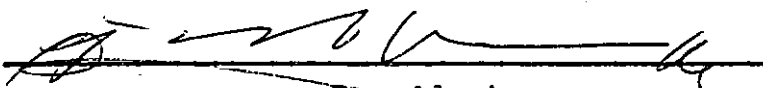


COMPARAÇÃO DE ELEMENTOS FINITOS TRIDIMENSIONAIS


HENRIQUE DE CARVALHO MATOS

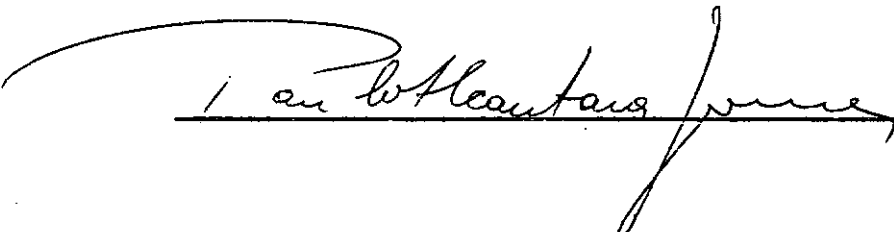
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA (M.Sc.)

Aprovada por:



Presidente





RIO DE JANEIRO

ESTADO DA GUANABARA - BRASIL

NOVEMBRO 1971

À MARISTINA
MINHA COMPANHEIRA

A G R A D E C I M E N T O S

Aos professores Fernando Luiz L. B. Carneiro e Venâncio Filho pelo incentivo, apoio e compreensão, cujas orientações induziram ao trabalho apresentado.

Aos professores e colegas da COPPE, ao núcleo de computação, pela ajuda, colaboração e simpatia prestadas.

SINOPSE

O presente trabalho analisa elementos finitos tridimensionais. Estão estudados os elementos isoparamétricos ZIB-8 e ZIB-20, o elemento tetraedro TET-4, e feito um programa automático com o qual se analisou os elementos hexaédricos ZIB-8 e duas composições de 12 e 24 tetraedros. A apresentação do trabalho está orientada no sentido da preparação de um programa automático que tentasse resolver estruturas tridimensionais de porte médio de maneira satisfatória. A programação do elemento ZIB-20, hexaedro de 8 nós nos vértices e 12 no meio dos lados, apesar de iniciada foi interrompida devido ao fato de se dispor de um computador de memória insuficiente, de ser difícil a entrada de dados ou uma geração automática, e aumentar demasiadamente o tempo de computação.

ABSTRACT

The present work being analyzed are finite three-dimensional elements. The elements studied are the hexahedron isoparametric ZIB-8 and ZIB-20, the tetrahedron TET-4, and there is formed an automatic program where the element ZIB-8 and two compositions of 12 and 24 tetrahedron, are analyzed. The presentation of the work is orientated for preparation of an automatic program to have the ability to resolve three-dimensional structures of middle proportions in a satisfactory manner. The programming of the element ZIB-20, hexahedron of 8 points in vertices and 12 points in the middle of the sides, was interrupted in the beginning because of the fact that the memory of the computer was insufficient, making it difficult for the input of data or the automatic generation, and increased greatly the time of computation.

ÍNDICE

CAP. 1 - Introdução	1
CAP. 2 - Elementos isoparamétricos ZIB-8 e ZIB-20 ...	5
CAP. 3 - Elemento tetraedro - TET 4	15
CAP. 4 - Geração automática do hexaedro	33
CAP. 5 - Método de Gauss com divisão em blocos	36
CAP. 6 - Comparação de resultados e otimização	41
CAP. 7 - Diagramas de blocos simplificados e explica- ções	44
CAP. 8 - Entrada de dados	64
 APÊNDICES	
APÊNDICE 1 - Estado triplo de tensões	72
APÊNDICE 2 - Matriz elástica	78
APÊNDICE 3 - Programa e exemplo	84
 BIBLIOGRAFIA	 83

C A P Í T U L O I

I N T R O D U Ç Ã O

O objetivo essencial deste trabalho é a programação em computador do método dos elementos finitos aplicado a problemas tridimensionais. A busca de elementos finitos tridimensionais se faz necessária quando se tem problemas que não possam ser discretizados e resolvidos como problemas bidimensionais. Há certos tipos de problemas, como os de pontes, barragens em que somente uma análise tridimensional conseguiria uma determinação mais real do estado de tensões despertado na estrutura.

Como parte deste trabalho foi feito um estudo comparativo dos elementos tetraédricos, hexaédricos e isoparamétricos, a fim de se tomar um elemento básico para apresentação de um programa automático e em certos aspectos otimizado.

A escolha dos elementos estudados se deve a um trabalho de Chough e a sugestões apresentadas pelo Prof. Lobo Carneiro e Prof. Venâncio Filho.

O primeiro elemento estudado foi o TET4 com 4 pontos nodais, com 3 deslocamentos por nó. Este elemento se encontra formulado no livro de Przemieniecki², resolvido para meios isótopos. Uma composição de 12 tetraedros gera um hexaedro de 9 pontos nodais, sendo 8 externos e um interno. O nó interno é retirado na matriz de rigidez por condensação, formando um hexaedro de 8 nós. Os resultados obtidos para os des

locamentos mostraram já que este elemento não apresenta bons resultados, e não guarda uma simetria estrutural, isto é: os tetraedros agrupados internamente não se distribuem de maneira simétrica, acarretando com isto valores diferentes para deslocamentos em pontos simétricos da estrutura carregada simetricamente, como é o exemplo de uma peça engastada com carga axial. Este fato serviu de base para o teste de um outro elemento, um hexaedro de 24 tetraedros, tomando-se a média de duas composições de 12 tetraedros. Este hexaedro apresentou melhores resultados aumentando, entretanto, o tempo de computação na formação da matriz de rigidez do elemento.

O prof. Oliveira Pedro em seu trabalho apresentado nas Jornadas Luso-brasileiras³ mostrou hexaedros testados compostos por 5 e 6 tetraedros, chegando a conclusão de que em ambos os casos (de 5 e 6 tetraedros) a composição média fornecia melhores resultados que uma composição tomada separadamente.

O segundo elemento estudado foi o ZIB-8, hexaedro isoparamétrico de 8 pontos nodais e 3 deslocamentos por nó, com função de interpolação linear(Lagrange). Este elemento pôde ser comparado com o hexaedro anterior em igualdade de condições (mesma quantidade de nós e deslocamentos por nó). O ZIB-8 apresentou resultados melhores que o hexaedro composto de tetraedros, comprovando uma conclusão já exposta no mesmo trabalho de Chough: "The principal conclusion of the study is that the diretly formed general hexaedra are superior to the tetraedra" e finalmente "In terms of performance, the isoparametrically formed hexaedra are superior to the tetraedra".

metric elements are demonstrated to be distinctly superior to any tetraedron assemblages".

Foi desenvolvido e estudado também o elemento ZIB-20, com 20 pontos nodais sendo 8 nos vértices do hexaedro e 12 nos meios de cada lado. Este elemento apresenta também 3 graus de liberdade por nó, e uma função de interpolação do 2º grau encontrada por inspeção. Este elemento não foi testado devido a dificuldades de memória interna do computador, apresentando largura de banda exagerada, e sem possibilidade de aplicação prática com computador pequeno e médio. Este elemento deve apresentar bons resultados com poucos elementos em problemas de flexão, como o caso de placas e cascas mas pode ser perfeitamente substituído pelo ZIB-8 nos demais problemas de sólidos maciços.

As dificuldades essenciais encontradas no desenvolvimento deste trabalho se deve basicamente ao fato de se dispor de um computador pequeno para este tipo de problema. Os elementos finitos bidimensionais apresentam dificuldades com entrada de dados numerosa, número grande de equações, e largura de banda quando se trabalha com um sistema de equações armazenado em banda. Nos elementos finitos tridimensionais essas dificuldades se somam e na maioria das vezes se multiplicam.

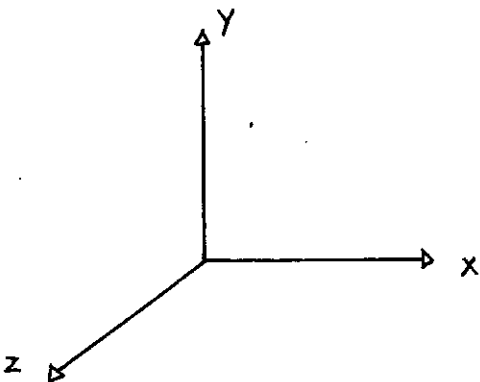
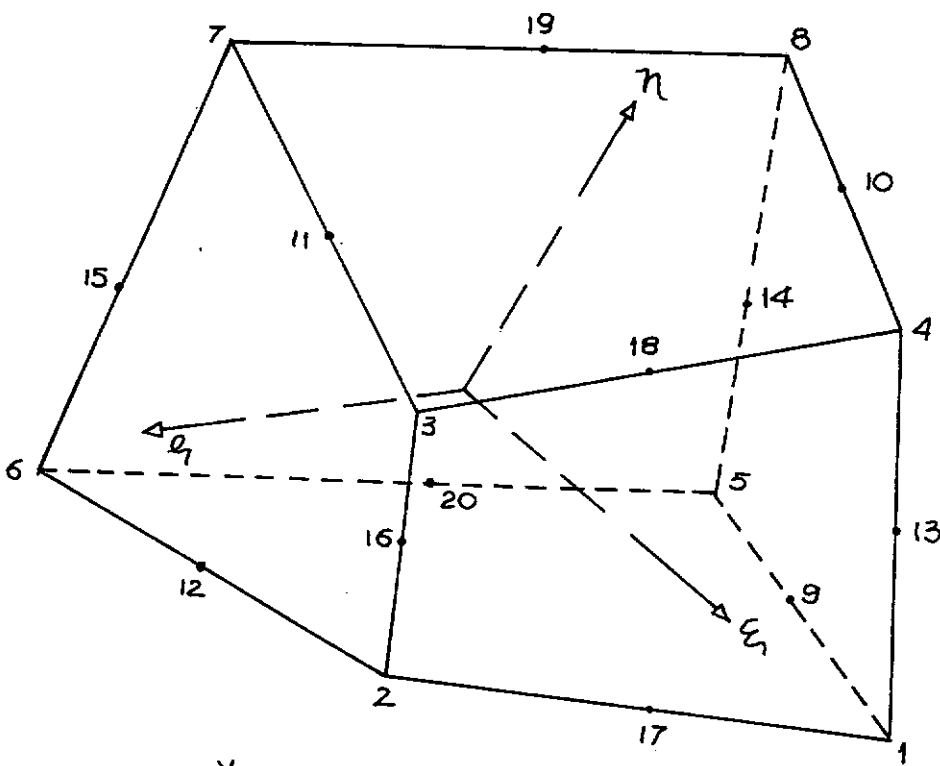
A fim de contornar dificuldades de entrada dos dados da estrutura foi feita uma subrotina de geração automática dos nós, incidências e propriedades elásticas dos elementos para o hexaedro de 8 pontos nodais. Foi incluída também

uma subrotina de resolução de equações em banda, armazenada em blocos, utilizando a técnica de Gauss, na qual se pode tomar arbitrariamente uma largura de banda e um número de equações em cada bloco (múltiplos de 3). Isto vem contornar em parte a dificuldade de se ser forçado a usar um computador pequeno, resolvendo problemas com um grande número de equações e de grande largura de banda.

CAPÍTULO II

ELEMENTOS ISOPARAMÉTRICOS

ZIB-8 E ZIB-20



- 1 (1, -1, -1)
- 2 (1, -1, 1)
- 3 (1, 1, 1)
- 4 (1, 1, -1)
- 5 (-1, 1, -1)
- 6 (-1, -1, 1)
- 7 (-1, 1, 1)
- 8 (-1, 1, -1)
- 9 (0, -1, -1)
- 10 (0, 1, -1)
- 11 (0, 1, 1)
- 12 (0, -1, 1)
- 13 (1, 0, -1)
- 14 (-1, 0, -1)
- 15 (-1, 0, 1)
- 16 (1, 0, 1)
- 17 (1, -1, 0)
- 18 (1, 1, 0)
- 19 (-1, 1, 0)
- 20 (-1, -1, 0)

ZIB-8:

O elemento ZIB-8 tem 8 pontos nodais, com a seguinte função de deslocamentos generalizados.

$$\{u\} = [1, \xi, \eta, \xi, \xi\eta, \eta\xi, \xi\xi, \xi\eta\xi] \{\alpha\} = [M] \{\alpha\}$$

Podemos dizer que:

$$\{\delta_i\}^e = [\bar{A}] \{\alpha\} \quad \therefore \quad \{\alpha\} = [\bar{A}]^{-1} \{\delta_i\}^e$$

Dai concluímos que:

$$\{u\} = [M] [A]^{-1} \{\delta_i\}^e = [N] \{\delta_i\}^e$$

De uma outra forma, por interpolação de lagrange, poderíamos obter diretamente a função interpolação $[N]$ e representar sob a forma:

$$\{u\} = [I N_1, I N_2, \dots, I N_8] \{\delta_i\}^e \quad \therefore \quad I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

onde

$$N_i = \frac{1}{8} (1 + \xi_i \xi_i) (1 + \eta_i \eta_i) (1 + \xi_i \xi_i) \quad i = 1, 8$$

e ξ_i, η_i, ξ_i representa os valores assumidos por ξ, η, ξ

no ponto nodal i.

ZIB-20:

O elemento ZIB-20 tem 20 pontos nodais, 8 nos nós extremos e 12 no meio dos lados. A função de deslocamentos generalizados é:

$$\{u\} = [1, \xi, \eta, \xi, \xi^2, \eta^2, \xi^2, \xi\eta, \eta\xi, \xi\xi, \xi^2\eta, \xi\xi^2, \xi\eta^2, \eta^2\xi, \xi^2\xi, \eta\xi^2, \xi^2\eta\xi, \eta^2\xi\xi, \xi^2\xi\eta] \{\alpha\}$$

De maneira análoga teremos:

$$\{u\} = [M] [\bar{A}]^{-1} \{\delta\}^e \quad \therefore \{u\} = [N] \{\delta_i\}^e$$

$$\{u\} = [IN_1, IN_2, \dots, IN_{20}] \{\delta_i\}^e$$

A função $[N]$ foi encontrada por inspeção (funções de serendipity)

$$N_i = \frac{1}{8} (1 + \xi \xi_i) (1 + \eta \eta_i) (1 + \zeta \zeta_i) (\xi \xi_i + \eta \eta_i + \zeta \zeta_i - 2) \quad i = 1, 8$$

$$N_i = \frac{1}{4} (1 - \xi^2) (1 + \eta \eta_i) (1 + \zeta \zeta_i) \quad i = 9, 12$$

$$N_i = \frac{1}{4} (1 - \eta^2) (1 + \xi \xi_i) (1 + \zeta \zeta_i) \quad i = 13, 16$$

$$N_i = \frac{1}{4} (1 - \zeta^2) (1 + \xi \xi_i) (1 + \eta \eta_i) \quad i = 17, 20$$

Costuma-se representar a função de eixos coordenados (x, y, z) pela mesma função interpolação $[N]$ dada para os deslocamentos. Daí serem chamados de isoparamétricos.

Para o cálculo das deformações $\{\xi\}$ do elemento necessitamos transformar as derivadas parciais em relação a X, Y, Z para ξ, η, ζ , usaremos as seguintes relações

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\delta}{\delta \xi} = \frac{\delta}{\delta x} \cdot \frac{\delta x}{\delta \xi} + \frac{\delta}{\delta y} \cdot \frac{\delta y}{\delta \xi} + \frac{\delta}{\delta z} \cdot \frac{\delta z}{\delta \xi} \\ \frac{\delta}{\delta \eta} = \frac{\delta}{\delta x} \cdot \frac{\delta x}{\delta \eta} + \frac{\delta}{\delta y} \cdot \frac{\delta y}{\delta \eta} + \frac{\delta}{\delta z} \cdot \frac{\delta z}{\delta \eta} \\ \frac{\delta}{\delta \zeta} = \frac{\delta}{\delta x} \cdot \frac{\delta x}{\delta \zeta} + \frac{\delta}{\delta y} \cdot \frac{\delta y}{\delta \zeta} + \frac{\delta}{\delta z} \cdot \frac{\delta z}{\delta \zeta} \end{array} \right.$$

$$\begin{Bmatrix} \frac{\delta}{\delta \varepsilon_1} \\ \frac{\delta}{\delta n} \\ \frac{\delta}{\delta \varphi} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\delta x}{\delta \varepsilon_1} & \frac{\delta y}{\delta \varepsilon_1} & \frac{\delta z}{\delta \varepsilon_1} \\ \frac{\delta x}{\delta n} & \frac{\delta y}{\delta n} & \frac{\delta z}{\delta n} \\ \frac{\delta x}{\delta \varphi} & \frac{\delta y}{\delta \varphi} & \frac{\delta z}{\delta \varphi} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\delta}{\delta x} \\ \frac{\delta}{\delta y} \\ \frac{\delta}{\delta z} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} \frac{\delta}{\delta \varepsilon_1} \\ \frac{\delta}{\delta n} \\ \frac{\delta}{\delta \varphi} \end{Bmatrix} = [J] \begin{Bmatrix} \frac{\delta}{\delta x} \\ \frac{\delta}{\delta y} \\ \frac{\delta}{\delta z} \end{Bmatrix}$$

Necesitamos de:

$$\begin{Bmatrix} \frac{\delta}{\delta x} \\ \frac{\delta}{\delta y} \\ \frac{\delta}{\delta z} \end{Bmatrix} = [J]^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\delta}{\delta \varepsilon_1} \\ \frac{\delta}{\delta n} \\ \frac{\delta}{\delta \varphi} \end{Bmatrix}$$

$$[J]^{-1} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} C_{11} & C_{21} & C_{31} \\ C_{12} & C_{22} & C_{32} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} \end{bmatrix}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} \frac{\delta x}{\delta \xi} & \frac{\delta y}{\delta \xi} & \frac{\delta z}{\delta \xi} \\ \frac{\delta x}{\delta \eta} & \frac{\delta y}{\delta \eta} & \frac{\delta z}{\delta \eta} \\ \frac{\delta x}{\delta \zeta} & \frac{\delta y}{\delta \zeta} & \frac{\delta z}{\delta \zeta} \end{vmatrix}$$

$$C_{11} = \begin{bmatrix} \frac{\delta y}{\delta \eta} & \frac{\delta z}{\delta \eta} \\ \frac{\delta y}{\delta \zeta} & \frac{\delta z}{\delta \zeta} \end{bmatrix}$$

$$C_{12} = \begin{bmatrix} \frac{\delta x}{\delta \eta} & \frac{\delta z}{\delta \eta} \\ \frac{\delta x}{\delta \zeta} & \frac{\delta z}{\delta \zeta} \end{bmatrix}$$

$$C_{13} = \begin{bmatrix} \frac{\delta x}{\delta \eta} & \frac{\delta y}{\delta \eta} \\ \frac{\delta x}{\delta \zeta} & \frac{\delta y}{\delta \zeta} \end{bmatrix}$$

$$C_{21} = \begin{bmatrix} \frac{\delta y}{\delta \xi} & \frac{\delta z}{\delta \xi} \\ \frac{\delta y}{\delta \zeta} & \frac{\delta z}{\delta \zeta} \end{bmatrix}$$

$$C_{22} = \begin{bmatrix} \frac{\delta x}{\delta \xi} & \frac{\delta z}{\delta \xi} \\ \frac{\delta x}{\delta \zeta} & \frac{\delta z}{\delta \zeta} \end{bmatrix}$$

$$C_{23} = \begin{bmatrix} \frac{\delta x}{\delta \xi} & \frac{\delta y}{\delta \xi} \\ \frac{\delta x}{\delta \zeta} & \frac{\delta y}{\delta \zeta} \end{bmatrix}$$

$$C_{31} = \begin{bmatrix} \frac{\delta y}{\delta \epsilon_1} & \frac{\delta z}{\delta \epsilon_1} \\ \frac{\delta y}{\delta \eta} & \frac{\delta z}{\delta \eta} \end{bmatrix} \quad C_{32} = \begin{bmatrix} \frac{\delta x}{\delta \epsilon_1} & \frac{\delta z}{\delta \epsilon_1} \\ \frac{\delta x}{\delta \eta} & \frac{\delta z}{\delta \eta} \end{bmatrix} \quad C_{33} = \begin{bmatrix} \frac{\delta x}{\delta \epsilon_1} & \frac{\delta y}{\delta \epsilon_1} \\ \frac{\delta x}{\delta \eta} & \frac{\delta y}{\delta \eta} \end{bmatrix}$$

Temos para as deformações $\{\epsilon_i\}$

$$\{\epsilon_i\} = \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\delta u}{\delta x} \\ \frac{\delta v}{\delta y} \\ \frac{\delta w}{\delta z} \\ \frac{\delta u}{\delta y} + \frac{\delta v}{\delta x} \\ \frac{\delta v}{\delta z} + \frac{\delta w}{\delta y} \\ \frac{\delta w}{\delta x} + \frac{\delta u}{\delta z} \end{bmatrix}$$

Podemos tirar:

$$\epsilon_x = \frac{\delta u}{\delta x} = \frac{1}{\Delta_i} \left(C_{11} \frac{\delta u}{\delta \epsilon_1} + C_{21} \frac{\delta u}{\delta \eta} + C_{31} \frac{\delta u}{\delta \epsilon_1} \right) =$$

$$= \frac{1}{\Lambda} (C_{11} S_{\lambda_1} + C_{21} S_{\lambda_2} + C_{31} S_{\lambda_3}) \left\{ \delta \right\}_u^e$$

$$B_{1, 3i-2} = \frac{1}{\Lambda} (C_{11} S_{\lambda_1} + C_{21} S_{\lambda_2} + C_{31} S_{\lambda_3}) \quad i = 1, n$$

$$E_y = \frac{\delta v}{\delta y} = \frac{1}{\Lambda} \left(C_{12} \frac{\delta v}{\delta \xi_1} + C_{22} \frac{\delta v}{\delta \eta} + C_{32} \frac{\delta v}{\delta \xi_2} \right) =$$

$$= \frac{1}{\Lambda} (C_{12} S_{\lambda_1} + C_{22} S_{\lambda_2} + C_{32} S_{\lambda_3}) \left\{ \delta \right\}_v^e$$

$$B_{2, 3i-1} = \frac{1}{\Lambda} (C_{12} S_{\lambda_1} + C_{22} S_{\lambda_2} + C_{32} S_{\lambda_3}) \quad i = 1, n$$

$$E_z = \frac{\delta w}{\delta z} = \frac{1}{\Lambda} \left(C_{13} \frac{\delta w}{\delta \xi_1} + C_{23} \frac{\delta w}{\delta \eta} + C_{33} \frac{\delta w}{\delta \xi_2} \right) =$$

$$= \frac{1}{\Lambda} (C_{13} S_{\lambda_1} + C_{23} S_{\lambda_2} + C_{33} S_{\lambda_3}) \left\{ \delta \right\}_w^e$$

$$B_{3, 3i} = \frac{1}{\Lambda} (C_{13} S_{\lambda_1} + C_{23} S_{\lambda_2} + C_{33} S_{\lambda_3}) \quad i = 1, n$$

Para encontrarmos as expressões de γ_{xy} , γ_{yz} e γ_{zx} podemos obter por uma simples identificação:

$$\gamma_{xy} = \frac{\delta u}{\delta y} + \frac{\delta v}{\delta x}$$

$$\begin{cases} B_{4, 3i-2} = B_{2, 3i-1} \\ B_{4, 3i-1} = B_{1, 3i-2} \end{cases}$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\delta v}{\delta z} + \frac{\delta w}{\delta y}$$

$$\begin{cases} B_{5, 3i-1} = B_{3, 3i} \\ B_{5, 3i} = B_{2, 3i-1} \end{cases}$$

$$\gamma_{zx} = \frac{\delta w}{\delta x} + \frac{\delta u}{\delta z}$$

$$\begin{cases} B_{6, 3i} = B_{1, 3i-2} \\ B_{6, 3i-2} = B_{3, 3i} \end{cases}$$

com $[B]$ obteremos:

$$\begin{aligned} \{ \sigma \} &= [D] \{ \epsilon \} = [D] [B] \{ \delta_i \}^e = \\ &= [DB] \{ \delta_i \}^e \end{aligned}$$

$$[K] = \int [B]^T [D] [B] dV \dots$$

$$dV = dx dy dz = \Delta \cdot d\xi d\eta d\zeta \quad \text{ou:}$$

$$[K] = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D] [B] \cdot \Delta \cdot d\xi d\eta d\zeta$$

$$\{F\}^e = \int_V [N]^T \{p\} dV =$$

$$= \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [N]^T \{p\} \cdot \Delta \cdot d\xi d\eta d\zeta$$

INTEGRAÇÃO NUMÉRICA

As integrais de $[K]$ e $[F]$ são feitas por integração numérica de Gauss, tomando-se dois ou três pontos em cada direção.

$$\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 f(\xi, \eta, \zeta) d\xi, d\eta, d\zeta = \sum_j^n \sum_k^n \sum_l^n$$

$$H_j H_k H_l f(\xi_j, \eta_k, \zeta_l)$$

Com três termos:

$$A(1) = -0.774596669 \quad H(1) = 5/9$$

$$A(2) = 0 \quad H(2) = 8/9$$

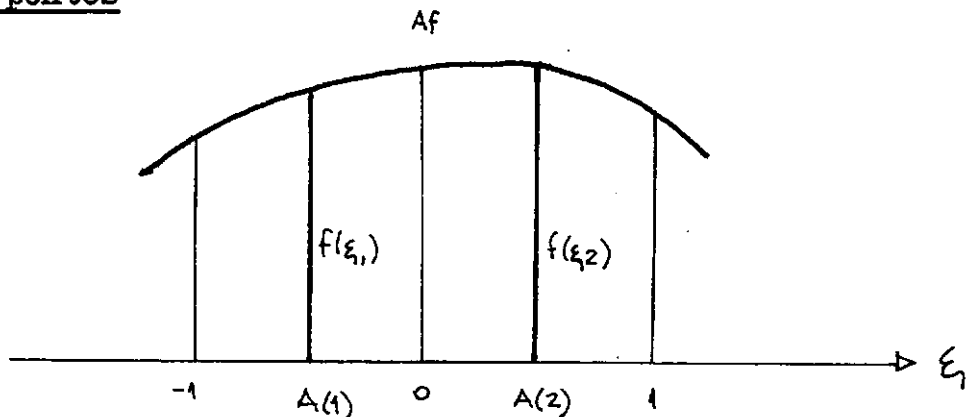
$$A(3) = 0.774596669 \quad H(3) = 5/9$$

Com dois termos:

$$A(1) = -0.577350269 \quad H(1) = 1$$

$$A(2) = 0.577350269 \quad H(2) = 1$$

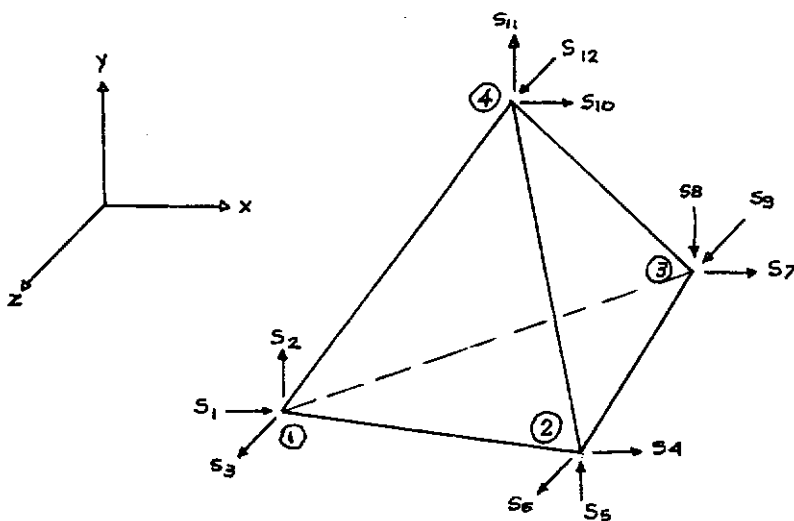
Para 2 pontos



CAPÍTULO III

ELEMENTO TETRAEDRO (TET4)

Este elemento tem 4 pontos nodais e 3 deslocamentos por nó. Tem 12 graus de liberdade por elemento.



A função de deslocamentos generalizados é dada por:

$$\begin{cases} u = \alpha_1 + \alpha_2 X + \alpha_3 Y + \alpha_4 Z \\ v = \alpha_5 + \alpha_6 X + \alpha_7 Y + \alpha_8 Z \\ w = \alpha_9 + \alpha_{10} X + \alpha_{11} Y + \alpha_{12} Z \end{cases}$$

Ou em forma matricial:

$\{u\} = [M]\{\alpha\}$ e aplicando a função para os 4 pontos nodais.

$$\begin{array}{c} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{array} = \begin{array}{c} [\bar{A}] \quad [0] \quad [0] \\ [0] \quad [\bar{A}] \quad [0] \\ [0] \quad [0] \quad [\bar{A}] \end{array} \begin{array}{c} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \\ \alpha_7 \\ \alpha_8 \\ \alpha_9 \\ \alpha_{10} \\ \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \end{array} \quad [\bar{A}] = \begin{array}{c} \left[\begin{array}{cccc} 1 & x_1 & y_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & y_4 & z_4 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Teremos separadamente:

$$\begin{array}{c} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{array} = [\bar{A}] \begin{array}{c} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \end{array} \quad \begin{array}{c} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{array} = [\bar{A}] \begin{array}{c} \alpha_5 \\ \alpha_6 \\ \alpha_7 \\ \alpha_8 \end{array} \quad \begin{array}{c} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{array} = [\bar{A}] \begin{array}{c} \alpha_9 \\ \alpha_{10} \\ \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \end{array}$$

Teremos:

$$\{ \delta_i \} = [A] \{ \alpha \} \quad \dots \quad \{ \alpha \} = [\bar{A}]^{-1} \{ \delta_i \}$$

A inversa de $[A]$ poderá facilmente ser encontrada: $[\bar{A}]^{-1} = \frac{\text{Adj } \bar{A}}{\Delta} = \frac{C_{ji}}{\Delta}$

$$C_{11} = \begin{array}{c} \left[\begin{array}{ccc} x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{array} \right] \quad C_{12} = - \begin{array}{c} \left[\begin{array}{ccc} 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_3 & z_3 \\ 1 & y_4 & z_4 \end{array} \right] \quad C_{13} = \begin{array}{c} \left[\begin{array}{ccc} 1 & x_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & z_4 \end{array} \right]
 \end{array}$$

$$C_{14} = - \begin{array}{c} \left[\begin{array}{ccc} 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \\ 1 & x_4 & y_4 \end{array} \right] \quad C_{21} = - \begin{array}{c} \left[\begin{array}{ccc} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{array} \right] \quad C_{22} = \begin{array}{c} \left[\begin{array}{ccc} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_3 & z_3 \\ 1 & y_4 & z_4 \end{array} \right]
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 C_{23} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & z_1 \\ 1 & x_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & z_4 \end{bmatrix} \quad C_{24} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_3 & y_3 \\ 1 & x_4 & y_4 \end{bmatrix} \quad C_{31} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{bmatrix} \\
 C_{32} = \begin{bmatrix} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_4 & z_4 \end{bmatrix} \quad C_{33} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & z_2 \\ 1 & x_4 & z_4 \end{bmatrix} \quad C_{34} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_4 & y_4 \end{bmatrix} \\
 C_{41} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{bmatrix} \quad C_{42} = \begin{bmatrix} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_3 & z_3 \end{bmatrix} \quad C_{43} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & z_3 \end{bmatrix} \\
 C_{44} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Fazendo-se:

$$\begin{array}{llll}
 C_{11} = 6 V_{2340} & C_{12} = -2\Delta_{234}^{yz} & C_{13} = -2\Delta_{234}^{zx} & C_{14} = -2\Delta_{234}^{xy} \\
 C_{21} = -6 V_{1340} & C_{22} = 2\Delta_{134}^{yz} & C_{23} = 2\Delta_{134}^{zx} & C_{24} = 2\Delta_{134}^{xy} \\
 C_{31} = 6 V_{1240} & C_{32} = -2\Delta_{124}^{yz} & C_{33} = -2\Delta_{124}^{zx} & C_{34} = -2\Delta_{124}^{xy} \\
 C_{41} = -6 V_{1230} & C_{42} = 2\Delta_{123}^{yz} & C_{43} = 2\Delta_{123}^{zx} & C_{44} = 2\Delta_{123}^{xy}
 \end{array}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} = 6V$$

V representa o volume do tetraedro.

Tiramos:

$$[\bar{A}]^{-1} = \frac{1}{3V} \begin{bmatrix} 3V_{2340} & -3V_{1340} & 3V_{1240} & -3V_{1230} \\ -\Delta_{234}^{yz} & \Delta_{134}^{yz} & -\Delta_{124}^{yz} & \Delta_{123}^{yz} \\ -\Delta_{234}^{zx} & \Delta_{134}^{zx} & -\Delta_{134}^{zx} & \Delta_{123}^{zx} \\ -\Delta_{234}^{xy} & \Delta_{134}^{xy} & -\Delta_{124}^{xy} & \Delta_{123}^{xy} \end{bmatrix}$$

Temos:

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \\ \alpha_7 \\ \alpha_8 \\ \alpha_9 \\ \alpha_{10} \\ \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [\bar{A}] & [0] & [0] \\ [0] & [\bar{A}]^{-1} & [0] \\ [0] & [0] & [\bar{A}]^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix}$$

Rearrumando a matriz temos:

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \\ \alpha_7 \\ \alpha_8 \\ \alpha_9 \\ \alpha_{10} \\ \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \end{bmatrix} = \frac{1}{3V} \begin{bmatrix} 3V_{2340} & 0 & 0 & -3V_{1340} & 0 & 0 & 3V_{1240} & 0 & 0 & -3V_{1230} & 0 & 0 \\ -A_{234}^{yz} & 0 & 0 & A_{134}^{yz} & 0 & 0 & -A_{124}^{yz} & 0 & 0 & A_{123}^{yz} & 0 & 0 \\ -A_{234}^{zx} & 0 & 0 & A_{134}^{zx} & 0 & 0 & -A_{124}^{zx} & 0 & 0 & A_{123}^{zx} & 0 & 0 \\ -A_{234}^{xy} & 0 & 0 & A_{134}^{xy} & 0 & 0 & -A_{124}^{xy} & 0 & 0 & A_{123}^{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 3V_{2340} & 0 & 0 & -3V_{1340} & 0 & 0 & 3V_{1240} & 0 & 0 & -3V_{1230} & 0 \\ 0 & -A_{234}^{yz} & 0 & 0 & A_{134}^{yz} & 0 & 0 & -A_{124}^{yz} & 0 & 0 & A_{123}^{yz} & 0 \\ 0 & -A_{234}^{zx} & 0 & 0 & A_{134}^{zx} & 0 & 0 & -A_{124}^{zx} & 0 & 0 & A_{123}^{zx} & 0 \\ 0 & -A_{234}^{xy} & 0 & 0 & A_{134}^{xy} & 0 & 0 & -A_{124}^{xy} & 0 & 0 & A_{123}^{xy} & 0 \\ 0 & 0 & 3V_{2340} & 0 & 0 & -3V_{1340} & 0 & 0 & 3V_{1240} & 0 & 0 & -3V_{1230} \\ 0 & 0 & -A_{234}^{yz} & 0 & 0 & A_{134}^{yz} & 0 & 0 & -A_{124}^{yz} & 0 & 0 & A_{123}^{yz} \\ 0 & 0 & -A_{234}^{zx} & 0 & 0 & A_{134}^{zx} & 0 & 0 & -A_{124}^{zx} & 0 & 0 & A_{123}^{zx} \\ 0 & 0 & -A_{234}^{xy} & 0 & 0 & A_{134}^{xy} & 0 & 0 & -A_{124}^{xy} & 0 & 0 & A_{123}^{xy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ w_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ w_3 \\ u_4 \\ v_4 \\ w_4 \end{bmatrix}$$

$$\{\alpha\} = [\Delta]^{-1} \{\delta u\}$$

Deformações $\{\epsilon\}$

$$\{\epsilon\} = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{zz} \\ \epsilon_{xy} \\ \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\delta u}{\delta x} \\ \frac{\delta v}{\delta y} \\ \frac{\delta w}{\delta z} \\ \frac{\delta v}{\delta x} + \frac{\delta u}{\delta y} \\ \frac{\delta w}{\delta y} + \frac{\delta v}{\delta z} \\ \frac{\delta u}{\delta z} + \frac{\delta w}{\delta x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \alpha_7 \\ \alpha_{12} \\ \alpha_3 + \alpha_6 \\ \alpha_8 + \alpha_{11} \\ \alpha_4 + \alpha_{10} \end{bmatrix}$$

$$\frac{\delta u}{\delta x} = \alpha_2 \quad \frac{\delta v}{\delta y} = \alpha_7 \quad \frac{\delta w}{\delta z} = \alpha_{12}$$

$$\frac{\delta v}{\delta x} + \frac{\delta u}{\delta y} = \alpha_3 + \alpha_6 \quad \frac{\delta w}{\delta y} + \frac{\delta v}{\delta z} = \alpha_8 + \alpha_{11} \quad \frac{\delta v}{\delta z} + \frac{\delta w}{\delta x} = \alpha_4 + \alpha_{10}$$

Em forma matricial: $\{\epsilon\} = [\bar{B}] \{\alpha\}$

$$[\bar{B}] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

como $\{\alpha\} = [A]^{-1} \{\delta_i\}$

$\{\epsilon\} = [\bar{B}][A]^{-1} \{\delta_i\} = [B] \{\delta_i\}$ SENDO $[B] = [\bar{B}][A]^{-1}$

$$[B] = \frac{1}{3V} \begin{bmatrix} -A_{234}^{yz} & 0 & 0 & A_{134}^{yz} & 0 & 0 & -A_{124}^{yz} & 0 & 0 & A_{123}^{yz} & 0 & 0 \\ 0 & -A_{234}^{zx} & 0 & 0 & A_{134}^{zx} & 0 & 0 & -A_{124}^{zx} & 0 & 0 & A_{123}^{zx} & 0 \\ 0 & 0 & -A_{234}^{xy} & 0 & 0 & A_{134}^{xy} & 0 & 0 & -A_{124}^{xy} & 0 & 0 & A_{123}^{xy} \\ -A_{234}^{zx} & -A_{234}^{yz} & 0 & A_{134}^{zx} & A_{134}^{yz} & 0 & -A_{124}^{zx} & -A_{124}^{yz} & 0 & A_{123}^{zx} & A_{123}^{yz} & 0 \\ 0 & -A_{234}^{xy} & -A_{234}^{zx} & 0 & A_{134}^{xy} & A_{134}^{zx} & 0 & -A_{124}^{xy} & -A_{124}^{zx} & 0 & A_{123}^{xy} & A_{123}^{zx} \\ -A_{234}^{xy} & 0 & -A_{234}^{yz} & A_{134}^{xy} & 0 & A_{134}^{yz} & -A_{124}^{xy} & 0 & -A_{124}^{yz} & A_{123}^{xy} & 0 & A_{123}^{yz} \end{bmatrix}$$

As tensões no interior do tetraedro são dadas por:

$$\{\sigma\} = [D] \{\epsilon\} = [D][B] \{\delta_i\} \quad \therefore \{\sigma\} = [DB] \{\delta_i\}$$

As matrizes $[B]$ e $[DB]$ são matrizes de transformação. Transformam deslocamentos em deformações ou tensões no interior do elemento. Elas apresentam somente termos constantes, significando que as deformações e tensões são constantes em qualquer ponto do interior do tetraedro.

A matriz de rigidez e a de massas são obtidas diretamente sem necessidade de integração.

A matriz de rigidez é:

$$[K] = \int_V [B]^T [D] [B] dV$$

como $[B]$ e $[D]$ são constantes:

$$[K] = [B]^T [D] [B] V$$

A matriz de massas consistentes é: $\{F\}_p = \int [N]^T \{p\} dv$
 ONDE $[N] = [M][A]^{-1}$

$$[M] = \begin{bmatrix} 1 & x & y & z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & x & y & z & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & x & y & z \end{bmatrix}$$

Realizando o produto matricial $[M][A]^{-1}$

$$[N]^T = \frac{1}{3V} \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 \\ a_2 & 0 & 0 \\ 0 & a_2 & 0 \\ 0 & 0 & a_2 \\ a_3 & 0 & 0 \\ 0 & a_3 & 0 \\ 0 & 0 & a_3 \\ a_4 & 0 & 0 \\ 0 & a_4 & 0 \\ 0 & 0 & a_4 \end{bmatrix}$$

$$a_1 = 3V_{2340} - xA_{234}^{y_2} - yA_{234}^{zx} - zA_{234}^{xy}$$

OU:

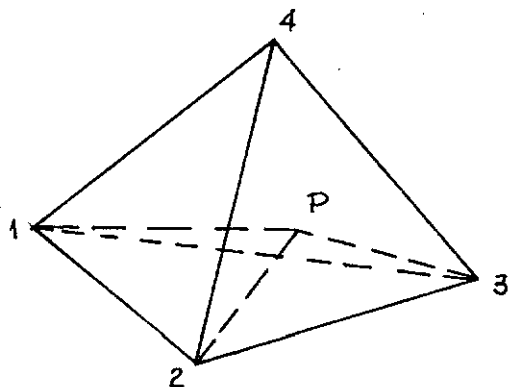
$$2a_1 = c_{11} + xC_{12} + yC_{13} + zC_{14}$$

$$2a_1 = \begin{bmatrix} 1 & x & y & z \\ 1 & x_2 & y_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & y_4 & z_4 \end{bmatrix} = 6V_1$$

$$a_1 = 3V_1$$

A_1 representa 3 vezes o volume formado pelos vértices 2,3,4 e o ponto interior de coordenadas (x,y,z) . De maneira análoga se verifica também para A_2, A_3, A_4 .

Realizando o produto matricial $[N]^T \{P\} \cdot V$ chegamos a conclusão que quando tivermos uma força concentrada no ponto $P(x,y,z)$ interior do tetraedro, as forças equivalentes aplicadas em cada nó serão o produto do peso específico pelo volume formado pelo ponto P e a face oposta a esse nó.

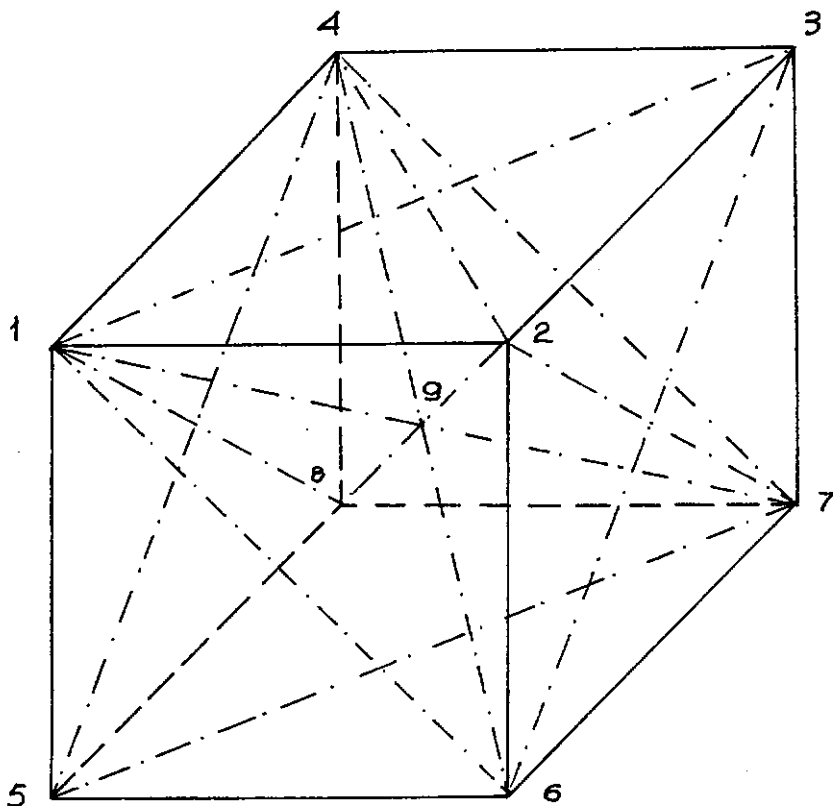


exemplo: V_4 representa o volume formado por P_{123}

Quando tivermos uma força aplicada no centróide do tetraedro (força de massa), teremos $V_1 = V_2 = V_3 = V_4$ então a força equivalente aplicada em cada nó será o peso total do tetraedro dividido por 4.

MATRIZ DE RIGIDEZ DO HEXAEDRO
COMPOSTO POR TETRAEDROS

A montagem da matriz de rigidez do hexaedro faz-se somando as contribuições dos termos de cada matriz de rigidez do tetraedro referidas a cada nó, conforme as composições indicadas pela figura.



1ª COMPOSIÇÃO

TET1 - 1429
TET2 - 2439
TET3 - 4739
TET4 - 4879
TET5 - 6789
TET6 - 6859
TET7 - 1659
TET8 - 1269
TET9 - 1849
TET10 - 1589
TET11 - 2379
TET12 - 2769

2ª COMPOSIÇÃO

TET1 - 1329
TET2 - 1439
TET3 - 4839
TET4 - 3879
TET5 - 6759
TET6 - 7859
TET7 - 1259
TET8 - 2659
TET9 - 1549
TET10 - 4589
TET11 - 2369
TET12 - 3769

O nó central (9) é retirado por condensação da matriz de rigidez e transformada em uma matriz de rigidez' de 8 pontos nodais.

CONDENSAÇÃO DO NÓ 9:

Dada a matriz de rigidez do elemento hexaedro de 9 nós na forma

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{Bmatrix}$$

Onde: F_2, δ_2 se referem ao nó central 9.

Teremos:

$$\begin{cases} F_1 = K_{11} \delta_1 + K_{12} \delta_2 \\ F_2 = K_{21} \delta_1 + K_{22} \delta_2 \end{cases} \quad \begin{cases} K_{22} \delta_2 = F_2 - K_{21} \delta_1 \\ \delta_2 = K_{22}^{-1} (F_2 - K_{21} \delta_1) \end{cases}$$

$$F_1 = K_{11} \delta_1 + K_{12} \cdot K_{22}^{-1} (F_2 - K_{21} \delta_1) = K_{11} \delta_1 + K_{12} K_{22}^{-1} F_2 - K_{12} K_{22}^{-1} K_{21} \delta_1$$

$$F_1 - K_{12} K_{22}^{-1} F_2 = (K_{11} - K_{12} K_{22}^{-1} K_{21}) \delta_1$$

Ficamos com

$$\{F_1^*\} = \{K_{11}^*\} \{\delta_1\}$$

Onde

$$\{F_1^*\} = \{F_1\} - [K_{12}] [K_{22}^{-1}] \{F_2\}$$

$$[K_{11}^*] = [K_{11}] - [K_{12}] [K_{22}^{-1}] [K_{21}]$$

Quando $F_2 = 0$, $\{F_1^*\} = \{F_1\}$ então necessitamos modificar apenas a matriz de rigidez. Quando $F_2 \neq 0$ necessitamos transformar o vetor de forças aplicadas e isso é feito para a obtenção das forças de massa equivalente.

FORÇAS NODAIS EQUIVALENTES DO HEXAEDRO
COMPOSTO POR TETRAEDROS

Para obtenção da matriz de forças nodais equivalentes do hexaedro faz-se a média das contribuições de forças dos 24 tetraedros que compoem um hexaedro. No ponto interior do hexaedro teremos uma força equivalente de um quarto da força total em cada direção. Para o cálculo da força equivalente em cada nó externo é necessário se conhecer os volumes dos tetraedros que se ligam a esse nó. A força no ponto central é transformada por condensação em forças equivalentes aplicadas nos nós externos.

CONDENSAÇÃO DO NÓ 9

Temos as fórmulas obtidas anteriormente:

$$\{F_1^*\} = \{F_1\} - [K_{12}] [K_{22}^{-1}] \{F_2\}$$

F1 - forças aplicadas nos pontos externos.

F2 - forças aplicadas no ponto interno.

O produto matricial $[K_{12}] [K_{22}^{-1}]$ pode ser obtido quando da condensação na matriz de rigidez do elemento.

TENSÕES NO TETRAEDRO E HEXAEDRO

As tensões em um tetraedro, no centróide é:

$$\{\sigma\}^i = [DB]^i \{\delta_i\}_T^i$$

Podemos formar uma outra matriz $[DB]$ relativa aos deslocamentos nodais do hexaedro de 9 nós. Ficaremos:

$$\{\sigma\}^i = [DB]^*{}^i \{\delta_i\}_H^i$$

Calculadas as tensões nos "n" tetraedros, pode-se obter a tensão no ponto central como a média das tensões dos tetraedros.

$$\{\sigma\}_{med} = \sum_{i=1}^n \{\sigma\}^i / n = \sum_{i=1}^n [DB]^*{}^i \{\delta_i\}_H / n = \frac{[sDB]}{n} \{\delta_i\}_H^*$$

$$\{\sigma\}_{med} = [T] \{\delta_i\}_H \quad [T] = [T_{11} \quad T_{12}]$$

$$\{\delta\}_H = \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{Bmatrix}$$

Temos

$$\{\sigma\}_m = [T_{11} \quad T_{12}] \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{Bmatrix} = [T_{11}] \{\delta_1\} + [T_{12}] \{\delta_2\}$$

Da condensação sabemos que $\{F_2\} = 0$

$$\delta_2 = -K_{22}^{-1} K_{21} \delta_1 \quad \text{substituindo:}$$

$$\{\sigma\}_m = ([T_{11}] \{\delta_1\} - [T_{12}] [K_{22}]^{-1} [K_{21}] \{\delta_1\})$$

$$\{\sigma\}_m = ([T_{11}] - [T_{12}] [K_{22}]^{-1} [K_{21}]) \{\delta_1\}$$

$$\{\sigma\}_m = [T]^* \{\delta_1\} \quad \text{ONDE:}$$

$$[T]^* = [T_{11}] - [T_{12}] [K_{22}]^{-1} [K_{21}]$$

TENSÕES PRINCIPAIS

As tensões principais são encontradas a partir da solução da equação cúbica:

$$\sigma^3 + I_1 \sigma^2 + I_2 \sigma - I_3 = 0 \quad \text{ONDE:}$$

$$\begin{cases} I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \\ I_2 = \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2 \\ I_3 = \sigma_x \sigma_y \sigma_z - \sigma_x \tau_{yz}^2 - \sigma_y \tau_{zx}^2 - \sigma_z \tau_{xy}^2 + 2 \tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx} \end{cases}$$

Fazendo-se $\sigma = x + \frac{I_1}{3}$ ficaremos:

$$x^3 - qx - r = 0 \quad \text{ONDE:} \quad q = \frac{I_1^2}{3} - I_2$$

$$r = \frac{2I_1^3}{27} - \frac{I_1 I_2}{3} + I_3$$

Se $27r^2 < 4q^3$ teremos soluções reais.

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} q^{1/2} \cos \frac{\phi}{3} \\ x_2 = -\frac{2}{\sqrt{3}} q^{1/2} \cos \frac{\pi - \phi}{3} \\ x_3 = -\frac{2}{\sqrt{3}} q^{1/2} \cos \frac{\pi + \phi}{3} \end{array} \right. \quad \phi = \left(\frac{3}{9} \right)^{3/2} \cdot \frac{r}{2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 = x_1 + \frac{I_1}{3} \\ \sigma_2 = x_2 + \frac{I_1}{3} \\ \sigma_3 = x_3 + \frac{I_1}{3} \end{array} \right.$$

Para o cálculo dos cossenos diretores nas direções $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ tomaremos a equação:

$$\begin{pmatrix} \sigma_x - \sigma & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y - \sigma & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z - \sigma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l \\ m \\ n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Multiplicando-se por λ e reduzindo-se em duas equações, em função de λm e λn

$$(\sigma_y - \sigma) \cdot \lambda m + \tau_{yz} \cdot \lambda n = -\tau_{xy} \lambda l \quad \text{ou:}$$

$$\tau_{yz} \cdot \lambda m + (\sigma_z - \sigma) \cdot \lambda n = -\tau_{xz} \lambda l$$

$$\begin{pmatrix} \sigma_y - \sigma & \tau_{yz} \\ \tau_{yz} & \sigma_z - \sigma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda m \\ \lambda n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\tau_{xy} \lambda l \\ -\tau_{xz} \lambda l \end{pmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} \lambda m \\ \lambda n \end{Bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} \sigma_z - \sigma & -\tau_{yz} \\ -\tau_{yz} & \sigma_y - \sigma \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -\tau_{xy} \lambda l \\ -\tau_{xz} \lambda l \end{Bmatrix}$$

$$\Delta = (\sigma_y - \sigma)(\sigma_z - \sigma) - \tau_{yz}^2$$

Chamando-se: $\lambda l = a$ $\lambda m = b$ $\lambda n = c$

Fazendo-se $a = 1$ obteremos b e c

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1 \quad \left(\frac{a}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{b}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{c}{\lambda}\right)^2 = 1$$

$$\lambda = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

Obteremos desta forma:

$$\begin{cases} l = \frac{a}{\lambda} \\ m = \frac{b}{\lambda} \\ n = \frac{c}{\lambda} \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{cossenos diretores nas direções} \\ \text{de } \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 \end{array}$$

Podemos arbitrar um valor para a . Adotaremos

1. Expressando os cossenos diretores em função dos ângulos de giro α, β, γ teremos:

$$m_1 = \text{sen } \beta \quad \therefore$$

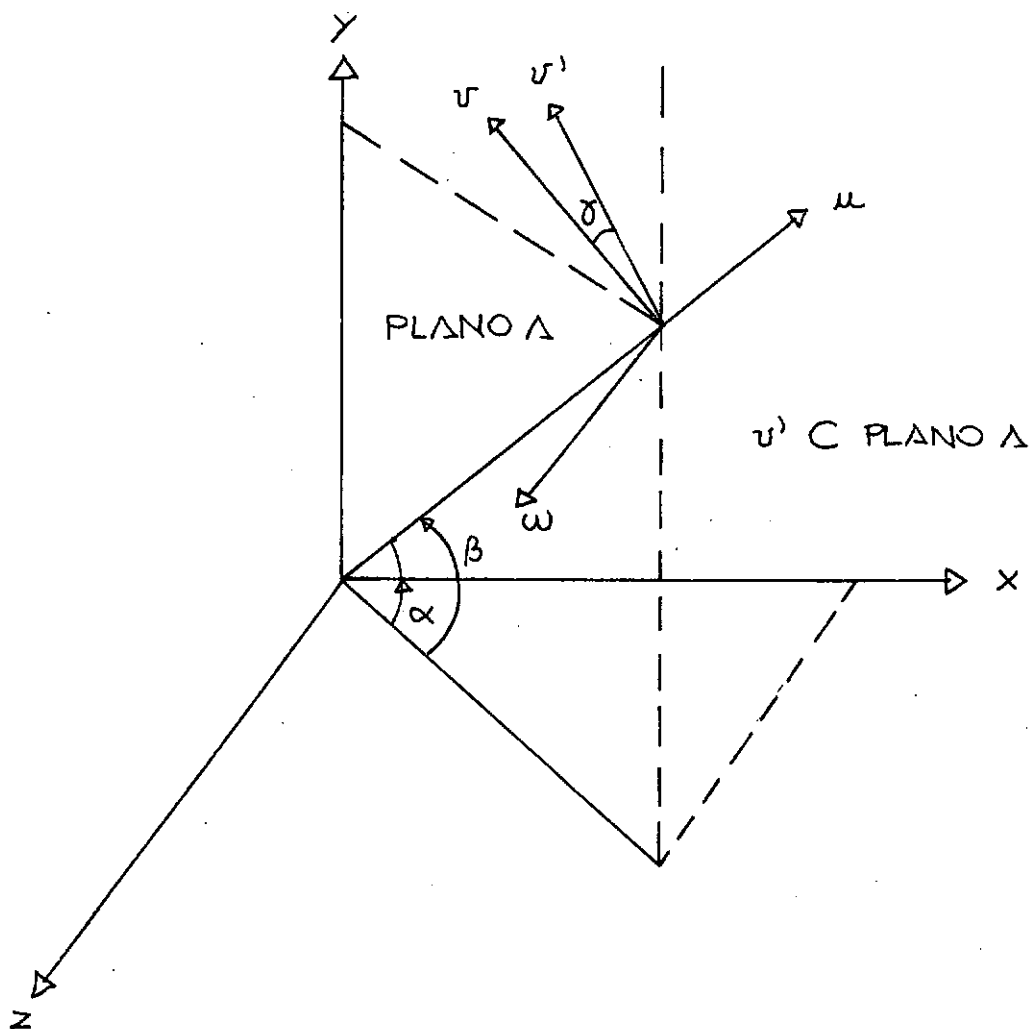
$$\beta = \text{arc sen } m_1$$

$$\text{sen } \alpha \cos \beta = m_1 \quad \therefore \text{sen } \alpha = \frac{m_1}{\sqrt{1 - m_1^2}}$$

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{m_1}{\sqrt{1-m_1^2}} \right)$$

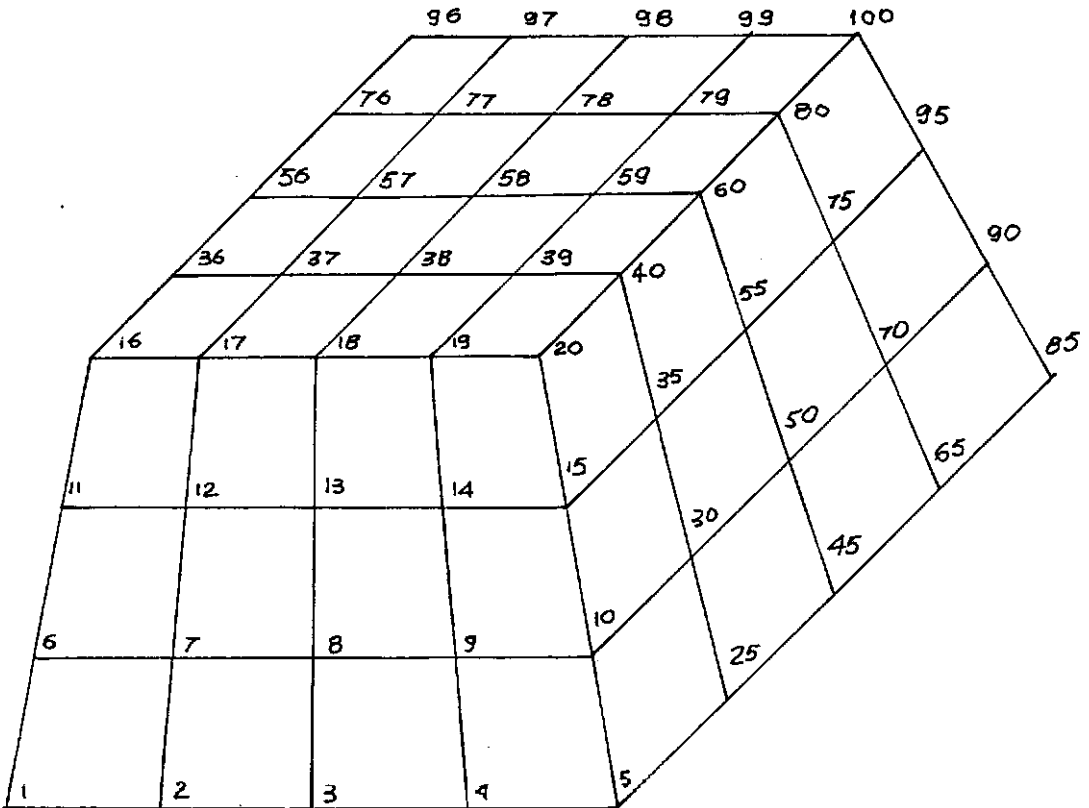
$$\cos \delta \cos \beta = m_2 \therefore \cos \delta = \frac{m_2}{\sqrt{1-m_1^2}}$$

$$\delta = \arccos \left(\frac{m_2}{\sqrt{1-m_1^2}} \right)$$



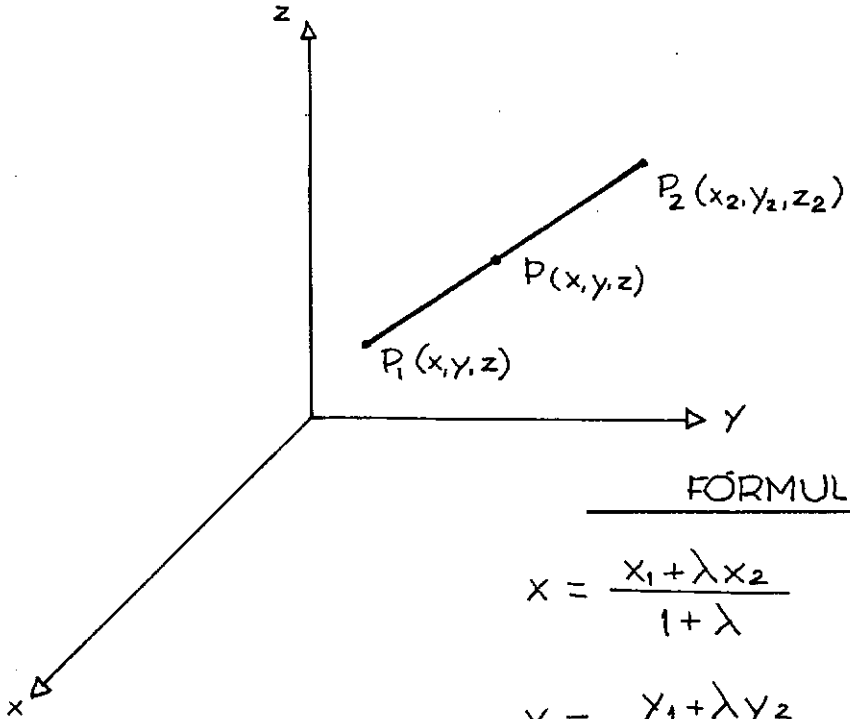
CAPÍTULO IV

GERAÇÃO AUTOMÁTICA DO HEXAEDRO



GERAÇÃO DAS COORDENADAS

As coordenadas são geradas em linha reta, sendo esta definida pelas coordenadas dos nós extremos da geração. Necessita-se também da numeração do nó de início.



FÓRMULAS

$$x = \frac{x_1 + \lambda x_2}{1 + \lambda}$$

$$y = \frac{y_1 + \lambda y_2}{1 + \lambda}$$

$$z = \frac{z_1 + \lambda z_2}{1 + \lambda}$$

$$\lambda = \frac{PP_1}{PP_2} = \frac{\mu}{1 - \mu}$$

$$\mu = \frac{PP_1}{P_1P_2}$$

EXEMPLO: Gerar as coordenadas intermediárias entre os nós extre mos 10 e 90. São necessários como dados de entrada: número de nós no plano de corte, número do nó inicial no plano, número de divisões ou cortes do nó inicial no plano, número de divisões ou cortes na estrutura gerada, número do nó inicial e coordenadas dos nós extremos (inicial e final).

GERAÇÃO DOS ELEMENTOS E INCIDENCIAS

A numeração dos elementos e suas incidências é feita tomando-se como início um plano de corte na estrutura grada. São necessários como dados de entrada: numeração dos elementos com suas incidências, número de elementos no plano, número do elemento inicial, número de divisões ou cortes.

GERAÇÃO DAS PROPRIEDADES ELÁSTICAS

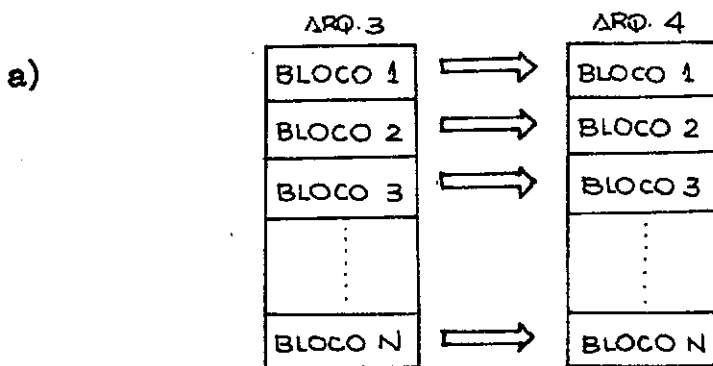
Cada grupo de propriedades elásticas é definido pelos dados de entrada: número do elemento inicial num plano, número do elemento final, número de divisões com mesma propriedade elástica.

CAPÍTULO V

MÉTODO DE GAUSS COM DIVISÃO EM BLOCOS

O objetivo desta técnica em blocos é diminuir a memória no computador e resolver sistemas de equações de grande largura de banda. A técnica consiste na resolução do sistema utilizando memória auxiliar (disco ou fita), armazenando-se cálculos parciais e trabalhando-se com dois blocos em forma sucessiva.

O sistema de equações que foi armazenado em blocos e em banda é resolvido nos seguintes passos:



Passa-se a matriz S do arquivo 3 para o arquivo 4.

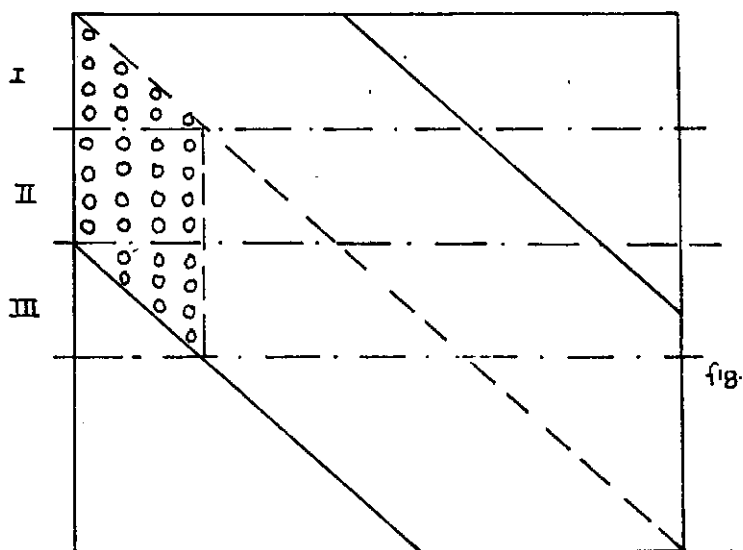
Para um só bloco, esta operação não é realizada.

b) - modifica a matriz zerando a banda inferior.

Esta é a parte principal da resolução.

É feita um cálculo inicial para determinar o núo

mero de blocos chamados para serem zeradas as colunas de 1 a NEB (nº de equações do bloco) conforme fig.



De acordo com a figura são chamados 3 blocos além do bloco I de trabalho.

Num primeiro ciclo chama-se cada bloco do primeiro até o último. Dentro deste ciclo são chamados sucessivamente os blocos inferiores. Estes blocos ficam dentro de uma matriz de trabalho S , da seguinte forma:

O bloco do 1º ciclo é colocado na 1ª parte da matriz e os blocos chamados são colocados na 2ª parte conforme fig.

EM BANDA

MATRIZ ST

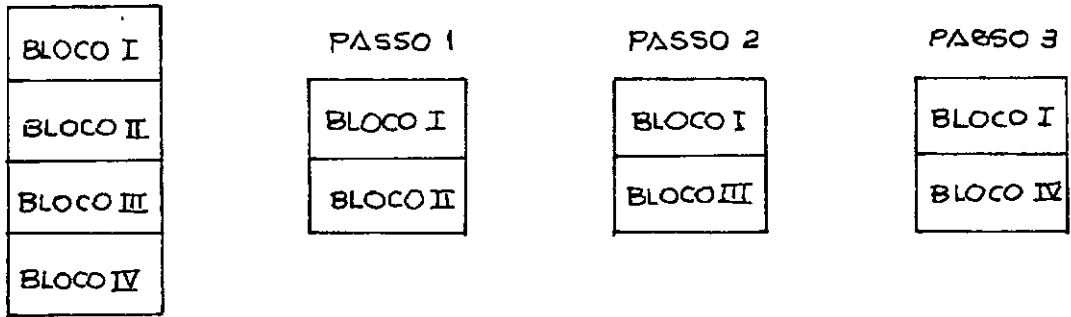
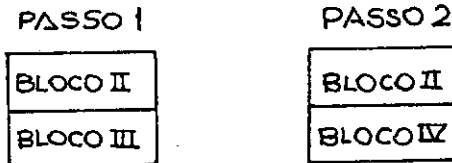
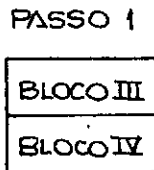


FIG.

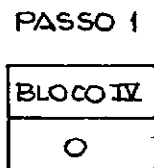
Quando estivermos trabalhando no primeiro ciclo com o bloco II teremos:

MATRIZ S_r

Com o bloco III:



Com o bloco IV:



Em cada ciclo procede-se primeiro a zeragem da banda inferior no 1º bloco S que é mantido fixo. Depois é feita a zeragem

do 2º bloco da matriz S em passos sucessivos. No último ciclo é feita a zeragem no 1º bloco.

A operação de zeragem consiste em zerar os termos de cada coluna abaixo do termo da diagonal principal, tal é o método de Gauss. As fórmulas utilizadas são:

$$\begin{aligned} S_{ij} &= S_{ij} - Cx S_{nk} & N &= 1, N \\ C &= S_{nl}/S_{ni} & K &= 1, \text{NBAND} \\ B_i &= B_i - cx B_n & i &= 1, \text{NBAND} \\ & & j &= 1 (\text{NBAND}-i) \\ & & l &= 1, \text{NBAND} \end{aligned}$$

c) - substituição inversa:

Nesta parte calculam-se as incógnitas do sistema chamando-se os blocos sucessivamente de baixo para cima. Cada incógnita é calculada em função das incógnitas anteriormente calculadas. A fórmula é:

$$U_n = (U_n - \sum_{k=2}^{\text{NBAND}} S_{nk} U_e) / S_{n1}$$

Conclusões:

Esta técnica aumenta o tempo de computação, mas permite resolver problemas tridimensionais de grande largura de banda, quando se dispõe de um computador pequeno.

Quando se dispõe de mais de um disco auxiliar, (ou de fita) pode-se colocar os arquivos 3 e 4 em discos diferentes e isso diminui o tempo de resolução do sistema.

Tamanhos possíveis da matriz S

30 x 300	18K
45 x 180	16K
60 x 150	18K
90 x 90	16K

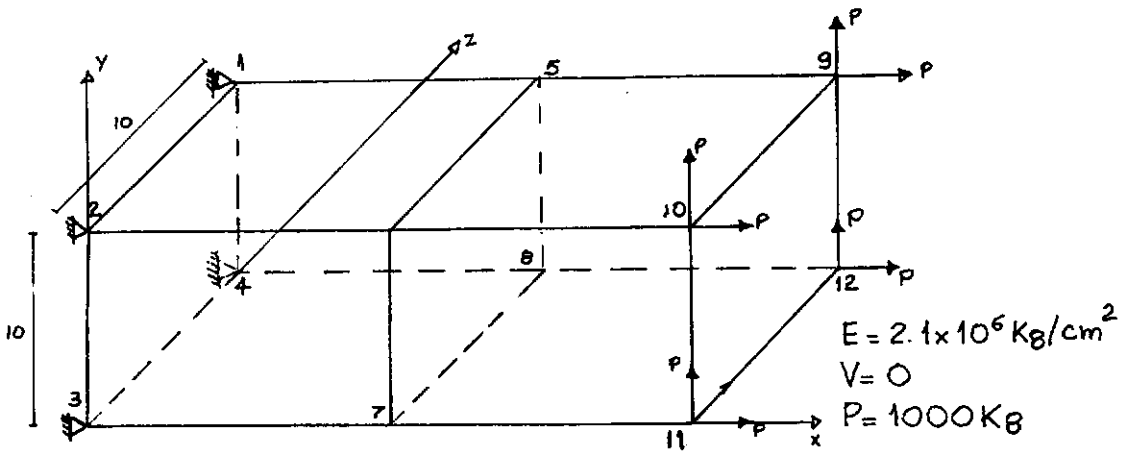
C A P Í T U L O V I

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS E OTIMIZAÇÃO

Para comparação de resultados foi colocado o exemplo de uma viga em balanço, que é um dos exemplos recomendado e exposto no trabalho de Clough: Comparison of three dimensional Finite Elements. A escolha do exemplo está no fato de que aí se acentua a necessidade de um elemento refinado. Nos problemas tridimensionais de estados maciços em geral todos os elementos oferecem bons resultados. Já no entanto para problemas em flexão são poucos os elementos que oferecem bons resultados para poucos elementos tomados. A conclusão a que se chega, evidenciada claramente no trabalho de Clough é que os elementos hexaédricos são melhores que os tetraédricos, e que os elementos isoparamétricos são melhores que os elementos comuns.

Neste trabalho foi testado: o elemento hexaedro composto de 12 tetraedros com a 1ª composição, o elemento hexaedro de 24 tetraedro fazendo-se a média da 1ª e 2ª composição e o elemento isoparamétrico ZIB-8.

Na viga em balanço forneceram os seguintes resultados para os deslocamentos dos pontos nodais de extremidades, com carga axial:



HEXAEDRO DE 12 TETRAEDROS

$$\begin{aligned}
 9 &- 0.4148 \times 10^{-3} \\
 10 &- 0.3601 \times 10^{-3} \\
 11 &- 0.4301 \times 10^{-3} \quad \text{Direção X} \\
 12 &- 0.3601 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

SOLUÇÃO EXATA:

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{FL}{EA} = \frac{4000 \times 20}{2,1 \times 10^6 \times 100} = \\
 &= 0.3809 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

HEXAEDRO DE 24 TETRAEDRO E ISOPARAMÉTRICO

$$\begin{aligned}
 9 &- 0.3809 \times 10^{-3} \\
 10 &- 0.3809 \times 10^{-3} \\
 11 &- 0.3809 \times 10^{-3} \quad \text{Direção X} \\
 12 &- 0.3809 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

Na mesma viga em balanço com carga atuando transversalmente nos nós de extremidade, obtivemos para os mesmos pontos nodais.

HEXAEDRO DE 24 TETRAEDROS

9 - 0.2455×10^{-2}
 10 - 0.2455×10^{-2}
 11 - 0.2455×10^{-2} DIREÇÃO Y
 12 - 0.2455×10^{-2}

HEXAEDRO ISOPARAMÉTRICO

9 - 0.4571×10^{-2}
 10 - 0.4571×10^{-2}
 11 - 0.4571×10^{-2} DIREÇÃO Y
 12 - 0.4571×10^{-2}

SOLUÇÃO EXATA $\frac{1}{2} = \frac{D^3}{3EY} = \frac{4.000 \times 20^3}{3 \times 2,1 \times 10^6 \times \left(\frac{10 \times 10^3}{12}\right)} = 0,609 \times 10^{-2}$

O hexaedro de 24 tetraedros apresentou valores de 40% de solução exata, e o isoparamétrico, 75%.

Pelo fato de o elemento isoparamétrico apresentar bons resultados, foi feita uma otimização da subrotina para redução do tempo de computação. Foi reduzido de 144 para 67 segundos. Utilizou-se o comando IF nos produtos matriciais, reduzindo o tempo em 40%.

C A P Í T U L O V I I

DIAGRAMAS DE BLOCOS SIMPLIFICADOS

São apresentados diagramas de blocos simplificados com o objetivo de esclarecer e mostrar o roteiro do programa principal e sub-rotinas.

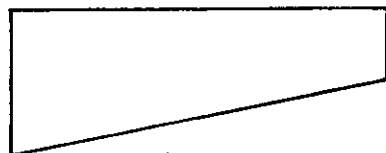
As convenções adotadas são as seguintes:

1.



Símbolo representativo da entrada de dados através de leitura de cartões.

2.



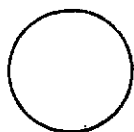
Este símbolo representa uma saída de valores contidos na memória do computador, com impressão em folhas de papel.

3.



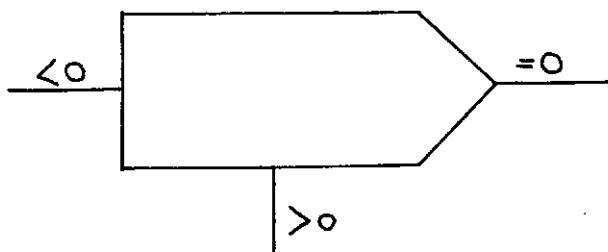
Este símbolo representa uma sequência de operações realizadas para se obter uma certa passagem do programa.

4.



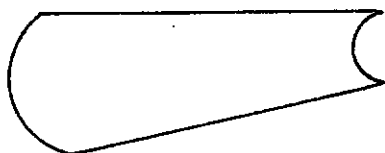
Através deste símbolo se representa um controle incondicional para a operação ou comando que figura no centro do círculo.

5.



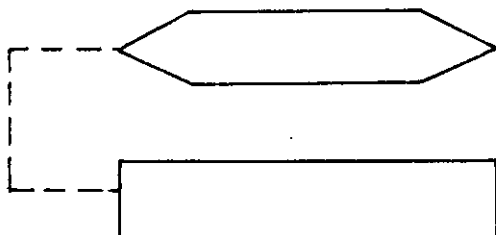
Símbolo representativo de um controle condicional. De acordo com o valor da variável de dentro da figura o controle seguirá uma das três direções caso seja maior, igual ou menor que zero.

6.



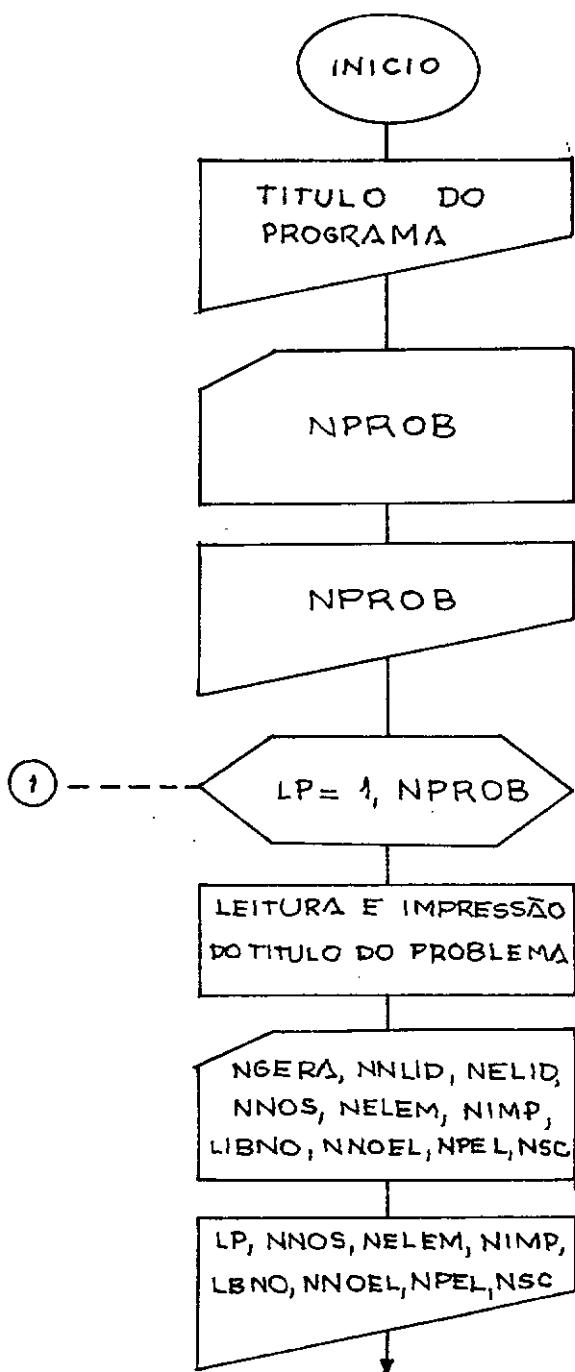
Por este símbolo se representa a operação de leitura ou impressão na memória auxiliar do computador (disco ou fita).

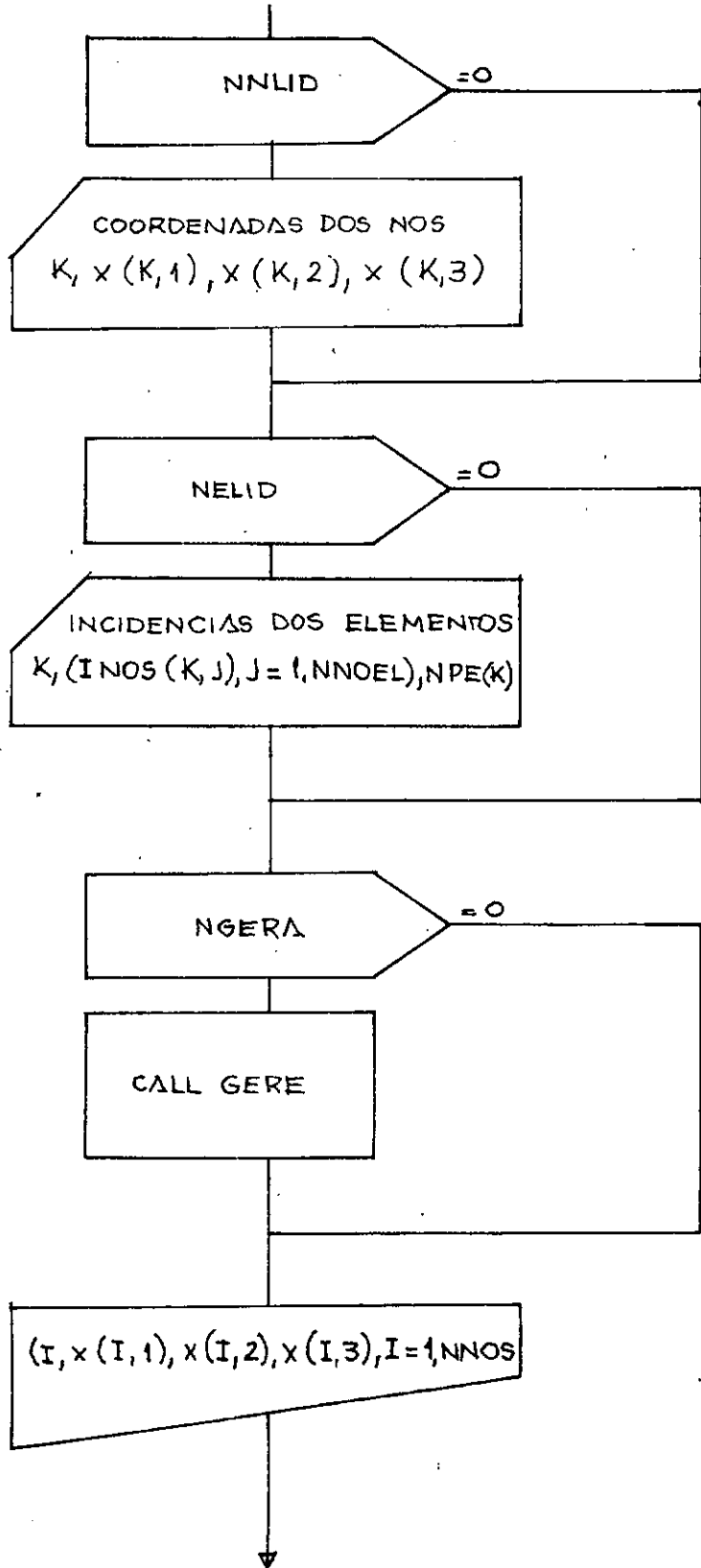
7.

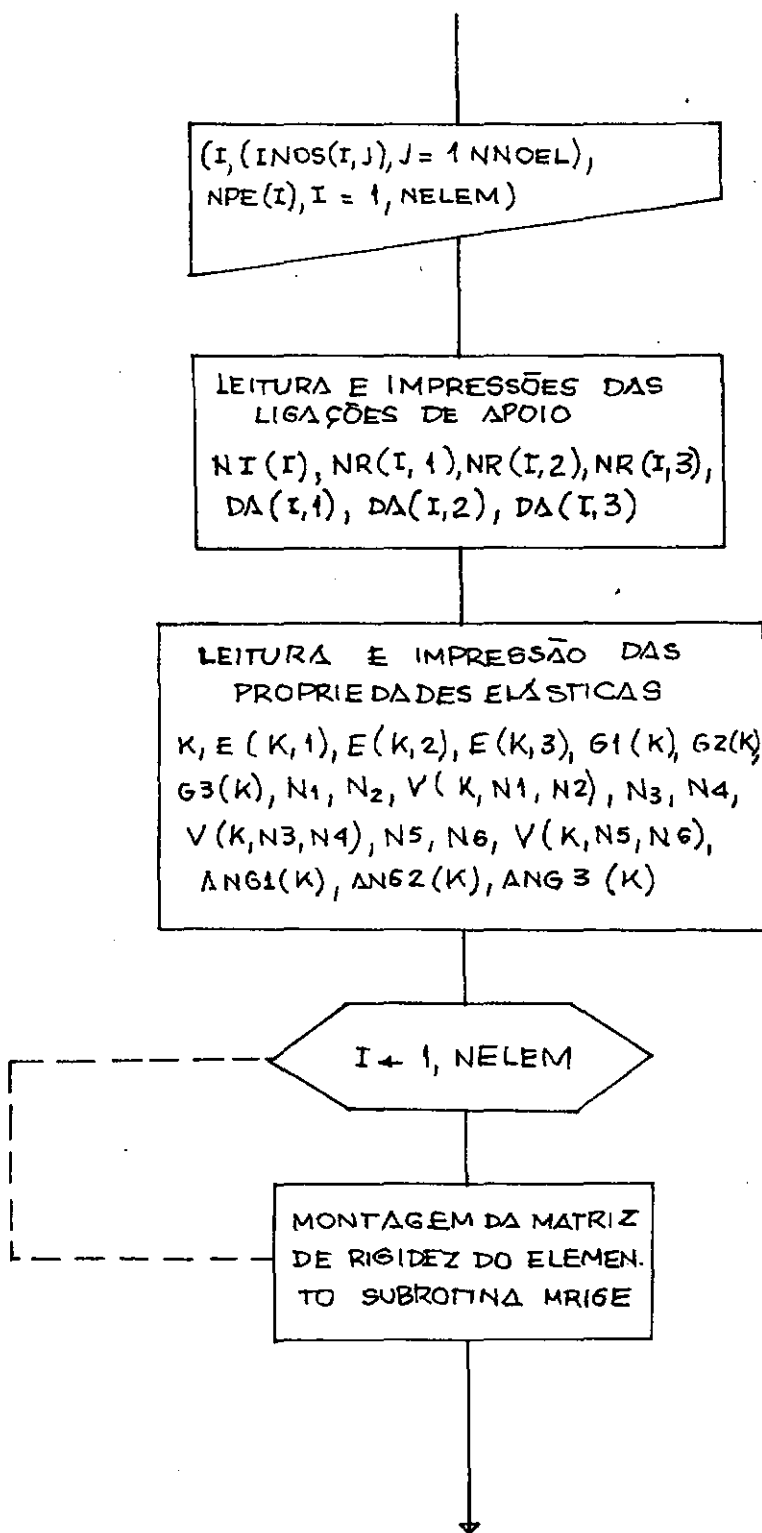


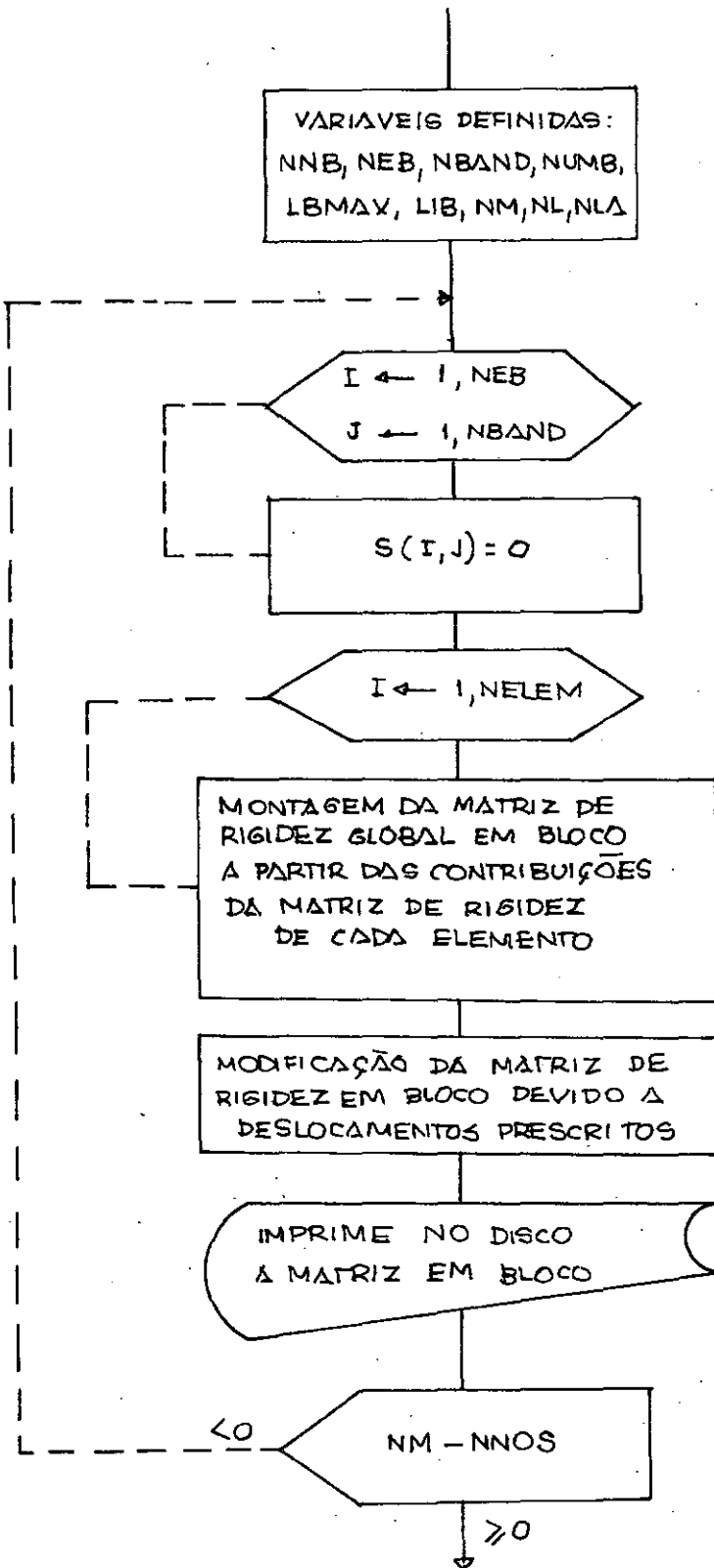
Símbolo que significa um controle iterativo, onde uma ou várias operações dentro do ciclo são executadas N vezes.

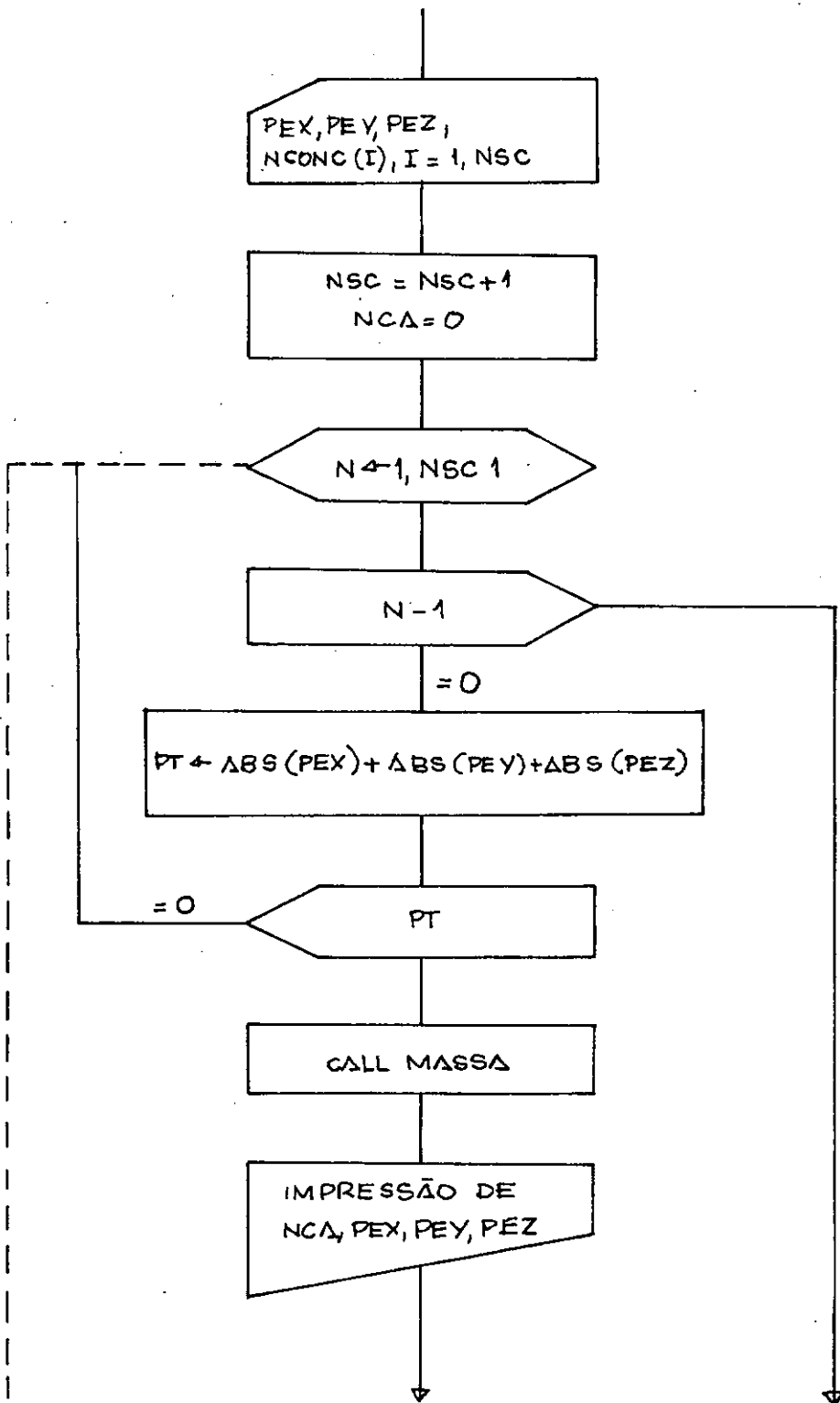
DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROGRAMA PRINCIPAL

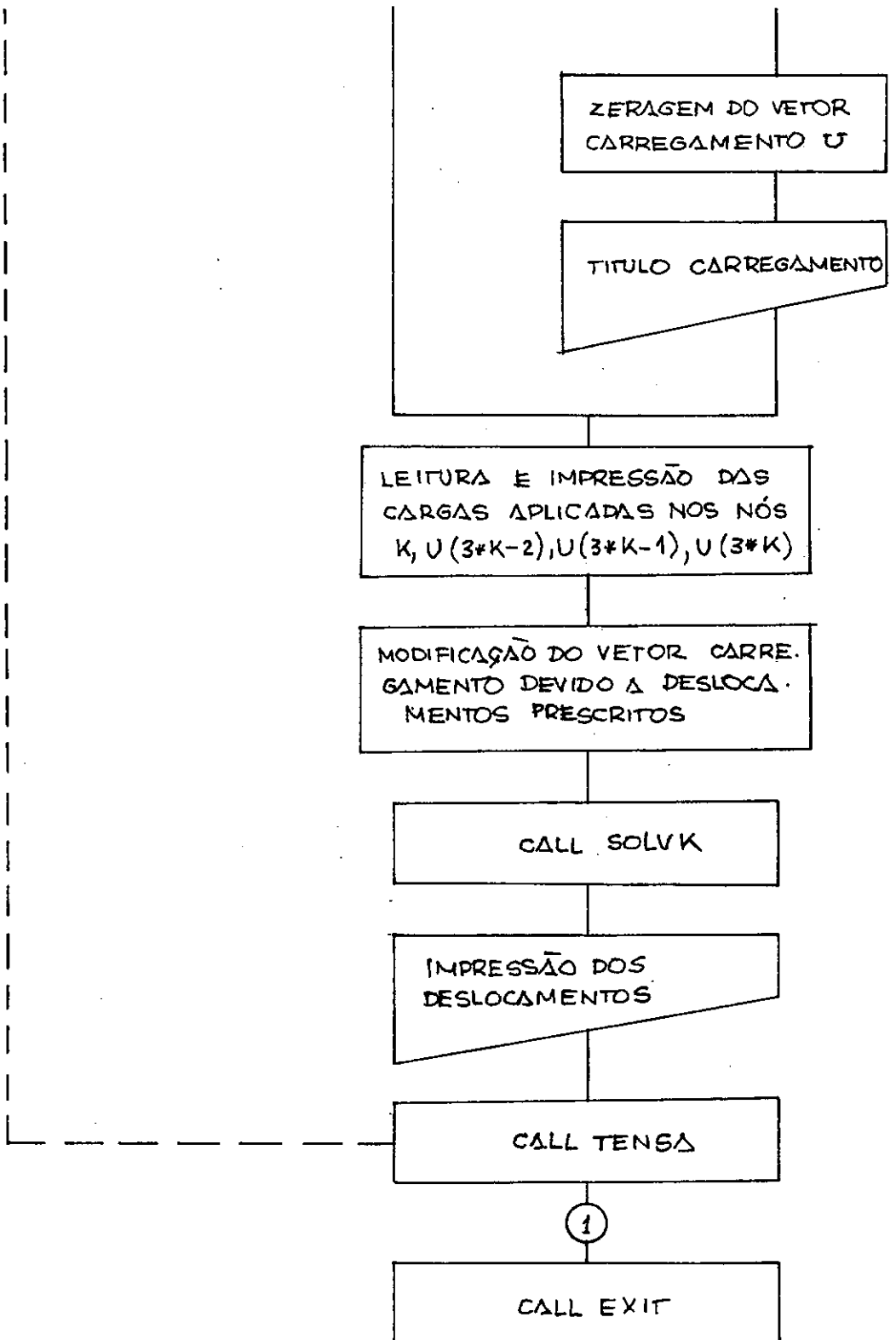












EXPLICAÇÕES

A primeira parte do programa principal, leitura e impressão dos dados da estrutura, é semelhante aos programas de elementos finitos existentes. Está incluída a possibilidade de ser feita uma geração automática de nós e incidências dos elementos em parte ou em toda a estrutura, a partir de um plano de corte. A leitura das propriedades elásticas está feita para analisar problemas com ortotropia nas três direções. São dados de entrada: 3 módulos de elasticidade, 3 módulos de torção, 3 coeficientes de Poisson, e 3 ângulos de ortotropia. Os outros 3 coeficientes de Poisson são calculados em função dos anteriores pelo princípio de reciprocidade.

A montagem da matriz de rigidez é feita por blocos, o que corresponde ao que é feito no programa do livro de Zienkiewsky, dividindo em subestruturas. A diferença consiste em que essas divisões são realizadas internamente pelo computador, não necessitando de dados de entrada. Numa primeira etapa é calculado a matriz de rigidez de cada elemento e armazenado no disco. Numa segunda, cada bloco é montado recebendo as contribuições dos elementos que estão ligados aos nós do bloco. O tamanho do bloco é fixo, assim como o número de nós que pertencem ao bloco. Por exemplo: no 1º bloco os nós vão de 1 a n , o 2º bloco de $n+1$ a $2n$, o 3º bloco de $2n+1$ a $3n+1$, etc.

Cada bloco montado é armazenado em outro arquivo do disco de pois de se introduzir as ligações de apoio existentes nos nós do bloco.

A parte relativa ao carregamento está feita para se analisar vários carregamentos em passos sucessivos. O vetor carregamento U tem uma só dimensão. Poder-se-ia facilmente modificar esta parte do programa para se introduzir e analisar conjuntamente vários casos de carregamentos. Isso iria diminuir o tempo de computação e aumentar a memória. Quando se pretende analisar a estrutura com carregamento devido ao peso próprio, fornecem-se ao computador os pesos específicos da estrutura nas direções X,Y,Z e este é o primeiro carregamento analisado.

No programa principal são chamados as subrotinas.

CALL GERE - gera automaticamente os nós e incidências da estrutura a partir de um plano de corte.

CALL MRIGE - calcula a matriz de rigidez do elemento.

CALL MASSA - calcula as cargas equivalentes nos nós devidos ao peso próprio da estrutura.

CALL SOLVK - resolve o sistema de equações em banda que está armazenado em blocos. As incógnitas são os deslocamentos dos nós da estrutura, impresso no programa principal.

CALL TENSA - calcula as tensões no interior de cada elemento.

EXPLICAÇÕES DO PROGRAMA PRINCIPAL

Estão indicadas a seguir, as variáveis criadas no programa e sua função.

- NPROB - número de problemas a serem executados.
- NNOS - nº de nós da estrutura discretizada.
- NELEM - nº de elementos.
- NIMP - nº de nós com impedimento ou restrições de apoio.
- LIBNO - nº de graus de liberdade de cada nó.
- NNOEL - nº de nós de cada elemento.
- NPEL - nº de grupos de mesmas propriedades elásticas da estrutura.
- NSC - nº de sistemas de carregamentos a serem analisados na estrutura.
- NGERA - nº de gerações automáticas feitas na estrutura (explicações serão dadas na subrotina de geração automática)
- NNLID - nº de nós lidos como dados de entrada.
- NELID - nº de elementos lidos como dados de entrada.
- LP - nº de problema em execução.
- X(I,J) - coordenada do nó I na direção J.
- INOS(K,J) - incidências do elemento K em relação ao nó J situado na sua fronteira.
- NPE(K) - nº do grupo de mesmas propriedades elásticas do elemento K.

- NI(I) - nº do nó impedido.
- NR(I,J) - nº indicativo da direção impedida
 se NR = 1 direção livre
 se NR = 0 direção impedida
- DA(I,J) - valor do deslocamento na direção J do nó NI.
- E(K,J) - módulo de elasticidade do grupo de propriedade elástica K na direção J.
- G1(K),G2(K),G3(K) - módulos de torção do grupo K nas direções X,Y,Z.
- V(K,J,I) - módulo de Poisson do grupo K, da direção J em relação a direção I.
- ANG1(K),ANG2(K),ANG3(K) - ângulos de ortotropia (em graus) do grupo K nas direções I, I, J, que definem o sistema dos eixos x' , y' , z' em relação a x , y , z .
- XE(J,K) - coordenadas dos nós relativas a cada elemento.
- CX, CY, CZ - ângulos de ortotropia em radianos, do elemento calculado.
- NNB - nº de nós de cada bloco do sistema de equações.
- NEB - nº de equações de cada bloco.
- NBAND - comprimento máximo da banda simétrica no sistema de equações, permitido pelo programa.
- NUMB - nº de blocos do problema em execução.
- LEMAX - comprimento máximo da banda do problema.
- LIB - nº de graus de liberdade do problema.
- NM - nº do maior nó do bloco montado.
- NL - nº do menor nó do bloco montado.
- NLA - nº de graus de liberdade acumulado até o bloco anterior.

$C(I,J)$ - matriz de rigidez do elemento.

$S(I,J)$ - matriz de rigidez global em banda, montado por blocos.

NRD - nº de registros utilizados no disco para guardar um bloco da matriz de rigidez global.

PEX, PEY, PEZ - peso específico da estrutura nas direções X, Y, Z.

NCONC(I) - nº de cargas concentradas no sistema de carregamento I.

NCA - nº do carregamento analisado.

U (3*K-2)

U (3*K-1)

U (3*K)

CARGAS CONCENTRADAS no nó K aplicadas respectivamente nas direções x, y, z.

EXPLICAÇÕES DA SUBROTINA MRIGE

Há duas subrotinas para o cálculo da matriz de rigidez do elemento hexaedro. Uma é feita com a composição média de 24 tetraedros a segunda é a do hexaedro isoparamétrico com função linear (ZIB-8).

Variáveis criadas na subrotina MRIGE - formada por tetraedros:

- XM(I) - coordenadas do ponto médio do hexaedro, onde serão calculadas as tensões como a média das tensões nos 24 tetraedros formados dentro do hexaedro.
- INC(I,J) - incidências do tetraedro I em relação a numeração interna dos nós de cada hexaedro. O nó interno do hexaedro foi numerado igual a 9.
- XET(K,J) - coordenadas do tetraedro K nas direções J.
- VN(I) - volumes dos tetraedros que ligam ao nó I. Esse cálculo é necessário para a determinação das forças de massa equivalentes na subrotina MASSA.
- VOLE - volume do elemento hexaedro.
- VOL - volume de cada tetraedro.
- CT - matriz de rigidez do tetraedro.
- C - matriz de rigidez do hexaedro.

- $T(I,J)$ - matriz que transforma deslocamentos dos nós do hexaedro em tensões no seu ponto médio. Esta matriz é obtida a partir de uma composição média das tensões nos 24 tetraedros.
- $A(I,J)$ - matriz auxiliar que é a inversa de parte da matriz C (os termos referentes ao nó interno da submatriz $C22$).
- $A1(I,J)$ - produto da matriz A pela submatriz $C21$. Matriz auxiliar necessária para se realizar a condensação do nó interno.
- $A2(I,J)$ - produto da submatriz $C21$ pela matriz A . Matriz auxiliar para cálculo das tensões.
O cálculo da matriz de rigidez CT é feita numa outra subrotina $MRTET$, com as seguintes variáveis:
- $D(I,J)$ - matriz elástica com anisotropia nas 3 direções.
- CX, CY, CZ - coordenadas do centróide do tetraedro.
- $R(I,J)$ - matriz rotacional que modifica a matriz elástica D relativa a rotação do sistema de eixos dado para o sistema global da estrutura.
- $A(I,J)$ - matriz auxiliar cujo determinante representa a área de 3 vértices do tetraedro projetada sobre dois eixos.
- $B(I,J)$ - matriz que transforma deslocamentos nodais em deformações no interior do elemento.

DB(I,J) - matriz que transforma deslocamentos nodais em tensões no interior do elemento. Esta matriz será utilizada na subrotina TENSA.

EXPLICAÇÕES DA SUBROTINA MRIGE
(ELEMENTO ISOPARAMÉTRICO - ZIB-8)

As variáveis não indicadas são semelhantes as criadas na MRIGE, formada por tetraedros.

AI(I,J) - valores assumidos pelo sistema ξ, η, ζ nos vértices do hexaedro.

A(I) - distâncias relativas ao sistema ξ, η, ζ onde se aplica a integração numérica.

H(I) - pesos definidos em função do número de integração no método de Gauss.

XP(I) - coordenadas do ponto no interior do hexaedro, onde se calcula as tensões.

Nt - números de termos tomados para realizar a integração numérica no cálculo da matriz de rigidez do elemento.

S(I,J) - matriz que representa a derivada da função isoparamétrica em relação a ξ, η, ζ do sistema de eixos local.

R(I,J) - matriz rotacional no início e depois representa a matriz jacobiano.

RI(I,J) - matriz inversa do jacobiano.

HDETJ - produto das constantes de integração $H(I)$ pelo determinante do jacobiano.

EXPLICAÇÕES DA SUBROTINA MASSA

Variáveis criadas:

INC,AL,XM,VN,VOLE - variáveis armazenadas em disco que são lidos nesta subrotina para o cálculo das forças de massa equivalentes.

UC (I) - vetor de forças equivalentes aplicadas no ponto médio do hexaedro devido as contribuições de cada um dos 24 tetraedros que se liga a ele.

UE (I) - vetor de forças equivalentes aplicadas nos nós externos do hexaedro.

SUBROTINA MASSA (EL. ISOPARAMÉTRICO)

As variáveis criadas nesta subrotina são semelhante às criadas na subrotina MRIGE do elemento isoparamétrico ZIB-8.

R(I,J) - matriz jacobiano.

PEX,PEY,PEZ - pesos específicos da estrutura nas direções X, Y, Z do sistema de eixos global.

U(I) - vetor de cargas equivalentes aplicadas nos nós.

CM(I) - coeficiente da função interpolação $[N_i]$

CA - produto de $[N]^T \cdot \Delta \cdot d\xi \cdot dn, d\eta$

EXPLICAÇÕES DA SUBROTINA TENSA

Variáveis criadas nesta subrotina:

- U (I) - vetor de deslocamentos nodais da estrutura.
- UE (I) - vetor de deslocamentos nodais do elemento considerado.
- DB (I,J) - matriz de transformação calculada na subrotina MRIGE, e lidas no disco.
- XM (I) - coordenadas do ponto médio do hexaedro, lidos no disco.
- T (I) - matriz de tensões do elemento ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$), referidas ao sistema global da estrutura.
- TP (I) - matriz de tensões principais. Os três primeiros termos são as tensões principais e os três últimos são os ângulos de giro necessários para definir o sistema de eixos das tensões principais.

Na subrotina TENSA do elemento tetraedro se calcula as tensões num único ponto obtido pela média das coordenadas dos vértices do hexaedro.

Na subrotina MRIGE do elemento isoparamétrico ZIB-8 as tensões são obtidas nos pontos de coordenadas onde se calcula os termos de integração numérica.

EXPLICAÇÕES DA SUBROTINA GERE

Variáveis criadas na subrotina:

NGERA	- número de gerações a ser feita na estrutura.
NNP	- nº de nós no plano de corte da geração.
NEP	- nº de elementos no plano.
NIN	- nº do nó inicial.
NIE	- nº do elemento inicial.
ND	- nº de divisões da parte gerada da estrutura.
X(I,1), X(I,2), X(I,3)	- coordenadas do nó I no plano de corte inicial.
X2, Y2, Z2	- coordenadas do nó no plano extremo da geração, correspondente ao nó I.
INOS(I,L)	- incidências dos elementos.
NPEG	- nº de propriedades elásticas da geração.
NPE	- nº do grupo de mesma propriedade elástica do elemento.
NEI	- nº do elemento inicial do grupo elástico.
NEF	- nº do elemento final.
IV	- nº de divisões em planos de corte do grupo elástico.

A subrotina gere está feita para gerar automaticamente coordenadas dos nós, incidências dos elementos e propriedades elásticas de um hexaedro de oito vértices.

A geração automática dos nós é feita em uma li

nha reta que vai do nó no plano de corte inicial até o nó correspondente no plano final.

A geração dos elementos, suas incidências e propriedades elásticas é feita em forma sequencial nas sucessivas divisões realizadas.

CAPÍTULO VIII

ENTRADA DE DADOS

1º - // XEQ TRIDI L 1

Este é o cartão inicial que faz com que o programa seja chamado para a área de trabalho para processamento. O nome TRIDI está da 8 a 12 coluna. A letra L pode ser perfurada de maneira facultativa, caso o programador necessite dos nomes e endereços do início das subrotinas utilizadas, locais de arquivo em disco etc. Na coluna 17 deve obrigatoriamente ser perfurado o número "1" que serve para indicar o número de cartões controle FILES utilizados neste programa.

2º - FILES (1,OEC3), (3,OEC3), (4,OEC3)

Este cartão permite escrever e ler informações na área usuário do disco OEC3 os números 1,3 e 4 se referem aos arquivos definidos no cartão de controle DEFINE FILE.

3º - NPROB - FORMATO (I4)

Nº de problemas a serem executados.

4º - TÍTULO DO PROBLEMA FORMATO (80H)

Neste cartão se bate o título do problema a ser analisado nas 80 colunas num formato livre. É conveniente não bater na 1ª coluna, pois o carro da impressora não imprime

nesta coluna. Este cartão volta a se repetir quando se terminar os dados relativos a êste problema e começar os dados do problema seguinte.

5º - NGERA, NNLID, NELID, NNOS, NELEM, NIMP, LIBNO, NNOEL, -
NPEL, NSC - FORMATO (2014)

NGERA - nº de gerações automáticas realizadas na estrutura.
NNLID - nº de nós a serem lidos em cartões de dados.
NELID - nº de elementos a serem lidos em cartões de dados.
NNOS - nº de nós da estrutura discretizada.
NELEM - nº de elementos.
NIMP - nº de nós com impedimento.
LIBNO - nº de graus de liberdade por cada nó.
NPEL - nº de diferentes propriedades elásticas.
NSC - nº de sistemas de carregamentos considerados sobre a estrutura.

Não está incluído o carregamento devido ao peso próprio, que caso se necessite, há uma outra forma de entrada.

Como neste programa se trabalha com o elemento hexaedro de deslocamentos lineares, o valor de LIBNO = 3 e NNOEL = 8. Este programa pode ser utilizado para estudos de outros elementos, variando o valor numérico de LIBNO e NNOEL.

K,X(K,1),X(K,2),X(K,3) (NNLID cartões) FORMATO (I10,3F10.3)

K nº do nó

X(K,1),X(K,2),X(K,3) - coordenadas dos nós nas direções X,Y e Z.

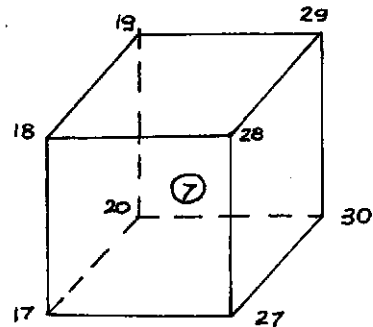
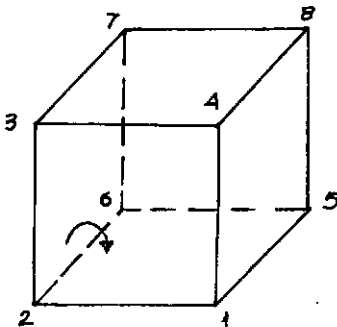
Os cartões não necessitam estarem ordenados no 1130; pode-se bater o nº K com ponto em qualquer coluna.

K, (INOS(K,J),J=1,NNOEL), NPE(K) - FORMATO (2014)

K - nº do elemento

INOS - nº dos nós que incidem no elemento em forma ordenada.

NPE(K) - nº do grupo de mesma propriedade elástica que pertence o elemento K. Por exemplo: o problema tem 3 propriedades elásticas que foram separadas em 3 grupos. O elemento K considerado tem NPE = 2. Está no 2º grupo. A figura abaixo indica a ordem em que os nºs. devem ser colocados.



NELEM = 7

NEP = 1

No cartão será perfurado:

7 27 17 18 28 30 20 19 29 1

Se NGERA \neq 0 teremos os cartões referentes a cada furação automática.

NNP, NEP, NIN, NIE, ND, NPEG, FORMATO (2014)

NNP - nº de nós no plano de corte.

NEP - nº de elementos que aparecem no plano.

NIN - nº do nó inicial.

NIE - nº do elemento inicial.

ND - nº de divisões realizadas (corte na subestrutura)

NPEG - nº de propriedades elásticas da geração.

I, X(I,1), X(I,2), X(I,3), X2, Y2, Z2 (NNP CARTÕES)

I - nº do nó no plano de corte.

X(I,1), X(I,2), X(I,3) - coordenadas do nó inicial (no 1º plano)

X2, Y2, Z2 - coordenadas do nó final (último plano).

I, (INOS(I,J), J=1,4) FORMATO (2014) NEP CARTÕES.

I - nº do elemento.

INOS - nº dos nós incidentes do elemento que aparecem no plano. Os nºs. devem ser ordenados com o sentido de rotação dos ponteiros do relógio.

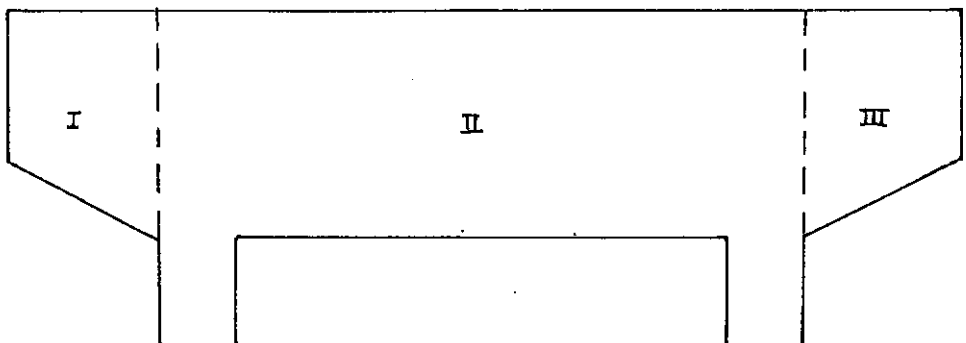
K, NEI, NEF, IV, FORMATO (2014) NPEG CARTÕES.

K - nº do grupo de mesmas propriedades elásticas.

NEI - nº do elemento inicial.

NEF - nº do elemento final.

IV - nº de divisões existentes de elementos pertencentes ao grupo elástico. Exemplo: uma secção transversal de uma ponte com 3 grupos de propriedades elásticas (I,II,III)



NNP = 43 NEP = 26 NIN = 1 NIE = 1 ND = 8 NPEG = 3

Nó 1:

$X(1,1) = 0$ $X(1,2) = H$ $X(1,3) = 0$

$X2 = 0$ $Y2 = H$ $Z2 = L$

Elemento 1:

INOS (1,1) = 5

INOS (1,2) = 2

INOS (1,3) = 3

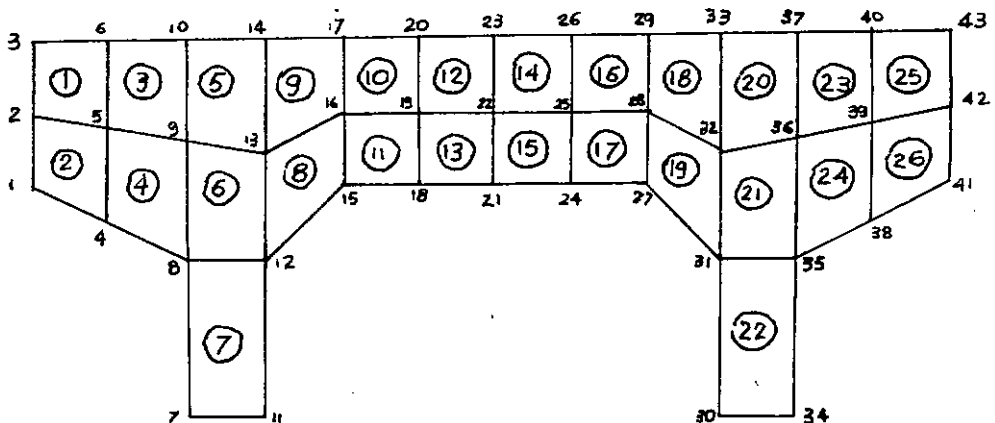
INOS (1,4) = 6

grupo 1:

NEI = 1 NEF = 4 IV = 8

grupo 2:

NEI = 5 NEF = 22 IV = 8



NI, NR(1,1), NR(I,2), NR(I,3), DA(I,1), DA(I,2), DA(I,3)

FORMATO (I4, 1x, 3I1, 2x, 3E10.3) NIMP CARTÕES

NI - nº do nó com impedimento.

NR(I,J) - nº indicativo do tipo de ligação.

se $NR = 0$ existe impedimento.

se $NR = 1$ existe liberdade de deslocamento. 1,2,3 se referem às direções X,Y,Z.

$DA(I,1)$, $DA(I,2)$, $DA(I,3)$ - valores dos deslocamentos nas direções X,Y,Z.

Se corresponder a uma direção livre, este valor é desprezado.

Se o deslocamento for zero, pode ser dispensado a perfuração, pois o computador toma como zero automaticamente.

$K, E(K,1)$, $E(K,2)$, $E(K,3)$, $G1(K)$, $G3(K)$. FORMATO (I10,6E10.3)
1 CARTÃO

K - nº do grupo de mesma propriedade elástica.

$E(K,1), E(K,2), E(K,3)$ - módulo de elasticidade nas direções 1, 2,3 de um sistema de eixos qualquer, tomado para o grupo elástico.

$G1(K), G2(K), G3(K)$ - módulo de torção nas três direções.

1 cartão continuação:

$N1, N2, V(K, N1, N2), N3, N4, V(K, N3, N4), N5, N6, V(K, N5, N6)$,

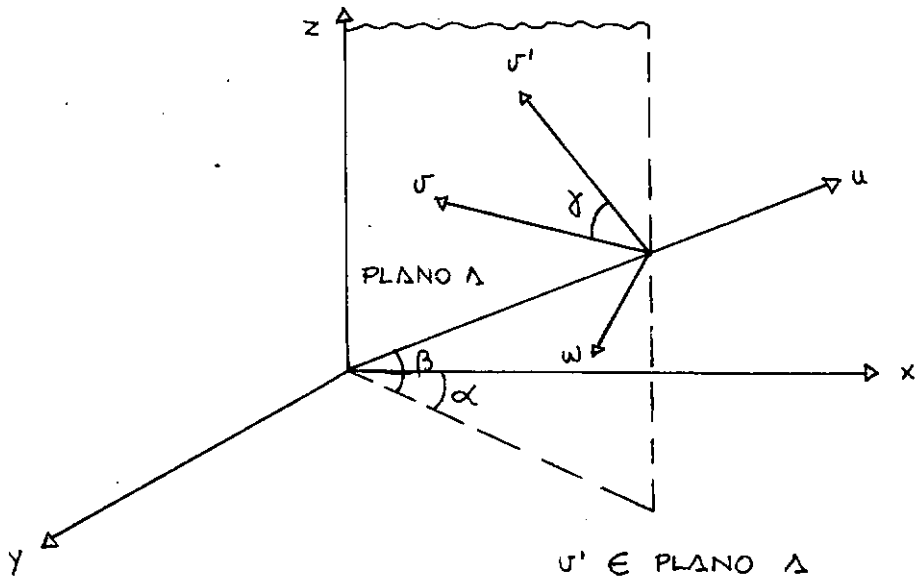
$ANG1(K), ANG2(K), ANG3(K)$ FORMATO (3(2I1, F8.4), 3F10.4)

$N1, N2, V(K, N1, N2)$ - nºs. das direções e coeficiente de Poisson.

Por exemplo: $N1 = 1$ $N2 = 2$ $V(K, N1, N2) = 0.3$ significa $V_{12} = 0.3$

São necessários 6 coeficientes de Poisson para definir a matriz elástica, mas 3 delas são dependentes. Então, são indispensáveis apenas 3, e os restantes são calculados aplicando-se o princípio de reciprocidade de Betti.

$ANG1(K), ANG2(K), ANG3(K)$ - ângulos de ortotropia α, β, γ do sistema definido para o grupo, em relação ao sistema de eixos global definido para a estrutura.



PEX, PEY, PEZ (NCONC(I), I=1, NSC) FORMATO (3F10.3, 12I4)

PEX, PEY, PEZ - pesos específicos da estrutura nas direções X, Y, Z do sistema de eixos global.

Quando se deseja analisar o carregamento devido ao peso próprio se perfura os valores para PEX, PEY, PEZ. Em caso contrário, deixa-se em branco e há um teste de desvio no programa para não analisar este carregamento.

NCONC(I), I=1, NSC - número de cargas concentradas para cada sistema de carregamento a ser analisado. Por exemplo, no 1º sistema de carregamento existe 39 cargas concentradas nos nós ou o seu equivalente, 39 nós carregados; então se faz NCONC (1) = 39 que será perfurado no cartão na coluna correspondente (33 e 34). E assim sucessivamente para os vários sistemas de carregamentos a se analisar.

K, U(3*K-2), U(3*K-1), U(3*K) FORMATO (I10, 3F10.3)

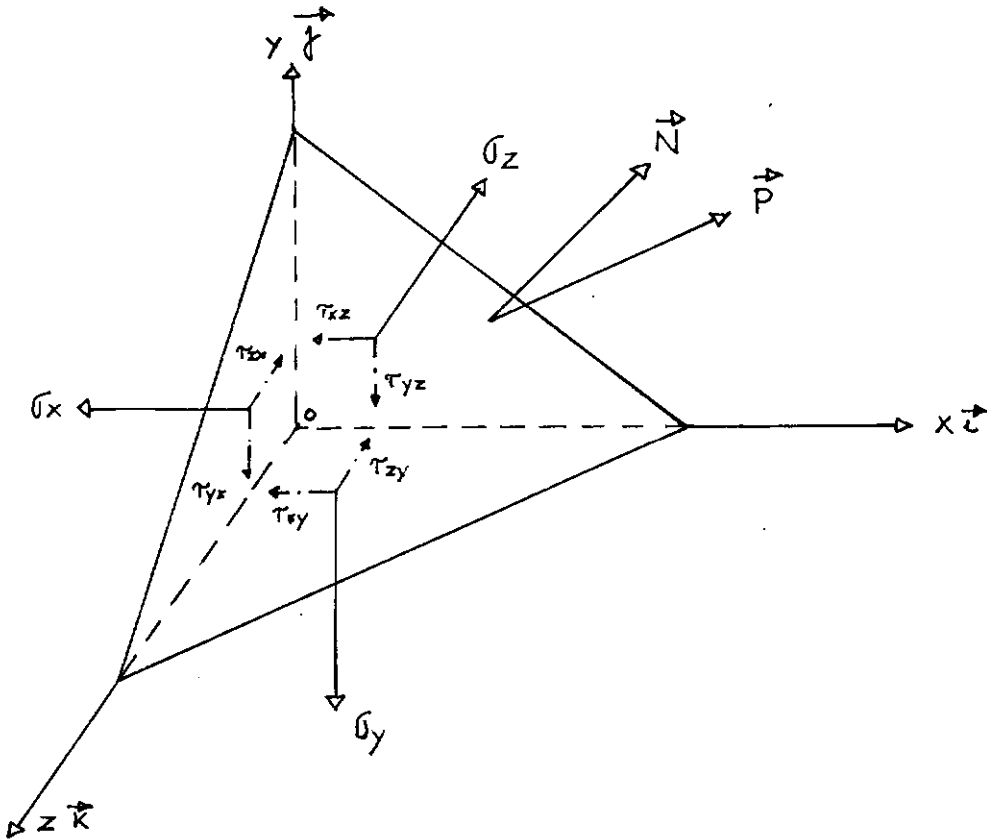
K nº de nó onde será lido a carga concentrada.

$U(3^*K-2), U(3^*K-1), U(3^*K)$ - valores de carga concentrada nas direções X,Y,Z do sistema de eixos global da estrutura.

Depois de perfurar-se os cartões de cargas concentradas para o 1º sistema, continua os referentes ao 2º, 3º etc.

A P E N D I C E I

ESTADO TRIPLO DE TENSÕES



Seja um corpo solicitado por um estado triplo de tensões e se procura determinar as tensões despertadas num plano P.

Temos:

$$\vec{p}_x = - (\sigma_x \vec{i} + \tau_{xy} \vec{j} + \tau_{xz} \vec{k})$$

$$\vec{p}_y = - (\tau_{yz} \vec{i} + \sigma_y \vec{j} + \tau_{zy} \vec{k})$$

$$\vec{p}_z = - (\tau_{zx} \vec{i} + \tau_{zy} \vec{j} + \sigma_z \vec{k})$$

$$\vec{N} = l\vec{i} + m\vec{j} + n\vec{k}$$

$$\vec{p} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

Sabemos que: $\tau_{xy} = \tau_{yx}$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx}$$

$$\tau_{zy} = \tau_{yz}$$

$$\begin{cases} x = \sigma_x l + \tau_{xym} + \tau_{xzn} \\ y = \tau_{xyl} + \sigma_y m + \tau_{yzn} \\ z = \tau_{xzl} + \tau_{yzm} + \sigma_z n \end{cases}$$

Temos:

$$\sigma = \vec{p} \times \vec{N}$$

$$\sigma = Xl + Ym + Zn$$

$$\sigma = \sigma_x l^2 + \tau_{xylm} + \tau_{xzln} + \tau_{xylm} + \sigma_y m^2 + \tau_{yznm} + \tau_{xzln} + \tau_{yznm} + \sigma_z n^2$$

$$\sigma = \sigma_x l^2 + \sigma_y m^2 + \sigma_z n^2 + 2\tau_{xylm} + 2\tau_{xzln} + 2\tau_{yznm}$$

①

As tensões cizalhantes serão:

$$\tau = \vec{p}_1 \times \vec{N} \quad \text{ONDE} \quad \vec{p}_1 = X_1\vec{i} + Y_1\vec{j} + Z_1\vec{k}$$

$$\tau = X_1 l + Y_1 m + Z_1 n$$

$$\begin{cases} X_1 = \sigma_x l_1 + \tau_{xy} m_1 + \tau_{xz} n_1 \\ Y_1 = \tau_{xy} l_1 + \sigma_y m_1 + \tau_{yz} n_1 \\ Z_1 = \tau_{xz} l_1 + \tau_{yz} m_1 + \sigma_z n_1 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} T = & \sigma_x l_1 l + \sigma_{xy} m_1 l + \tau_{xz} n_1 l + \tau_{xy} l_1 m + \sigma_y m_1 m + \\ & + \tau_{yz} n_1 m + \tau_{xz} l_1 n + \tau_{yz} m_1 n + \sigma_z n_1 n \end{aligned}$$

$$T = \sigma_x l_1 l + \sigma_y m_1 m + \sigma_z n_1 n + \tau_{xy} (m_1 l + l_1 m) + \tau_{xz} (n_1 l + l_1 n) + \tau_{yz} (n_1 m + m_1 n)$$

②

De ① e ② tiramos respectivamente:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_u \\ \sigma_v \\ \sigma_w \\ \tau_{uv} \\ \tau_{uw} \\ \tau_{vw} \end{Bmatrix} = [R] \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} \quad \therefore \{ \sigma^* \} = [R] \{ \sigma \}$$

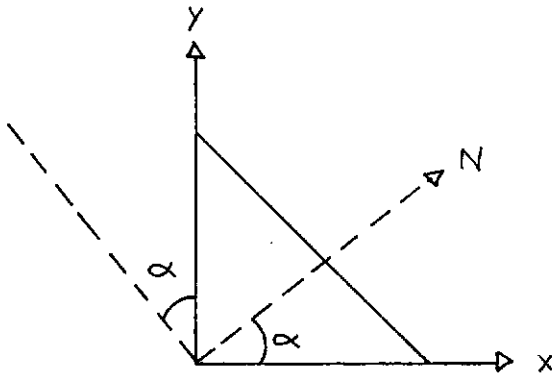
$\sigma_u, \sigma_v, \sigma_w, \tau_{uv}, \tau_{uw}, \tau_{vw}$

Onde $[R]$ é:

$$[R] = \begin{bmatrix} l_1^2 & m_1^2 & n_1^2 & 2l_1 m_1 & 2n_1 m_1 & 2l_1 n_1 \\ l_2^2 & m_2^2 & n_2^2 & 2l_2 m_2 & 2n_2 m_2 & 2l_2 n_2 \\ l_3^2 & m_3^2 & n_3^2 & 2l_3 m_3 & 2n_3 m_3 & 2l_3 n_3 \\ l_1 l_2 & m_1 m_2 & n_1 n_2 & m_1 l_2 + l_1 m_2 & n_1 m_2 + n_2 m_3 & n_1 l_2 + l_1 n_2 \\ l_2 l_3 & m_2 m_3 & n_2 n_3 & m_2 l_3 + l_2 m_3 & n_2 m_3 + n_3 m_2 & n_2 l_3 + l_2 n_3 \\ l_1 l_3 & m_1 m_3 & n_1 n_3 & m_1 l_3 + l_1 m_3 & n_1 m_3 + m_1 n_3 & n_1 l_3 + l_1 n_3 \end{bmatrix}$$

Para o estado de tensões temos:

$$\sigma_z = 0 \quad \sigma_{yz} = \sigma_{xz} = 0 \quad M_1 = M_2 = M_3 = 0$$



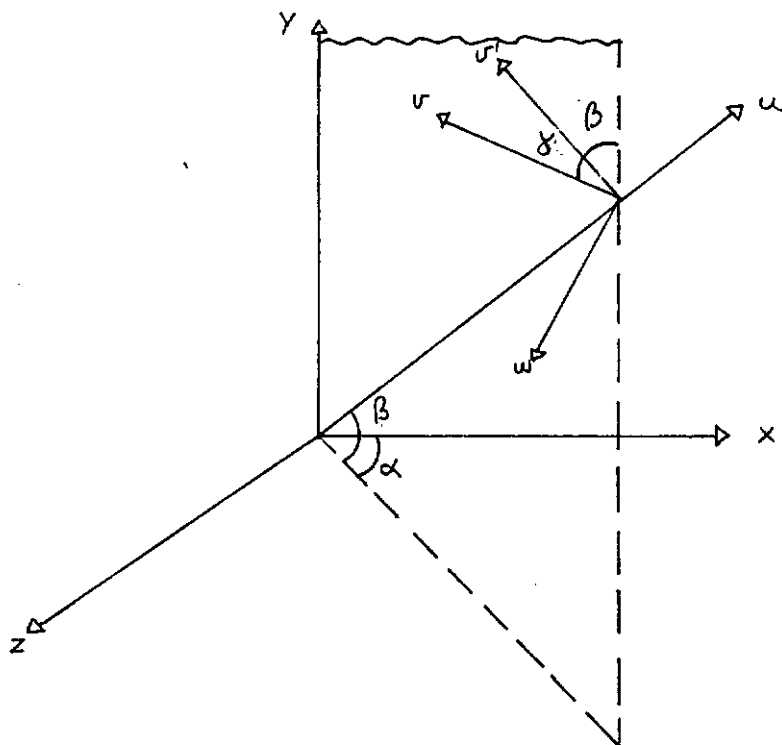
$$l_1 = \cos \alpha \quad m_1 = \sin \alpha$$

$$l_2 = -\sin \alpha \quad m_2 = \cos \alpha$$

$$[R] = \begin{bmatrix} l_1^2 & m_1^2 & 2l_1m_1 \\ l_2^2 & m_2^2 & 2l_2m_2 \\ l_1l_2 & m_1m_2 & m_1l_2 + l_1m_2 \end{bmatrix}$$

$$[R] = \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha & \sin^2 \alpha & 2 \sin \alpha \cos \alpha \\ \sin^2 \alpha & \cos^2 \alpha & -2 \sin \alpha \cos \alpha \\ -\sin \alpha \cos \alpha & \sin \alpha \cos \alpha & (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) \end{bmatrix}$$

Procuramos encontrar os cossenos diretores em função de ângulos de giro α , β , γ .



cossenos diretores

$$u \begin{cases} l_1 \\ m_1 \\ n_1 \end{cases}$$

$$v \begin{cases} l_2 \\ m_2 \\ n_2 \end{cases}$$

$$w \begin{cases} l_3 \\ m_3 \\ n_3 \end{cases}$$

Podemos encontrar facilmente que:

$$n_2 = \cos \gamma \cos \beta$$

$$l_1 = \cos \beta \cos \alpha$$

$$m_1 = \cos \beta \sin \alpha$$

$$m_3 = \sin \beta$$

Por condições de ortogonalidade temos em relação a u, v, w

$$l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2 = 0$$

$$l_1 l_3 + m_1 m_3 + n_1 n_3 = 0$$

$$l_2 l_3 + m_2 m_3 + n_2 n_3 = 0$$

e ainda:

$$l_1^2 + m_1^2 + n_1^2 = 1$$

$$l_2^2 + m_2^2 + n_2^2 = 1$$

$$l_3^2 + m_3^2 + n_3^2 = 1$$

Dai podemos obter:

$$l_2 = -\cos \delta \sin \beta \cos \alpha - \sin \delta \sin \alpha$$

$$n_2 = \sin \delta \cos \alpha - \cos \delta \sin \beta \sin \alpha$$

$$l_3 = \sin \delta \sin \beta \cos \alpha - \cos \delta \sin \alpha$$

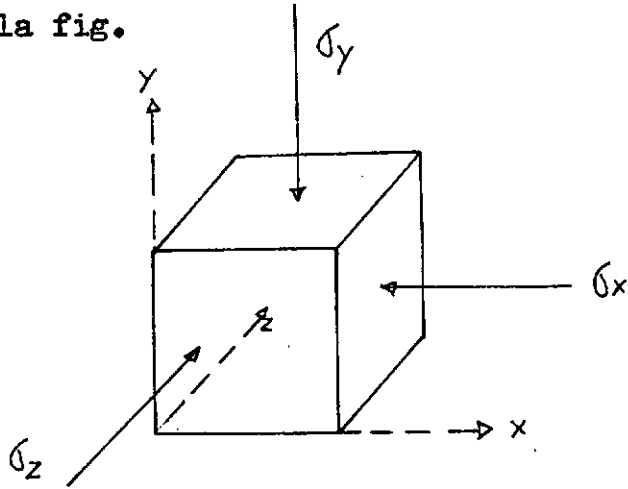
$$n_3 = \sin \delta \sin \beta \sin \alpha + \cos \delta \cos \alpha$$

$$m_3 = -\sin \delta \cos \beta$$

A P E N D I C E I I

MATRIZ ELÁSTICA

Quando um corpo é solicitado por tensões $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ como a indicada pela fig.



Obteremos deformações nas direções x, y, z . Com a aplicação de teremos:

$$\sigma_x \rightarrow E_{xx} \quad E_{yx} \quad E_{zx}$$

de maneira análoga:

$$\sigma_y \rightarrow E_{xy} \quad E_{yy} \quad E_{zy}$$

$$\sigma_z \rightarrow E_{xz} \quad E_{yz} \quad E_{zz}$$

E_{ij} representa a deformação na direção i devido a uma solicitação em j : Teremos ainda

$$E_{yx} = -V_{yx}E_{xx} \quad E_{zx} = -V_{zx}E_{xx} \quad V_{ij} \text{ é o coeficiente de Poisson e tem o mesmo significado que a deformação } E_{ij}.$$

$$E_{xy} = -V_{xx}E_{yy} \quad E_{zy} = -V_{zy}E_{yy}$$

$$E_{xz} = -V_{xz}E_{zz} \quad E_{yz} = -V_{yz}E_{zz}$$

Sabemos que em cada direção teremos uma deformação que será a soma das deformações devidas a σ_x , σ_y , σ_z . Então

$$\epsilon_x = \epsilon_{xx} + \epsilon_{yx} + \epsilon_{zx}$$

$$\epsilon_y = \epsilon_{xy} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zy}$$

$$\epsilon_z = \epsilon_{xz} + \epsilon_{yz} + \epsilon_{zz}$$

Para a elasticidade linear podemos dizer que:

$$\epsilon_{xx} = \frac{\sigma_x}{E_x} \quad \epsilon_{yy} = \frac{\sigma_y}{E_y} \quad \epsilon_{zz} = \frac{\sigma_z}{E_z}$$

Concluimos que:

$$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E_x} - \nu_{xy} \frac{\sigma_y}{E_y} - \nu_{xz} \frac{\sigma_z}{E_z} \\ \epsilon_y = -\nu_{yx} \frac{\sigma_x}{E_x} + \frac{\sigma_y}{E_y} - \nu_{yz} \frac{\sigma_z}{E_z} \\ \epsilon_z = -\nu_{zx} \frac{\sigma_x}{E_x} - \nu_{zy} \frac{\sigma_y}{E_y} + \frac{\sigma_z}{E_z} \end{array} \right.$$

Ou em forma matricial

$$\{\epsilon\} = [H] \{\sigma\}$$

$$[H] = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{xy}}{E_y} & -\frac{\nu_{xz}}{E_z} \\ -\frac{\nu_{yx}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & -\frac{\nu_{yz}}{E_z} \\ -\frac{\nu_{zx}}{E_x} & -\frac{\nu_{zy}}{E_y} & \frac{1}{E_z} \end{pmatrix}$$

Para a determinação das tensões $\{\sigma\}$ em funções de $\{\epsilon\}$ fazemos:

$$\{\sigma\} = [H]^{-1}\{\epsilon\} \quad \text{ou} \quad \{\sigma\} = [D]\{\epsilon\}$$

$$[D] = [H]^{-1}$$

$[D] \rightarrow$ É A MATRIZ ELÁSTICA

Notamos que são necessário 6 coeficientes de Poisson e 3 módulos de elasticidade necessários para definir a matriz elástica $[D]$

Sabemos do princípio de reciprocidade de Betti que se:

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z \quad \epsilon_{ij} = \epsilon_{ji}$$

$$\epsilon_{ij} = -\nu_{ij}\epsilon_{jj} = -\nu_{ij} \frac{\sigma_j}{E_j} \quad \therefore \quad \frac{\nu_{ij}}{E_j} = \frac{\nu_{ji}}{E_i}$$

$$\epsilon_{ji} = -\nu_{ji}\epsilon_{ii} = -\nu_{ji} \frac{\sigma_i}{E_i} \quad \nu_{ij} = \nu_{ji} \cdot \frac{E_j}{E_i}$$

Procuramos a inversa de $[H]$

$$\text{DET } \Delta = \begin{vmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{xy}}{E_y} & -\frac{\nu_{xz}}{E_z} \\ -\frac{\nu_{yx}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & -\frac{\nu_{yz}}{E_z} \\ -\frac{\nu_{zx}}{E_x} & -\frac{\nu_{zy}}{E_y} & \frac{1}{E_z} \end{vmatrix} = \frac{1}{E_x E_y E_z} (1 - \nu_{xy}\nu_{yz} - \nu_{yx} \cdot \nu_{zy}\nu_{xz} - \nu_{xz}\nu_{zx} - \nu_{yx} \cdot \nu_{xy} - \nu_{zy} \cdot \nu_{yz})$$

$$[D] = \frac{1}{\Delta} \begin{pmatrix} C_{11} & & \\ C_{12} & C_{22} & \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} \end{pmatrix} \quad \text{SIMMET.}$$

$$C_{11} = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_y} & -\frac{V_{yz}}{E_z} \\ -\frac{V_{zy}}{E_y} & \frac{1}{E_z} \end{pmatrix} = \frac{1}{E_y E_z} (1 - V_{zy} \cdot V_{yz})$$

$$C_{12} = - \begin{pmatrix} -\frac{V_{yx}}{E_x} & -\frac{V_{yz}}{E_x} \\ -\frac{V_{zy}}{E_x} & \frac{1}{E_z} \end{pmatrix} = \frac{1}{E_x E_z} (V_{yx} + V_{zx} \cdot V_{yz})$$

$$C_{13} = \begin{pmatrix} -\frac{V_{yx}}{E_x} & \frac{1}{E_y} \\ -\frac{V_{zx}}{E_x} & \frac{1}{E_z} \end{pmatrix} = \frac{1}{E_x E_y} (V_{zx} + V_{yx} \cdot V_{zy})$$

$$C_{22} = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{V_{xz}}{E_z} \\ -\frac{V_{zx}}{E_x} & \frac{1}{E_z} \end{pmatrix} = \frac{1}{E_x E_z} (1 - V_{zx} \cdot V_{xz})$$

$$C_{23} = - \begin{pmatrix} \frac{1}{E_x} & \frac{-V_{xy}}{E_y} \\ \frac{-V_{zx}}{E_x} & \frac{-V_{zy}}{E_y} \end{pmatrix} = \frac{1}{E_x E_y} (V_{zy} + V_{xy} \cdot V_{zx})$$

$$C_{33} = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_x} & \frac{-V_{xy}}{E_y} \\ \frac{-V_{yx}}{E_y} & \frac{1}{E_y} \end{pmatrix} = \frac{1}{E_x E_y} (1 - V_{xy} \cdot V_{yx})$$

QUANDO: $E_x = E_y = E_z = E$ e

$V_{xy} = V_{yx} = \dots = V$ TEREMOS :

$$[D] = \frac{E}{(1+V)(1-2V)} \begin{pmatrix} 1-V & & \\ V & 1-V & \\ V & V & 1-V \end{pmatrix} \text{ SIMET.}$$

BIBLIOGRAFIA

1. Application of Finite Element Methods in Civil Engineering - ASCE - Novembro 1969
"Comparison of Three Dimensional Finite Elements"
2. Theory of Matrix Structural Analysis - J.S. Przemieniecki
3. Estudo de Estruturas Tridimensionais pelo Método dos Elementos Finitos - José de Oliveira Pedro - 2as Jornadas Luso Brasileiras de Engenharia Civil
4. Int. J. Solids Structures, 1968 vol.4 pp.31 to 42. "Curved Isoparametric, "Quadrilateral" Elements for Finite Element Analysis - I. Ergatoudis, B. M. Irons and O. C. Zienkiewicz"
5. Theory of Elasticity - S. Timoshenko e Goodier
6. O Método dos Elementos Finitos: Fundamentos Teóricos - Automatização - Aplicações a Problemas de Placas e de Elasticidade Plana - Tese de D. Sc. COPPE, 1970 - Alcebíades Vasconcellos Filho
7. "Fortran - Monitor, Princípios" - T. Pacitti
8. Elementos Isoparamétricos - Curso Mecânica das Estruturas III - COPPE - UFRJ, 1971 - Venâncio Filho

// FOR HEXAEDRO DE 12 TETRAEDROS

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

SUBROUTINE MRIGE(C,XE,IELEM,E1,E2,E3,V12,V13,V23,V21,V31,V32,

*GE1,GE2,GE3,CX,CY,CZ,VOLE)

DIMENSION INC(12,4),C(27,27),XE(9,3),XET(4,3),CT(12,12)

*,A(3,3),A1(3,24)

C

C COORDENADAS DO PONTO INTERIOR

C

DO 10 J=1,3

10 XE(9,J)=(XE(1,J)+XE(2,J)+XE(3,J)+XE(4,J)+XE(5,J)+XE(6,J)+XE(7,J)

*+XE(8,J))/8.

DO 20 I=1,27

DO 20 J=1,27

20 C(I,J)=0.

C
C INCIDENCIAS DOS TETRAEDROS NO ELEMENTOC
INC(1,1)=1
INC(1,2)=4
INC(1,3)=2
INC(2,1)=2
INC(2,2)=4
INC(2,3)=3
INC(3,1)=4
INC(3,2)=7
INC(3,3)=3
INC(4,1)=4
INC(4,2)=8
INC(4,3)=7
INC(5,1)=6
INC(5,2)=7
INC(5,3)=8
INC(6,1)=6
INC(6,2)=8
INC(6,3)=5
INC(7,1)=1
INC(7,2)=6
INC(7,3)=5
INC(8,1)=1
INC(8,2)=2
INC(8,3)=6
INC(9,1)=1
INC(9,2)=8
INC(9,3)=4
INC(10,1)=1
INC(10,2)=5
INC(10,3)=8
INC(11,1)=2
INC(11,2)=3
INC(11,3)=7
INC(12,1)=2
INC(12,2)=7
INC(12,3)=6
DO 30 I=1,12
INC(I,4)=930 C
C COORDENADAS DOS TETRAEDROSC
C MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTOC
VOLE=0.

DO 50 IT=1,12

DO 40 J=1,3

DO 40 K=1,4

II=INC(IT,K)

40 XET(K,J)=XE(II,J)

ID=IT+12*(IELEM-1)

CALL MRTET(CT,XET,ID,E1,E2,E3,V12,V13,V23,V21,V31,V32,GE1,GE2,GE3
*,CX,CY,CZ,VOL)

VOLE=VOLE+VOL

DO 60 IN=1,4

```

DO 60 IX=1,3
I=(IN-1)*3+IX
II=(INC(IT,IN)-1)*3+IX
DO 60 JN=1,4
DO 60 JX=1,3
J=(JN-1)*3+JX
JJ=(INC(IT,JN)-1)*3+JX
60 C(II,JJ)=C(II,JJ)+CT(I,J)
50 CONTINUE
C
C CONDENSA A MATRIZ DE RIGIDEZ
C
C INVERSAO DA MATRIZ C22
C
DET=C(25,25)*C(26,26)*C(27,27)+C(25,26)*C(26,27)*C(27,25)
+C(26,25)*C(27,26)*C(25,27)-C(25,27)*C(26,26)*C(27,25)
*-C(26,25)*C(25,26)*C(27,27)-C(25,25)*C(26,27)*C(27,26)
A(1,1)=(C(26,26)*C(27,27)-C(27,26)*C(26,27))/DET
A(2,1)=(C(27,25)*C(26,27)-C(26,25)*C(27,27))/DET
A(3,1)=(C(26,25)*C(27,26)-C(27,25)*C(26,26))/DET
A(1,2)=(C(27,26)*C(25,27)-C(25,26)*C(27,27))/DET
A(2,2)=(C(25,25)*C(27,27)-C(27,25)*C(25,27))/DET
A(3,2)=(C(27,25)*C(25,26)-C(25,25)*C(27,26))/DET
A(1,3)=(C(25,26)*C(26,27)-C(26,26)*C(25,27))/DET
A(2,3)=(C(26,25)*C(25,27)-C(25,25)*C(26,27))/DET
A(3,3)=(C(25,25)*C(26,26)-C(26,25)*C(25,26))/DET
C
C MULTIPLICACAO DE A*C21
C
DO 70 I=1,3
DO 70 J=1,24
A1(I,J)=0.
DO 70 K=1,3
70 A1(I,J)=A1(I,J)+A(I,K)*C(K+24,J)
DO 80 I=1,24
DO 80 J=1,24
S=0.
DO 90 K=1,3
90 S=S+C(I,K+24)*A1(K,J)
80 C(I,J)=C(I,J)-S
K2=IELEM
WRITE(2*K2) INC,A1
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR MRIGE
COMMON 0 VARIABLES 566 PROGRAM 1246

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0246 (HEX)

END OF COMPILATION

// DUP

*STORE WS UA MRIGE

CART ID 00FF DB ADDR 477F DB CNT 0051

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

SUBROUTINE MRTET(C,XET,ID,E1,E2,E3,V12,V13,V23,V21,V31,V32,
*GE1,GE2,GE3,CX,CY,CZ,VOL)DIMENSION B(6,12),DB(6,12),C(12,12),A(3,2),D(6,6),XET(4,3),R(6,6),
*R1(6,6)

C

DO 10 I=1,6

DO 10 J=1,6

D(I,J)=0.

R(I,J)=0.

B(I,J)=0.

10

B(I,J+6)=0.

DET=(1.-V12*V23*V31-V21*V32*V13-V13*V31-V21*V12-V32*V23)

D(1,1)=(1.-V32*V23)/DET*E1

D(2,1)=(V21+V31*V23)/DET*E2

D(3,1)=(V31+V21*V32)/DET*E3

D(2,2)=(1.-V31*V13)/DET*E2

D(3,2)=(V32+V12*V31)/DET*E3

D(3,3)=(1.-V12*V21)/DET*E3

D(4,4)=GE1

D(5,5)=GE2

D(6,6)=GE3

D(1,2)=D(2,1)

D(1,3)=D(3,1)

D(2,3)=D(3,2)

OCX=(XET(1,1)+XET(2,1)+XET(3,1)+XET(4,1))/4.

OCY=(XET(1,2)+XET(2,2)+XET(3,2)+XET(4,2))/4.

OCZ=(XET(1,3)+XET(2,3)+XET(3,3)+XET(4,3))/4.

VOL1=(XET(2,1)-XET(1,1))*(XET(3,2)-XET(1,2))*(XET(4,3)-XET(1,3))

VOL2=(XET(2,2)-XET(1,2))*(XET(3,3)-XET(1,3))*(XET(4,1)-XET(1,1))

VOL3=(XET(3,1)-XET(1,1))*(XET(4,2)-XET(1,2))*(XET(2,3)-XET(1,3))

VOL4=(XET(4,1)-XET(1,1))*(XET(3,2)-XET(1,2))*(XET(2,3)-XET(1,3))

VOL5=(XET(3,1)-XET(1,1))*(XET(2,2)-XET(1,2))*(XET(4,3)-XET(1,3))

VOL6=(XET(2,1)-XET(1,1))*(XET(4,2)-XET(1,2))*(XET(3,3)-XET(1,3))

VOL=(VOL1+VOL2+VOL3-VOL4-VOL5-VOL6)/6.

C

C

MATRIZ ROTACIONAL

IF(CX) 1,2,1

2

IF(CY) 1,3,1

3

IF(CZ) 1,4,1

1

C1=COS(CX)

C2=COS(CY)

C3=COS(CZ)

S1=SIN(CX)

S2=SIN(CY)

S3=SIN(CZ)

C(1,1)=C2*C1

C(1,2)=C2*S1

C(1,3)=S2

C(2,2)=C3*C2

C(3,2)=-S3*C2

C(2,1)=-S3*S1+C3*S2*C1

C(2,3)=S3*C1-C3*S2*S1

C(3,1)=S3*S2*C1-C3*S1

C(3,3)=S3*S2*S1+C3*C1

```

DO 90 I=1,3
R(I,1)=C(I,1)**2
R(I,2)=C(I,2)**2
R(I,3)=C(I,3)**2
R(I,4)=C(I,1)*C(I,2)*2.
R(I,5)=C(I,1)*C(I,3)*2.
R(I,6)=C(I,2)*C(I,3)*2.
R(4,I)=C(1,I)*C(2,I)
R(6,I)=C(1,I)*C(3,I)
90 R(5,I)=C(2,I)*C(3,I)
R(4,4)=C(1,1)*C(2,2)+C(2,1)*C(1,2)
R(4,6)=C(1,1)*C(2,3)+C(2,1)*C(1,3)
R(4,5)=C(1,3)*C(2,2)+C(2,3)*C(1,2)
R(6,4)=C(1,1)*C(3,2)+C(3,1)*C(1,2)
R(6,6)=C(1,1)*C(3,3)+C(3,1)*C(1,3)
R(6,5)=C(1,3)*C(3,2)+C(3,3)*C(1,2)
R(5,4)=C(2,1)*C(3,2)+C(3,1)*C(2,2)
R(5,6)=C(2,1)*C(3,3)+C(3,1)*C(2,3)
R(5,5)=C(2,3)*C(3,2)+C(3,3)*C(2,2)
DO 20 J=1,6
DO 20 I=1,6
R1(I,J)=0.
DO 20 K=1,6
20 R1(I,J)=R1(I,J)+D(I,K)*R(J,K)
DO 30 J=1,6
DO 30 I=1,6
D(I,J)=0.
DO 30 K=1,6
30 D(I,J)=D(I,J)+R(I,K)*R1(K,J)
4 DO 40 K=1,3
LL=-3+K
DO 40 L=1,4
II=0
DO 50 I=1,4
IF(I-L) 5,50,5
5 II=II+1
JJ=0
DO 50 J=1,3
IF(J-K) 6,50,6
6 JJ=JJ+1
A(II,JJ)=XET(I,J)
50 CONTINUE
KL1=K+L+1
IS=(-1)**KL1
LL=LL+3
40 B(K,LL)=IS*(A(2,1)*(A(3,2)-A(1,2))+A(3,1)*(A(1,2)-A(2,2))
+A(1,1)*(A(2,2)-A(3,2)))/(6.*VOL)
DO 60 L=1,10,3
B(6,L+2)=B(1,L)
B(6,L)=B(3,L+2)
B(4,L)=B(2,L+1)
B(4,L+1)=B(1,L)
B(5,L+1)=B(3,L+2)
60 B(5,L+2)=B(2,L+1)
DO 70 J=1,12
DO 70 I=1,6
DB(I,J)=0.
DO 70 K=1,6
70 DB(I,J)=DB(I,J)+D(I,K)*B(K,J)

```

```
DO 80 J=1,12
DO 80 I=1,12
C(I,J)=0.
DO 80 K=1,6
80 C(I,J)=C(I,J)+B(K,I)*DB(K,J)*VOL
K1=ID
WRITE(1*K1) DB,OCX,OCY,OCZ
RETURN
END
```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR MRTET
COMMON 0 VARIABLES 584 PROGRAM 1920

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 025A (HEX)

END OF COMPILATION

// DUP

```
*STORE WS UA MRTET
CART ID 00FF DB ADDR 47D0 DB CNT 0087
```

```
// FOR      HEXAEDRO DE 24 TETRAEDROS
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
  SUBROUTINE MRIGE(C,XE,IELEM,E1,E2,E3,V12,V13,V23,V21,V31,V32,
  *GE1,GE2,GE3,CX,CY,CZ,VJLE,ITEL)
  DIMENSION INC(24,4),C(27,27),XE(9,3),XET(4,3),CT(12,12)
  *,A(3,3),A1(24,3),A2(3,24),DB(6,12),T(6,27)
  *,XM(3),VN(9)
```

C

C COORDENADAS DO PONTO INTERIOR

C

K2=IELEM

FIND(2*K2)

DO 10 J=1,3

10 XE(9,J)=(XE(1,J)+XE(2,J)+XE(3,J)+XE(4,J)+XE(5,J)+XE(6,J)+XE(7,J)
*+XE(8,J))/8.

XM(1)=XE(9,1)

XM(2)=XE(9,2)

XM(3)=XE(9,3)

DO 20 I=1,27

DO 20 J=1,27

20 C(I,J)=0.

C

C

C

INCIDENCIAS DOS TETRAEDROS NO ELEMENTO

INC(1,1)=1

INC(1,2)=4

INC(1,3)=2

INC(2,1)=2

INC(2,2)=4

INC(2,3)=3

INC(3,1)=4

INC(3,2)=7

INC(3,3)=3

INC(4,1)=4

INC(4,2)=8

INC(4,3)=7

INC(5,1)=6

INC(5,2)=7

INC(5,3)=8

INC(6,1)=6

INC(6,2)=8

INC(6,3)=5

INC(7,1)=1

INC(7,2)=6

INC(7,3)=5

INC(8,1)=1

INC(8,2)=2

INC(8,3)=6

INC(9,1)=1

INC(9,2)=8

INC(9,3)=4

INC(10,1)=1

INC(10,2)=5

INC(10,3)=8

INC(11,1)=2

INC(11,2)=3

INC(11,3)=7

INC(12,1)=2

INC(12,2)=7

INC(12,3)=5

INC(13,1)=1

INC(13,2)=3

INC(13,3)=2

INC(14,1)=1

INC(14,2)=4

INC(14,3)=3

INC(15,1)=4

```

INC(15,2)=8
INC(15,3)=3
INC(16,1)=3
INC(16,2)=8
INC(16,3)=7
INC(17,1)=6
INC(17,2)=7
INC(17,3)=5
INC(18,1)=7
INC(18,2)=8
INC(18,3)=5
INC(19,1)=1
INC(19,2)=2
INC(19,3)=5
INC(20,1)=2
INC(20,2)=6
INC(20,3)=5
INC(21,1)=1
INC(21,2)=5
INC(21,3)=4
INC(22,1)=4
INC(22,2)=5
INC(22,3)=8
INC(23,1)=2
INC(23,2)=3
INC(23,3)=6
INC(24,1)=3
INC(24,2)=7
INC(24,3)=6
DO 30 I=1,24
INC(I,4)=9

```

30
C
C
C

COORDENADAS DOS TETRAEDROS E MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO

```

DO 110 I=1,8
110 VN(I)=0.
VBLE=0.
DO 50 IT=1,24
DO 40 J=1,3
DO 40 K=1,4
II=INC(IT,K)
40 XET(K,J)=XE(II,J)
ID=IT+24*(IELEM-1)
CALL MRTET(CT,XET,ID,E1,E2,E3,V12,V13,V23,V21,V31,V32,GE1,GE2,GE3
*,CX,CY,CZ,DB,VOL)
VBLE=VBLE+VOL/2.
DO 100 K=1,4
II=INC(IT,K)
100 VN(II)=VN(II)+VOL/2.
DO 60 IN=1,4
DO 60 IX=1,3
I=(IN-1)*3+IX
II=(INC(IT,IN)-1)*3+IX
DO 60 JN=1,4
DO 60 JX=1,3
J=(JN-1)*3+JX
JJ=(INC(IT,JN)-1)*3+JX
50 C(II,JJ)=C(II,JJ)+CT(I,J)/2.
DO 120 J=1,4

```

```

JJ=INC(IT,J)
DO 120 I=1,6
T(I,3*JJ-2)=T(I,3*JJ-2)+DB(I,3*J-2)/24.
T(I,3*JJ-1)=T(I,3*JJ-1)+DB(I,3*J-1)/24.
120 T(I,3*JJ)=T(I,3*JJ)+DB(I,3*J)/24.
50 CONTINUE
C
C
C CONDENSACAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO
C INVERSAO DA MATRIZ C22
C
DET=C(25,25)*C(26,26)*C(27,27)+C(25,26)*C(26,27)*C(27,25)
*+C(26,25)*C(27,26)*C(25,27)-C(25,27)*C(26,26)*C(27,25)
*-C(26,25)*C(25,26)*C(27,27)-C(25,25)*C(26,27)*C(27,26)
A(1,1)=(C(25,26)*C(27,27)-C(27,26)*C(26,27))/DET
A(2,1)=(C(27,25)*C(26,27)-C(26,25)*C(27,27))/DET
A(3,1)=(C(26,25)*C(27,26)-C(27,25)*C(26,26))/DET
A(1,2)=(C(27,26)*C(25,27)-C(25,26)*C(27,27))/DET
A(2,2)=(C(25,25)*C(27,27)-C(27,25)*C(25,27))/DET
A(3,2)=(C(27,25)*C(25,26)-C(25,25)*C(27,26))/DET
A(1,3)=(C(25,26)*C(26,27)-C(26,26)*C(25,27))/DET
A(2,3)=(C(26,25)*C(25,27)-C(25,25)*C(26,27))/DET
A(3,3)=(C(25,25)*C(26,26)-C(26,25)*C(25,26))/DET
C
C
C MULTIPLICACAO DE A*C21
C
DO 70 I=1,24
DO 70 J=1,3
A1(I,J)=0.
DO 70 K=1,3
70 A1(I,J)=A1(I,J)+C(I,K+24)*A(K,J)
IF(ITEL) 11,12,11
12 WRITE(2*K2) INC,A1,XM,VN,VDLE
11 K1=IELEM
FIND(I*K1)
DO 90 I=1,3
DO 90 J=1,24
A2(I,J)=0.
DO 90 K=1,3
90 A2(I,J)=A2(I,J)+A(I,K)*C(K+24,J)
DO 130 I=1,6
DO 130 J=1,24
DO 130 K=1,3
130 T(I,J)=T(I,J)-T(I,K+24)*A2(K,J)
DO 80 I=1,24
DO 80 J=1,24
DO 80 K=1,3
80 C(I,J)=C(I,J)-A1(I,K)*C(K+24,J)
IF(ITEL) 7,8,7
8 WRITE(1*K1) (T(I,J),J=1,24),I=1,6),XM(1),XM(2),XM(3)
7 RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR MRIGE
COMMON 0 VARIABLES 1248 PROGRAM 1892

```
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
  SJBROUTINE MRTET(C,XET, ID,E1,E2,E3,V12,V13,V23,V21,V31,V32,
  *GE1,GE2,GE3,CX,CY,CZ,DB,VOL)
  DIMENSION B(5,12),DB(6,12),C(12,12),A(3,2),D(6,6),XET(4,3),R(6,5),
  *R1(6,6)
C
  DO 10 I=1,6
  DO 10 J=1,6
  D(I,J)=0.
  R(I,J)=0.
```

```

10  B(I,J)=0.
    B(I,J+6)=0.
    DET=(1.-V12*V23*V31-V21*V32*V13-V13*V31-V21*V12-V32*V23)
    D(1,1)=(1.-V32*V23)/DET*E1
    D(2,1)=(V21+V31*V23)/DET*E2
    D(3,1)=(V31+V21*V32)/DET*E3
    D(2,2)=(1.-V31*V13)/DET*E2
    D(3,2)=(V32+V12*V31)/DET*E3
    D(3,3)=(1.-V12*V21)/DET*E3
    D(4,4)=GE1
    D(5,5)=GE2
    D(6,6)=GE3
    D(1,2)=D(2,1)
    D(1,3)=D(3,1)
    D(2,3)=D(3,2)
-   OCX=(XET(1,1)+XET(2,1)+XET(3,1)+XET(4,1))/4.
    OCY=(XET(1,2)+XET(2,2)+XET(3,2)+XET(4,2))/4.
    OCZ=(XET(1,3)+XET(2,3)+XET(3,3)+XET(4,3))/4.
    VOL1=(XET(2,1)-XET(1,1))*(XET(3,2)-XET(1,2))*(XET(4,3)-XET(1,3))
    VOL2=(XET(2,2)-XET(1,2))*(XET(3,3)-XET(1,3))*(XET(4,1)-XET(1,1))
    VOL3=(XET(3,1)-XET(1,1))*(XET(4,2)-XET(1,2))*(XET(2,3)-XET(1,3))
    VOL4=(XET(4,1)-XET(1,1))*(XET(3,2)-XET(1,2))*(XET(2,3)-XET(1,3))
    VOL5=(XET(3,1)-XET(1,1))*(XET(2,2)-XET(1,2))*(XET(4,3)-XET(1,3))
    VOL6=(XET(2,1)-XET(1,1))*(XET(4,2)-XET(1,2))*(XET(3,3)-XET(1,3))
    VOL=(VOL1+VOL2+VOL3-VOL4-VOL5-VOL6)/6.
    IF(VOL) 7,8,7

```

```

C
C   MATRIZ ROTACIONAL
7   IF(CX) 1,2,1
2   IF(CY) 1,3,1
3   IF(CZ) 1,4,1
1   C1=COS(CX)
    C2=COS(CY)
    C3=COS(CZ)
    S1=SIN(CX)
    S2=SIN(CY)
    S3=SIN(CZ)
    C(1,1)=C2*C1
    C(1,2)=C2*S1
    C(1,3)=S2
    C(2,2)=C3*C2
    C(3,2)=-S3*C2
    C(2,1)=-(S3*S1+C3*S2*C1)
    C(2,3)=S3*C1-C3*S2*S1
    C(3,1)=S3*S2*C1-C3*S1
    C(3,3)=S3*S2*S1+C3*C1
    DO 90 I=1,3
    R(I,1)=C(I,1)**2
    R(I,2)=C(I,2)**2
    R(I,3)=C(I,3)**2
    R(I,4)=C(I,1)*C(I,2)*2.
    R(I,5)=C(I,2)*C(I,3)*2.
    R(I,6)=C(I,1)*C(I,3)*2.
    R(4,I)=C(1,I)*C(2,I)
    R(6,I)=C(1,I)*C(3,I)
90  R(5,I)=C(2,I)*C(3,I)
    R(4,4)=C(1,1)*C(2,2)+C(2,1)*C(1,2)
    R(4,6)=C(1,1)*C(2,3)+C(2,1)*C(1,3)
    R(4,5)=C(1,3)*C(2,2)+C(2,3)*C(1,2)

```

```

R(6,4)=C(1,1)*C(3,2)+C(3,1)*C(1,2)
R(6,6)=C(1,1)*C(3,3)+C(3,1)*C(1,3)
R(6,5)=C(1,3)*C(3,2)+C(3,3)*C(1,2)
R(5,4)=C(2,1)*C(3,2)+C(3,1)*C(2,2)
R(5,6)=C(2,1)*C(3,3)+C(3,1)*C(2,3)
R(5,5)=C(2,3)*C(3,2)+C(3,3)*C(2,2)
DO 20 J=1,6
DO 20 I=1,6
R1(I,J)=0.
DO 20 K=1,6
20 RI(I,J)=R1(I,J)+D(I,K)*R(K,J)
DO 30 J=1,6
DO 30 I=1,6
D(I,J)=0.
DO 30 K=1,6
30 D(I,J)=D(I,J)+R(K,I)*R1(K,J)
4 DO 40 K=1,3
LL=-3+K
DO 40 L=1,4
II=0
DO 50 I=1,4
IF(I-L) 5,50,5
5 II=II+1
JJ=0
DO 50 J=1,3
IF(J-K) 6,50,6
6 JJ=JJ+1
A(II,JJ)=XET(I,J)
50 CONTINUE
KL1=K+L+1
IS=(-1)**KL1
LL=LL+3
40 B(K,LL)=IS*(A(2,1)*(A(3,2)-A(1,2))+A(3,1)*(A(1,2)-A(2,2))
*A(1,1)*(A(2,2)-A(3,2)))/(6.*VOL)
DO 60 L=1,10,3
B(6,L+2)=B(1,L)
B(6,L)=B(3,L+2)
B(4,L)=B(2,L+1)
B(4,L+1)=B(1,L)
B(5,L+1)=B(3,L+2)
50 B(5,L+2)=B(2,L+1)
DO 70 J=1,12
DO 70 I=1,6
DB(I,J)=0.
DO 70 K=1,6
70 DB(I,J)=DB(I,J)+D(I,K)*B(K,J)
DO 80 J=1,12
DO 80 I=1,12
C(I,J)=0.
DO 80 K=1,6
80 C(I,J)=C(I,J)+B(K,I)*DB(K,J)*VOL
8 RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR MRTET
COMMON 0 VARIABLES 438 PROGRAM 1912

// JOB T 00FF 10FF 0EC3

10FF

HENRI

(A63,164870)

NUCLEO DE COMPUTACAO ELETRONICA - UFRJ

0000	00FF	00FF	0000
0001	10FF	10FF	0001
0002	0EC3	0EC3	0002

V2 M09 ACTUAL 32K CONFIG 32K

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

SUBROUTINE GERE(INOS,X,NGERA,NPEL,NPE)

INTEGER RE

DIMENSION INOS(200,8),X(300,3),NPE(200)

C
C
C
C
C

SUBROTINA PARA GERACAO AUTOMATICA DAS COORDENADAS E INCIDENCIAS
DE UM HEXAEDRO DE OITO VERTICES, A PARTIR DAS COORDENADAS
E INCIDENCIAS NUM PLANO DE CORTE DA ESTRUTURA

RE=8

DO 100 IG=1,NGERA

READ(RE,1) NNP,NEP,NIN,NIE,ND

1
C
C
C

FORMAT(20I4)

COORDENADAS DOS NOS

XND=ND

DO 10 IX=1,NNP

READ(RE,2) I,X(I,1),X(I,2),X(I,3),X2,Y2,Z2

2

FORMAT(I10,6F10.3)

II=NNP*ND+I

X(II,1)=X2

X(II,2)=Y2

X(II,3)=Z2

ND1=ND-1

DO 10 K=1,ND1

U=K/XND

P=U/(1.-U)

P1=P+1.

II=NNP*K+I

X(II,1)=(X(I,1)+P*X2)/P1

X(II,2)=(X(I,2)+P*Y2)/P1

10
C
C
C

X(II,3)=(X(I,3)+P*Z2)/P1

INCIDENCIAS DOS ELEMENTOS

DO 20 IPX=1,NEP

READ(RE,1) I,(INOS(I,L),L=1,4)

DO 20 K=1,ND

IEP=NEP*K+I

IEA=IEP-NEP

IAC=NNP*K

DO 20 J=1,4

IN=INOS(I,J)+IAC

INOS(IEA,J+4)=IN

20

INOS(IEP,J)=IN

DO 30 I=1,NPEL

READ(RE,1) K,NEI,NEF,IV

DO 30 J=1,IV

DO 30 L=NEI,NEF

```

      IE=L+NEP*(J-1)
30    NPE(IE)=K
100   CONTINUE
      RETURN
      END

```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR GERE
COMMON 0 VARIABLES 44 PROGRAM 464

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0038 (HEX)

END OF COMPILATION

// DUP

```

*STORE      WS  UA  GERE          OEC3
CART ID OEC3  DB ADDR 1C5F  DB CNT  0020

```

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

```

      SUBROUTINE TENSA(NELEM,INOS,LIBNO,NNOS,U)
      INTEGER W
      DIMENSION DB(6,24),UE(24),T(6),TP(6),XM(3),CDX(3),CDY(3),CDZ(3)
*,U(900),INOS(200,8)

```

```

C
C  ESTA SUBROTINA CALCULA AS TENSOES NO INTERIOR DO ELEMENTO HEXAEDRO
C  ISOPARAMETRICO COM FUNCAO LINEAR
C

```

```

      W=5
      NT=2
      NR=NT**3
      WRITE(W,11)
11    FORMAT(1H1//33X'CALCULO DAS TENSOES'//)
      DO 10 II=1,NELEM
      WRITE(W,14) II
14    FORMAT(///10X'ELEMENTO'I4//1X'PONTOS'2X'X'7X'Y'7X'Z'8X
*,TX'8X'TY'8X'TZ'7X'TXY'7X'TYZ'7X'TZX'/)
      DO 20 J=1,8
      K=INOS(II,J)
      UE(3*J-2)=U(3*K-2)
      UE(3*J-1)=U(3*K-1)
20    UE(3*J)=U(3*K)
      DO 50 K=1,NR
      K1=NR*(II-1)+K
      FIND(1*K1)
      READ(1*K1) ((DB(I,J),J=1,24),I=1,6),XM(1),XM(2),XM(3)
      DO 30 I=1,6
      T(I)=0.
      DO 30 L=1,24
30    T(I)=T(I)+DB(I,L)*UE(L)
      TXY2=T(4)**2
      TYZ2=T(5)**2
      TZX2=T(6)**2
      SXY=T(1)*T(2)
      SYZ=T(2)*T(3)
      SZX=T(3)*T(1)
      C1=T(1)+T(2)+T(3)

```



```

C2=SXY+SYZ+SZX-TXY2-TYZ2-TZX2
C3=SXY*T(3)-T(1)*TYZ2-T(2)*TZX2-T(3)*TXY2+2.*T(4)*T(5)*T(6)
Q=C1**2/3.-C2
R=C3-C1*C2/3.+2.*C1**3/27.
C IF(27.*R**2-4.*Q**3) 1,101,101
1 CFI=(3./Q)**1.5*R/2.
SFI=SQRT(1.-CFI**2)
FI=ATAN(SFI/CFI)
CP=SQRT(Q/3.)
TP(1)=2.*CP*COS(FI/3.)+C1/3.
TP(2)=-2.*CP*COS((3.14158-FI)/3.)+C1/3.
TP(3)=-2.*CP*COS((3.14158+FI)/3.)+C1/3.
DO 40 I=1,3
TI2=T(2)-TP(I)
TI3=T(3)-TP(I)
A=1.
DET=TI2*TI3-TYZ2
IF(DET) 2,3,2
3 DET=1.E-12
2 B=(-T(4)*TI3+T(5)*T(6))/DET
C=(T(4)*T(5)-T(6)*TI2)/DET
ABC=SQRT(A**2+B**2+C**2)
CDX(I)=A/ABC
CDY(I)=B/ABC
40 CDZ(I)=C/ABC
CP=SQRT(1.-CDZ(1)**2)
TP(5)=ATAN(CDZ(1)/CP)*180./3.14158
SA=CDY(1)/CP
CA=SQRT(1.-SA**2)
TP(4)=ATAN(SA/CA)*180./3.14158
CC=CDY(2)/CP
SC=SQRT(1.-CC**2)
TP(6)=ATAN(SC/CC)*180./3.14158
WRITE(W,12) K,XM(1),XM(2),XM(3),(T(I),I=1,6),(TP(J),J=1,6)
12 FORMAT(I4,3F8.2,6F10.2/28X,6F10.2/)
50 CONTINUE
10 CONTINUE
GO TO 4
101 WRITE(W,102) K
102 FORMAT(//10X*HOUVE ERRO NAS TENSOES PRINCIPAIS NO PONTO*I4//)
4 RETURN
END

```

UNREFERENCED STATEMENTS

```
1 101
```

FEATURES SUPPORTED

```
ONE WORD INTEGERS
```

CORE REQUIREMENTS FOR TENSA

```
COMMON 0 VARIABLES 462 PROGRAM 1042
```

```
RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0253 (HEX)
```

```
END OF COMPILATION
```

```
// DUP
```

```
*STORE WS UA TENSA OEC3
CART ID OEC3 DB ADDR 1C7F DB CNT 004C
```

```

// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
  SUBROUTINE SOLVK(NUMB,NBAND,NEB,LIB,S,U)
  DIMENSION S(60,60),U(900)
C
C   SUBROTINA PARA SOLUCAO DE SISTEMAS DE EQUACOES PELO METODO DE
C   GAUSS POR PARTICOES
C
  NBAND=60
  NR=23
C
C   PASSA A MATRIZ S DO ARQUIVO 3 PARA O 4 DO DISCO
C
  DO 10 II=1,NUMB
  K3=NR*(II-1)+1
  READ(3*K3) ((S(IA,JA),JA=1,NBAND),IA=1,NEB)
C   IF(NUMB-1) 10,10,1
  1   K4=NR*(II-1)+1
  WRITE(4*K4) ((S(IA,JA),JA=1,NBAND),IA=1,NEB)
10   CONTINUE
  NB=NUMB
C
C   MODIFICA A MATRIZ ZERANDO A BANDA INFERIOR
C
  NBC=(NEB+NBAND-2)/NEB
  NEB1=NEB+1
  NEB2=2*NEB
  DO 300 NB=1,NUMB
  K4=NR*(NB-1)+1
  READ(4*K4) ((S(IA,JA),JA=1,NBAND),IA=1,NEB)
  NUB=NB+NBC
  IF(NUB-NUMB) 21,21,22
22   NUB=NUMB
21   NC=0
  DO 310 NBI=NB,NUB
  IF(NB-NBI) 3,2,3
  3   K4=NR*(NBI-1)+1
  READ(4*K4) ((S(IA,JA),JA=1,NBAND),IA=NEB1,NEB2)
  2   DO 320 NN=1,NEB
  N=NEB*(NB-1)+NN
  I=N
  DO 290 L=2,NBAND
  I=I+1
  II=I-NEB*(NBI-1-NC)
  IF(I-NEB*NBI) 180,180,290
180  IF(I-NEB*(NBI-1)) 290,290,190
190  IF(S(NN,L)) 240,290,240
240  C=S(NN,L)/S(NN,1)
  J=0
  DO 270 K=L,NBAND
  J=J+1
  IF(S(NN,K)) 260,270,260
260  S(II,J)=S(II,J)-C*S(NN,K)
270  CONTINUE
  U(I)=U(I)-C*U(N)
290  CONTINUE
320  CONTINUE
  K4=NR*(NBI-1)+1
  NI=NEB*NC+1
  NF=NEB*(NC+1)

```

```

WRITE(4*K4) ((S(IA,JA),JA=1,NBAND),IA=NI,NF)
310 NC=1
300 CONTINUE
C
C SUBSTITUICAO INVERSA
C
NB=NUMB+1
N=LIB+1
350 N=N-1
NBN=(N-1)/NEB+1
NN=N-(NBN-1)*NEB
IF(NBN-NB) 8,9,8
8 K4=NR*(NBN-1)+1
READ(4*K4) ((S(IA,JA),JA=1,NBAND),IA=1,NEB)
NB=NBN
9 IF(N) 500,500,360
360 L=N
DO 400 K=2,NBAND
L=L+1
IF(S(NN,K)) 370,400,370
370 IF(U(L)) 380,400,380
380 U(N)=U(N)-S(NN,K)*U(L)
400 CONTINUE
U(N)=U(N)/S(NN,1)
GO TO 350
500 RETURN
END

```

UNREFERENCED STATEMENTS

1

FEATURES SUPPORTED

ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR SOLVK

COMMON 0 VARIABLES 28 PROGRAM 840

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0023 (HEX)

END OF COMPILATION

// DUP

```

*STORE WS UA SOLVK OEC3
CART ID OEC3 DB ADDR ICCB DB CNT 0034

```

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

```

SUBROUTINE MRIGE(XE,IELEM,E1,E2,E3,V12,V13,V23,V21,V31,V32,
*GE1,GE2,GE3,CX,CY,CZ)

```

```

C
C MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO HEXAEDRO ISOPARAMETRICO COM
C FUNCAO LINEAR ZIB8
C

```

```

INTEGER AI(3,8)
DIMENSION R(6,6),R1(6,6),D(6,6),XP(3)
*,XE(8,3),S(8,3),B(6,24),DB(6,24),C(24,24),H(3),A(3)

```

C
C

DO 10 I=1,6

```

10 DO 10 J=1,6
   D(I,J)=0.
   DET=(1.-V12*V23*V31-V21*V32*V13-V13*V31-V21*V12-V32*V23)
   D(1,1)=(1.-V32*V23)/DET*E1
   D(2,1)=(V21+V31*V23)/DET*E2
   D(3,1)=(V31+V21*V32)/DET*E3
   D(2,2)=(1.-V31*V13)/DET*E2
   D(3,2)=(V32+V12*V31)/DET*E3
   D(3,3)=(1.-V12*V21)/DET*E3
   D(4,4)=GE1
   D(5,5)=GE2
   D(6,6)=GE3
   D(1,2)=D(2,1)
   D(1,3)=D(3,1)
   D(2,3)=D(3,2)

```

```

C
C   MATRIZ ROTACIONAL
2   IF(CX) 1,2,1
3   IF(CY) 1,3,1
1   IF(CZ) 1,4,1
   C1=COS(CX)
   C2=COS(CY)
   C3=COS(CZ)
   S1=SIN(CX)
   S2=SIN(CY)
   S3=SIN(CZ)
   C(1,1)=C2*C1
   C(1,2)=C2*S1
   C(1,3)=S2
   C(2,2)=C3*C2
   C(3,2)=-S3*C2
   C(2,1)=-S3*S1+C3*S2*C1
   C(2,3)=S3*C1-C3*S2*S1
   C(3,1)=S3*S2*C1-C3*S1
   C(3,3)=S3*S2*S1+C3*C1
   DO 90 I=1,3
   R(I,1)=C(I,1)**2
   R(I,2)=C(I,2)**2
   R(I,3)=C(I,3)**2
   R(I,4)=C(I,1)*C(I,2)*2.
   R(I,5)=C(I,2)*C(I,3)*2.
   R(I,6)=C(I,1)*C(I,3)*2.
   R(4,I)=C(1,I)*C(2,I)
   R(6,I)=C(1,I)*C(3,I)
90  R(5,I)=C(2,I)*C(3,I)
   R(4,4)=C(1,1)*C(2,2)+C(2,1)*C(1,2)
   R(4,6)=C(1,1)*C(2,3)+C(2,1)*C(1,3)
   R(4,5)=C(1,3)*C(2,2)+C(2,3)*C(1,2)
   R(6,4)=C(1,1)*C(3,2)+C(3,1)*C(1,2)
   R(6,6)=C(1,1)*C(3,3)+C(3,1)*C(1,3)
   R(6,5)=C(1,3)*C(3,2)+C(3,3)*C(1,2)
   R(5,4)=C(2,1)*C(3,2)+C(3,1)*C(2,2)
   R(5,6)=C(2,1)*C(3,3)+C(3,1)*C(2,3)
   R(5,5)=C(2,3)*C(3,2)+C(3,3)*C(2,2)
   DO 20 J=1,6
   DO 20 I=1,6
   R1(I,J)=0.
   DO 20 K=1,6
20  R1(I,J)=R1(I,J)+D(I,K)*R(K,J)
   DO 30 J=1,6
   DO 30 I=1,6

```

```

D(I,J)=0.
DO 30 K=1,6
30 D(I,J)=D(I,J)+R(K,I)*R1(K,J)
C   PARAMETROS DE INTEGRACAO NUMERICA
4   H(1)=5./9.
    H(2)=8./9.
    H(3)=H(1)
    H(1)=1.
    H(2)=1.
    A(1)=-0.774596669
    A(2)=0.
    A(3)= 0.774596669
    A(1)=-0.577350269
    A(2)=-A(1)
    AI(1,1)= 1
    AI(2,1)=-1
    AI(3,1)=-1
    AI(1,4)= 1
    AI(2,4)= 1
    AI(3,4)=-1
    AI(1,3)= 1
    AI(2,3)= 1
    AI(3,3)= 1
    AI(1,2)= 1
    AI(2,2)=-1
    AI(3,2)= 1
    AI(1,5)=-1
    AI(2,5)=-1
    AI(3,5)=-1
    AI(1,8)=-1
    AI(2,8)= 1
    AI(3,8)=-1
    AI(1,7)=-1
    AI(2,7)= 1
    AI(3,7)= 1
    AI(1,6)=-1
    AI(2,6)=-1
    AI(3,6)= 1
C
C   INTEGRACAO NUMERICA PELO METODO DE GAUSS-LEGENDRE
C
DO 120 I=1,24
DO 120 J=1,24
120 C(I,J)=0.
    IC=0
    NT=3
    NT=2
    NR=NT**3
    DO 100 JI=1,NT
    DO 100 KI=1,NT
    DO 100 LI=1,NT
    IC=IC+1
    K1=NR*(IELEM-1)+IC
    FIND(1*K1)
C
C   MONTAGEM DA MATRIZ JACOBIANO
C
XP(1)=0.
XP(2)=0.
XP(3)=0.
DO 140 I=1,8

```

```

C1=1.+A(JI)*AI(1,I)
C2=1.+A(KI)*AI(2,I)
C3=1.+A(LI)*AI(3,I)
C123=C1*C2*C3/8.
S(I,1)=AI(1,I)*C2*C3/8.
S(I,2)=AI(2,I)*C1*C3/8.
S(I,3)=AI(3,I)*C1*C2/8.
XP(1)=XP(1)+C123*XE(I,1)
XP(2)=XP(2)+C123*XE(I,2)
140 XP(3)=XP(3)+C123*XE(I,3)
DO 40 J=1,3
R(1,J)=0.
R(2,J)=0.
R(3,J)=0.
DO 40 I=1,8
R(1,J)=R(1,J)+S(I,1)*XE(I,J)
R(2,J)=R(2,J)+S(I,2)*XE(I,J)
40 R(3,J)=R(3,J)+S(I,3)*XE(I,J)
C
C INVERSAO DA MATRIZ JACOBIANO
C
DETJ=R(1,1)*R(2,2)*R(3,3)+R(1,2)*R(2,3)*R(3,1)+R(2,1)*R(3,2)*R(1,3
*)-R(1,3)*R(2,2)*R(3,1)-R(2,1)*R(1,2)*R(3,3)-R(1,1)*R(2,3)*R(3,2)
HDETJ=H(JI)*H(KI)*H(LI)*DETJ
IF(ABS(DETJ) .GT. 1E-5)
6 WRITE(5,11)
11 FORMAT(//5X'DETERMINANTE DO JACOBIANO NULO'//)
CALL EXIT
5 R1(1,1)=(R(2,2)*R(3,3)-R(3,2)*R(2,3))/DETJ
R1(2,1)=(R(3,1)*R(2,3)-R(2,1)*R(3,3))/DETJ
R1(3,1)=(R(2,1)*R(3,2)-R(3,1)*R(2,2))/DETJ
R1(1,2)=(R(3,2)*R(1,3)-R(1,2)*R(3,3))/DETJ
R1(2,2)=(R(1,1)*R(3,3)-R(3,1)*R(1,3))/DETJ
R1(3,2)=(R(3,1)*R(1,2)-R(1,1)*R(3,2))/DETJ
R1(1,3)=(R(1,2)*R(2,3)-R(2,2)*R(1,3))/DETJ
R1(2,3)=(R(2,1)*R(1,3)-R(1,1)*R(2,3))/DETJ
R1(3,3)=(R(1,1)*R(2,2)-R(2,1)*R(1,2))/DETJ
C
C MATRIZ (B) QUE TRANSFORMA DESLOCAMENTOS NODAIS EM DEFORMACOES
C DO ELEMENTO
C
DO 60 J=1,8
B(1,3*J-2)=0.
B(1,3*J-1)=0.
B(1,3*J)=0.
B(2,3*J-2)=0.
B(2,3*J-1)=0.
B(2,3*J)=0.
B(3,3*J-2)=0.
B(3,3*J-1)=0.
B(3,3*J)=0.
DO 60 I=1,3
B(1,3*J-2)=B(1,3*J-2)+R1(1,I)*S(J,I)
B(2,3*J-1)=B(2,3*J-1)+R1(2,I)*S(J,I)
60 B(3,3*J)=B(3,3*J)+R1(3,I)*S(J,I)
DO 130 I=1,8
B(4,3*I-2)=B(2,3*I-1)
B(4,3*I-1)=B(1,3*I-2)
B(4,3*I)=0.
B(5,3*I-2)=0.
B(5,3*I-1)=B(3,3*I)

```

```

      B(5,3*I)=B(2,3*I-1)
      B(6,3*I-2)=B(3,3*I)
      B(6,3*I-1)=0.
130   B(6,3*I)=B(1,3*I-2)
      DO 70 I=1,6
      DO 70 J=1,24
      DB(I,J)=0.
      DO 70 K=1,6
      IF(D(I,K)) 12,70,12
12    IF(B(K,J)) 13,70,13
13    DB(I,J)=DB(I,J)+D(I,K)*B(K,J)
70    CONTINUE
      WRITE(1*K1) ((DB(I,J),J=1,24),I=1,6),XP(1),XP(2),XP(3)
      IF(IC-NR) 7,8,7
8     K4=4*(IELEM-1)+1
      FIND(4*K4)
7     CONTINUE
      DO 80 I=1,24
      DO 80 J=1,24
      DO 80 K=1,6
      IF(B(K,I)) 14,80,14
14    IF(DB(K,J)) 15,80,15
15    C(I,J)=C(I,J)+B(K,I)*DB(K,J)*HDETJ
80    CONTINUE
100   CONTINUE
      K4=4*(IELEM-1)+1
      WRITE(4*K4) ((C(I,J),J=1,24),I=1,24)
111  FORMAT(6E12.4)
      WRITE(5,111) (C(1,J),J=1,24)
      RETURN
      END

```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR MRIGE
COMMON 0 VARIABLES 2092 PROGRAM 2758

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 085E (HEX)

END OF COMPILATION

// DUP

```

*STORE      WS  UA  MRIGE      OEC3
CART ID OEC3  DB ADDR 1CFF  DB CNT 00C0

```

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

```

SUBROUTINE MASSA(PEX,PEY,PEZ,INOS,NELEM,LIB,U)
DIMENSION INOS(200,8),U(900)

```

```

C
C  ESTA SUBROTINA TRANSFORMA AS FORÇAS DE MASSA EM CARGAS EQUIVALENTES
C  NOS NOS
C
      VR=1.
      DO 10 I=1,LIB
10    U(I)=0.
      DO 20 I=1,NELEM
      DO 20 J=1,8

```

```

K=INOS(I,J)
FX=VR*PEX/8.
FY=VR*PEY/8.
FZ=VR*PEZ/8.
U(3*K-2)=U(3*K-2)+FX
U(3*K-1)=U(3*K-1)+FY
20 U(3*K)=U(3*K)+FZ
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR MASSA
COMMON 0 VARIABLES 16 PROGRAM 154

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0018 (HEX)

END OF COMPILATION

// DUP

```

*STORE WS UA MASSA OEC3
CART ID OEC3 DB ADDR 1DBF DB CNT 000C

```

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

*IOCS(1403PRINTER,2501READER,DISK)

```

DEFINE FILE 1(300,320,U,K1),3(345,320,U,K3),4(300,320,U,K4)

```

```

INTEGER RE,W

```

```

DIMENSION NPE(200),NI(90),NR(90,3),DA(90,3),E(10,3),G1(10),G2(10)

```

```

*,G3(10),V(10,3,3),ANG1(10),ANG2(10),ANG3(10),XE(8,3),NCONC(10)

```

```

*,X(300,3),INOS(200,8),U(900),C(24,24)

```

```

*,S(60,60)

```

```

EQUIVALENCE (X(1),U(1))

```

```

RE=8

```

```

W=5

```

C
C
C
C

```

PROGRAMA DE ESTRUTURAS TRIDIMENSIONAIS PELO METODO DOS ELEMENTOS
FINITOS

```

```

WRITE(W,1)

```

1

```

FORMAT(1H1//5X,52('*')/5X'*'50X'*'/5X'* ANALISE DE TENSOES EM ESTR
*UTURAS TRIDIMENSIONAIS *'/5X'*'50X'*'/5X'* PELO METODO DOS ELEMENT
*OS FINITOS'16X'*'/5X'*'50X'*'/5X'* ENG. HENRIQUE DE CARVALHO MATOS
* CREA NO.541 12R *'/5X'*'50X'*'/5X'* TESE DE MESTRADO'22X'COPPE-U
*FRJ *'/5X'*'50X'*'/5X,52('*')//)

```

```

READ(RE,2) NPROB

```

2

```

FORMAT(20I4)

```

```

WRITE(W,3) NPROB

```

3

```

FORMAT('//5X'NUMERO DE PROBLEMAS EM EXECUCAO'I3//)

```

C
C
C

```

CARACTERISTICAS DA ESTRUTURA DISCRETIZADA

```

```

DO 10 LP=1,NPROB

```

```

READ(RE,7)

```

7

```

FORMAT(80H

```

```

* )

```

```

WRITE(W,7)

```

```

READ(RE,2) NGERA,NNLID,NELID,NNOS,NELEM,NIMP,LIBNO,NNOEL,NPEL,NSC

```



```

WRITE(W,4) LP,NNOS,NELEM,NIMP,LIBNO,NNOEL,NPEL,NSC
4  FORMAT(///5X'PROBLEMA NO.'I3//5X'NO. DE NOS'I4//5X'NO. DE ELEMENTO
*S'I4//5X'NO. DE NOS IMPEDIDOS'I4//5X'NO. DE GRAUS DE LIBERDADE POR
*NO'I4//5X'NO. DE NOS POR ELEMENTO'I4//5X'NO. DE PROPRIEDADES ELAST
*ICAS'I4//5X'NO. DE SISTEMAS DE CARREGAMENTO'I4//)
C
C  GERACAO AUTOMETICA
C
C  IF(NNLID) 101,101,102
C
C  COORDENADAS DOS NOS
C
102 DO 20 I=1,NNLID
20  READ(RE,5) K,X(K,1),X(K,2),X(K,3)
5   FORMAT(I10,3F10.3)
101 IF(NELID) 103,103,104
C
C  INCIDENCIAS DOS ELEMENTOS
C
104 DO 30 I=1,NELID
30  READ(RE,2) K,(INOS(K,J),J=1,NNOEL),NPE(K)
103 IF(NGERA) 105,105,106
106 CALL GERE(INOS,X,NGERA,NPEL,NPE)
105 CONTINUE
WRITE(W,6) (I,X(I,1),X(I,2),X(I,3),I=1,NNOS)
6   FORMAT(///11X'COORDENADAS DOS NOS'//6X'NO'4X'DIR.X'5X'DIR.Y'5X
*'DIR.Z'//(5X,I4,3F10.3//)
WRITE(W,8) (I,(INOS(I,J),J=1,NNOEL),NPE(I),I=1,NELEM)
8   FORMAT(///12X'INCIDENCIAS DOS ELEMENTOS'//6X'EL NO1 NO2 NO3 NO4 N
*O5 NO6 NO7 NO8'3X'NPE'//(5X,9I4,4X,I2//)
C
C  IMPEDIMENTO DOS NOS
C
C  WRITE(W,9)
9   FORMAT(///12X'IMPEDIMENTO DOS NOS'//6X'NO NR1 NR2 NR3'7X'DA1'7X
*'DA2'7X'DA3'//)
DO 40 I=1,NIMP
READ(RE,11) NI(I),NR(I,1),NR(I,2),NR(I,3),DA(I,1),DA(I,2),DA(I,3)
11  FORMAT(I4,1X,3I1,2X,3E10.3)
40  WRITE(W,12) NI(I),NR(I,1),NR(I,2),NR(I,3),DA(I,1),DA(I,2),DA(I,3)
12  FORMAT(4X,4I4,3E10.3)
C
C  CARACTERISTICAS E PROPRIEDADES ELASTICAS
C
DO 50 I=1,NPEL
READ(RE,13) K,E(K,1),E(K,2),E(K,3),G1(K),G2(K),G3(K),N1,N2,V(K,N1,
*N2),N3,N4,V(K,N3,N4),N5,N6,V(K,N5,N6),ANG1(K),ANG2(K),ANG3(K)
13  FORMAT(I10,6E10.3/3(2I1,F8.4),3F10.4)
V(K,N2,N1)=E(K,N2)/E(K,N1)*V(K,N1,N2)
V(K,N4,N3)=E(K,N4)/E(K,N3)*V(K,N3,N4)
50  V(K,N6,N5)=E(K,N6)/E(K,N5)*V(K,N5,N6)
WRITE(W,14) (I,E(I,1),E(I,2),E(I,3),G1(I),G2(I),G3(I),V(I,1,2),
*'V(I,1,3),V(I,2,3),ANG1(I),ANG2(I),ANG3(I),I=1,NPEL)
14  FORMAT(///10X'PROPRIEDADES ELASTICAS'//5X'GRUPO'5X'E1'8X'E2'8X'E3'
*8X'G1'8X'G2'8X'G3'3X'V12'3X'V13'3X'V23'2X'ANG1'2X'ANG2'2X'ANG3'//
*(8X,I2,6E10.3,6F6.3))
C
C  FORMA A MATRIZ DE RIGIDEZ EM BLOCOS
C
DO 160 I=1,NELEM
DO 80 J=1,NNOEL

```

```

      JJ=INOS(I,J)
      XE(J,1)=X(JJ,1)
      XE(J,2)=X(JJ,2)
80     XE(J,3)=X(JJ,3)
      K=NPE(I)
      CX=ANG1(K)*3.1416/180.
      CY=ANG2(K)*3.1416/180.
      CZ=ANG3(K)*3.1416/180.
      E1=E(K,1)
      E2=E(K,2)
      E3=E(K,3)
      GE1=G1(K)
      GE2=G2(K)
      GE3=G3(K)
      V12=V(K,1,2)
      V13=V(K,1,3)
      V23=V(K,2,3)
      V21=V(K,2,1)
      V31=V(K,3,1)
      V32=V(K,3,2)
C
C     MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO
C
      CALL MRIGE(XE,I,E1,E2,E3,V12,V13,V23,V21,V31,V32,GE1,GE2,GE3,
160     *CX,CY,CZ)
      CONTINUE
      NNB=10
      NEB=NNB*LIBNO
      NBAND=60
      NUMB=0
      LBMAX=0
      LIB=LIBNO*NNOS
39     NUMB=NUMB+1
      NM=NNB*NUMB
      NL=NM-NNB+1
      NLA=3*(NL-1)
      DO 60 I=1,NEB
      DO 60 J=1,NBAND
60     S(I,J)=0.
      DO 70 I=1,NELEM
      K4=4*(I-1)+1
      FIND(4*K4)
      DO 140 J=1,NNOEL
      IF(INOS(I,J)-NL) 140,41,41
41     IF(INOS(I,J)-NM) 42,42,140
140    CONTINUE
      GO TO 70
42     READ(4*K4) ((C(IA,JA),JA=1,24),IA=1,24)
      DO 70 LL=1,NNOEL
      DO 70 KK=1,NNOEL
      IF(INOS(I,KK)-NL) 70,17,17
17     IF(INOS(I,KK)-NM) 18,18,70
18     M=LIBNO*(INOS(I,KK)-1)
      N=LIBNO*(INOS(I,LL)-1)
      II=LIBNO*(KK-1)
      JJ=LIBNO*(LL-1)
      IF(N) 70,19,19
19     DO 90 NJ=1,LIBNO
      DO 90 MI=1,LIBNO
      MMI=M+MI-NLA
      NNJ=N+NJ-MMI+1-NLA

```

```

      IMI=II+MI
      JNJ=JJ+NJ
      IF(NNJ) 90,90,21
21     IF(NNJ-LBMAX) 22,22,23
23     LBMAX=NNJ
22     S(MMI,NNJ)=S(MMI,NNJ)+C(IMI,JNJ)
90     CONTINUE
70     CONTINUE
      IF(LBMAX-NBAND) 32,32,33
33     WRITE(W,34)
34     FORMAT(//10X'LARGURA DA BANDA INSUFICIENTE - PARE'///)
      CALL EXIT
C
C     MODIFICACAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DEVIDO A DESLOCAMENTOS IMPEDIDOS
C
32     DO 100 I=1,NIMP
      IF(NI(I)-NL) 100,43,43
43     IF(NI(I)-NM) 44,44,100
44     DO 100 J=1,LIBNO
      IF(NR(I,J)) 100,24,100
24     K=(NI(I)-1)*LIBNO+J-NLA
      S(K,1)=1.E+25
100    CONTINUE
      NRD=23
      K3=NRD*(NUMB-1)+1
      WRITE(3*K3) ((S(I,J),J=1,NBAND),I=1,NEB)
      IF(NM-NNOS) 39,45,45
C
C     CARREGAMENTOS EM EXECUCAO
C
45     READ(RE,38) PEX,PEY,PEZ,(NCONC(I),I=1,NSC)
38     FORMAT(3F10.3,12I4)
      NSC1=NSC+1
      NCA=0
      DO 110 N=1,NSC1
      IF(N-1) 25,25,26
25     PT=ABS(PEX)+ABS(PEY)+ABS(PEZ)
      IF(PT) 110,110,27
27     CALL MASSA(PEX,PEY,PEZ,INOS,NELEM,LIB,U)
      NCA=NCA+1
      WRITE(W,35) NCA,PEX,PEY,PEZ
35     FORMAT(//10X'SISTEMA DE CARREGAMENTO NO.'I4,2X'PESO PROPRIO'
*15('*')//10X'PEX='F10.3,5X'PEY='F10.3,5X'PEZ='F10.3///)
      GO TO 31
26     DO 120 J=1,LIB
120    U(J)=0.
      NC=NCONC(N-1)
      NCA=NCA+1
      WRITE(W,28) NCA
28     FORMAT(//10X'SISTEMA DE CARREGAMENTO NO.'I4,2X,27('*')//10X
*15('*')//8X'NO'8X'FX'8X'FY'8X'FZ'//)
      DO 130 L=1,NC
      READ(RE,29) K,U(3*K-2),U(3*K-1),U(3*K)
29     FORMAT(I10,3F10.3)
130    WRITE(W,29) K,U(3*K-2),U(3*K-1),U(3*K)
C
C     DESLOCAMENTOS PRESCRITOS
C
31     DO 150 I=1,NIMP
      DO 150 J=1,LIBNO
      IF(NR(I,J)) 150,46,150

```

```
46 K=(NI(I)-1)*LIBNO+J
150 U(K)=DA(I,J)*1.E+25
    CALL SOLVK(NUMB, LBMAX, NEB, LIB, S, U)
    WRITE(W, 36) (J, U(3*J-2), U(3*J-1), U(3*J), J=1, NNOS)
36  FORMAT(///10X'DESLOCAMENTOS DOS NOS'//3X'NO'11X'X'15X'Y'15X'Z'//
    *(1X, I4, 3E16.4))
C
C   CALCULO DAS TENSOES
C
    CALL TENSA(NELEM, INOS, LIBNO, NNOS, U)
110 CONTINUE
10  CONTINUE
    CALL EXIT
    END
```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS
IOCS

CORE REQUIREMENTS FOR
COMMON 0 VARIABLES 13404 PROGRAM 2622

END OF COMPILATION

// DUP

```
*STORE        WS   UA   TRIDI            OEC3
CART ID OEC3    DB ADDR   1DCB    DB CNT    00A9
```

// XEQ TRIDI 1

*FILES(1,,OEC3),(3,,OEC3),(4,,OEC3)

```

*****
*
* ANALISE DE TENSOES EM ESTRUTURAS TRIDIMENSIONAIS *
*
* PELO METODO DOS ELEMENTOS FINITOS *
*
* ENG. HENRIQUE DE CARVALHO MATOS CREA NO.541 12R *
*
* TESE DE MESTRADO COPPE-UFRJ *
*
*****

```

NUMERO DE PROBLEMAS EM EXECUCAO 1

EXEMPLO TESTE DE UMA CARGA CONCENTRADA NUMA VIGA EM BALANCO

PROBLEMA NO. 1

NO. DE NOS 45

NO. DE ELEMENTOS 16

NO. DE NOS IMPEDIDOS 9

NO. DE GRAUS DE LIBERDADE PORNO 3

NO. DE NOS POR ELEMENTO 8

NO. DE PROPRIEDADES ELASTICAS 1

NO. DE SISTEMAS DE CARREGAMENTO 2

COORDENADAS DOS NOS

NO	DIR.X	DIR.Y	DIR.Z
1	0.000	0.000	0.000
2	5.000	0.000	0.000
3	10.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	5.000
5	5.000	0.000	5.000
6	10.000	0.000	5.000
7	0.000	0.000	10.000

8	5.000	0.000	10.000
9	10.000	0.000	10.000
10	0.000	5.000	0.000
11	5.000	5.000	0.000
12	10.000	5.000	0.000
13	0.000	5.000	5.000
14	5.000	5.000	5.000
15	10.000	5.000	5.000
16	0.000	5.000	10.000
17	5.000	5.000	10.000
18	10.000	5.000	10.000
19	0.000	10.000	0.000
20	5.000	10.000	0.000
21	10.000	10.000	0.000
22	0.000	10.000	5.000
23	5.000	10.000	5.000
24	10.000	10.000	5.000
25	0.000	10.000	10.000
26	5.000	10.000	10.000
27	10.000	10.000	10.000
28	0.000	15.000	0.000
29	5.000	15.000	0.000
30	10.000	15.000	0.000
31	0.000	15.000	5.000
32	5.000	15.000	5.000
33	10.000	15.000	5.000
34	0.000	15.000	10.000
35	5.000	15.000	10.000
36	10.000	15.000	10.000
37	0.000	20.000	0.000
38	5.000	20.000	0.000

39	10.000	20.000	0.000
40	0.000	20.000	5.000
41	5.000	20.000	5.000
42	10.000	20.000	5.000
43	0.000	20.000	10.000
44	5.000	20.000	10.000
45	10.000	20.000	10.000

INCIDENCIAS DOS ELEMENTOS

EL	NO1	NO2	NO3	NO4	NO5	NO6	NO7	NO8	NPE
1	1	4	5	2	10	13	14	11	1
2	2	5	6	3	11	14	15	12	1
3	4	7	8	5	13	16	17	14	1
4	5	8	9	6	14	17	18	15	1
5	10	13	14	11	19	22	23	20	1
6	11	14	15	12	20	23	24	21	1
7	13	16	17	14	22	25	26	23	1
8	14	17	18	15	23	26	27	24	1
9	19	22	23	20	28	31	32	29	1
10	20	23	24	21	29	32	33	30	1
11	22	25	26	23	31	34	35	32	1
12	23	26	27	24	32	35	36	33	1
13	28	31	32	29	37	40	41	38	1
14	29	32	33	30	38	41	42	39	1
15	31	34	35	32	40	43	44	41	1
16	32	35	36	33	41	44	45	42	1

IMPEDIMENTO DOS NOS

NO	NR1	NR2	NR3	DA1	DA2	DA3
37	0	0	0	0.000E 00	0.000E 00	0.000E 00
38	0	0	0	0.000E 00	0.000E 00	0.000E 00

0.2333E 07	0.4374E 06	0.4374E 06	0.2916E 06	0.2187E 06	0.4374E 06
-0.7291E 06	-0.2187E 06	-0.4374E 06	-0.5833E 06	-0.4374E 06	-0.4374E 06
0.2916E 06	0.4374E 06	0.2187E 06	-0.2916E 06	0.2187E 06	0.2187E 06
-0.5833E 06	-0.2187E 06	-0.2187E 06	-0.7291E 06	-0.4374E 06	-0.2187E 06
0.2333E 07	0.4374E 06	0.4374E 06	0.2916E 06	0.2187E 06	0.4374E 06
-0.7291E 06	-0.2187E 06	-0.4374E 06	-0.5833E 06	-0.4374E 06	-0.4375E 06
0.2916E 06	0.4374E 06	0.2187E 06	-0.2916E 06	0.2187E 06	0.2187E 06
-0.5833E 06	-0.2187E 06	-0.2187E 06	-0.7291E 06	-0.4374E 06	-0.2187E 06
0.2333E 07	0.4374E 06	0.4374E 06	0.2916E 06	0.2187E 06	0.4374E 06
-0.7291E 06	-0.2187E 06	-0.4374E 06	-0.5833E 06	-0.4374E 06	-0.4375E 06
0.2916E 06	0.4374E 06	0.2187E 06	-0.2916E 06	0.2187E 06	0.2187E 06
-0.5833E 06	-0.2187E 06	-0.2187E 06	-0.7291E 06	-0.4374E 06	-0.2187E 06
0.2333E 07	0.4374E 06	0.4374E 06	0.2916E 06	0.2187E 06	0.4374E 06
-0.7291E 06	-0.2187E 06	-0.4374E 06	-0.5833E 06	-0.4374E 06	-0.4375E 06
0.2916E 06	0.4374E 06	0.2187E 06	-0.2916E 06	0.2187E 06	0.2187E 06
-0.5833E 06	-0.2187E 06	-0.2187E 06	-0.7291E 06	-0.4374E 06	-0.2187E 06
0.2333E 07	0.4374E 06	0.4374E 06	0.2916E 06	0.2187E 06	0.4374E 06
-0.7291E 06	-0.2187E 06	-0.4374E 06	-0.5833E 06	-0.4374E 06	-0.4375E 06
0.2916E 06	0.4374E 06	0.2187E 06	-0.2916E 06	0.2187E 06	0.2187E 06
-0.5833E 06	-0.2187E 06	-0.2187E 06	-0.7291E 06	-0.4374E 06	-0.2187E 06

SISTEMA DE CARREGAMENTO NO. 1 *****

CARGAS APLICADAS NOS NOS

NO	FX	FY	FZ
1	250.000	0.000	0.000
2	500.000	0.000	0.000
3	250.000	0.000	0.000
4	500.000	0.000	0.000
5	1000.000	0.000	0.000
6	500.000	0.000	0.000
7	250.000	0.000	0.000
8	500.000	0.000	0.000
9	250.000	0.000	0.000

DESLOCAMENTOS DOS NOS

NO	X	Y	Z
1	0.6095E-02	-0.2031E-02	0.4568E-08
2	0.6095E-02	0.5201E-08	-0.1873E-08
3	0.6095E-02	0.2031E-02	-0.1083E-07
4	0.6095E-02	-0.2031E-02	0.3655E-08
5	0.6095E-02	0.4504E-08	-0.4507E-08
6	0.6095E-02	0.2031E-02	-0.1424E-07
7	0.6095E-02	-0.2031E-02	0.2102E-08
8	0.6095E-02	0.1664E-08	-0.6422E-08
9	0.6095E-02	0.2031E-02	-0.1489E-07
10	0.3936E-02	-0.1904E-02	0.6473E-08
11	0.3936E-02	0.2596E-08	-0.9091E-09
12	0.3936E-02	0.1904E-02	-0.1016E-07
13	0.3936E-02	-0.1904E-02	0.3939E-08
14	0.3936E-02	0.9765E-09	-0.2794E-08
15	0.3936E-02	0.1904E-02	-0.9884E-08
16	0.3936E-02	-0.1904E-02	0.6643E-09
17	0.3936E-02	-0.2224E-09	-0.3520E-08
18	0.3936E-02	0.1904E-02	-0.1032E-07
19	0.2031E-02	-0.1523E-02	0.4491E-08
20	0.2031E-02	0.2293E-08	0.4741E-09
21	0.2031E-02	0.1523E-02	-0.6505E-08

22	0.2031E-02	-0.1523E-02	0.3274E-08
23	0.2031E-02	0.1013E-08	-0.9240E-09
24	0.2031E-02	0.1523E-02	-0.6082E-08
25	0.2031E-02	-0.1523E-02	0.1633E-08
26	0.2031E-02	-0.7014E-09	-0.1770E-08
27	0.2031E-02	0.1523E-02	-0.5868E-08
28	0.6349E-03	-0.8889E-03	0.2554E-08
29	0.6349E-03	0.1183E-08	0.7112E-11
30	0.6349E-03	0.8889E-03	-0.2535E-08
31	0.6349E-03	-0.8889E-03	0.2232E-08
32	0.6349E-03	0.7586E-09	-0.5683E-10
33	0.6349E-03	0.8889E-03	-0.2768E-08
34	0.6349E-03	-0.8889E-03	0.1981E-08
35	0.6349E-03	-0.3932E-10	-0.2271E-10
36	0.6349E-03	0.8889E-03	-0.2906E-08
37	0.2500E-22	-0.2000E-21	0.2276E-27
38	0.5000E-22	0.6295E-27	0.1756E-28
39	0.2500E-22	0.2000E-21	-0.1552E-27
40	0.5000E-22	-0.4000E-21	0.4520E-27
41	0.1000E-21	0.6732E-27	0.7317E-28
42	0.5000E-22	0.4000E-21	-0.3721E-27
43	0.2500E-22	-0.2000E-21	0.2335E-27
44	0.5000E-22	0.5256E-28	0.5187E-28
45	0.2500E-22	0.2000E-21	-0.2291E-27

CALCULO DAS TENSOES

ELEMENTO 1

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	3.94	1.05	0.00 73.15	42.05 -31.09	-0.00 -0.00	-47.69 -56.89	-0.00 0.00	0.00 56.89
2	1.05	3.94	3.94	0.00 73.15	42.05 -31.09	-0.00 -0.00	-47.69 -56.89	-0.00 0.00	0.00 56.89
3	3.94	3.94	1.05	0.00 53.66	11.26 -42.39	-0.00 -0.00	-47.69 -48.36	-0.00 0.00	0.00 48.36
4	3.94	3.94	3.94	0.00 53.66	11.26 -42.39	-0.00 -0.00	-47.69 -48.36	-0.00 0.00	0.00 48.36
5	1.05	1.05	1.05	0.00 59.57	42.05 -17.51	-0.00 -0.00	-32.30 -61.53	-0.00 0.00	0.00 61.53
6	1.05	1.05	3.94	0.00 59.57	42.05 -17.51	-0.00 -0.00	-32.29 -61.53	-0.00 0.00	0.00 61.53
7	3.94	1.05	1.05	0.00 38.42	11.26 -27.15	-0.00 -0.00	-32.30 -49.94	-0.00 0.00	0.00 49.94
8	3.94	1.05	3.94	0.00 38.42	11.26 -27.15	-0.00 -0.00	-32.29 -49.94	-0.00 0.00	0.00 49.94

ELEMENTO 2

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	3.94	1.05	0.00 46.14	-11.27 -7.51	-0.00 -49.90	-47.69 -39.71	-0.00 0.00	0.00 -4.50
2	6.05	3.94	3.94	-0.00 46.14	-11.27 -7.51	-0.00 -49.90	-47.69 -39.71	0.00 0.00	0.00 -4.50
3	8.94	3.94	1.05	0.00 45.11	-42.06 -28.04	-0.00 -59.13	-47.69 -28.68	0.00 0.00	0.00 -16.38
4	8.94	3.94	3.94	-0.00 45.11	-42.06 -28.04	-0.00 -59.13	-47.69 -28.68	0.00 0.00	0.00 -16.38
5	6.05	1.05	1.05	0.00 30.90	-11.27 -7.51	-0.00 -34.66	-32.30 -37.44	0.00 0.00	0.00 -6.63
6	6.05	1.05	3.94	-0.00 30.90	-11.27 -7.51	-0.00 -34.66	-32.29 -37.44	0.00 0.00	0.00 -6.63
7	8.94	1.05	1.05	0.00 31.53	-42.06 -28.04	-0.00 -45.55	-32.30 -23.69	0.00 0.00	0.00 -23.46

8	8.94	1.05	3.94	0.00	-42.06	-0.00	-32.29	0.00	0.00
				31.53	-28.04	-45.55	-23.69	0.00	-23.46

ELEMENTO 3

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	3.94	6.05	0.00	42.05	-0.00	-47.69	-0.00	0.00
				73.15	-31.09	-0.00	-56.89	0.00	56.89
2	1.05	3.94	8.94	0.00	42.05	-0.00	-47.69	-0.00	0.00
				73.15	-31.09	-0.00	-56.89	0.00	56.89
3	3.94	3.94	6.05	0.00	11.26	-0.00	-47.69	-0.00	0.00
				53.66	-42.39	-0.00	-48.36	0.00	48.36
4	3.94	3.94	8.94	0.00	11.26	-0.00	-47.69	-0.00	0.00
				53.66	-42.39	-0.00	-48.36	0.00	48.36
5	1.05	1.05	6.05	0.00	42.05	-0.00	-32.29	-0.00	0.00
				59.57	-17.51	-0.00	-61.53	0.00	61.53
6	1.05	1.05	8.94	0.00	42.05	-0.00	-32.29	-0.00	0.00
				59.57	-17.51	-0.00	-61.53	0.00	61.53
7	3.94	1.05	6.05	0.00	11.26	-0.00	-32.29	-0.00	0.00
				38.42	-27.15	-0.00	-49.94	0.00	49.94
8	3.94	1.05	8.94	0.00	11.26	-0.00	-32.30	-0.00	0.00
				38.42	-27.15	-0.00	-49.94	0.00	49.94

ELEMENTO 4

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	3.94	6.05	0.00	-11.27	-0.00	-47.69	0.00	0.00
				46.14	-7.51	-49.90	-39.71	0.00	-4.50
2	6.05	3.94	8.94	0.00	-11.27	-0.00	-47.69	0.00	0.00
				46.14	-7.51	-49.90	-39.71	0.00	-4.50
3	8.94	3.94	6.05	0.00	-42.06	-0.00	-47.69	0.00	0.00
				45.11	-28.04	-59.13	-28.68	0.00	-16.38
4	8.94	3.94	8.94	0.00	-42.06	-0.00	-47.69	0.00	0.00
				45.11	-28.03	-59.13	-28.68	0.00	-16.38
5	6.05	1.05	6.05	0.00	-11.27	-0.00	-32.29	0.00	0.00
				30.90	-7.51	-34.66	-37.44	0.00	-6.63
6	6.05	1.05	8.94	0.00	-11.27	-0.00	-32.30	0.00	0.00
				30.90	-7.51	-34.66	-37.44	0.00	-6.63
7	8.94	1.05	6.05	0.00	-42.06	-0.00	-32.29	0.00	0.00
				31.53	-28.04	-45.55	-23.69	0.00	-23.46

8	8.94	1.05	8.94	0.00	-42.06	-0.00	-32.30	0.00	0.00
				31.53	-28.04	-45.55	-23.69	0.00	-23.46

ELEMENTO 5

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	8.94	1.05	0.00	126.18	-0.00	-63.09	-0.00	0.00
				152.32	-26.13	-0.00	-67.50	0.00	67.50
2	1.05	8.94	3.94	0.00	126.18	-0.00	-63.09	-0.00	0.00
				152.32	-26.13	-0.00	-67.50	0.00	67.50
3	3.94	8.94	1.05	0.00	33.81	-0.00	-63.09	-0.00	0.00
				82.22	-48.41	-0.00	-52.50	0.00	52.50
4	3.94	8.94	3.94	0.00	33.81	-0.00	-63.09	-0.00	0.00
				82.22	-48.41	-0.00	-52.49	0.00	52.50
5	1.05	6.05	1.05	0.00	126.18	-0.00	-16.90	-0.00	0.00
				128.41	-2.22	-0.00	-82.50	0.00	82.50
6	1.05	6.05	3.94	0.00	126.18	-0.00	-16.90	-0.00	0.00
				128.41	-2.22	-0.00	-82.50	0.00	82.50
7	3.94	6.05	1.05	0.00	33.81	-0.00	-16.90	-0.00	0.00
				40.81	-7.00	-0.00	-67.50	0.00	67.50
8	3.94	6.05	3.94	0.00	33.81	-0.00	-16.90	-0.00	0.00
				40.81	-7.00	-0.00	-67.49	0.00	67.49

ELEMENTO 6

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	8.94	1.05	-0.00	-33.81	-0.00	-63.09	0.00	0.00
				59.68	-22.54	-70.95	-34.01	0.00	-10.12
2	6.05	8.94	3.94	0.00	-33.81	-0.00	-63.09	0.00	0.00
				59.68	-22.54	-70.95	-34.01	0.00	-10.12
3	8.94	8.94	1.05	-0.00	-126.19	-0.00	-63.09	0.00	0.00
				68.19	-84.12	-110.26	-17.98	0.00	-33.69
4	8.94	8.94	3.94	0.00	-126.19	-0.00	-63.09	0.00	0.00
				68.19	-84.12	-110.26	-17.98	0.00	-33.69
5	6.05	6.05	1.05	0.00	-33.81	-0.00	-16.90	0.00	0.00
				18.27	-22.54	-29.54	-17.98	0.00	-33.69
6	6.05	6.05	3.94	-0.00	-33.81	-0.00	-16.90	0.00	0.00
				18.27	-22.54	-29.54	-17.98	0.00	-33.68
7	8.94	6.05	1.05	0.00	-126.18	-0.00	-16.90	0.00	0.00
				44.28	-84.12	-86.35	-5.66	0.00	-68.10
8	8.94	6.05	3.94	-0.00	-126.19	-0.00	-16.90	0.00	0.00

44.28 -84.12 -86.35 -5.66 0.00 -58.10

ELEMENTO 7

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	8.94	6.05	0.00 152.32	126.18 -26.13	-0.00 -0.00	-63.09 -67.50	-0.00 0.00	0.00 67.50
2	1.05	8.94	8.94	0.00 152.32	126.18 -26.13	-0.00 -0.00	-63.09 -67.50	-0.00 0.00	0.00 67.50
3	3.94	8.94	6.05	0.00 82.22	33.81 -48.41	-0.00 -0.00	-63.09 -52.49	-0.00 0.00	0.00 52.49
4	3.94	8.94	8.94	0.00 82.22	33.81 -48.41	-0.00 -0.00	-63.09 -52.49	-0.00 0.00	0.00 52.50
5	1.05	6.05	6.05	0.00 128.41	126.18 -2.22	-0.00 -0.00	-16.90 -82.50	-0.00 0.00	0.00 82.50
6	1.05	6.05	8.94	0.00 128.41	126.18 -2.22	-0.00 -0.00	-16.90 -82.50	-0.00 0.00	0.00 82.50
7	3.94	6.05	6.05	0.00 40.81	33.81 -7.00	-0.00 -0.00	-16.90 -67.49	-0.00 0.00	0.00 67.49
8	3.94	6.05	8.94	0.00 40.81	33.81 -7.00	-0.00 -0.00	-16.90 -67.49	-0.00 0.00	0.00 67.49

ELEMENTO 8

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	8.94	6.05	0.00 59.68	-33.81 -22.54	-0.00 -70.95	-63.09 -34.01	0.00 0.00	0.00 -10.12
2	6.05	8.94	8.94	0.00 59.68	-33.81 -22.54	-0.00 -70.95	-63.09 -34.01	0.00 0.00	0.00 -10.12
3	8.94	8.94	6.05	0.00 68.19	-126.19 -84.12	-0.00 -110.26	-63.09 -17.98	0.00 0.00	0.00 -33.69
4	8.94	8.94	8.94	0.00 68.19	-126.19 -84.12	-0.00 -110.26	-63.09 -17.98	0.00 0.00	0.00 -33.68
5	6.05	6.05	6.05	0.00 18.27	-33.81 -22.54	-0.00 -29.54	-16.90 -17.98	0.00 0.00	0.00 -33.69
6	6.05	6.05	8.94	0.00 18.27	-33.81 -22.54	-0.00 -29.54	-16.90 -17.98	0.00 0.00	0.00 -33.69
7	8.94	6.05	6.05	0.00 44.28	-126.19 -84.12	-0.00 -86.35	-16.90 -5.66	0.00 0.00	0.00 -68.10
8	8.94	6.05	8.94	0.00 44.29	-126.19 -84.12	-0.00 -86.35	-16.90 -5.66	0.00 0.00	0.00 -68.10

ELEMENTO 9

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	13.94	1.05	0.00 236.38	210.32 -26.06	-0.00 -0.00	-78.49 -71.63	-0.00 0.00	0.00 71.63
2	1.05	13.94	3.94	0.00 236.38	210.32 -26.06	-0.00 -0.00	-78.49 -71.63	-0.00 0.00	0.00 71.63
3	3.94	13.94	1.05	0.00 111.57	56.35 -55.22	-0.00 -0.00	-78.49 -54.87	-0.00 0.00	0.00 54.87
4	3.94	13.94	3.94	-0.00 111.57	56.35 -55.22	-0.00 -0.00	-78.49 -54.87	-0.00 0.00	0.00 54.87
5	1.05	11.05	1.05	0.00 210.33	210.32 -0.08	-0.00 0.07	-1.51 -89.59	-0.00 0.00	0.00 89.58
6	1.05	11.05	3.94	0.00 210.33	210.32 -0.08	-0.00 0.07	-1.51 -89.59	-0.00 0.00	0.00 89.58
7	3.94	11.05	1.05	0.00 56.39	56.35 -0.02	-0.00 -0.01	-1.51 -88.46	-0.00 0.00	0.00 88.46
8	3.94	11.05	3.94	0.00 56.39	56.35 -0.02	-0.00 -0.01	-1.51 -88.46	-0.00 0.00	0.00 88.46

ELEMENTO 10

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	13.94	1.05	0.00 74.00	-56.35 -37.57	-0.00 -92.79	-78.49 -31.05	-0.00 0.00	0.00 -13.45
2	6.05	13.94	3.94	0.00 74.00	-56.35 -37.57	-0.00 -92.79	-78.49 -31.05	0.00 0.00	0.00 -13.45
3	8.94	13.94	1.05	0.00 96.17	-210.32 -140.21	-0.00 -166.28	-78.49 -14.36	0.00 0.00	0.00 -41.76
4	8.94	13.94	3.94	0.00 96.17	-210.32 -140.21	-0.00 -166.28	-78.49 -14.36	0.00 0.00	0.00 -41.76
5	6.05	11.05	1.05	-0.00 18.82	-56.35 -37.58	-0.00 -37.59	-1.51 -1.15	-0.00 0.00	0.00 -85.39
6	6.05	11.05	3.94	0.00 18.82	-56.35 -37.57	-0.00 -37.60	-1.51 -1.15	0.00 0.00	0.00 -85.39
7	8.94	11.05	1.05	-0.00 70.11	-210.32 -140.14	-0.00 -140.30	-1.51 -0.30	0.00 0.00	0.00 -88.76
8	8.94	11.05	3.94	0.00 70.11	-210.32 -140.14	-0.00 -140.30	-1.51 -0.30	0.00 0.00	0.00 -88.76

ELEMENTO 11

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	13.94	6.05	0.00 236.38	210.32 -26.06	-0.00 -0.00	-78.49 -71.63	-0.00 0.00	0.00 71.63
2	1.05	13.94	8.94	0.00 236.38	210.32 -26.06	-0.00 -0.00	-78.49 -71.63	-0.00 0.00	0.00 71.63
3	3.94	13.94	6.05	0.00 111.57	56.35 -55.22	-0.00 -0.00	-78.49 -54.87	-0.00 0.00	0.00 54.87
4	3.94	13.94	8.94	0.00 111.57	56.35 -55.22	-0.00 -0.00	-78.49 -54.87	0.00 0.00	0.00 54.87
5	1.05	11.05	6.05	0.00 210.33	210.32 -0.08	-0.00 0.07	-1.51 -89.59	-0.00 0.00	0.00 89.58
6	1.05	11.05	8.94	0.00 210.33	210.32 -0.08	-0.00 0.07	-1.51 -89.59	-0.00 0.00	0.00 89.58
7	3.94	11.05	6.05	0.00 56.39	56.35 -0.02	-0.00 -0.01	-1.51 -88.46	-0.00 0.00	0.00 88.46
8	3.94	11.05	8.94	0.00 56.39	56.35 -0.02	-0.00 -0.01	-1.51 -88.46	-0.00 0.00	0.00 88.46

ELEMENTO 12

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	13.94	6.05	0.00 74.00	-56.35 -37.57	-0.00 -92.79	-78.49 -31.05	0.00 0.00	0.00 -13.45
2	6.05	13.94	8.94	0.00 74.00	-56.35 -37.57	-0.00 -92.79	-78.49 -31.05	0.00 0.00	0.00 -13.45
3	8.94	13.94	6.05	0.00 96.17	-210.32 -140.21	-0.00 -166.28	-78.49 -14.36	0.00 0.00	0.00 -41.76
4	8.94	13.94	8.94	0.00 96.17	-210.32 -140.21	-0.00 -166.28	-78.49 -14.36	0.00 0.00	0.00 -41.76
5	6.05	11.05	6.05	0.00 18.82	-56.35 -37.58	-0.00 -37.60	-1.51 -1.15	0.00 0.00	0.00 -85.39
6	6.05	11.05	8.94	0.00 18.82	-56.35 -37.58	-0.00 -37.60	-1.51 -1.15	0.00 0.00	0.00 -85.39
7	8.94	11.05	6.05	0.00 70.11	-210.32 -140.14	-0.00 -140.30	-1.51 -0.30	0.00 0.00	0.00 -88.76
8	8.94	11.05	8.94	0.00 70.11	-210.32 -140.13	-0.00 -140.30	-1.51 -0.30	0.00 0.00	0.00 -88.76

ELEMENTO 13

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	18.94	1.05	0.00 321.85	294.45 -27.39	-0.00 -0.00	-93.89 -73.73	-0.00 0.00	0.00 73.73
2	1.05	18.94	3.94	-0.00 321.85	294.45 -27.39	-0.00 -0.00	-93.89 -73.73	-0.00 0.00	0.00 73.73
3	3.94	18.94	1.05	0.00 141.29	78.89 -62.39	-0.00 -0.00	-93.89 -56.39	-0.00 0.00	0.00 56.39
4	3.94	18.94	3.94	0.00 141.29	78.90 -62.39	-0.00 -0.00	-93.89 -56.39	-0.00 0.00	0.00 56.39
5	1.05	16.05	1.05	0.00 295.11	294.45 -0.63	-0.00 -0.02	13.88 87.30	-0.00 -0.00	0.00 -87.30
6	1.05	16.05	3.94	-0.00 295.11	294.45 -0.63	-0.00 -0.02	13.88 87.30	-0.00 -0.00	0.00 -87.30
7	3.94	16.05	1.05	0.00 81.27	78.89 -2.37	-0.00 -0.00	13.88 80.30	-0.00 -0.00	0.00 -80.30
8	3.94	16.05	3.94	-0.00 81.27	78.90 -2.37	-0.00 -0.00	13.88 80.30	-0.00 -0.00	0.00 -80.30

ELEMENTO 14

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	18.94	1.05	0.00 88.69	-78.90 -52.60	-0.00 -114.99	-93.89 -29.25	0.00 0.00	0.00 -15.64
2	6.05	18.94	3.94	0.00 88.69	-78.90 -52.60	-0.00 -114.99	-93.89 -29.25	0.00 0.00	0.00 -15.64
3	8.94	18.94	1.05	0.00 125.54	-294.46 -196.30	-0.00 -223.69	-93.89 -12.60	0.00 -0.00	0.00 -46.27
4	8.94	18.94	3.94	0.00 125.54	-294.46 -196.30	-0.00 -223.69	-93.89 -12.60	0.00 -0.00	0.00 -46.27
5	6.05	16.05	1.05	0.00 28.67	-78.90 -52.60	-0.00 -54.97	13.88 7.35	0.00 0.00	0.00 62.16
6	6.05	16.05	3.94	0.00 28.67	-78.90 -52.60	-0.00 -54.97	13.88 7.35	0.00 0.00	0.00 62.16
7	8.94	16.05	1.05	0.00 98.80	-294.46 -196.33	-0.00 -196.93	13.88 2.02	0.00 0.00	0.00 81.94
8	8.94	16.05	3.94	-0.00 98.80	-294.46 -196.33	-0.00 -196.93	13.88 2.02	0.00 0.00	0.00 81.94

ELEMENTO 15

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	18.94	6.05	0.00 321.85	294.46 -27.39	-0.00 -0.00	-93.89 -73.73	-0.00 0.00	0.00 73.73
2	1.05	18.94	8.94	0.00 321.85	294.46 -27.39	-0.00 -0.00	-93.89 -73.73	-0.00 0.00	0.00 73.73
3	3.94	18.94	6.05	0.00 141.29	78.90 -62.39	-0.00 -0.00	-93.89 -56.39	-0.00 0.00	0.00 56.39
4	3.94	18.94	8.94	0.00 141.29	78.90 -62.39	-0.00 -0.00	-93.89 -56.39	-0.00 0.00	0.00 56.39
5	1.05	16.05	6.05	0.00 295.11	294.46 -0.63	-0.00 -0.02	13.88 87.30	-0.00 -0.00	0.00 -87.30
6	1.05	16.05	8.94	0.00 295.11	294.46 -0.63	-0.00 -0.02	13.88 87.30	-0.00 -0.00	0.00 -87.30
7	3.94	16.05	6.05	0.00 81.27	78.90 -2.37	-0.00 -0.00	13.88 80.30	-0.00 -0.00	0.00 -80.30
8	3.94	16.05	8.94	0.00 81.27	78.90 -2.37	-0.00 -0.00	13.88 80.30	-0.00 -0.00	0.00 -80.30

ELEMENTO 16

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	18.94	6.05	0.00 88.69	-78.90 -52.60	-0.00 -114.99	-93.89 -29.25	0.00 0.00	0.00 -15.64
2	6.05	18.94	8.94	0.00 88.69	-78.90 -52.60	-0.00 -114.99	-93.89 -29.25	0.00 0.00	0.00 -15.64
3	8.94	18.94	6.05	0.00 125.54	-294.46 -196.30	-0.00 -223.69	-93.89 -12.60	0.00 -0.00	0.00 -46.27
4	8.94	18.94	8.94	0.00 125.54	-294.46 -196.30	-0.00 -223.69	-93.89 -12.60	0.00 -0.00	0.00 -46.27
5	6.05	16.05	6.05	0.00 28.67	-78.90 -52.60	-0.00 -54.97	13.88 7.35	0.00 0.00	0.00 62.16
6	6.05	16.05	8.94	0.00 28.67	-78.90 -52.60	-0.00 -54.97	13.88 7.35	0.00 0.00	0.00 62.16
7	8.94	16.05	6.05	0.00 98.80	-294.46 -196.33	-0.00 -196.93	13.88 2.02	0.00 0.00	0.00 81.94
8	8.94	16.05	8.94	0.00 98.80	-294.46 -196.32	-0.00 -196.93	13.88 2.02	0.00 0.00	0.00 81.94

SISTEMA DE CARREGAMENTO NO. 2 *****

CARGAS APLICADAS NOS NOS

NO	FX	FY	FZ
1	0.000	250.000	0.000
2	0.000	500.000	0.000
3	0.000	250.000	0.000
4	0.000	500.000	0.000
5	0.000	1000.000	0.000
6	0.000	500.000	0.000
7	0.000	250.000	0.000
8	0.000	500.000	0.000
9	0.000	250.000	0.000

DESLOCAMENTOS DOS NOS

NO	X	Y	Z
1	0.1208E-08	0.3809E-03	0.2516E-08
2	0.1214E-08	0.3809E-03	0.2463E-08
3	0.1179E-08	0.3809E-03	0.2736E-08
4	0.1126E-08	0.3809E-03	0.2510E-08
5	0.1089E-08	0.3809E-03	0.2636E-08
6	0.9923E-09	0.3809E-03	0.2896E-08
7	0.1096E-08	0.3809E-03	0.2464E-08
8	0.9864E-09	0.3809E-03	0.2708E-08
9	0.8977E-09	0.3809E-03	0.2825E-08
10	0.8706E-09	0.2857E-03	0.1451E-08
11	0.8916E-09	0.2857E-03	0.1511E-08
12	0.9357E-09	0.2857E-03	0.1612E-08
13	0.7916E-09	0.2857E-03	0.1401E-08
14	0.7498E-09	0.2857E-03	0.1476E-08
15	0.7409E-09	0.2857E-03	0.1615E-08
16	0.6743E-09	0.2857E-03	0.1372E-08
17	0.6178E-09	0.2857E-03	0.1601E-08
18	0.6187E-09	0.2857E-03	0.1772E-08
19	0.4354E-09	0.1904E-03	0.6949E-09
20	0.4367E-09	0.1904E-03	0.7235E-09
21	0.4462E-09	0.1904E-03	0.7423E-09
22	0.4070E-09	0.1904E-03	0.6833E-09
23	0.3661E-09	0.1904E-03	0.7198E-09
24	0.3453E-09	0.1904E-03	0.8016E-09
25	0.2947E-09	0.1904E-03	0.6584E-09
26	0.3015E-09	0.1904E-03	0.8244E-09
27	0.3250E-09	0.1904E-03	0.9396E-09
28	0.1481E-09	0.9523E-04	0.2330E-09
29	0.1587E-09	0.9523E-04	0.2426E-09
30	0.1663E-09	0.9523E-04	0.2773E-09
31	0.1333E-09	0.9523E-04	0.2133E-09
32	0.1260E-09	0.9523E-04	0.2362E-09
33	0.1225E-09	0.9523E-04	0.2544E-09
34	0.1122E-09	0.9523E-04	0.2121E-09
35	0.9752E-10	0.9523E-04	0.2209E-09
36	0.1027E-09	0.9523E-04	0.2566E-09
37	0.3475E-29	0.2499E-22	0.1050E-28
38	0.7095E-29	0.5000E-22	0.2382E-28
39	0.5518E-29	0.2500E-22	0.2112E-28
40	-0.1572E-30	0.5000E-22	0.2350E-28
41	0.2321E-28	0.1000E-21	0.5680E-28
42	0.2308E-28	0.5000E-22	0.3911E-28
43	0.5609E-29	0.2500E-22	0.1111E-28

44	0.1185E-28	0.5000E-22	0.3643E-28
45	0.4406E-29	0.2500E-22	0.1248E-28

CALCULO DAS TENSOES

ELEMENTO 1

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	3.94	1.05	0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
2	1.05	3.94	3.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	0.00 -0.00	-0.00 -90.00
3	3.94	3.94	1.05	0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
4	3.94	3.94	3.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
5	1.05	1.05	1.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
6	1.05	1.05	3.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
7	3.94	1.05	1.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
8	3.94	1.05	3.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00

ELEMENTO 2

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	3.94	1.05	0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
2	6.05	3.94	3.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
3	8.94	3.94	1.05	0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
4	8.94	3.94	3.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 89.99
5	6.05	1.05	1.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
6	6.05	1.05	3.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
7	8.94	1.05	1.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00

8	8.94	1.05	3.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
---	------	------	------	----------------	------------------	----------------	--------------	---------------	---------------

ELEMENTO 3

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	3.94	6.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
2	1.05	3.94	8.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
3	3.94	3.94	6.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
4	3.94	3.94	8.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
5	1.05	1.05	6.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 0.00	0.00 -90.00
6	1.05	1.05	8.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 0.00	0.00 -90.00
7	3.94	1.05	6.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	-0.00 -0.00	0.00 0.00	0.00 -90.00
8	3.94	1.05	8.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 90.00

ELEMENTO 4

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	3.94	6.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
2	6.05	3.94	8.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 0.00	0.00 -90.00
3	8.94	3.94	6.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 89.99
4	8.94	3.94	8.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
5	6.05	1.05	6.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 90.00
6	6.05	1.05	8.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 90.00
7	8.94	1.05	6.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00

8	8.94	1.05	8.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 90.00
---	------	------	------	----------------	------------------	-----------------	--------------	--------------	---------------

ELEMENTO 5

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	8.94	1.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
2	1.05	8.94	3.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	0.00 -0.00	-0.00 -90.00
3	3.94	8.94	1.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
4	3.94	8.94	3.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
5	1.05	6.05	1.05	0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
6	1.05	6.05	3.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	0.00 -0.00	-0.00 -90.00
7	3.94	6.05	1.05	0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
8	3.94	6.05	3.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	0.00 -0.00	-0.00 -90.00

ELEMENTO 6

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	8.94	1.05	0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
2	6.05	8.94	3.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
3	8.94	8.94	1.05	0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
4	8.94	8.94	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
5	6.05	6.05	1.05	0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
6	6.05	6.05	3.94	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
7	8.94	6.05	1.05	0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
8	8.94	6.05	3.94	-0.00	-40.00	0.00	0.00	0.00	-0.00

13.33 -26.65 -26.67 0.00 -0.00 90.00

ELEMENTO 7

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	8.94	6.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
2	1.05	8.94	8.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
3	3.94	8.94	6.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
4	3.94	8.94	8.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
5	1.05	6.05	6.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
6	1.05	6.05	8.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
7	3.94	6.05	6.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
8	3.94	6.05	8.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 90.00

ELEMENTO 8

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	8.94	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
2	6.05	8.94	8.94	0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 0.00	0.00 -90.00
3	8.94	8.94	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
4	8.94	8.94	8.94	0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
5	6.05	6.05	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 90.00
6	6.05	6.05	8.94	0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	-0.00 -0.00	0.00 0.00	0.00 -90.00
7	8.94	6.05	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
8	8.94	6.05	8.94	0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 0.00	0.00 -90.00

ELEMENTO 9

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	13.94	1.05	0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
2	1.05	13.94	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	0.00 0.00	0.00 -90.00
3	3.94	13.94	1.05	0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
4	3.94	13.94	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
5	1.05	11.05	1.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
6	1.05	11.05	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	0.00 -0.00	-0.00 -90.00
7	3.94	11.05	1.05	-0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
8	3.94	11.05	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	0.00 -0.00	-0.00 -90.00

ELEMENTO 10

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	13.94	1.05	0.00 13.33	-39.99 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
2	6.05	13.94	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
3	8.94	13.94	1.05	0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
4	8.94	13.94	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
5	6.05	11.05	1.05	0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
6	6.05	11.05	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
7	8.94	11.05	1.05	0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
8	8.94	11.05	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00

ELEMENTO 11

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	13.94	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
2	1.05	13.94	8.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
3	3.94	13.94	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
4	3.94	13.94	8.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 0.00	0.00 -90.00
5	1.05	11.05	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
6	1.05	11.05	8.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
7	3.94	11.05	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
8	3.94	11.05	8.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00

ELEMENTO 12

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	13.94	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 0.00	0.00 -90.00
2	6.05	13.94	8.94	0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 0.00	0.00 -90.00
3	8.94	13.94	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 0.00	0.00 -90.00
4	8.94	13.94	8.94	0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 0.00	0.00 -90.00
5	6.05	11.05	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 90.00
6	6.05	11.05	8.94	0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 90.00
7	8.94	11.05	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
8	8.94	11.05	8.94	0.00 13.33	-40.00 -26.65	0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00

ELEMENTO 13

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	18.94	1.05	0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
2	1.05	18.94	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 0.00	0.00 -90.00
3	3.94	18.94	1.05	0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
4	3.94	18.94	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
5	1.05	16.05	1.05	0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
6	1.05	16.05	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 90.00
7	3.94	16.05	1.05	0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
8	3.94	16.05	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00

ELEMENTO 14

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	18.94	1.05	0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
2	6.05	18.94	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
3	8.94	18.94	1.05	0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
4	8.94	18.94	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
5	6.05	16.05	1.05	0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
6	6.05	16.05	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	0.00 -0.00	-0.00 -90.00
7	8.94	16.05	1.05	0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
8	8.94	16.05	3.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00

ELEMENTO 15

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	1.05	18.94	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
2	1.05	18.94	8.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
3	3.94	18.94	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
4	3.94	18.94	8.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
5	1.05	16.05	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
6	1.05	16.05	8.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 -0.00	-0.00 90.00
7	3.94	16.05	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00
8	3.94	16.05	8.94	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 -0.00	-0.00 90.00

ELEMENTO 16

PONTOS	X	Y	Z	TX	TY	TZ	TXY	TYZ	TZX
1	6.05	18.94	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
2	6.05	18.94	8.94	0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 0.00	0.00 -90.00
3	8.94	18.94	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 0.00	0.00 -90.00
4	8.94	18.94	8.94	0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 0.00	0.00 -90.00
5	6.05	16.05	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	-0.00 -0.00	-0.00 -90.00
6	6.05	16.05	8.94	0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	-0.00 0.00	0.00 90.00
7	8.94	16.05	6.05	-0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	-0.00 -0.00	0.00 0.00	0.00 -90.00
8	8.94	16.05	8.94	0.00 13.33	-40.00 -26.65	-0.00 -26.67	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 90.00

// * 00353