de pontos nodais (*ntype* de 1 a 9) ou de pontos no interior de elementos de barra prismática (*ntype* 7 ou 8).

2.2.13.3.1 - Forças generalizadas aplicadas em pontos nodais

O bloco de dados correspondente a forças generalizadas aplicadas em pontos nodais é extensivo a todos os tipos de problemas (*ntype* de 1 a 9). O número de linhas que constitui este bloco de dados tem de ser igual ao número atribuído à variável *nplod* (ver Secção 2.2.13.2).

Em cada linha tem de figurar na primeira coluna (*iplod*), por ordem numérica crescente, o contador dos nós com forças aplicadas. Na segunda coluna deve ser colocado o número do nó solicitado. Nas restantes colunas, cujo número é igual ao número de graus de liberdade do nó (ver Quadro 2.3), devem ser fornecidos os valores das forças generalizadas aplicadas no respectivo nó.

As componentes das forças generalizadas devem ser referidas ao sistema global de eixos, exceptuando os momentos associados a nós coplanares de elementos de casca. Neste último caso os momentos (4º e 5º grau de liberdade) devem ser referidos ao sistema local de eixos do respectivo nó, sendo ignorado o momento correspondente ao 6º grau de liberdade.

Nas Figs. 2.13 a 2.19 apresentam-se os sentidos positivos das forças generalizadas aplicadas em pontos nodais, considerando a seguinte nomenclatura:

F - força [F]

M - momento [FL]

P - força generalizada (F ou M)

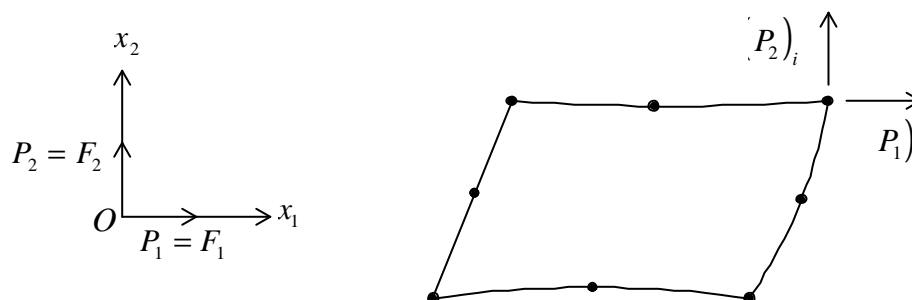


Fig. 2.13 - Forças generalizadas aplicadas em pontos nodais para *ntype* = 1, 2 ou 3 (referencial geral).

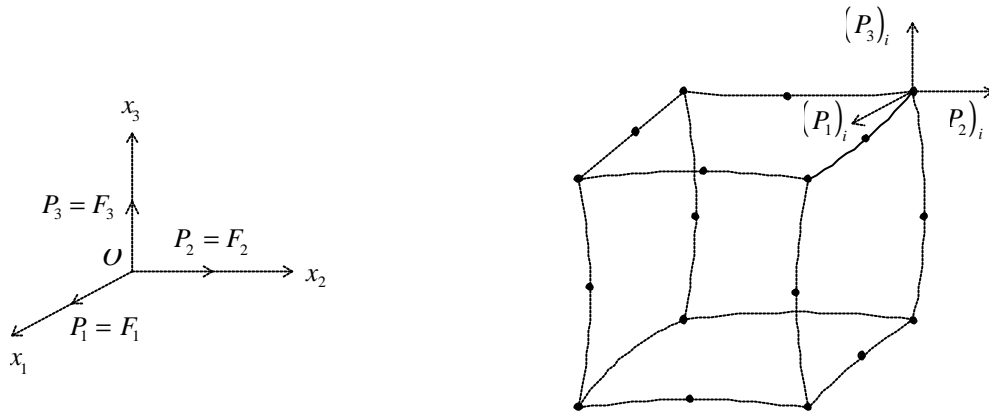


Fig. 2.14 - Forças generalizadas aplicadas em pontos nodais para *ntype* = 4 (referencial geral).

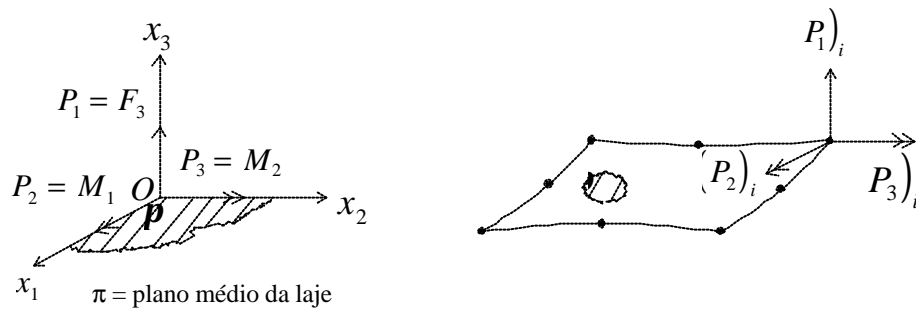
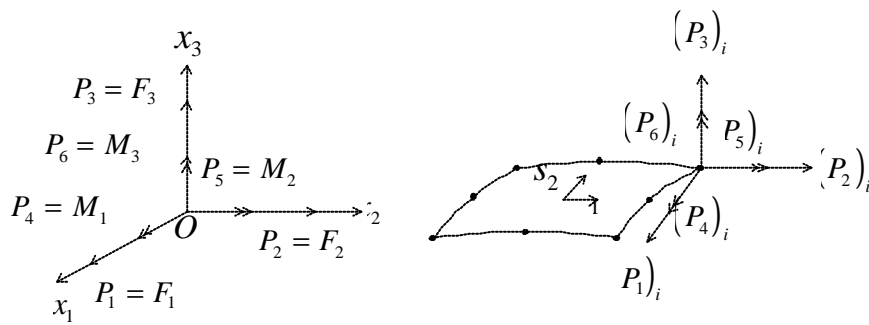
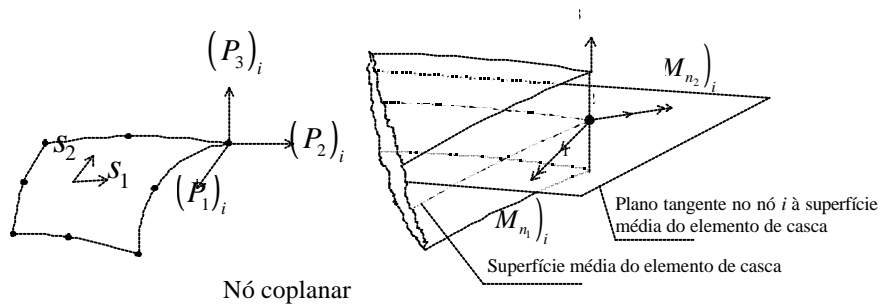


Fig. 2.15 - Forças generalizadas aplicadas em pontos nodais para *ntype* = 5 (referencial geral).



Nó não coplanar (referencial geral)



Nó coplanar

Fig. 2.16 - Forças generalizadas aplicadas em pontos nodais para *ntype* = 6.

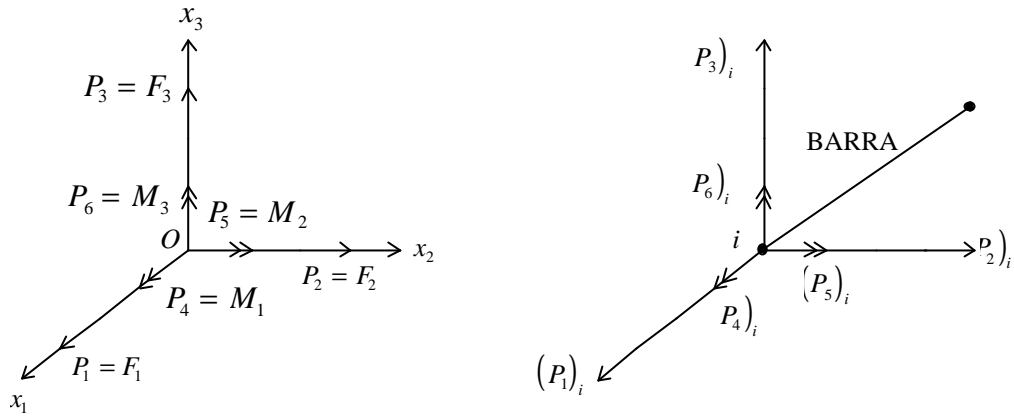


Fig. 2.17 - Forças generalizadas aplicadas em pontos nodais para *ntype* = 7 (referencial geral).

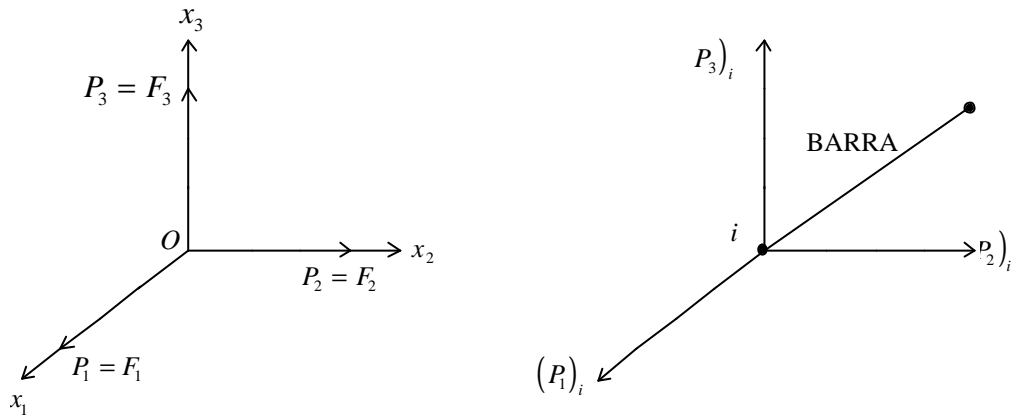


Fig. 2.18 - Forças generalizadas aplicadas em pontos nodais para *ntype* = 8 (referencial geral).

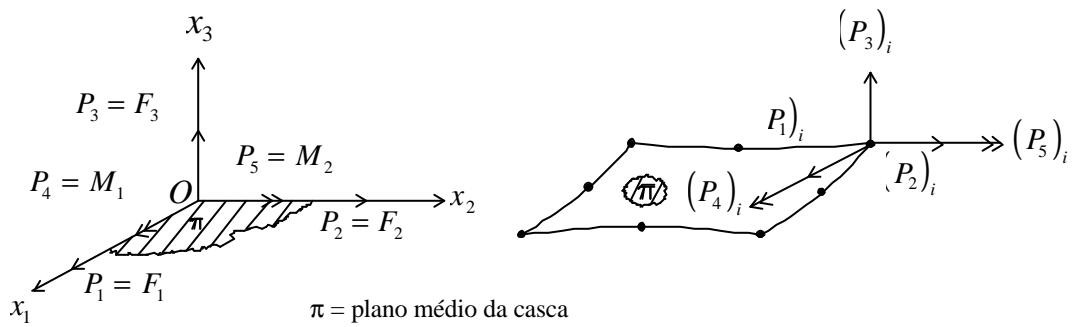


Fig. 2.19 - Forças generalizadas aplicadas em pontos nodais para *ntype* = 9 (referencial geral).

2.2.13.3.2 - Forças generalizadas aplicadas em pontos do interior do elemento

Este tipo de carregamento apenas é admitido em elementos de barra prismática (*ntype* 7 ou 8). No ficheiro de dados tem de figurar o contador deste tipo de carregamento, de acordo com o parâmetro *nepoi* (ver Secção 2.2.13.2), o número do elemento, a distância *d* à extremidade esquerda, medida ao longo do eixo da barra (ver Fig. 2.20), e os valores das forças generalizadas no referencial geral (ver Secção 2.2.13.3.1). A extremidade esquerda é a de numeração global mais baixa.

De acordo com o Sistema Internacional, as forças tem a dimensão [F] e os momentos a dimensão [FL]. Este tipo de carregamento pode ser repetido várias vezes para a mesma barra.

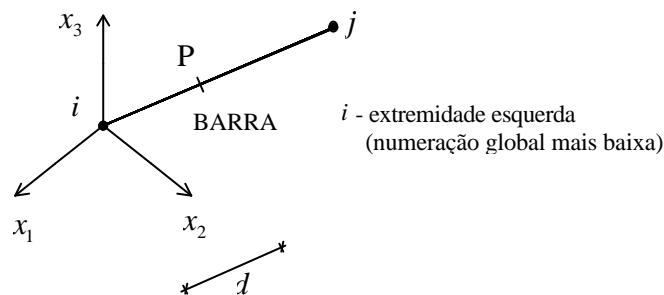


Fig. 2.20 - Localização do ponto de aplicação das forças generalizadas (P).

2.2.13.4 - Acção gravítica

Este bloco de dados é constituído por uma única linha, em que deve figurar as acelerações da gravidade em correspondência com os graus de liberdade dos nós da estrutura. Estes valores devem ser referidos ao sistema global de eixos.

No Quadro 2.10 apresenta-se os valores que devem ser fornecidos para cada tipo de estrutura (supõe-se que as estruturas planas estão contidos no plano x_1x_2).

A força por unidade de volume correspondente à acção gravítica é calculada pelo programa recorrendo ao produto da massa por unidade de volume (*dense* - $[ML^{-3}]$) (ver Secção 2.2.10) pela aceleração da gravidade (*gravi* - $[LT^{-2}]$).

Quadro 2.10 - Componentes de aceleração da gravidade para cada tipo de estrutura.

<i>ntype</i>	Componentes de aceleração da gravidade $[LT^{-2}]$ (referencial geral)					
	Grau de liberdade/columna no ficheiro					
	1	2	3	4	5	6
1, 2, 3	segundo x_1	segundo x_2	-	-	-	-
4, 8	segundo x_1	segundo x_2	segundo x_3	-	-	-
5	segundo x_3	0 (*)	0 (*)	-	-	-
6, 7	segundo x_1	segundo x_2	segundo x_3	0 (*)	0 (*)	0 (*)
9	segundo x_1	segundo x_2	segundo x_3	0 (*)	0 (*)	-

(*) Tem de ser fornecido um valor nulo.

Apresenta-se em seguida uma tabela (Quadro 2.11) destinada a esclarecer a escolha das unidades utilizadas nas grandezas associadas à acção gravítica.

Quadro 2.11 - Exemplos de conjuntos coerentes de unidades.

Grandeza	Unidades (*)					
Força	N	kN	MN	N	kN	MN
Comprimento	m	m	m	mm	mm	mm
Momento	Nm	kNm	MNm	Nmm	kNmm	MNmm
Tensão	Pa	kPa	MPa	N/mm ²	kN/mm ²	MN/mm ²
Massa específica	kg/m ³	t/m ³	kt/m ³	kg/mm ³	t/mm ³	kt/mm ³
Aceleração gravítica	m/s ²	m/s ²	m/s ²	m/s ²	m/s ²	m/s ²

(*) A cada coluna corresponde um conjunto coerente de unidades.

2.2.13.5 - Forças generalizadas distribuídas por unidade de comprimento

Esta acção tem um tratamento e um bloco de dados distinto conforme se trate de bordos de elementos finitos (*ntype* de 1 a 6 e 9) ou de barras prismáticas (*ntype* 7 ou 8). As barras prismáticas podem ainda ser solicitadas por forças generalizadas distribuídas uniformemente ou trapezoidalmente.

2.2.13.5.1 - Forças generalizadas distribuídas por unidade de comprimento em bordos de elementos

Esta acção é caracterizada por um conjunto de forças generalizadas em correspondência com os graus de liberdade existentes em cada tipo de problema. As componentes das forças generalizadas distribuídas são especificadas nos referenciais associados aos nós do bordo do elemento (ver Fig. 2.21). A orientação destes referenciais depende da sequência de nós $i, j, (k)$, sendo i o primeiro nó que figura no ficheiro de dados na lista de nós que identifica o bordo que possui este tipo de carregamento. Nos elementos com dois nós por bordo apenas existem os nós i e j . O primeiro e último nó da numeração dos bordos têm de ser nós de extremidade do bordo do elemento. A sequência de nós $i, j, (k)$ define o sentido positivo do eixo tangencial ao bordo do elemento.

Nos elementos de volume ($n\text{type}=4$), o eixo e_1 é tangente à aresta e os eixos e_{n_A} e e_{n_B} são normais às faces A e B, respectivamente.

$$f_{e_1} [FL^{-1}]$$

$$f_{e_2} [FL^{-1}]$$

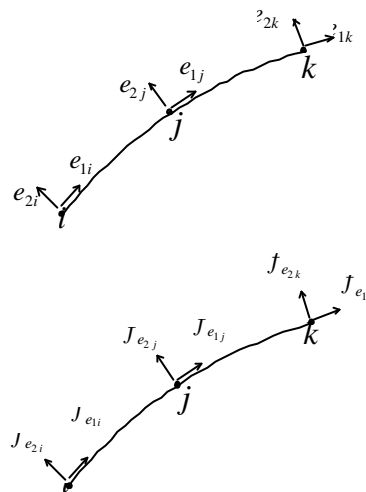


Figura 2.21a - Referenciais associada a forças generalizadas distribuídas em bordos de elementos finitos para $n\text{type}=1, 2$ e 3 .

$$f_{e_1} [FL^{-1}]$$

$$f_{e_{nA}} [FL^{-1}]$$

$$f_{e_{nB}} [FL^{-1}]$$

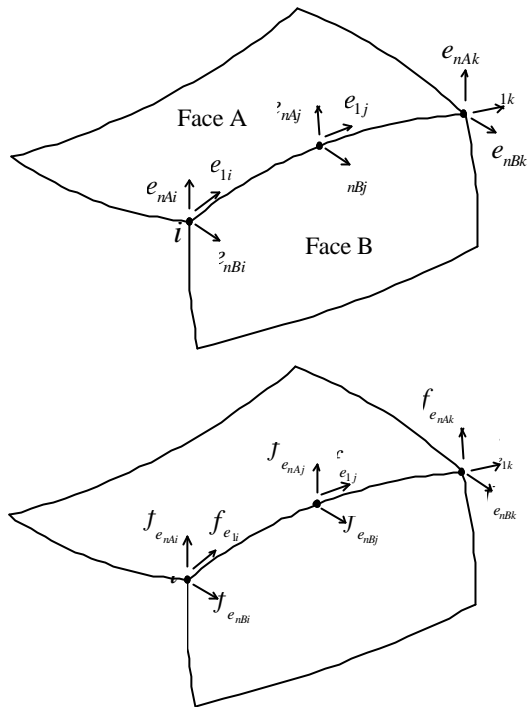


Figura 2.21b - Referenciais associada a forças generalizadas distribuídas em bordos de elementos finitos para *ntype*=4.

$$f_{e_1} [FL^{-1}]$$

$$m_{e_2} [F]$$

$$m_{e_3} [F]$$

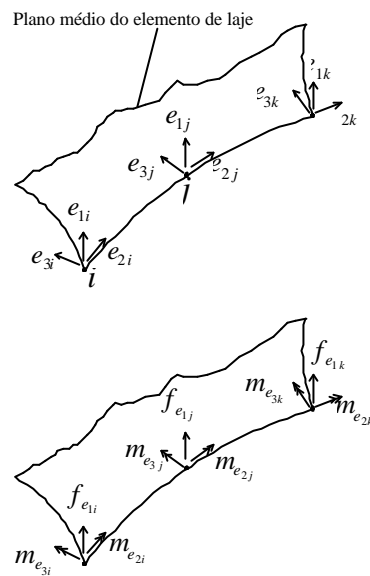
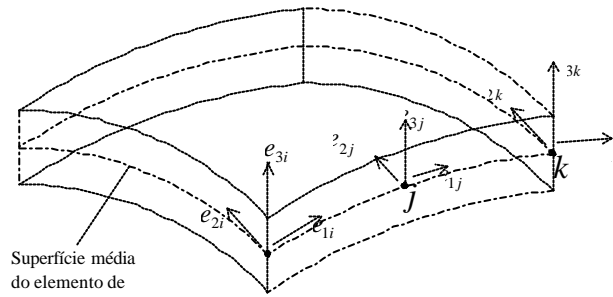


Figura 2.21c - Referenciais associada a forças generalizadas distribuídas em bordos de elementos finitos para *ntype*=5.

- $f_{e_1} [FL^{-1}]$
- $f_{e_2} [FL^{-1}]$
- $f_{e_3} [FL^{-1}]$
- $m_{e_2} [F]$
- $m_{e_3} [F]$



Nota: O momento distribuído correspondente ao 6º grau de liberdade é ignorado

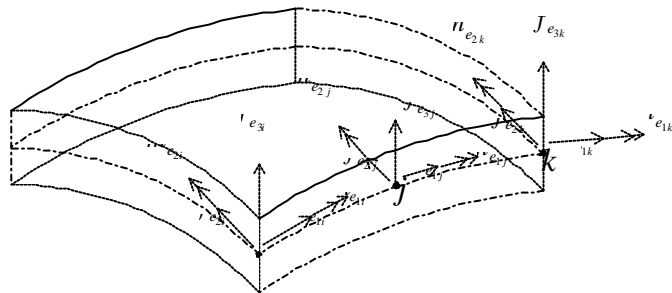


Figura 2.21d - Referenciais associada a forças generalizadas distribuídas em bordos de elementos finitos para *ntype*=6.

- $f_{e_1} [FL^{-1}]$
- $f_{e_2} [FL^{-1}]$
- $f_{e_3} [FL^{-1}]$
- $m_{e_2} [F]$
- $m_{e_3} [F]$

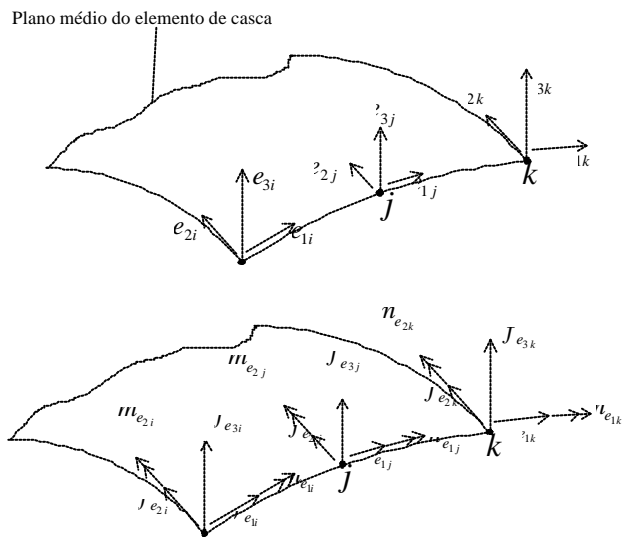


Figura 2.21e - Referenciais associada a forças generalizadas distribuídas em bordos de elementos finitos para *ntype*=9.

Foi referido que a sequência de nós $i, j, (k)$ define o sentido positivo do eixo tangencial ao bordo do elemento. No caso dos elementos planos com *ntype* de 1 a 3, o outro eixo local é normal ao bordo, formando com o eixo tangencial um referencial directo em que e_1 é o primeiro eixo e e_2 o segundo (ver Fig. 2.22).

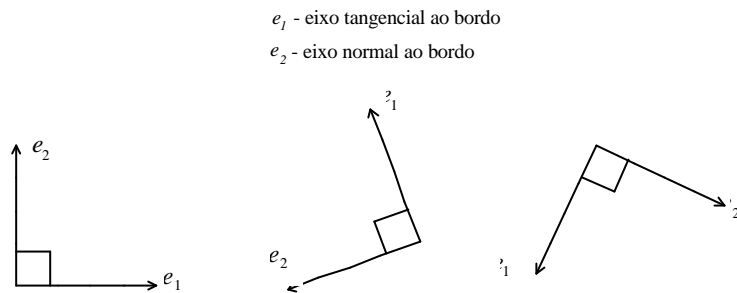


Fig. 2.22 - Referencial local directo e_1, e_2 em diferentes posições (*ntype* de 1 a 3)

No sistema de eixos associado a cada nó de um bordo de elemento de laje, o eixo e_1 é normal ao plano médio da laje e positivo segundo x_3 (no caso da laje estar inscrita no plano x_1x_2). O eixo e_2 é tangente ao lado no correspondente nó e com o sentido da numeração dos nós que definem o bordo. O eixo e_3 é normal ao bordo, está contido no plano médio da laje e forma com o eixo e_2 um referencial directo em que e_2 é o primeiro e e_3 o segundo (ver Fig. 2.23).

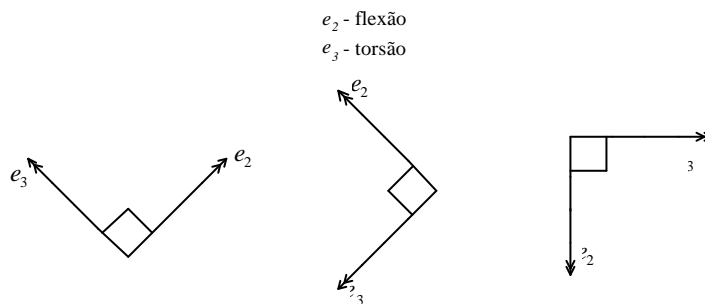


Fig. 2.23 - Referencial local directo e_2, e_3 em diferentes posições (*ntype* = 5).

No sistema de eixos associado a cada nó de um bordo de elemento de casca espacial (*ntype*=6), ver Fig. 2.21d, o eixo e_1 é tangente ao bordo no correspondente nó e com o sentido da numeração dos nós que definem o bordo. O eixo e_2 é normal ao bordo, está contido no plano tangente à superfície média da

casca no nó e está dirigido para o interior do elemento. O eixo e_3 é normal ao plano tangente à superfície média da casca no nó e forma um triedro directo com os anteriores eixos, em que e_1 é o primeiro eixo do triedro, e_2 o segundo e e_3 o terceiro.

No sistema de eixos associado a cada nó de um bordo de elemento de casca plana ($ntype=9$), ver Fig. 2.21e, o eixo e_1 é tangente ao bordo no correspondente nó e com o sentido da numeração dos nós que definem o bordo. O eixo e_2 é normal ao bordo, está contido no plano da superfície média da casca e está dirigido para o interior do elemento. O eixo e_3 é normal à superfície média da casca e forma um triedro directo com os anteriores eixos, em que e_1 é o primeiro eixo do triedro, e_2 o segundo e e_3 o terceiro.

Para cada bordo de elemento solicitado é necessário fornecer os seguintes dados (ver o exemplo da Fig. 2.24):

a) #	iedge	loele		
b)	1	7		
c) #	lopoe	fe1	fe2	
d)	91	3.0	-7.0	
e)	53	3.0	-6.0	
f)	81	3.0	-5.0	

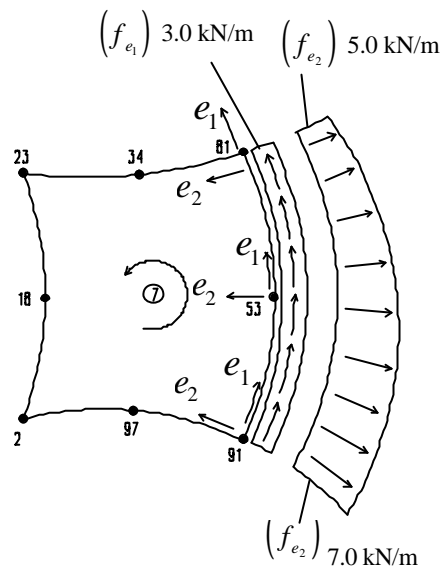


Fig. 2.24 - Exemplo de acção distribuída por unidade de comprimento num bordo de elemento ($ntype=1, 2, 3$).

As linhas a) e c) são comentários opcionais pois começam por #. Na linha b) figuram o contador de bordos solicitados e o número do elemento solicitado. O número total de bordos solicitados tem de ser igual ao valor atribuído à variável **nedge** (ver Secção 2.2.13.2). As linhas d) a f) correspondem ao número do nó (numeração global) e às cargas distribuídas tangencial e normal ao bordo (segundo os eixos e_1 e e_2 , respectivamente, para $ntype=1, 2$ e 3).

Nos elementos de volume (*ntype* = 4), solicitados por acções distribuídas nos seus bordos, além da estrutura de dados anterior é necessário fornecer a lista de nós das faces adjacentes ao bordo solicitado. Assim, tomando a Fig. 2.25 como exemplo, tem de se fornecer a seguinte informação adicional:

```
# Lista dos nós da face A
91 53 81 34 23 18 2 7
# Lista dos nós da face B
91 53 81 78 87 86 85 61
```

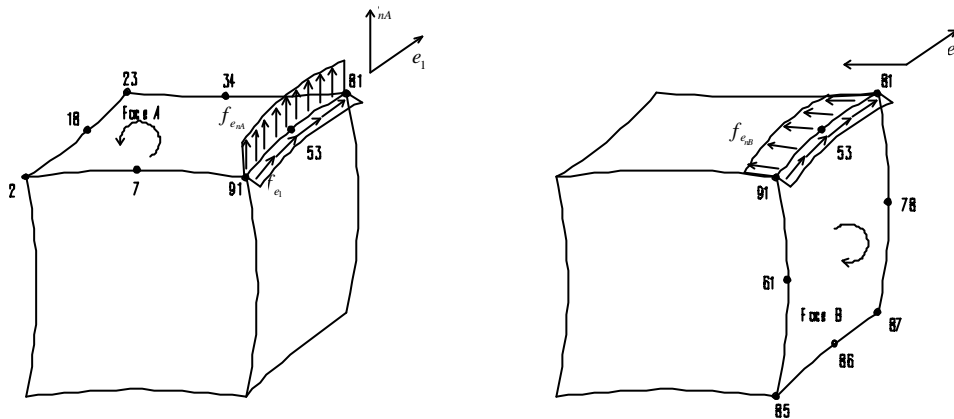


Fig. 2.25 - Definição do referencial em que têm de ser fornecidas as cargas distribuídas nos bordos dos elementos de sólido tridimensional.

A ordem pela qual é dada a lista dos nós de cada face adjacente define, pela regra do saca rolhas, o sentido positivo da componente normal a essa face.

Na definição de ambas as faces adjacentes, os primeiros nós da lista devem ser os que definem o bordo e têm de ser dados pela mesma ordem.

A componente f_{e_1} é tangente à aresta e as componentes $f_{e_{nA}}$ e $f_{e_{nB}}$ são normais às faces A e B, respectivamente.

2.2.13.5.2 - Forças generalizadas distribuídas uniformemente em barras

As cargas distribuídas nas barras de pórtico ou de treliça tridimensionais têm de ser fornecidas no referencial local da barra (ver Anexo C). O valor da carga distribuída é constante, existe em todo o comprimento da barra e tem componentes de força ou momento por unidade de comprimento medido ao longo do eixo da barra. As forças tem dimensão $[F]$ e os momentos $[FL^{-1}]$. Na Fig. 2.26 encontra-se um exemplo deste tipo de carregamento.

No ficheiro de dados tem de figurar em cada linha o contador de barras com este tipo de carregamento, de acordo com o parâmetro *nudis* (ver Secção 2.2.13.2), o número do elemento solicitado e o valor da carga distribuída segundo todos os graus de liberdade (6 no pórtico e 3 no caso da treliça).

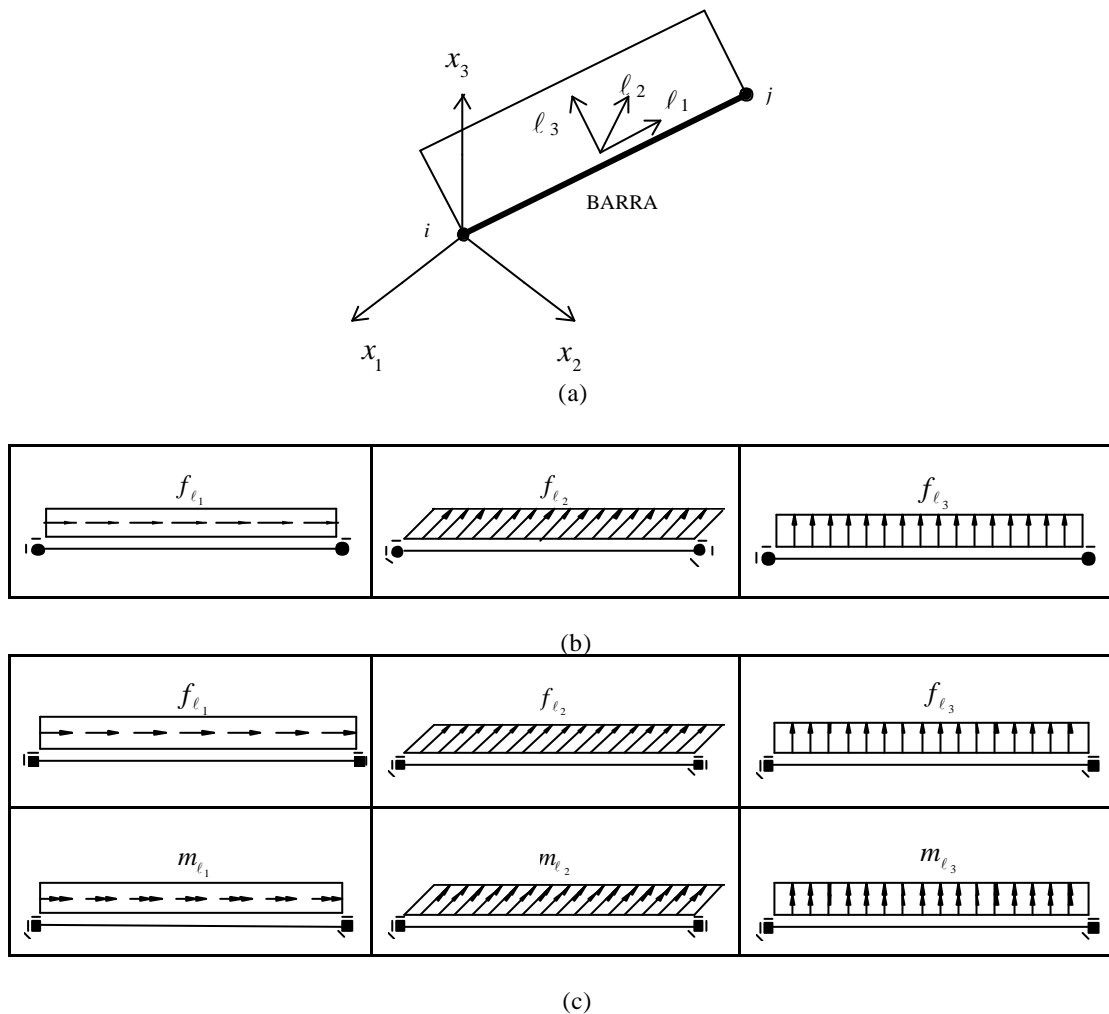


Fig. 2.26 - Carga distribuída uniformemente numa barra (a) de treliça (b) e pórtico tridimensional (c) no referencial local.

2.2.13.5.3 - Forças generalizadas distribuídas trapezoidalmente em barras

As cargas distribuídas trapezoidalmente em barras têm de ser fornecidas no referencial local da barra (ver Anexo C). O valor da carga distribuída varia linearmente, existe em todo o comprimento da barra e tem componentes de força ou momento por unidade de comprimento medido ao longo do eixo da barra. As forças têm dimensão $[F]$ e os momentos $[FL^{-1}]$. Na Fig. 2.27 encontra-se um exemplo deste tipo de carregamento.

No ficheiro de dados tem de figurar em cada linha o contador de barras com este tipo de carregamento de acordo com o parâmetro *ntiril* (ver Secção 2.2.13.2), o número do elemento solicitado e o valor da carga distribuída segundo todos os graus de liberdade do nó da extremidade esquerda e da extremidade direita da barra (12 no pórtico e 6 no caso da treliça).

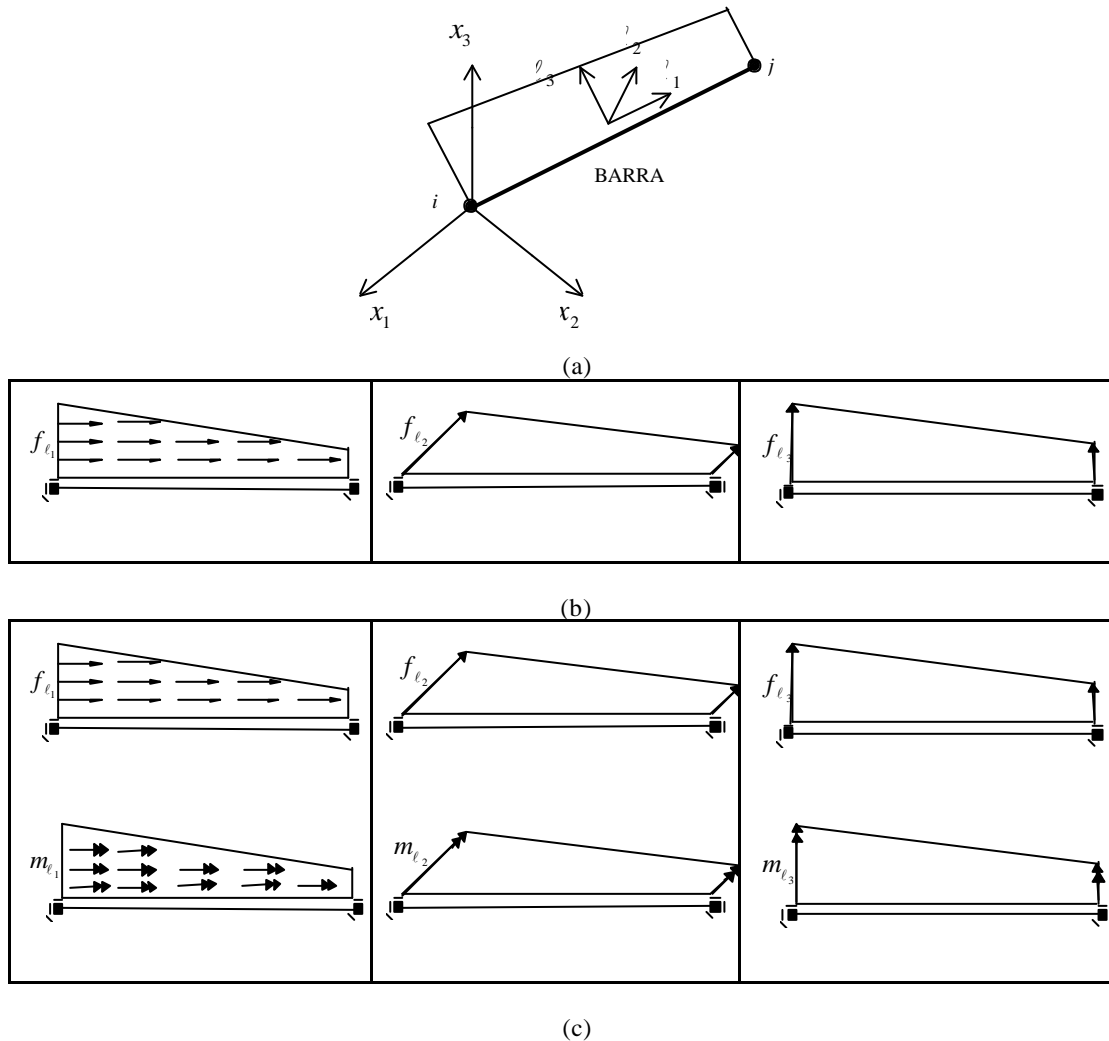


Fig. 2.27 - Carga distribuída trapezoidalmente numa barra (a) de treliça (b) e pórtico tridimensional (c) no referencial local.

2.2.13.6 - Forças generalizadas distribuídas por unidade de área nas faces dos elementos

Esta acção é caracterizada por um conjunto de forças generalizadas distribuídas nas faces dos elementos em correspondência com os graus de liberdade existentes em cada tipo de problema.

As componentes das forças generalizadas distribuídas devem ser referidas ao sistema de eixos local do respectivo nó.

Os referenciais associados às forças generalizadas distribuídas nas faces dos elementos para os diferentes tipos de problemas (*ntype* de 1 a 6 e 9) são indicados na Fig. 2.28.

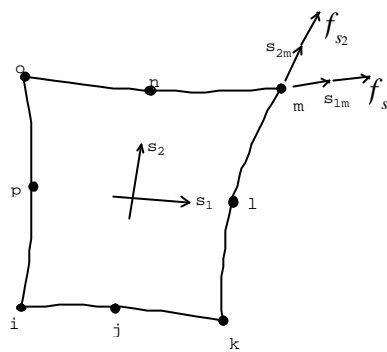


Fig. 2.28a - Referenciais associados às forças generalizadas distribuídas por unidade de área nas faces dos elementos, para *ntype*=1,2 e 3.

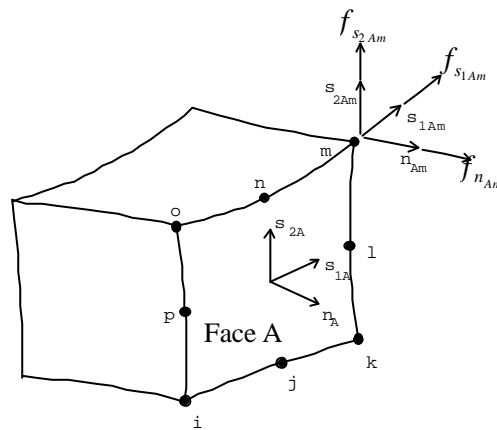


Fig. 2.28b - Referenciais associados às forças generalizadas distribuídas por unidade de área nas faces dos elementos, para *ntype*=4.

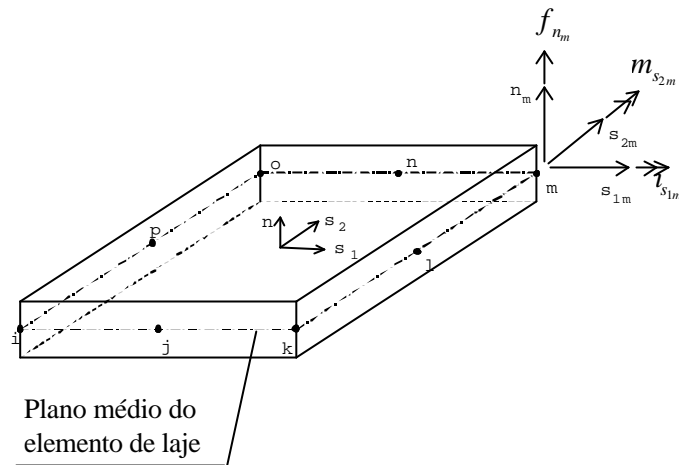


Fig. 2.28c - Referenciais associados às forças generalizadas distribuídas por unidade de área nas faces dos elementos, para $n_{type}=5$.

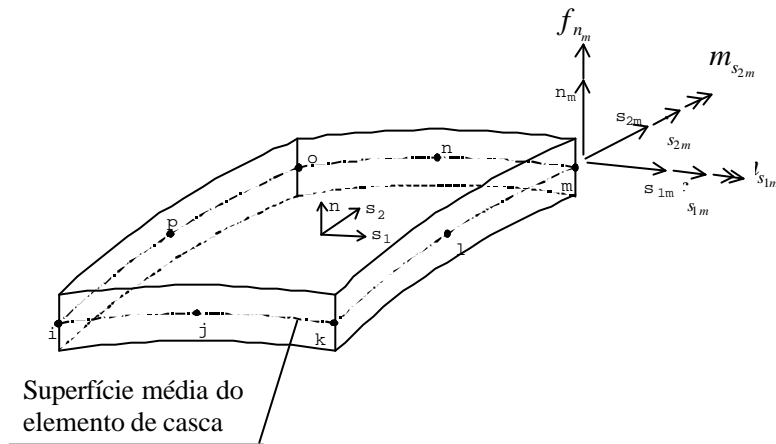


Fig. 2.28d - Referenciais associados às forças generalizadas distribuídas por unidade de área nas faces dos elementos, para $n_{type}=6$.

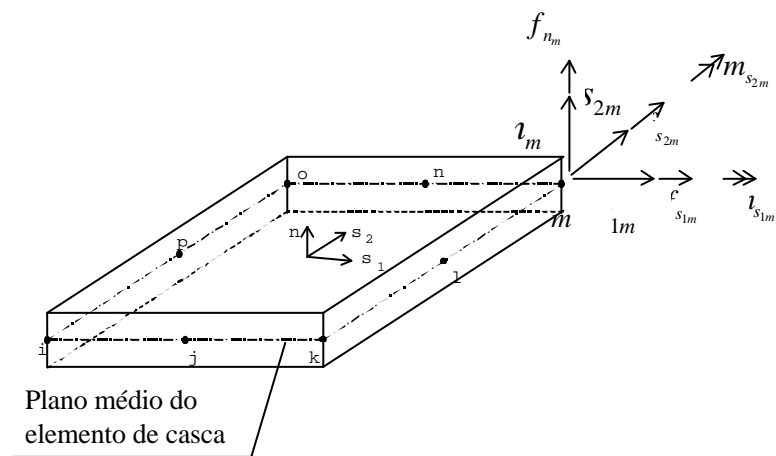


Fig. 2.28e - Referenciais associados às forças generalizadas distribuídas por unidade de área nas faces dos elementos, para $n_{type}=9$.

Nas lajes e cascas as forças generalizadas distribuídas por unidade de área são consideradas aplicadas na superfície média dos elementos.

No elemento de casca o momento distribuído correspondente ao 6º grau de liberdade é ignorado.

A dimensão da força distribuída por unidade de área é $[FL^{-2}]$ e a do momento distribuído por unidade de área é $[FL^{-1}]$.

2.2.13.7 - Acção térmica

2.2.13.7.1 - Acção térmica em pontos nodais de elementos finitos

O bloco de dados correspondentes à acção térmica em pontos nodais de elementos finitos só pode existir nos tipos de estruturas caracterizadas por *ntype* = 1, 2, 3, 4, 6 ou 9. Este bloco é constituído por um número de módulos em correspondência com a variável *nteme* (número de elementos com variação de temperatura) (ver secção 2.2.13.2).

Em cada módulo deve ser fornecido, na primeira linha e por ordem crescente, o contador do elementos com variação de temperatura (*iteme*) e o número do elemento (*loelt*). Segue-se um número de linhas igual ao número de nós do elemento a caracterizar. Em cada uma destas linhas deverá figurar, além da numeração local do nó, um número de valores em correspondência com o que é indicado no Quadro 2.12. Para *ntype* igual a 7 e 8, todo este bloco de dados tem que ser omitido.

Quadro 2.12 - Componentes de variação de temperatura em função do tipo de estrutura (*ntype*).

Tipo de estrutura (<i>ntype</i>)	Componentes de variação de temperatura	
	2ª coluna	3ª coluna
1,2,3,4	Varição uniforme de temperatura	
5	Varição diferencial de temperatura	
6	Varição uniforme de temperatura	0 (*)
9	Varição uniforme de temperatura	Varição diferencial de temperatura

(*) - Tem de ser fornecido um valor nulo

Este modo de fornecer as variações de temperatura permite a existência de descontinuidade de variação de temperatura entre elementos adjacentes.

Para *ntype* = 6 (elemento de casca espacial) a variação de temperatura é considerada uniforme na espessura do elemento, não sendo possível modelar variações de temperatura diferencial entre as suas faces superior e inferior.

O produto do coeficiente de dilatação térmica pela variação de temperatura tem de conduzir a uma deformação adimensional (habitualmente $^{\circ}C^{-1} \times ^{\circ}C$).

2.2.13.7.2 - Acção térmica em barras

O número de linhas que constitui este bloco de dados deverá ser igual ao número atribuído à variável *ntemb* (ver Secção 2.2.13.2). Em cada linha deve ser colocado, na primeira coluna (*itemb*) e por ordem numérica crescente, o contador das barras com variação de temperatura. Na segunda coluna deve figurar o número da barra solicitada pela acção (*lobat*), na terceira coluna a variação de temperatura segundo o eixo da barra (*teunif*), ver Fig.2.30a. Nos pórticos é necessário dar a informação suplementar seguinte (ver Fig. 2.30b): nas quarta e quinta colunas a variação de temperatura (*tebab_12*) e a dimensão da secção (*secth_12*) segundo o eixo local ℓ_2 , nas sexta e sétima colunas a variação de temperatura (*tebab_13*) e a dimensão da secção (*secth_13*) segundo o eixo local ℓ_3 .

A variação de temperatura segundo ℓ_2 é a diferença entre $t_{\ell_2}^+$ e $t_{\ell_2}^-$, em que $t_{\ell_2}^+$ é a variação de temperatura nas fibras extremas da secção, do lado positivo do eixo ℓ_2 , e $t_{\ell_2}^-$ é a variação de temperatura nas fibras extremas da secção, do lado negativo do eixo ℓ_2 . A variação de temperatura segundo o eixo ℓ_3 determina-se de forma análoga à anteriormente descrita, substituindo ℓ_2 por ℓ_3 .

O produto do coeficiente de dilatação térmica pela variação de temperatura tem de conduzir a uma deformação adimensional (habitualmente $^{\circ}C^{-1} \times ^{\circ}C$).

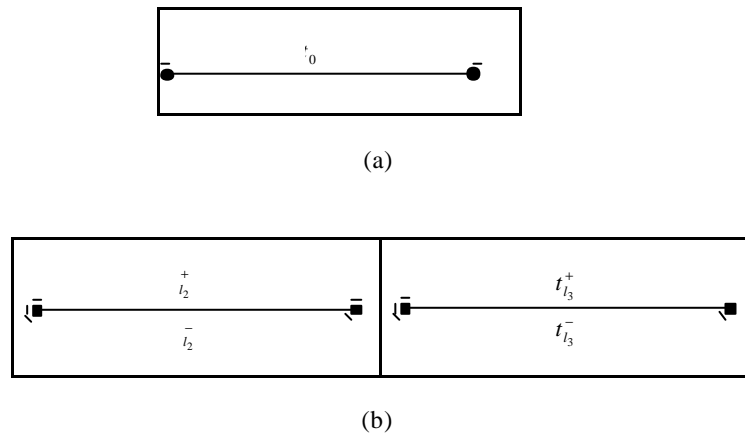


Fig. 2.30 - Acção da variação de temperatura uniforme (a) e diferencial (c) em barras.

2.2.13.8 - Deslocamentos prescritos

O bloco de dados correspondente a deslocamentos prescritos é aplicável a todos os tipos de problemas (*n_{type}* de 1 a 9). O número de linhas que constitui este bloco de dados deverá ser igual ao número atribuído à variável *n_{prva}* (ver Secção 2.2.13.2). Em cada linha devem ser fornecidos os seguintes dados:

- 1ª coluna - *n_{prva}* - contador dos nós com deslocamentos prescritos.
- 2ª coluna - *n_{nodp}* - número do nó solicitado.
- 3ª coluna - *n_{dofp}* - grau de liberdade prescrito.
- 4ª coluna - *p_{val}* - valor do deslocamento prescrito [*L*] ou [adimensional].

Os deslocamentos prescritos são dados no referencial global e podem existir segundo qualquer grau de liberdade do nó, desde que este esteja ligado ao exterior. Exceptuam-se as rotações prescritas em nós coplanares de cascas espaciais (*n_{type}*=6), uma vez que estes graus de liberdade se encontram no referencial tangente à superfície média (ver Fig. 2.6 na Secção 2.2.2). Exceptuam-se ainda os casos dos nós com graus de liberdade em referenciais especificados, dado que neste caso os deslocamentos prescritos são definidos nestes referenciais.