

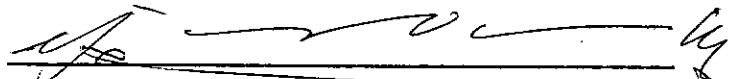
PROCESSO SEMI-ANALÍTICO PARA ANÁLISE DE ESTRUTURAS


PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

*Nelson Francisco Favilla Ebecken*

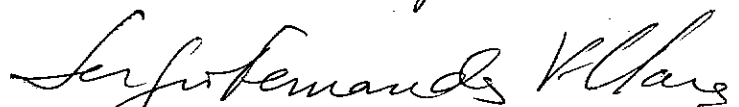
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA (M.Sc.).

Aprovada por:

  
\_\_\_\_\_  
Fernando Venancio Filho, Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Fernando Luiz Lobo Carneiro

  
\_\_\_\_\_  
Paulo Alcântara Gomes

  
\_\_\_\_\_  
Sergio Fernandes Villaça

A meus pais e  
meus irmãos

AGRADECIMENTOS

Ao Professor FERNANDO VENANCIO FILHO pelo apoio e pela orientação prestada a esse trabalho.

Ao Professor FERNANDO LUIZ LOBO CARNEIRO pela compreensão e incentivo dispensados.

Aos Professores PAULO ALCÂNTARA GOMES e SERGIO FERNANDES VILLAÇA, pela atenção e amizade demonstradas.

Aos Professores da COPPE, na pessoa do seu Diretor ALBERTO LUIZ COIMBRA.

Aos colegas da COPPE pela colaboração valiosa, em especial a EDSON CASTRO PRATES DE LIMA e LUIZ ARNALDO DE GUSMÃO BASTOS.

Aos funcionários da COPPE e, em particular, a HELOISA MARQUES.

À WANDA FRANÇA ROCHA pela confecção deste trabalho.

## SUMÁRIO

A análise linear, estática de problemas tridimensionais é efetuada pelo processo semi-analítico, utilizando-se funções ortogonais.

Estruturas prismáticas e axissimétricas com carregamento qualquer, são resolvidas com o implemento de dois elementos finitos. O primeiro, isoparamétrico quadrilátero quadrático, para o estudo de sólidos e, o outro, degenerado superparamétrico cúbico, especialmente indicado para o caso de cascas.

Um programa automático utilizando os elementos desenvolvidos é elaborado.

Alguns exemplos são apresentados, com o uso deste programa e, os resultados, comparados com as soluções analíticas são discutidos.

ABSTRACT

Static linear analysis is applied to three dimensional problems through the semi-analytical finite element process, making use of orthogonal functions.

Prismatic structures and axi-symmetric structures with non-symmetrical loads, are studied using two finite elements. The first is a isoparametric quadrilateral quadratic element for solid bodies and the other, a degenerated superparametric cubic element, indicated for shells.

A computer program employing this elements was prepared.

Some examples are presented using the above program and the results discussed with those from available analytical solutions.

## ÍNDICE

Capítulos:	Páginas:
INTRODUÇÃO .....	1
I    DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO .....	3
Estruturas Prismáticas .....	9
Estruturas Axissimétricas .....	18
II   ELEMENTOS UTILIZADOS .....	25
Elemento Para Análise de Sólidos .....	25
Vetor de Cargas Consistentes .....	29
Elemento Para Análise de Cascas .....	31
III   PROGRAMAÇÃO AUTOMÁTICA .....	39
Variáveis de Entrada .....	45
IV   APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS ...	49
Casca Cilíndrica Submetida a Ação do Pe so Próprio - Comparação com os Dois Ele mentos .....	50
Cilindro Submetido a Ação de Momentos - - Utilização do Elemento de Casca .....	55
Cilindro Submetido a Torção - Utilização do Elemento Para Análise de Sólidos ....	56

Capítulos:	Páginas:
CONCLUSÕES .....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
SIMBOLOGIA .....	69
APÊNDICE .....	71

## INTRODUÇÃO

Inúmeros elementos têm sido implementados na análise de estruturas tridimensionais pelo método dos elementos finitos. Entretanto, na consideração desses problemas em muito é acrescido o número de incógnitas do sistema de equações resultante, o que torna excessivo o trabalho computacional e impede uma discretização refinada do corpo.

Certo tipo de estruturas tridimensionais, como estruturas "prismáticas" (estruturas laminares, cascas cilíndricas, placas, vigas-caixão ...) e estruturas axissimétricas (cascas e sólidos axissimétricos) têm uma característica comum fundamental: em uma direção a geometria e propriedades do material são constantes. Esse tipo torna-se adequado a uma técnica especial.

Assume-se que a solução, na direção particular seja representada por uma série apropriada, restando uma discretização bidimensional. Resolve-se um problema substituído que não envolve mais a dimensão particular, obtendo a so

lução de um somatório de soluções simplificadas. Tal procedimento não se limita ao aspecto da análise estática da estrutura somente, podendo ser aplicado a outros problemas físicos.

A introdução deste processo no método dos elementos finitos, foi feita inicialmente na resolução de problemas axissimétricos com carregamento qualquer. (Ref. 10 e 11). Posteriormente, Cheung (ref. 1, 14 e 15) estendeu-o na análise de placas retangulares, ficando este desenvolvimento designado por "finite strip method".

Na apresentação que se segue, adotam-se as hipóteses básicas da elasticidade linear, utilizando-se a formulação do método dos deslocamentos. Todo o desenvolvimento, que é feito com o uso de funções ortogonais, poderia ser do mesmo modo conduzido com outro tipo de funções.

## CAPÍTULO I

### DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO

Seja  $(x, y, z)$  o sistema de coordenadas que descreve o espaço cartesiano. Na direção  $z$  considera-se que as propriedades geométricas e elásticas não variam. Essa é a dimensão que se pretende eliminar da discretização, no método dos elementos finitos, ou melhor, é a variável que se quer separar do problema tridimensional. Seja  $0 \leq z \leq a$ . Os deslocamentos em qualquer ponto do interior de um elemento que eram definidos por:

$$\{f\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = [N(x, y, z)] \{\delta\}^e \quad (1.1)$$

ficam agora:

$$\{f\} = \sum_{\ell=1}^n \left( [\bar{N}(x, y)] \sin \frac{\ell \pi z}{a} + [\bar{\bar{N}}(x, y)] \cos \frac{\ell \pi z}{a} \right) \{\delta^\ell\}^e \quad (1.2)$$

Desde que  $\bar{N}(x,y)$  e  $\bar{N}(x,y)$ , sejam funções que assegurem a satisfação dos critérios de convergência (ref. 7), no domínio que descrevem, a representação tridimensional fica garantida já que a série de Fourier é capaz de substituir qualquer função contínua. Atendendo a equação (1.2), expansão similar é feita em relação aos termos que envolvem as solicitações:

$$\{p\} = \sum_{\ell=1}^n \{ \bar{p}(x,y) \} \sin \frac{\ell\pi z}{a} + \{ \bar{p}(x,y) \} \cos \frac{\ell\pi z}{a} \quad (1.3)$$

A ortogonalidade das funções trigonométricas torna a Série de Fourier particularmente indicada nos métodos de separação de variáveis:

$$\int_0^a \sin \frac{\ell\pi z}{a} \sin \frac{m\pi z}{a} dz = 0 \quad \ell \neq m$$

$$\int_0^a \cos \frac{\ell\pi z}{a} \cos \frac{m\pi z}{a} dz = 0 \quad \ell \neq m$$

$$\int_0^a \sin \frac{\ell\pi z}{a} \cos \frac{m\pi z}{a} dz = 0 \quad \ell \text{ e } m \text{ ambos pares ou ímpares.}$$

$$(1.4)$$

Desde que a função em (1.2) obedece aos critérios de convergência, a energia potencial total é obtida da soma das contribuições de cada elemento:

$$\Pi = \sum_{NE} \Pi^e \quad (1.5)$$

Não levando em consideração a contribuição das forças de massa tem-se:

$$\Pi = \sum_{NE} \left( \iiint_V U(f) dV - \iint_S \{\bar{T}\}^t \{f\} dS \right)^e \quad (1.6)$$

e se  $\{f\}$  é dado por (1.2) pode-se escrever:

$$\begin{aligned} \Pi = & \sum_{NE} \sum_{m=1}^n \sum_{\ell=1}^n \left( \iiint_V U(\ell, m, x, y) \theta_1(\ell, m, z) dV - \right. \\ & \left. - \iint_S \{\bar{T}\}^t \{f(\ell, m, x, y)\} \theta_2(\ell, m, z) dS \right) \quad (1.7) \end{aligned}$$

onde  $\{\bar{T}\}$  envolve  $\{\bar{p}\}$  e  $\{\bar{\bar{p}}\}$ , e  $\theta_1$  e  $\theta_2$  são produtos de funções trigonométricas. Quando efetuam-se as integrações, de acordo com as equações (1.4) obtêm-se resultados não nulos somente para os termos  $\theta_1$  e  $\theta_2$  da forma

$$\text{sen}^2 \frac{\ell \pi z}{a} \quad \text{e} \quad \text{cos}^2 \frac{\ell \pi z}{a}$$

Logo um somatório é retirado e, quando se determina a contribuição do elemento na equação que minimiza a energia potencial,

$$\frac{\partial \Pi^e}{\partial \{\delta\}^e} = [K]^e \begin{Bmatrix} \{\delta^1\}^e \\ \vdots \\ \{\delta^n\}^e \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \{F^1\}^e \\ \vdots \\ \{F^n\}^e \end{Bmatrix}$$

$[K]^e$  torna-se uma matriz diagonal, e o sistema global fica da forma:

$$\begin{bmatrix} K^{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K^{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K^{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta^1\} \\ \vdots \\ \{\delta^n\} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \{F^1\} \\ \vdots \\ \{F^n\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{Bmatrix}$$

(1.9)

ou seja o sistema se desacopla em "n" problemas separados:

$$[K^{ll}] \cdot \{\delta^l\} + \{F^l\} = \{0\} \quad (1.10)$$

(que contém  $nf$  equações cada; se a série escolhida não fosse ortogonal o sistema formado teria  $n \times nf$  equações) onde:

$$\left[ K_{ij}^{\ell\ell} \right] = \iiint_V \left[ B_i^\ell \right]^T \left[ D \right] \left[ B_j^\ell \right] dx dy dz$$

e

$$\left[ F_i^\ell \right]^\ell = \iiint_V \left[ N^\ell \right]^T \{ p^\ell \} dx dy dz \quad (1.11)$$

sendo que a parcela da carga correspondente ao harmônico " $\ell$ " só afeta o  $\ell$ -ésimo sistema de (1.10) nada contribuindo para os demais. Assim se o desenvolvimento das cargas consiste em um só harmônico, só um conjunto de equações necessita ser resolvido. Da mesma maneira conduz-se a inclusão dos termos que representam as forças de massa etc.

Está o problema tridimensional reduzido a um problema plano. A solução convergirá para a solução exata à medida que se refine a discretização bidimensional. A eficiência do método está intimamente relacionada com a natureza da função que representa as cargas. Na expansão de uma função em série de Fourier, a velocidade de convergência, conforme tem-se mostrado, está diretamente ligada com a continuidade (e periodicidade) da função e de suas sucessivas derivadas.

Se houver necessidade de se considerar muitos termos do desenvolvimento, as vantagens do método são reduzidas.

Em relação às condições de contorno, deve-se atentar ao fato de que prescrever um deslocamento em um ponto qualquer da estrutura implica em fixar-se esse deslocamento em todos os pontos, segundo a direção  $z$ .

Para o desacoplamento cumprir-se foi necessário em (1.4) admitir que  $l$  e  $m$  são ambos pares ou ímpares a fim de anular a última integral; essa observação deve ser atendida em cada expansão. Pode-se incluir na análise, também a variação das propriedades do material ao longo de " $z$ ". Para isso assume-se que elas são representadas da mesma maneira pela Série de Fourier. Tal procedimento é conduzido por CROSE<sup>3</sup>, que analisa sólidos axissimétricos com propriedades elásticas variando circunferencialmente devido ao efeito da temperatura. Isso implica em acoplar os harmônicos, ficando agora todas as equações para serem resolvidas simultaneamente. Conclui o autor ser esse método (inclusão de até seis harmônicos), ainda mais eficiente que o uso de um elemento tridimensional.

ESTRUTURAS PRISMÁTICAS

Analisa-se o caso de uma estrutura prismática como o da Figura (1.1).

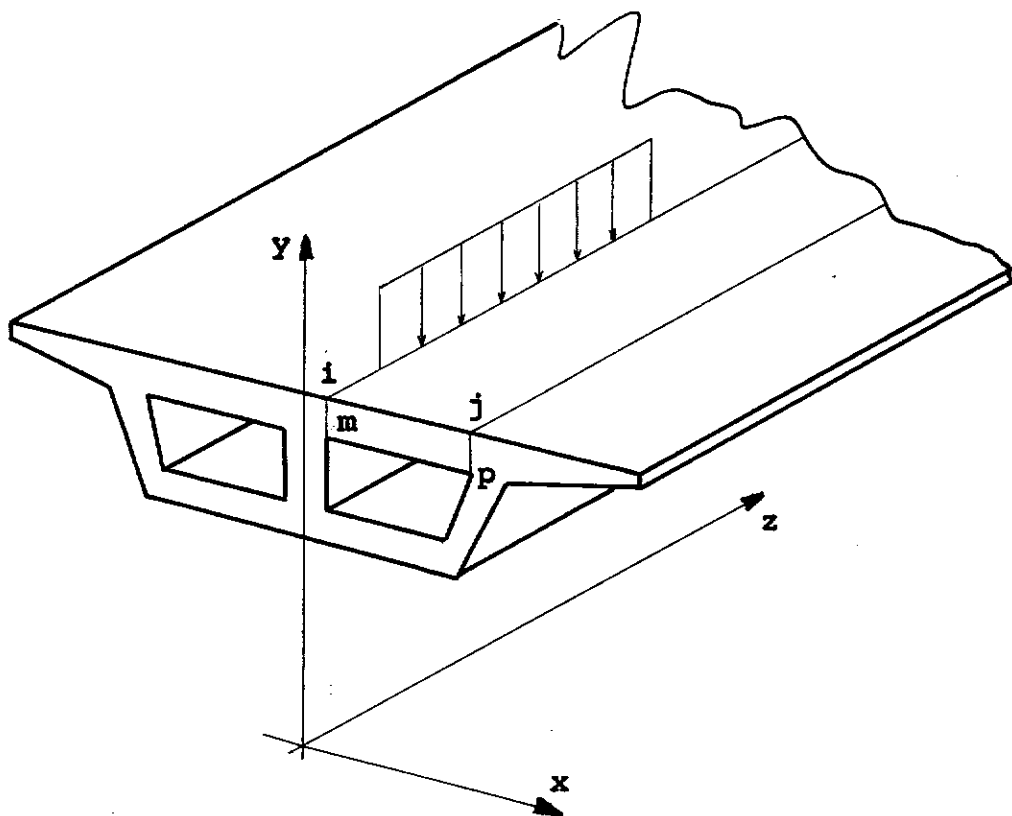


FIGURA (1.1)

Com esse fim adota-se uma expansão que garanta nos apoios, deslocamentos nulos no plano  $(x,y)$ , sem restringir contudo

os deslocamentos na direção z:

$$\begin{Bmatrix} u^\ell \\ v^\ell \\ w^\ell \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{sen } \frac{\ell\pi z}{a} & 0 & 0 \\ 0 & \text{sen } \frac{\ell\pi z}{a} & 0 \\ 0 & 0 & \text{cos } \frac{\ell\pi z}{a} \end{bmatrix} \sum N_i \begin{Bmatrix} u_i^\ell \\ v_i^\ell \\ w_i^\ell \end{Bmatrix}$$

(1.12)

Igualmente, um termo que corresponde a uma carga segundo as direções x e y, é desenvolvido:

$$\{p\}^\ell = \{\bar{p}\} \text{sen } \frac{\ell\pi z}{a} \quad (1.13)$$

Consideram-se as deformações do sólido tridimensional:

$$\{\epsilon\} = [B] \{\delta\}^e = [B_i, B_j, B_m, B_p] \{\delta\}^e \quad (1.14)$$

na qual:

$$\{\epsilon\} = \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \end{Bmatrix} \quad (1.15)$$

e,

$$[B_i] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (1.16)$$

Substituindo as expressões de (1.12) em (1.15) e separando-se em duas parcelas

$$\begin{bmatrix} B_i^{\ell} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{B}_i^{\ell} \end{bmatrix} \operatorname{sen} \frac{\ell\pi z}{a} + \begin{bmatrix} \underline{\bar{B}}_i^{\ell} \end{bmatrix} \operatorname{cos} \frac{\ell\pi z}{a} \quad (1.17)$$

fica:

$$\begin{bmatrix} B_i^{\ell} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{N_i \ell \pi}{a} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \operatorname{sen} \frac{\ell\pi z}{a} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{N_i \ell \pi}{a} & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{N_i \ell \pi}{a} & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix} \cdot \operatorname{cos} \frac{\ell\pi z}{a}$$

(1.18)

Notando-se que:

$$\int_0^a \sin^2 \frac{\ell \pi z}{a} dz = \int_0^a \cos^2 \frac{\ell \pi z}{a} dz = \frac{a}{2} \quad \ell = 1, 2, \dots, n$$

$$\int_0^a \sin \frac{\ell \pi z}{a} \cos \frac{\ell \pi z}{a} dz = 0 \quad (1.19)$$

A matriz de rigidez

$$\left[ K_{ij}^{\ell \ell} \right] = \iiint_{V^e} \left[ B_i^{\ell} \right]^T \left[ D \right] \left[ B_j^{\ell} \right] dx dy dz \quad (1.20)$$

é integrada em relação a z:

$$\left[ K_{ij}^{\ell \ell} \right] = \frac{a}{2} \iint_{A^e} \left[ \bar{B}_i^{\ell} \right]^T \left[ D \right] \left[ \bar{B}_j^{\ell} \right] + \left[ \bar{\bar{B}}_i^{\ell} \right]^T \left[ D \right] \left[ \bar{\bar{B}}_j^{\ell} \right] dx dy \quad (1.21)$$

A matriz de elasticidade,  $[D]$ , para um material isotrópico é indicada em (1.22), onde  $E$  é o módulo de elasticidade e  $\nu$  o coeficiente de Poisson.

$$[D] = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{(1-\nu)} & \frac{\nu}{(1-\nu)} & 0 & 0 & 0 \\ & 1 & \frac{\nu}{(1-\nu)} & 0 & 0 & 0 \\ & & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{(1-2\nu)}{2(1-\nu)} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{(1-2\nu)}{2(1-\nu)} & 0 \\ & & & & & \frac{(1-2\nu)}{2(1-\nu)} \end{bmatrix}$$

SIMÉTRICA

(1.22)

Deformações iniciais, devidas a uma expansão térmica isotrópica são representadas pelo vetor  $\{\epsilon_0\}$ .

$$\{\epsilon_0\} = \begin{Bmatrix} \gamma \Delta^e \\ \gamma \Delta^e \\ \gamma \Delta^e \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \{\bar{\epsilon}_0\} \sin \frac{\ell \pi z}{a} + \{\bar{\bar{\epsilon}}_0\} \cos \frac{\ell \pi z}{a}$$

(1.23)

(Sendo  $\gamma$  o coeficiente de dilatação e  $\Delta^e$  a variação de temperatura em cada nó) e separadas em duas parcelas para seguir procedimento idêntico ao exposto na obtenção da matriz de rigidez. O vetor de forças nodais equivalentes fica então:

$$\{F_i^l\} = -\frac{a}{2} \iint [\bar{B}_i^l]^T [D] \{\bar{\epsilon}_0\} + [\bar{B}_i^l] [D] \{\bar{\epsilon}_0\} dx dy \quad (1.24)$$

As cargas sobre cada linha nodal são reduzidas ao plano do elemento efetuando-se:

$$\{F_i^l\} = \int_0^a \begin{pmatrix} \bar{F}_{xi}^l \operatorname{sen} \frac{l\pi z}{a} & \operatorname{sen} \frac{l\pi z}{a} \\ \bar{F}_{yi}^l \operatorname{sen} \frac{l\pi z}{a} & \operatorname{sen} \frac{l\pi z}{a} \\ \bar{F}_{zi}^l \cos \frac{l\pi z}{a} & \cos \frac{l\pi z}{a} \end{pmatrix} dz = \begin{pmatrix} \bar{F}_{xi}^l \\ \bar{F}_{yi}^l \\ \bar{F}_{zi}^l \end{pmatrix} \frac{a}{2} \quad (1.25)$$

onde  $\bar{F}_{xi}^l$ ,  $\bar{F}_{yi}^l$  e  $\bar{F}_{zi}^l$  são as amplitudes das componentes da série. Para uma carga "p" atuando na direção "y" por exemplo, o cálculo dessas amplitudes é feito:

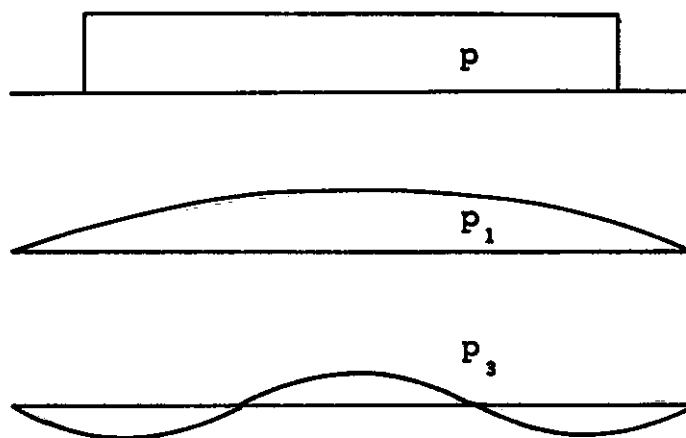


FIGURA (1.2)

$$p^{\ell} = \frac{2}{a} \int_0^a p \operatorname{sen} \frac{\ell \pi z}{a} dz \quad (1.26)$$

para  $p$  uniformemente distribuída.

$$p^{\ell} = \frac{2}{a} p \operatorname{sen} \frac{\ell \pi c}{a} \quad (1.27)$$

para  $p$  concentrada em  $z = c$ .

Procede-se a resolução agora, como se o elemento fosse plano, calculando-se os deslocamentos e a partir desses,

as tensões são determinadas da maneira usual.

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = [D] (\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_0\}) + \{\sigma_0\} \quad (1.28)$$

A formulação adotada, corresponde a consideração da estrutura do tipo simplesmente apoiada em diafragmas rígidos, que impedem a deformação dos apoios no plano (x,y) somente.

Todo o desenvolvimento exposto aplica-se também à análise de um segmento de sólido de revolução, quando se admite não mais a variação da coordenada cartesiana "z", mas da coordenada cilíndrica  $0 \leq \theta \leq \alpha$ . (Fig. 1.3). A expansão tomada fica agora em termos de  $l\pi\theta/\alpha$ .

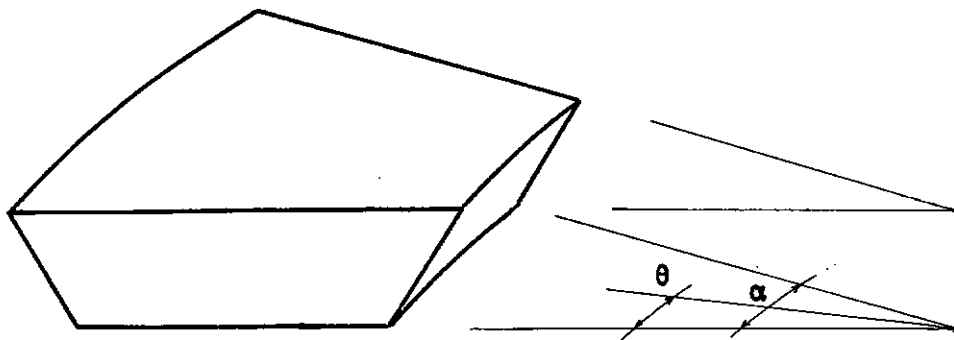


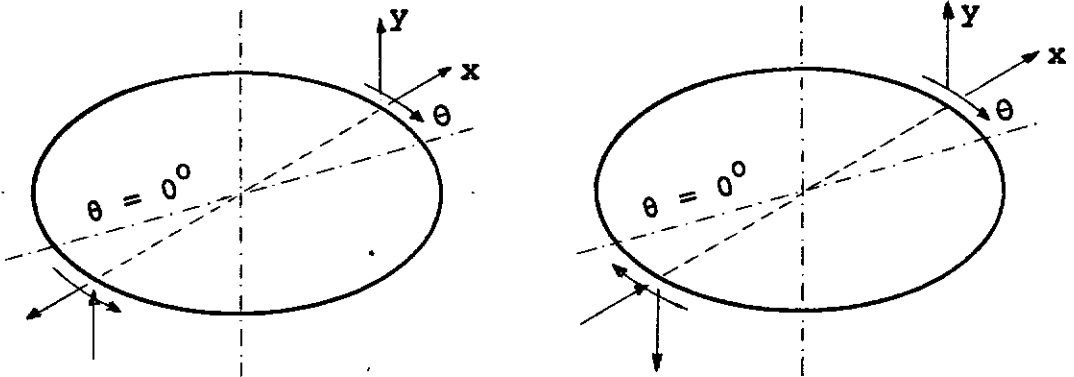
FIGURA (1.3)

## ESTRUTURA AXISSIMÉTRICA

Por conveniência define-se o sistema de coordenadas cilíndricas  $(x,y,\theta)$ , sendo agora " $\theta$ " a coordenada segundo a qual as propriedades geométricas e elásticas permanecem constantes. Considera-se o eixo de simetria da estrutura  $\theta = 0^\circ$  e em relação a ele os esforços são decompostos em 2 parcelas: carregamento simétrico e carregamento antimétrico. (Fig.1.4).

**SIMÉTRICO**

**ANTIMÉTRICO**



**FIGURA (1.4)**

As deformações expressas em coordenadas cilíndricas ficam:

$$\{\epsilon\} = \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_\theta \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{y\theta} \\ \gamma_{x\theta} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{u}{x} + \frac{1}{x} \frac{\partial w}{\partial \theta} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{1}{x} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \frac{1}{x} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{w}{x} \end{Bmatrix} \quad (1.29)$$

Para o carregamento simétrico, as cargas nodais são desenvolvidas:

$$\begin{cases} X = \sum_{\ell=1}^n \bar{X}^\ell \cos \ell \theta \\ Y = \sum_{\ell=1}^n \bar{Y}^\ell \cos \ell \theta \\ \theta = \sum_{\ell=1}^n \bar{\theta}^\ell \sin \ell \theta \end{cases} \quad (1.30)$$

e analogamente para as forças de massa etc. A expansão de

$\theta$  é tomada em seno para garantir simetria da direção quando  $\theta$  for maior do que  $\pi$ . Como anteriormente, as componentes do deslocamento são representadas por funções adequadas que atendem às condições de simetria.

$$\begin{Bmatrix} u^\ell \\ v^\ell \\ w^\ell \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\ell\theta & 0 & 0 \\ 0 & \cos\ell\theta & 0 \\ 0 & 0 & \sin\ell\theta \end{bmatrix} \sum N_i \begin{Bmatrix} u_i^\ell \\ v_i^\ell \\ w_i^\ell \end{Bmatrix}$$

(1.31)

Como em (16), a matriz  $[B]$  é separada, e obtém-se:

$$[B_i^\ell] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\ell N_i}{x} & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ -\frac{\ell N_i}{x} & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial x} - \frac{N_i}{x} \end{bmatrix} \sin\ell\theta + \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} & 0 \\ \frac{N_i}{x} & 0 & \frac{\ell N_i}{x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cos\ell\theta$$

(1.32)

Para o carregamento antissimétrico a expansão fica:

$$\left\{ \begin{array}{l} X = \sum_{l=1}^n \bar{X}^l \operatorname{sen} l\theta \\ Y = \sum_{l=1}^n \bar{Y}^l \operatorname{sen} l\theta \\ \theta = \sum_{l=1}^n \bar{\theta}^l \operatorname{cos} l\theta \end{array} \right. \quad (1.33)$$

que é semelhante, apenas substituindo-se o seno por co-seno e vice-versa.

$$\left\{ \begin{array}{l} u^l \\ v^l \\ w^l \end{array} \right\} = \left[ \begin{array}{ccc} \operatorname{sen} l\theta & 0 & 0 \\ 0 & \operatorname{sen} l\theta & 0 \\ 0 & 0 & \operatorname{cos} l\theta \end{array} \right] \sum N_i \left\{ \begin{array}{l} u_i^l \\ v_i^l \\ w_i^l \end{array} \right\}$$

(1.34)

Assim, tem-se nesse caso:

$$\left[ B_i^\ell \right] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} & 0 \\ \frac{N_i}{x} & 0 & -\frac{\ell N_i}{x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{sen} \ell\theta + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\ell N_i}{x} & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\ell N_i}{x} & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial x} - \frac{N_i}{x} \end{bmatrix} \text{cos} \ell\theta$$

(1.35)

Segue-se a obtenção da matriz de rigidez que obedece a mesma orientação já estabelecida.

As cargas sobre cada linha nodal, reduzidas ao plano do elemento são agora:

*para o caso simétrico:*

$$\{F_i^\ell\} = \int_0^{2\pi} \begin{Bmatrix} \bar{X}^\ell \cos^2 \ell \theta \\ \bar{Y}^\ell \cos^2 \ell \theta \\ \bar{\theta}^\ell \sin^2 \ell \theta \end{Bmatrix} d\theta = \pi \begin{Bmatrix} \bar{X}^\ell \\ \bar{Y}^\ell \\ \bar{\theta}^\ell \end{Bmatrix} \quad (1.36)$$

para  $\ell = 1, 2, \dots, n$ .

para  $\ell = 0$ :

$$\{F_i^\ell\} = 2\pi \begin{Bmatrix} \bar{X}^\ell \\ \bar{Y}^\ell \\ 0 \end{Bmatrix}$$

que corresponde à análise de um carregamento axissimétrico.

(1.37)

para o antissimétrico:

$$\{F_i^\ell\} = \int_0^{2\pi} \begin{Bmatrix} \bar{X}^\ell \sin^2 \ell \theta \\ \bar{Y}^\ell \sin^2 \ell \theta \\ \bar{\theta}^\ell \cos^2 \ell \theta \end{Bmatrix} d\theta = \pi \begin{Bmatrix} \bar{X}^\ell \\ \bar{Y}^\ell \\ \bar{\theta}^\ell \end{Bmatrix} \quad (1.38)$$

para  $\ell = 1, 2, \dots, n$ .

para  $\ell = 0$ :

$$\{F_i^\ell\} = 2\pi \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ \bar{\theta} \end{Bmatrix}$$

que corresponde à análise de esforços tangenciais constantes e resolve problemas de torção.

(1.39)

## CAPÍTULO II

### ELEMENTOS UTILIZADOS

A escolha de elementos isoparamétricos é justificada pelos excelentes resultados obtidos na análise de problemas bidimensionais, além da simplicidade de programação e, pelo fato de serem os outros elementos da mesma família facilmente derivados.

#### ELEMENTO PARA A ANÁLISE DE SÓLIDOS

Para o elemento quadrilátero, cuja programação é apresentada no capítulo seguinte, define-se o sistema de coordenadas locais  $\xi, \eta$  na figura (2.1a). As coordenadas  $\xi, \eta$  podem ser distorcidas em um sistema curvilíneo quando plotadas no espaço cartesiano. Assim esse elemento plano é mapeado em uma forma distorcida, como na figura (2.1b).

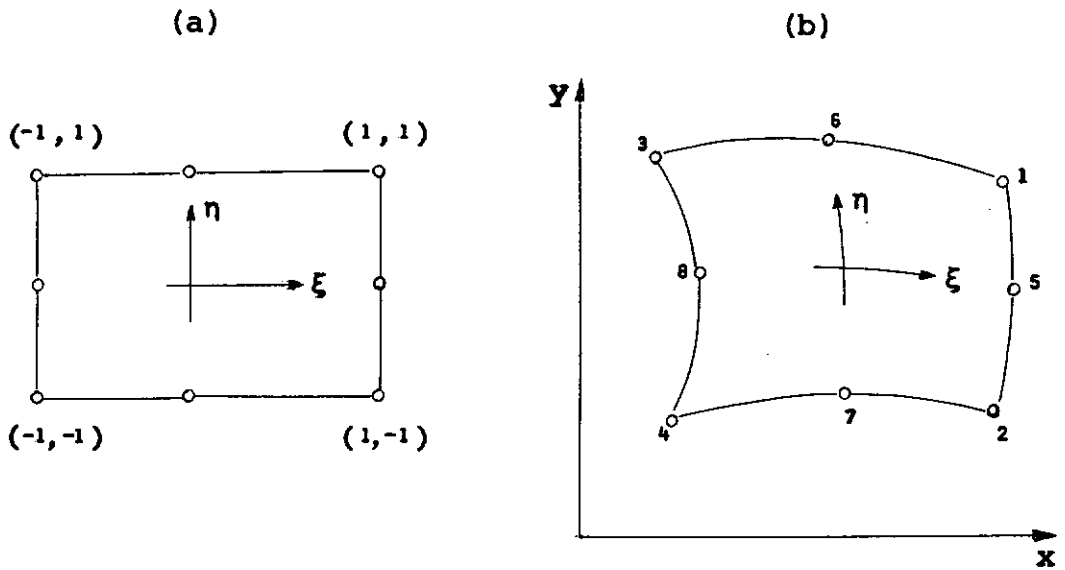


FIGURA (2.1)

O estabelecimento da transformação de coordenadas é feito pelo uso de funções de interpolação dadas em termos das coordenadas locais:

$$\begin{aligned}
 x &= N_1 x_1 + N_2 x_2 + \dots = [N] \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \end{Bmatrix} \\
 y &= N_1 y_1 + N_2 y_2 + \dots = [N] \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \end{Bmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Adotando-se nesse caso as funções de interpolação da família "Serendipity", para o elemento quadrático,  $[N]$  é definida:

$$\begin{aligned}
 \text{n\acute{o}s } 1, 2, 3 \text{ e } 4 & \quad N_i = \frac{1}{4} (1 + \xi_0) (1 + \eta_0) (\xi + \eta_0 - 1) \\
 6 \text{ e } 7 & \quad N_i = \frac{1}{2} (1 - \xi^2) (1 + \eta_0) \\
 5 \text{ e } 8 & \quad N_i = \frac{1}{2} (1 + \xi_0) (1 - \eta^2) \quad (2.2)
 \end{aligned}$$

$$\text{onde } \xi_0 = \xi \xi_i \quad \eta_0 = \eta \eta_i$$

Representada a geometria do elemento em função dos pontos nodais, do mesmo modo, serão os deslocamentos representados em função dos deslocamentos nodais:

$$\{f\} = [N] \{\delta\}^e \quad (2.3)$$

isto é, o elemento é do tipo isoparamétrico.

Se as funções de interpolação empregadas satisfazem aos critérios de convergência para o elemento original, o mesmo acontecerá para o elemento isoparamétrico correspondente. A compatibilidade de deslocamentos é garantida já que a geometria dos lados do elemento depende somente das coordenadas

dos pontos nodais. O critério de "deformação constante" é satisfeito para elementos isoparamétricos nos quais  $\sum N_i = 1$ .

Para a avaliação das propriedades do elemento, resta uma transformação; a obtenção das derivadas de  $[N]$  em relação as coordenadas globais. Isto é feito com a matriz jacobiana  $[J]$ :

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial x} \\ \frac{\partial N}{\partial y} \end{Bmatrix} = [J]^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N}{\partial \eta} \end{Bmatrix} \quad \text{onde} \quad [J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix}$$

(2.4)

$$e \quad dx \, dy = \det [J] \, d\xi \, d\eta.$$

A determinação do número de pontos do Método de Gauss, para a integração da matriz de rigidez do elemento, é conseguida quando o número de pontos é suficiente para a obtenção exata do volume do elemento. Examinando o determinante da matriz jacobiana, já que o mesmo resulta em uma expressão cúbica, torna-se necessário apenas dois pontos de integração.

### VETOR DE CARGAS CONSISTENTES

As forças nodais consistentes devidas a cargas de superfície são definidas por:

$$\{F\}_s^e = \int (\phi |A| ds) \{p\} \quad (2.5)$$

onde:

$$[A] = \begin{bmatrix} [N]^T [N] & 0 \\ 0 & [N]^T [N] \end{bmatrix}$$

e  $\{p\} = \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix}$  é o vetor cujas componentes são as intensidades em cada nó;

$[N]$  é a função de interpolação que define a variação das forças no elemento, a mesma explicitada anteriormente, isto é, assume-se que a distribuição das forças no contorno, varia segundo a mesma lei da expansão dos deslocamentos. Para avaliar (2.5), explicita-se

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

e atendendo a transformação de coordenadas fica:

$$\text{segundo } \xi \quad ds = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial \xi}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \xi}\right)^2}$$

$$\text{segundo } \eta \quad ds = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial \eta}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \eta}\right)^2}$$

Essa operação é efetuada em cada lado do elemento separando-se:

lado 1      pontos nodais 3, 6 e 1

lado 2      pontos nodais 2, 5 e 1

lado 3      pontos nodais 4, 7 e 2

lado 4      pontos nodais 4, 8 e 3

Forças de massa  $\{p\} = \begin{Bmatrix} X \\ Y \end{Bmatrix}$  são reduzidas a forças nodais efetuando-se:

$$\{F\}_p^e = - \int [N]^T \{p\} dx dy \quad (2.6)$$

A variação da temperatura é definida em termos de valores nodais interpolando-se:

$$\Delta = [N] \{T\}^e \quad (2.7)$$

onde  $\{T\}^e$  é o vetor de temperaturas nodais, e  $[N]$ , consistente com as deformações, é um grau inferior à função de (2.2),  $N_i = \frac{1}{4} (1 + \xi_0)(1 + \eta_0)$ , devendo nesse caso a temperatura ser especificada apenas nos nós 1, 2, 3 e 4.

Conforme é mostrado nos exemplos do próximo capítulo, um único elemento segundo a espessura é suficiente para representar os efeitos de flexão, mesmo em estruturas delgadas.

O tratamento de cascas, apesar de ser feito com um limitado número de elementos conduz a resultados adequados. Mas para o caso específico de cascas, este tipo de solução pode ser conseguido mais economicamente supondo-se que a variação dos deslocamentos segundo a espessura é linear. Assim o número de graus de liberdade é reduzido. Essa consideração é adotada no elemento que se segue.

#### ELEMENTO PARA ANÁLISE DE CASCAS

Para a análise de cascas, à medida que a espessura decresce, duas limitações apresentam-se em relação ao elemento anterior: introdução de erros devidos a razão (comprimen

to do elemento)/(espessura) se tornar muito grande (até 50 ainda se comporta bem) e o desnecessário número de graus de liberdade considerados, já que para cascas delgadas as normais a superfície média permanecem praticamente retas após a deformação. Adota-se na formulação o critério de normais retas e a energia de deformação correspondente a tensões perpendiculares a superfície média é ignorada.

Considere-se agora um sistema de coordenadas curvilíneas  $\xi, \eta$  definidos no interior do elemento pelos pares de nós  $s$  (superior) e  $i$  (inferior). A direção normal  $\eta$  caracterizada por esses pontos é aproximadamente normal à superfície média.

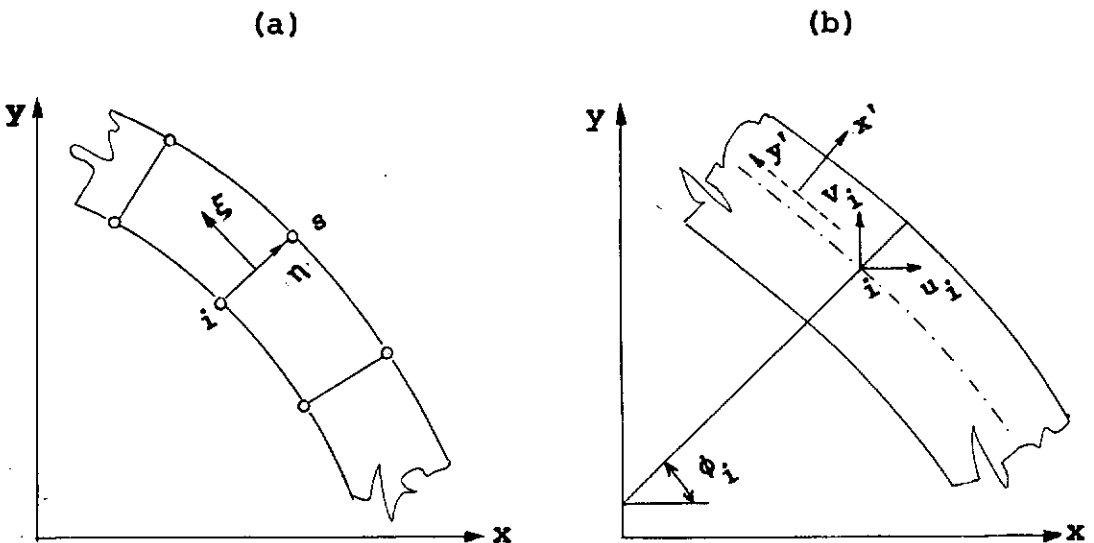


FIGURA (2.2)

Para definir a geometria do elemento, as coordenadas  $x, y$  dentro do elemento são relacionadas com as coordenadas curvilíneas pela expressão:

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix} = \sum N_i \frac{(1+\eta)}{2} \begin{Bmatrix} x_i \\ y_i \end{Bmatrix}_s + \sum N_i \frac{(1-\eta)}{2} \begin{Bmatrix} x_i \\ y_i \end{Bmatrix}_i \quad (2.8)$$

onde  $N_i$  é somente função da coordenada  $\xi$ . Assim, para um elemento cúbico:

$$\begin{aligned} \xi_i &= \pm 1 & \text{nos 1 e 4} & & N_1 &= \frac{1}{16} (1 + \xi_0) (-1 + 9\xi^2) \\ \xi_i &= \pm \frac{1}{3} & \text{nos 2 e 3} & & N_i &= \frac{9}{16} (1 - \xi^2) (1 + 9\xi_0) \end{aligned} \quad (2.9)$$

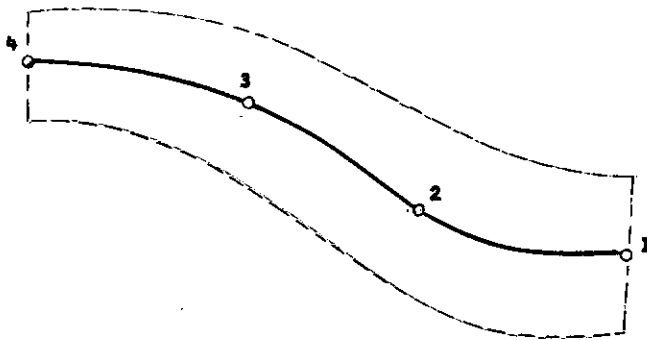


FIGURA (2.3)

Assumindo-se (2.9), a compatibilidade dos deslocamentos é mantida entre elementos adjacentes.

É conveniente escrever a relação (2.8), especificada pelo vetor  $V_i$  que liga os pontos "s" e "i" às coordenadas da superfície média:

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix} = \sum N_i \begin{Bmatrix} X \\ Y \end{Bmatrix}_{\text{med}} + \sum N_i \frac{\eta}{2} V_i \quad (2.10)$$

onde:

$$V_i = t_i \begin{bmatrix} \cos\phi_i \\ \text{sen}\phi_i \end{bmatrix}$$

Como a deformação na direção normal à superfície média é desprezada, o deslocamento do elemento será representado unicamente por três componentes cartesianas do deslocamento do nó da superfície média e duas rotações do vetor  $V_i$  em torno das direções ortogonais a ele. Essas direções são caracterizadas pelos vetores unitários ortogonais a  $V_i$ , ficando os deslocamentos definidos por:

$$\begin{Bmatrix} u^{\ell} \\ v^{\ell} \\ w^{\ell} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} T_u & 0 & 0 \\ 0 & T_v & 0 \\ 0 & 0 & T_w \end{bmatrix} \left[ \sum N_i \begin{Bmatrix} u_i^{\ell} \\ v_i^{\ell} \\ w_i^{\ell} \end{Bmatrix} + \sum N_i \eta \frac{t_i}{2} \begin{bmatrix} -\sin\phi_i & 0 \\ \cos\phi_i & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_i^{\ell} \\ \beta_i^{\ell} \end{Bmatrix} \right]$$

(2.11)

onde  $T_u$ ,  $T_v$  e  $T_w$  são as funções adequadas a cada expansão, expostas no capítulo anterior.

Na expressão (2.8), a definição das coordenadas do elemento, tem mais graus de liberdade do que a definição dos deslocamentos. O elemento é do tipo superparamétrico.

Para caracterizar as deformações em cada ponto, toma-se a normal à superfície média "x'" e as duas outras direções "y'" e "z'" tangentes a ela. As componentes são dadas pelas relações tridimensionais indicadas anteriormente. Nessas deformações estão incluídas as condições de movimento de corpo rígido e de deformação constante, ficando assegurado os critérios de convergência.

Para avaliar a rigidez do elemento, as deformações são calculadas nas direções apropriadas. Duas transforma

ções são necessárias:

- 1 - As deformações são expressas em termos de  $\xi$ ,  $\eta$  e  $z$  usando a matriz jacobiana.
- 2 - As deformações são transportadas ao sistema local e, então, a componente normal à linha  $\eta = \text{constante}$ , é desprezada.

$$\begin{bmatrix} \epsilon_{y'} & \frac{1}{2} \gamma_{Y'X'} & \frac{1}{2} \gamma_{Y'Z'} \\ \frac{1}{2} \gamma_{Y'X'} & \epsilon_{x'} & \frac{1}{2} \gamma_{X'Z'} \\ \frac{1}{2} \gamma_{Y'Z'} & \frac{1}{2} \gamma_{X'Z'} & \epsilon_z \end{bmatrix} = [\theta]^T \begin{bmatrix} \epsilon_y & \frac{1}{2} \gamma_{yx} & \frac{1}{2} \gamma_{yz} \\ \frac{1}{2} \gamma_{yx} & \epsilon_x & \frac{1}{2} \gamma_{xz} \\ \frac{1}{2} \gamma_{yz} & \frac{1}{2} \gamma_{xz} & \epsilon_z \end{bmatrix} [\theta]$$

(2.12)

onde  $[\theta]$  é a matriz dos co-senos diretores dos eixos  $y'$  e  $x'$ . Parametricamente é obtida para cada valor de  $\xi$  e  $\eta$ :

$$\text{sendo } c = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial \xi}\right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial \xi}\right)^2}$$

$$[\theta] = \begin{bmatrix} \frac{1}{c} \frac{\partial y}{\partial \xi} & -\frac{1}{c} \frac{\partial x}{\partial \xi} & 0 \\ \frac{1}{c} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{1}{c} \frac{\partial y}{\partial \xi} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Como a variação das deformações segundo a espessura na direção de  $\eta$  é linear, dois pontos de integração são suficientes, enquanto que, na direção de  $\xi$ , já que a função adotada é cúbica, são necessários quatro pontos de integração.

As tensões correspondentes são definidas por:

$$\{\sigma'\} = \begin{Bmatrix} \sigma_{y'} \\ \sigma_{z'} \\ \tau_{x'y'} \\ \tau_{x'z'} \\ \tau_{y'z'} \end{Bmatrix} = [D'] (\{\epsilon'\} - \{\epsilon'_0\}) + \{\sigma'_0\} \quad (2.14)$$

Onde  $[D']$  é obtida da matriz de elasticidade  $[D]$  do sólido tridimensional, fazendo  $\sigma_x = 0$  e simplificações adequadas às hipóteses estabelecidas. (Ref. 6 e 7).

Calculadas as propriedades do elemento, todo o procedimento agora é feito segundo a maneira usual, devendo apenas as tensões serem transferidas para o sistema global, com o emprego de  $[\theta]$ .

### CAPÍTULO III

#### PROGRAMAÇÃO AUTOMÁTICA

A programação necessária para a utilização do processo apresentado é aqui indicada, e segue a orientação já estabelecida em inúmeros programas de elementos finitos.

Apenas, algumas características próprias, consequentes da formulação e do tipo de elemento implementado são introduzidas.

Conforme é mostrado no capítulo que se segue, um limitado número de elementos já conduz a bons resultados. Fica assim, a preocupação de se ter um programa para resolver grande número de equações, afastada.

Entretanto, torna-se imprescindível uma técnica de resolução de equações mais eficiente, para atender a:

1. problemas tridimensionais sempre acarretam

sistemas de largura de banda excessiva, agravada ainda, quando o elemento implementado tem muitos nós ou, quando a geometria da estrutura em estudo não favorece (furos, etc);

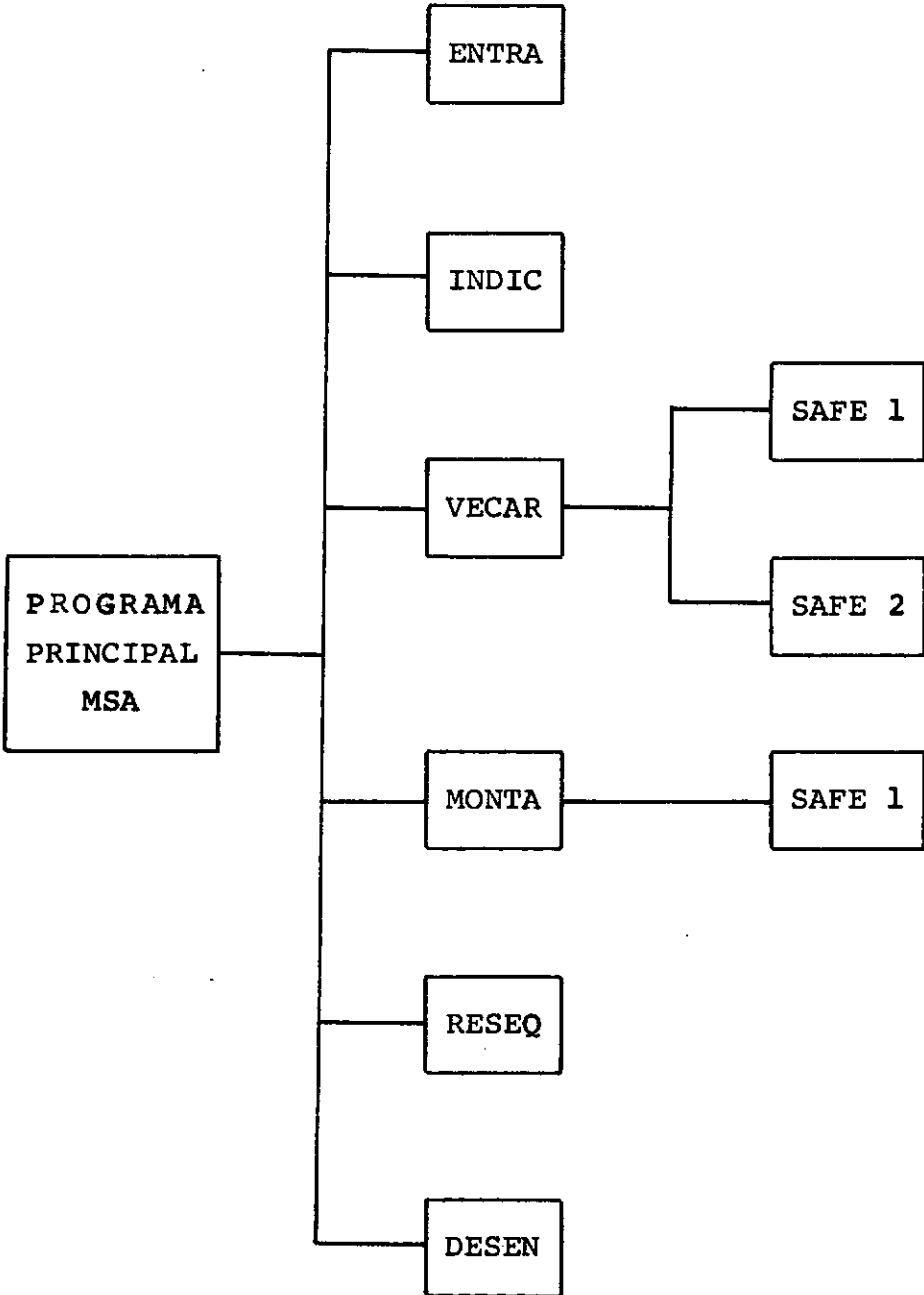
2. o processo empregado implica em resolver o sistema várias vezes.

Assim, atentando a esses motivos, adotou-se um procedimento especial no que diz respeito a montagem e resolução do sistema de equações, valendo-se do conceito de matriz esparsa.

O programa foi desenvolvido em FORTRAN IV, G, para um computador IBM/360, modelo 40, utilizando-se 170K de memória. Sua esquematização será feita em seguida.

O programa principal tem por finalidade a interligação das subrotinas, que resumidamente são descritas:

- Subrotina ENTRA - leitura e impressão dos dados de cada problema a analisar.



- Subrotina INDIC - formação das matrizes indicadoras. Construção da matriz apontadora, que localiza as contribuições na matriz global. Determinação dos termos não nulos a serem criados no processo de redução das equações. Pesquisa do número de termos não nulos acumulados que aparecem em cada linha do sistema.
  
- Subrotina VECAR - cálculo do vetor de carga de todos os harmônicos e posterior armazenamento.
  
- Subrotina MONTA - montagem da matriz de rigidez global da estrutura para cada harmônico, utilizando-se as matrizes indicadoras, colocando-se apenas os termos não nulos em um vetor. Introdução das condições de contôrno, usando o procedimento que envolve a multiplicação do termo da diagonal por um número grande ( $10^{20}$ ) e modificação do coeficiente de carga correspondente.
  
- Subrotina RESEQ - resolução do sistema de e

quação rarefeito, para cada harmônico, utilizando a técnica de eliminação de GAUSS e, posteriormente armazenamento.

- Subrotina DESEN - desenvolvimento dos deslocamentos parciais e acumulados e, cálculo das tensões médias acumuladas em cada nó.
- Subrotina SAFE 1 - integração da matriz de rigidez do elemento e cálculo do vetor de carga consistente devido a variação de temperatura e forças de massa.
- Subrotina SAFE 2 - cálculo do vetor de carga consistente devido a forças de superfície.

Deve-se notar que a montagem e resolução do sistema de equações é feita sem uso de equipamento periférico e, que o limite máximo de equações fica assim, função da largura de banda e do grau de esparsidade da matriz de rigidez da estrutura. É fundamental então, estabelecer a numeração ótima dos pontos nodais da malha em questão.

A listagem apresentada refere-se ao elemento iso

paramétrico quadrilátero quadrático. Do elemento degenerado fornece-se apenas a programação da matriz de rigidez, já que o restante segue o mesmo procedimento.

Dispensa-se da apresentação de subrotinas de geração automática de incidências e coordenadas, uma vez que as mesmas teriam caráter muito particular e por serem os elementos implementados, especialmente empregados em formas irregulares.

O significado das variáveis lidas neste programa e o manual de entrada das mesmas, é apresentado a seguir.

Nº	VARIÁVEL	COMENTÁRIO	FORMATO
1	NPROB	Número de problemas a analisar.	I5
	NSIM	1 estrutura axissimétrica carregamento simétrico ..... 2 estrutura axissimétrica carregamento antissimétrico ..... 3 estrutura "prismática" eixo reto ..... 4 estrutura "prismática" eixo circular .....	
2	NE	Número de elementos .....	8I10
	NN	Número de nós .....	
	NNDP	Número de nós com deslocamento prescrito .....	
	NMAT	Número de materiais diferentes.	
	NSEC	Número de seções a analisar ...	
	NCARG	Número de carregamentos .....	
	NTARM	Número de harmônicos .....	
3	COMP	Comprimento se a peça é prismática .....	8F10.2
3	ZZ ( )	Distância a origem das seções analisadas .....	

Nº	VARIÁVEL	COMENTÁRIO	FORMATO
		Para cada material:	
4	EE( )	módulo de elasticidade;	
	TU( )	coeficiente de Poisson;	4F10.2
	PESO (,)	peso específico nas direções X e Y;	F15.7
	ALFA( )	coeficiente de dilatação.	
5	X( )	Coordenadas nodais .....	8F10.3
	Y( )		
6	NEL(,)	Incidência dos elementos .....	
	IMAT( )	Número do material correspondente .....	10I5
	LQUAN( )	Número de cargas .....	
7	NA( )	Número do apoio .....	
	NFIX( )	código 111 restrição em X,Y e Z exemplo 110 restrição em X e Y 100 restrição em X.	2I10 3F10.3
	DESLP(,)	Deslocamento prescrito .....	
8	NTER	Número de nós em que se vai ler a temperatura .....	I10
9	I	Número do nó .....	4(I10,
	P( )	Temperatura correspondente ....	F10.3)

Nº	VARIÁVEL	COMENTÁRIO	FORMATO
	LOAD	Tipo da carga .....	2I5
	LADO	Lado carregado .....	
10	ZA	Distância "Z" a origem do <u>come</u> <u>ço</u> da carga .....	7F10.2
	PT( )	Valores das ordenadas .....	
11	ZB	Distância "Z" do fim da carga .	7F10.2
	P( )	Valores das ordenadas .....	
12	U(,)	Leitura do vetor de cargas de <u>to</u> dos harmônicos do elemento ....	8F10.2

OBSERVAÇÃO: Os casos de carga considerados foram:

- a) LOAD = 1      uniformemente distribuída sobre um nó  
em toda extensão do elemento.
- b) LOAD = 2      linearmente distribuída sobre um nó.
- c) LOAD = 3      uniformemente distribuída sobre um la  
do em toda extensão do elemento.
- d) LOAD = 4      linearmente distribuída sobre um lado.

- e) LOAD = 5 peso próprio;  
7 temperatura.
- f) LOAD = 6 leitura direta do vetor de carga.

## CAPÍTULO IV

### APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Nos capítulos anteriores, apresentou-se a formulação básica para o desenvolvimento de um programa automático, que pudesse justificar o emprego do processo adotado.

Neste capítulo, alguns exemplos clássicos são analisados com o uso do programa elaborado e, os resultados comparados com as correspondentes soluções analíticas.

Apesar dos elementos utilizados serem apropriados a contornos curvos, os exemplos que se seguem não exploram devidamente esta propriedade, devido a dificuldade de se estabelecer a solução desses problemas por métodos analíticos.

1. CASCA CILÍNDRICA CIRCULAR SUBMETIDA A AÇÃO DO PESO PRÓPRIO - COMPARAÇÃO COM OS DOIS ELEMENTOS

O primeiro exemplo consta de uma casca cilíndrica circular, simplesmente apoiada em diafragmas rígidos, nas extremidades curvas e submetida a ação do peso próprio. A solução exata é obtida de SCORDELIS (Ref. 12) e exaustivamente analisada nas referências 2, 7 e 22.

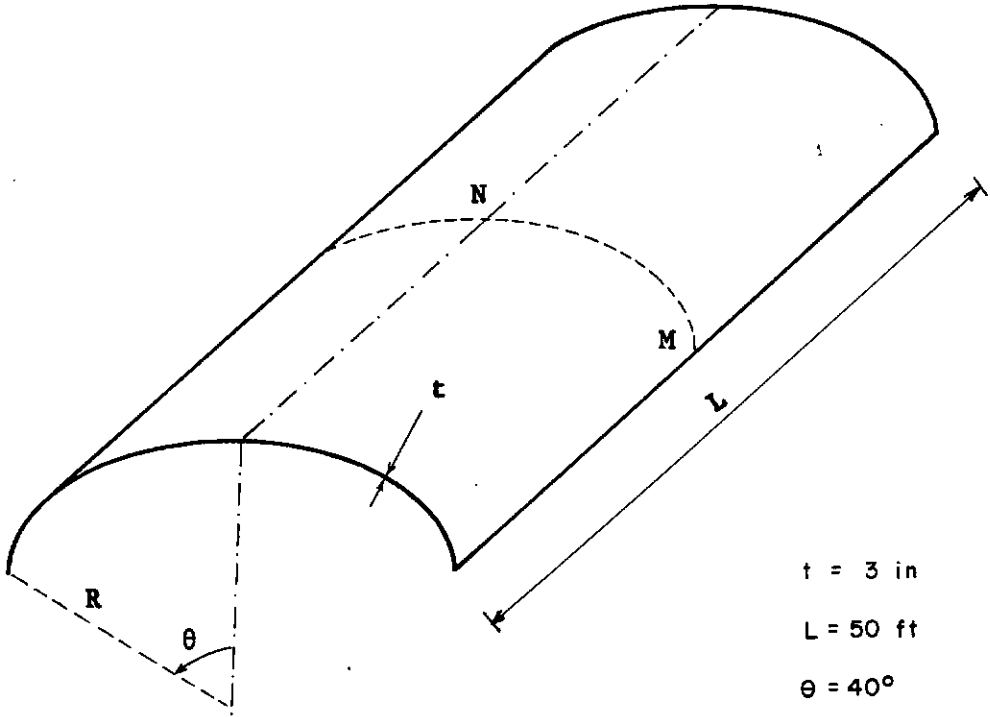
Na Figura (4.1) o problema é esquematizado e suas características são indicadas:

$$\begin{array}{ll}
 E = 3 \times 10^3 \text{ K/in}^2 & \nu = 0 \\
 L = 50\text{ft} & R = 25\text{ft} \\
 \theta = 40^\circ & \text{carga} = 90\text{lb/sq.ft}
 \end{array}$$

O estudo é feito utilizando-se os dois elementos implementados, com um único elemento segundo a espessura conforme é mostrado na Figura (4.1).

Os resultados fornecidos referem-se aos deslocamentos verticais (ft) e as tensões longitudinais resultantes (Kip/ft), na seção situada ao meio do vão.

CASCA CILINDRICA CIRCULAR



$t = 3 \text{ in}$

$L = 50 \text{ ft}$

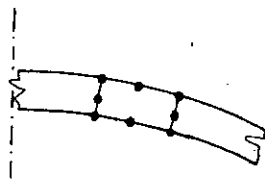
$\theta = 40^\circ$

$R = 25 \text{ ft}$

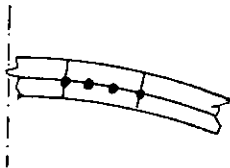
$\nabla = 0$

$E = 3 \times 10^3 \text{ K/in}^2$

Carga = 90 lb/sq. ft



MALHA A



MALHA B



FIGURA (4.1)

Nas Tabelas (4.1) e (4.2), os deslocamentos verticais dos pontos M e N da Figura (4.1) são obtidos utilizando-se 4 e 6 elementos do tipo isoparamétrico quadrilátero. O mesmo é feito em relação ao elemento de casca, nas Tabelas (4.3) e (4.4). Esses deslocamentos e as tensões longitudinais resultantes são plotadas, para ambos elementos (6 elementos), nas Figuras (4.2) e (4.3), respectivamente.

Pode-se notar que a consideração de apenas dois termos da série já representa uma aproximação satisfatória, mesmo utilizando-se um número reduzido de elementos.

TABELA (4.1)

$\begin{matrix} \text{N}^\circ \text{ de} \\ \text{Elementos} \\ \text{N}^\circ \text{ de} \\ \text{Harmônicos} \end{matrix}$	4	6
1	-0,3164	-0,3118
2	-0,3098	-0,3053
3	-0,3109	-0,3063
4	-0,3106	-0,3060
Erro	0,0026	0,0020
Solução Exata	-0,308	

TABELA (4.2)

$\begin{array}{l} \text{Nº de} \\ \text{Elementos} \\ \text{Nº de} \\ \text{Harmônicos} \end{array}$	4	6
1	0,0484	0,0459
2	0,0482	0,0459
3	0,0480	0,0459
4	0,0480	0,0459
Erro	0,0020	0,0001
Solução Exata 0,046		

TABELA (4.3)

$\begin{array}{l} \text{Nº de} \\ \text{Elementos} \\ \text{Nº de} \\ \text{Harmônicos} \end{array}$	4	6
1	-0,3026	-0,3058
2	-0,3086	-0,3064
3	-0,3077	-0,3073
Erro	0,0003	0,0007
Solução Exata -0,308		

SEÇÃO AO MEIO DO VÃO

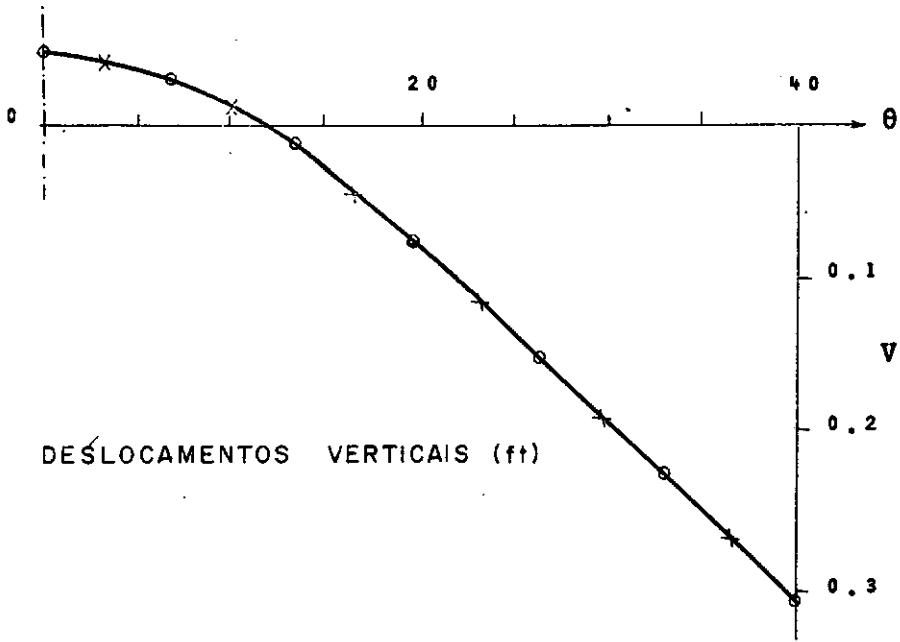


FIGURA (4.2)

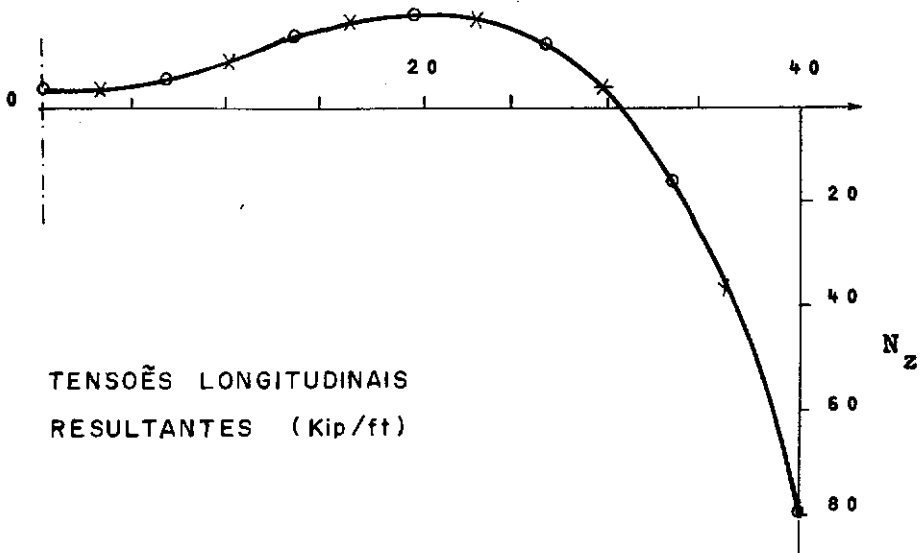


FIGURA (4.3)

TABELA (4.4)

Nº de Elementos \ Nº de Harmônicos	4	6
1	0,0428	0,0449
2	0,0430	0,0458
3	0,0431	0,0459
Erro	0,0029	0,0001
Solução Exata	0,046	

## 2. CILINDRO SUBMETIDO A AÇÃO DE MOMENTOS - UTILIZAÇÃO DO ELEMENTO DE CASCA

Consiste no estudo de um cilindro de espessura  $u$  uniforme sujeito a momentos que atuam nas suas extremidades,  $M_{\phi}^0 = 10^{-2} |Et^2 / (1-\nu^2)| \cos l\theta$ , como é indicado na Figura (4.4), adotando-se:  $E = 1$  e  $\nu = 0.3$ .

Foram empregados 15 elementos e por condições de simetria, dispostos apenas em uma metade do cilindro. O pri

meiro elemento foi tomado de comprimento igual a 0,02 e os demais em progressão aritmética.

Os resultados das amplitudes das relações deslocamento radial/espessura e momentos meridionais  $(1-\nu^2)/Et^2 M_\phi \cdot 10^{-2}$  são comparados com a solução de BUDIANSKY (Ref. 9) nas Figuras (4.5) e (4.6) respectivamente, para o harmônico  $\ell = 0$ , e nas Figuras (4.7) e (4.8) para  $\ell = 2$ .

### 3. CILINDRO SUBMETIDO A TORÇÃO - UTILIZAÇÃO DO ELEMENTO PARA ANÁLISE DE SÓLIDOS

Discretiza-se um cilindro utilizando-se agora, um único elemento isoparamétrico quadrilátero segundo a espessura e considera-se a ação de esforços tangenciais constantes, atuando nas extremidades do corpo. Os valores esquizmatizados na Figura (4.9) e as constantes do material são relacionados abaixo:

$$E = 2,5 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \quad L = 5\text{m} \quad T = 10\text{t}$$

$$\nu = 0.17 \quad t = 0,20\text{m}$$

$$\text{Raio} = 5\text{m}$$

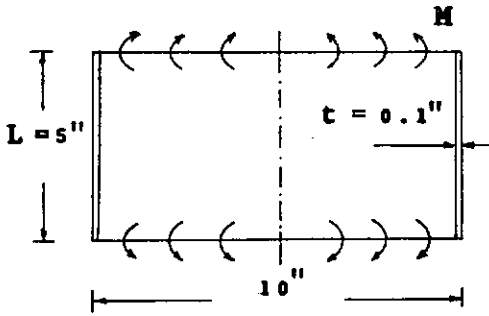


FIGURA (4.4)

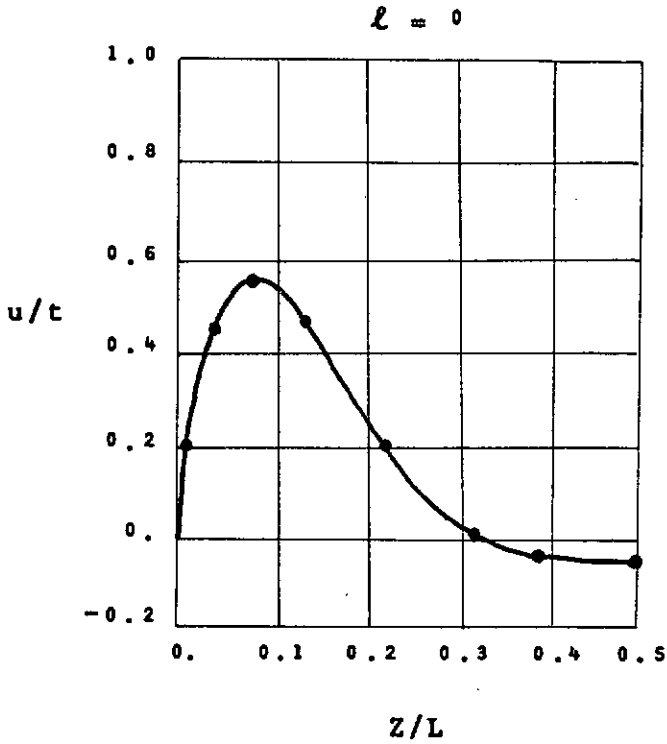


FIGURA (4.5)

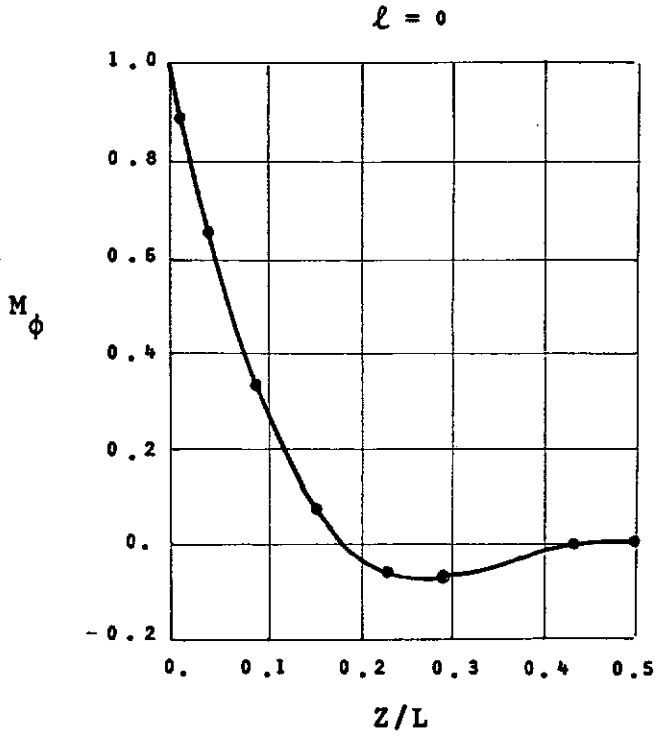


FIGURA (4.6)

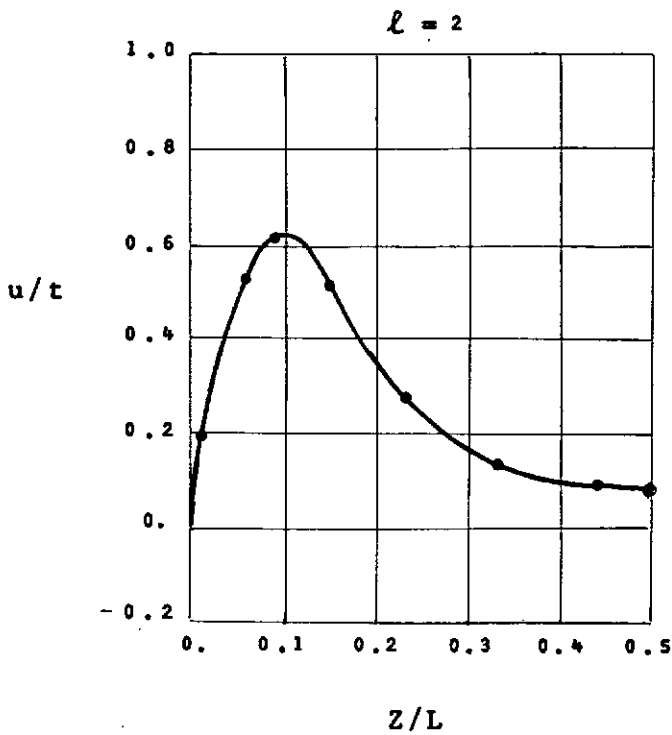


FIGURA (4.7)

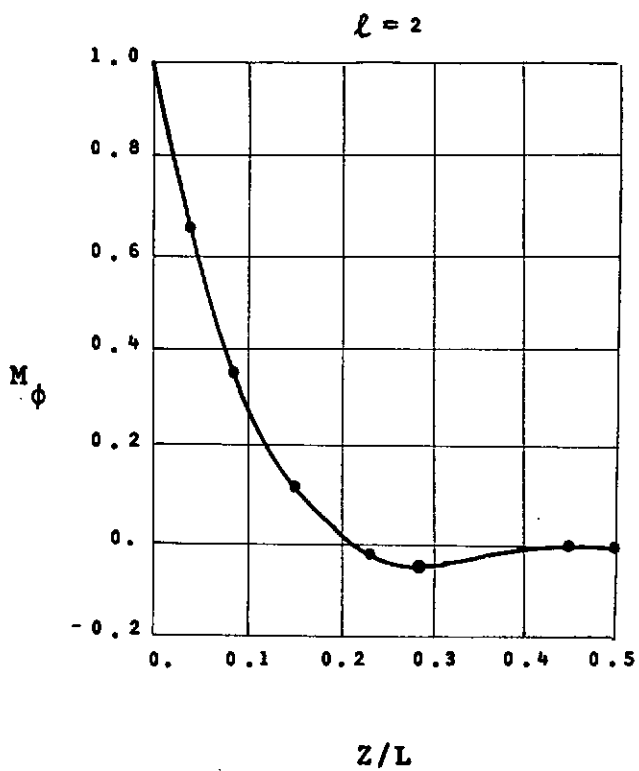


FIGURA (4.8)

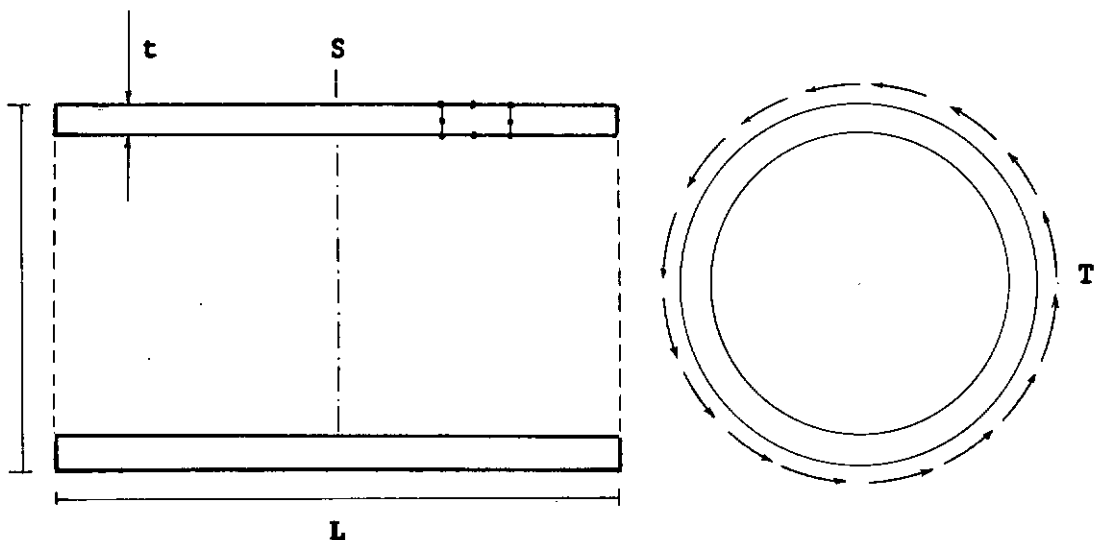


FIGURA (4.9)

A distribuição das tensões cisalhantes segundo a teoria, se faz proporcional a distância ao centro da peça e seu valor máximo é  $\tau_{zx} = 105,958t/m^2$ . Na presente análise, utilizando-se apenas cinco elementos, essa distribuição é verificada, para a seção "S" e o valor máximo encontrado é  $\tau_{zx} = 105,991t/m^2$ .

Para efeito de comparação apresenta-se o exemplo indicado na Ref. 17, que consiste em um anel sujeito a pressão radial unitária. Neste caso adotou-se:

$$R = 1000\text{cm} \qquad t = 40\text{cm}$$

$$E = 210000\text{Kg/cm}^2 \qquad \nu = 0.25$$

Com um único elemento, os valores encontrados são mostrados na Tabela (4.5) (24 equações), em  $\text{Kg/cm}^2$ .

TABELA (4.5)

	TENSÃO RADIAL		TENSÃO CIRCUNFERENCIAL	
	Valor Encontrado	Exato	Valor Encontrado	Exato
R = 1000	-1.00	-1.00	26.00	25.50
R = 1040	0.00	0.00	24.98	24.50

Os resultados da Ref. 17 calculados para uma ma lha de 290 equações estão na Tabela (4.6).

TABELA (4.6)

	TENSÃO RADIAL		TENSÃO CIRCUNFERENCIAL	
	Valor Encontrado	Exato	Valor Encontrado	Exato
R = 1000	-0.93	-1.00	24.53	25.50
R = 1040	-0.06	0.00	24.27	24.50

Os exemplos que foram analisados, de relativa simplicidade, constituem os casos clássicos que são explorados na literatura do método dos elementos finitos e não poderiam deixar de constar deste trabalho.

Mas, para a solução de problemas de contornos irregulares é que se destina o programa elaborado e onde reside o maior mérito dos elementos implementados.

## CONCLUSÕES

Do estudo do processo desenvolvido algumas conclu  
sões são obtidas e sugestões apresentadas:

1. Para os casos que ocorrem na prática a representação das solicitações por série de Fourier se mostrou eficiente, sendo a consideração de três componentes da série suficiente para uma análise apurada.
2. Procurou-se utilizar elementos dotados de acentuada convergência, em um programa de média capacidade, mas de rápida execução. Assim a redução de uma dimensão do método dos elementos finitos resultou vantajosa.
3. Fica evidente a necessidade de se estender ão outras expansões, para resolver problemas que não implicam mais no desacoplamento do sistema de equações, mas que ainda superam o uso de elementos

tridimensionais.

4. Outras funções devem ser tentadas, para a pesquisa de novas condições de contorno e para a solução de certas singularidades.
5. A adoção desse processo pode ser feita para a representação de outros problemas físicos.
6. Torna-se necessário também a otimização do programa apresentado, que segue ainda uma formação apenas didática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHEUNG, Y.K., "The finite strip method in the analysis of elastic plates with two opposite simply supported ends", Inst. Civ. Eng., 40, 1968.
2. HOLAND, I., BELL, K., "Finite element methods in stress analysis", Tapir, 1970.
3. CROSE, J.G., "Stress analysis of axisymmetric solids with asymmetric properties", A.I.A.A. Journal, Vol. 10, nº 7, 1972.
4. APARÍCIO, L.E., CONNOR, J., "Isoparametric finite element displacement models", M.I.T., 1970.
5. DESAI, C.S., ABEL, J.F., "Introduction on the finite element method", Van Nostrand Reinhold, 1972.
6. AHMAD, S., IRONS, B.M., ZIENKIEWICZ, O.C., "Curved thick shell and membrane elements with particular reference

to axisymmetric problems", Proc. 2nd Conf. Matrix Meth. Struct. Mech., Wright-Patterson A.F. Base, Ohio 1968.

7. ZIENKIEWICZ, O.C., "The finite element method in engineering science", McGraw-Hill, 1971.
8. MEYER, C., SCORDELIS, A.C., "Analysis of curved folded plate structures", A.S.C.E., ST10, 1971.
9. BUDIANSKY, B., RADKOWSKI, P.P., "Numerical analysis of unsymmetrical bending of shells of revolution", A.I.A.A. Journal, Vol. 1, n<sup>o</sup> 8, 1963.
10. PERCY, J.H., PIAN, T.H.H., KLEIN, S., NAVARATNA, D.R., "Application of matrix displacement method to linear elastic analysis of shells of revolution", A.I.A.A. Journal, Vol. 3, n<sup>o</sup> 11, 1965.
11. WILSON, E.L., "Structural analysis of axisymmetric solids", A.I.A.A. Journal, Vol. 3, n<sup>o</sup> 12, 1965.
12. SCORDELIS, A.C., LO, K.S., "Computer analysis of cylindrical shells", Journal Am. Concr. Inst., 61, 1969.

13. ALBASINY, E.L., MARTIN, D.W., "Bending and membrane equilibrium in cooling towers", A.S.C.E., 93, EM3, 1967.
14. CHEUNG, Y.K., "Finite strip method of analysis of elastic slabs", A.S.C.E., 94, EM6, 1968.
15. CHEUNG, Y.K., "Folded plates structures by the finite strip method", A.S.C.E., 95ST, 1969.
16. TIMOSHENKO, S., GOODIER, J.H., "Theory of elasticity", McGraw-Hill, 1951.
17. DANTAS, J.I., "Método dos elementos finitos aplicado a problemas axissimétricos", Tese M.Sc., COPPE/UFRJ, 1971.
18. VENANCIO FILHO, F., Notas de aula, COPPE/UFRJ, 1971.
19. FLUGGE, W., "Stresses in shells", Springer-Verlag Berlin, 1960.
20. LOVE, A.E.H., "The mathematical theory of elasticity", Cambridge Univ. Press, 1927.

21. SILVA, T.F.C., "Estruturas prismáticas laminares", Te  
se M.Sc., COPPE/UFRJ.
  
22. TOTTENHAM, H., BREBBIA, C., "Finite element techniques  
in structural mechanics".

SIMBOLOGIA

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{zx}$  componentes das tensões.

$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yx}, \gamma_{zx}$  componentes das deformações.

$u, v, w$  componentes dos deslocamentos.

[D] matriz das constantes elásticas.

[N] matriz das funções de interpolação.

$\{\delta\}^e$  deslocamentos nodais do elemento.

[B] matriz que relaciona as deformações com os deslocamentos nodais do elemento.

[K] matriz de rigidez.

[J] matriz jacobiana.

E módulo de elasticidade.

- $\nu$  coeficiente de Poisson.
- $\gamma$  coeficiente de dilatação.
- $\{\epsilon_0\}$  deformações iniciais.
- $\{\sigma_0\}$  tensões iniciais.
- $\{F\}_p^e$  cargas nodais equivalentes às forças de superfícies.
- $\{F\}_p^e$  cargas nodais equivalentes às forças de massa.
- $t_i$  espessura do elemento no nó  $i$ .
- $U$  energia específica de deformação.
- $\theta$  coordenada cilíndrica, matriz dos cossenos diretores.
- $T_u, T_v, T_w$  funções utilizadas nos desenvolvimentos.

APÊNDICE

```

IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
COMMON /UM/ EE(10),TUI(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),X
*(200),Y(200),XE(8,2),CJMP,PE
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QO(16),PO(15),TO(24),PP(5)
*,SE(24,24),A(8000),P(433)
COMMON /TET/ NH,IPONT(433,24),VZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ NE,NN,NNPE,NGLN,NNOP,NMAT,NTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NN2,LADD,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),NA(20),NFIX(20),KN(5),LQUAN(
*50),NMA5,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5
DEFINE FILE 50(480,576,U,K1),53(4,1200,U,K3),54(240,24,U,K4),55(24
*0,8,U,K5)
LB=24

```

-----

PROCESSO SEMI-ANALITICO EM ELEMENTOS FINITOS

-----

```

READ(5,2) NPROB
2 FORMAT(I5)

```

```

DO 3 J=1,NPROB

```

```

CALL ENTRA

```

```

CALL INDIC

```

```

CALL VECAR

```

```

DO 1 NHAR=1,NTARM

```

```

DO 1 I=1,NCARG

```

```

CALL MONTA

```

```

1 CALL RESEQ

```

```

CALL DESEN

```

```

3 CONTINJE

```

CALL EXIT

END

```

SUBROUTINE ENTRA
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
DIMENSION LE(10),LI(10)
COMMON /JM/ EE(10),TU(10),PESD(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),X
*(200),Y(200),XE(8,2),COMP,PE
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QD(16),PD(15),TD(24),PP(6)
*,SE(24,24),A(8000),P(433)
COMMON /TET/ NH,IPONT(433,24),VZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ VE,NV,VPPE,NGLN,VNDP,VMAT,NTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NN2,LADO,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),VA(20),NFI(20),KN(5),LQUAN(
*50),NMAS,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5
DATA LE/0,1,2,3,4,5,6,7,8,9/
DATA LI/1,3,5,7,9,11,13,15,17,19/

```

LEITURA E IMPRESSAO DOS DADOS

```

NDEF=6
NGLN=3
NNPE=8
NN1=NNPE*NGLN
PI=3.141592653589793
WRITE(6,19)
19 FORMAT('1')
WRITE(6,1)
1 FORMAT('1',34X,50(' '),/,35X,' ',48X,' ',/,35X,' ',3X,'M E T O D O
* S E M I - A N A L I T I C O',3X,' ',/,35X,' ',48X,' ',/,35X,' '
*,5X,'ELEMENTO ISOPARAMETRICO-QUADRILATERO',5X,' ',/,35X,' ',48X,
*' ',/,35X,' ',3X,'NELSON FRANCISCO FAVILLA EBECKEN COPPE/72',3X,'
* ',/,35X,50(' '),//)
READ(5,16) NSIM,VE,NV,NNDP,VMAT,NSEC,NCARG,NTARM
16 FORMAT(8I10)

```

```

READ(5,37) COMP,(ZZ(I),I=1,NSEC)
37 FORMAT(8F10.2)
DO 13 I=1,10
13 KN(I)=LI(I)
PE=2*PI
GO TO (3,4,5,6),NSIM
3 WRITE(6,9)
DO 14 I=1,10
14 KN(I)=LE(I)
GO TO 20
4 WRITE(6,10)
GO TO 20
5 WRITE(6,11)
PE=COMP
GO TO 20
6 WRITE(6,12)
PE=COMP*PI
9 FORMAT(//,15X,'* E S T R U T U R A   A X I S S I M E T R I C A   C
* O M   C A R R E G A M E N T O   S I M E T R I C O *',//)
10 FORMAT(//,15X,'* E S T R U T U R A   A X I S S I M E T R I C A   C
* O M   C A R R E G A M E N T O   A N T I M E T R I C O *',//)
11 FORMAT(//,15X,'* E S T R U T U R A   P R I S M A T I C A   E I X O
* R E T O *',//)
12 FORMAT(//,15X,'* E S T R U T U R A   P R I S M A T I C A   E I X O
* C I R C U L A R *',//)
20 READ(5,15)
15 FORMAT(80H
*
WRITE(6,15)
NN2=NN*NGLN
IF(NSIM-3) 38,39,38
38 DO 40 M=1,NSEC
40 ZZ(M)=ZZ(M)*PI
39 CONTINUE
READ(5,17) (EE(N),TU(N),PESO(1,N),PESO(2,N),ALFA(N),N=1,NMAT)
17 FORMAT(4F10.2,F15.7)
IF(NCARG) 22,21,22
21 NCARG=1
22 WRITE(6,23) NMAT,NTARM,NN,NSEC,NE,NCARG,NNDP,PE
23 FORMAT(///,20X,'NUMERO DE MATERIAIS',11('. '),15,10X,'NUMERO DE HAR
* MONICOS',10('. '),15,/,20X,'NUMERO DE NOS',17('. '),15,10X,'NUMERO D
* E SECCOES',14('. '),15,/,20X,'NUMERO DE ELEMENTOS',11('. '),15,10X,'N
* UMERD DE CARREGAMENTOS',7('. '),15,/,20X,'NUMERO DE APOIOS',14('. '),
* 15,10X,'DESENVOLVIMENTO DE ZERO A',5('. '),E9.3,///)
WRITE(6,24) (N,EE(N),TU(N),PESO(1,N),ALFA(N),PESO(2,N),N=1,NMAT)
24 FORMAT(//,30X,'CARACTERISTICAS DO MATERIAL NUMERO ',15,////,20X
*, 'MODULO DE ELASTICIDADE =',F10.0,10X,'COEFICIENTE DE POISSON =',
* F10.3,/,20X,'PESO ESPECIFICO DIR. X =',F10.3,10X,'COEFICIENTE DE D
* ILAT. =',F10.6,/,20X,'PESU ESPECIFICO DIR. Y =',F10.3)
READ(5,25) (X(I),Y(I),I=1,NN)

```

```

25 FORMAT(8F10.3)
   WRITE(6,26)
26 FORMAT(////,30X,'C O R D E N A D A S   D O S   N O S   ',///,30X,'
*NO',16X,'X',19X,'Y')
   WRITE(6,27) (I,X(I),Y(I),I=1,NV)
27 FORMAT(27X,15,10X,F10.3,10X,F10.3)
   WRITE(6,28)
28 FORMAT(////,30X,'D E F I N I C A D O   D O S   E L E M E N T O S',/)
   WRITE(6,29)
29 FORMAT(///,2X,'ELEMENTO',6X,'NO 1',6X,'NO 2',6X,'NO 3',6X,'NO 4',6
*X,'NO 5',6X,'NO 6',6X,'NO 7',6X,'NO 8',6X,'MATERIAL',/)
   READ(5,30) ((VEL(I,J),J=1,8),IMAT(I),LQUAN(I),I=1,NE)
30 FORMAT(10I5)
   WRITE(6,31) (I,(VEL(I,J),J=1,8),IMAT(I),I=1,NE)
31 FORMAT(1H,10I10)
   IF(NNDP) 34,35,34
34 READ(5,36) (NA(I),NFIJ(I),(DESLP(I,L),L=1,3),I=1,NNDP)
36 FORMAT(2I10,3F10.3)
   WRITE(6,32)
32 FORMAT(///,30X,'D E S L O C A M E N T O   P R E S C R I T O S',///
*/,8X,'NO',14X,'CODIGO',5X,'DESLOCAMENTO-X',5X,'DESLOCAMENTO-Y',5X,
*'DESLOCAMENTO-Z',///)
   WRITE(6,33) (NA(I),NFIJ(I),(DESLP(I,L),L=1,3),I=1,NNDP)
33 FORMAT(110,15X,15,9X,F10.3,9X,F10.3,9X,F10.3)
35 CONTINUE
   DO 51 I=1,NN
51 NZERO(I)=0.
   DO 43 N=1,NMAT
   IF(ALFA(N)) 41,43,41
41 WRITE(6,46)
46 FORMAT(///,30X,'T E M P E R A T U R A S   N O D A I S',///,30X,'NO
*',16X,'TEMP.',/)
   READ(5,16)          NTER
   READ(5,48)         ((I,P(I)),J=1,NTER)
48 FORMAT(4(I10,F10.3))
   K5=1
   DO 50 J=1,NE
   DO 52 I=1,4
   K=VEL(J,I)
   IAUX(I)=K
   NZERO(K)=NZERO(K)+1
   IF(NZERO(K).NE.1) GO TO 52
   WRITE(6,47) K,P(K)
52 CONTINUE
50 WRITE(55*K5)(P(IAUX(L)),L=1,4)
47 FORMAT(27X,15,10X,F10.3)
   GO TO 44
43 CONTINUE
44 RETURN
   END

```

```

SUBROUTINE DESEN
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
COMMON /UM/ EE(10),TU(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),X
*(200),Y(200),XE(8,2),COMP,PE
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QD(16),PO(16),TO(24),PP(6)
*,PC(433,6),SIG(6),V(24),P(433)
COMMON /TET/ NH,IPJNT(433,24),NZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ NE,NN,VNPE,VGLN,VNDP,VMAT,VTARM,NSEC,VDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NN2,LADD,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),NA(20),NFIX(20),KN(6),LQUAN(
*50),VMAS,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5

```

DESENVOLVIMENTO DOS DESLOCAMENTOS PARCIAIS E ACUMULADOS  
 CALCULO DAS TENSOES MEDIAS ACUMULADAS

PI=3.141592653589793

DO 1 NW=1,NCARG  
 WRITE(6,10) NW

DO 1 N=1,NSEC  
 K3=NW

K1=1  
 K4=1

DO 6 I=1,NDEF  
 PP(I)=0.

DO 6 J=1,NN2

6 PC(J,I)=0.

Z=ZZ(N)

IF(NSIM-3) 7,8,8

8 Z=Z\*PI/COMP

7 DO 1 NHARM=1,VTARM

NH=KN(NHARM)

IF(NSIM-1) 5,4,5

4 XX=DSIN(NH\*Z)

YY=DCOS(NH\*Z)

GO TO 11

5 XX=DCOS(NH\*Z)

YY=DSIN(NH\*Z)

```

11 WRITE(6,46) Z,NHARM
46 FORMAT(//,30X,' SECAO Z =',F10.2,15X,' HARMONICO NUMERO =',I3)
WRITE(6,2)
2 FORMAT(//,21X,' DESLOCAMENTOS PARCIAIS',29X,' DESLOCAMENTOS
*ACUMULADOS'///,4X,'ND',5X,'DESLOCAMENTO-X',5X,'DESLOCAMENTO-Y',5X,'
*DESLOCAMENTO-Z',5X,'DESLOCAMENTO-X',5X,'DESLOCAMENTO-Y',5X,'DESLOC
*AMENTO-Z',//)
READ(53*K3) P
K3=K3-1+NCARG

DO 3 I=1,NN
W1=P(3*I-2)*YY
W2=P(3*I-1)*YY
W3=P(3*I)*XX
JA=3*I
PC(JA-2,1)=PC(JA-2,1)+W1
PC(JA-1,1)=PC(JA-1,1)+W2
PC(JA,1)=PC(JA,1)+W3
3 WRITE(6,9)I,W1,W2,W3,PC(JA-2,1),PC(JA-1,1),PC(JA,1)
9 FORMAT(2X,I4,6(4X,F15.7))

WRITE(6,14)
10 FORMAT(//,120('='),///,47X,'CARREGAMENTO',15)
WRITE(6,12)
12 FORMAT(//,38X,'TENSÕES MEDIAS ACUMULADAS',
*//)
WRITE(6,15)
15 FORMAT(//,4X,'ND',8X,'TENSÃO-X',11X,'TENSÃO-Y',11X,'TENSÃO-Z',11X,
*'TENSÃO-XY',10X,'TENSÃO-YZ',10X,'TENSÃO-ZX',//)

IF(NSIM-2) 48,47,48
47 XX=DCOS(NH*Z)
YY=DSIN(NH*Z)
GO TO 49
48 XX=DSIN(NH*Z)
YY=DCOS(NH*Z)

49 DO 13 M=1,NE
DO 16 IK=1,NVPE
DO 16 I=1,NGLV
LP=VEL(M,IK)
JB=3*IK-NGLV+I
JC=3*LP-NGLV+I
16 V(JB)=P(JC)

```

```

DO 13 K=1,NNPE
L=NEL(M,K)
IF(NHARM-1) 50,51,50
51 PC(L,2)=PC(L,2)+1.
50 READ(50,K1) DB1,DB2
DO 17 II=1,NDEF
SIG(II)=0.
DO 17 JJ=1,NN1
17 DB1(II,JJ)=DB1(II,JJ)*XX+DB2(II,JJ)*YY
DO 18 KL=1,NDEF
DO 18 LK=1,NN1
18 SIG(KL)=SIG(KL)+DB1(KL,LK)*V(LK)
IF(LQUAN(M).GE.0) GO TO 55
READ(54,K4) (PP(I),TJ(I),I=1,NDEF)
DO 24 JU=1,NDEF
24 SIG(JU)=SIG(JU)-PP(JU)*XX-TJ(JU)*YY
55 DO 19 JI=1,NGLN
MA=3*L-NGLN+JI
PC(MA,3)=PC(MA,3)+SIG(JI)
19 PC(MA,4)=PC(MA,4)+SIG(JI+3)
13 CONTINUE

```

```

DO 45 I=1,NN2
L=(I-1)/NGLN+1
PC(I,5)=PC(I,3)/PC(L,2)
45 PC(I,6)=PC(I,4)/PC(L,2)

```

```

DO 21 I=1,NN
N1=3*I
21 WRITE(6,9) I,PC(N1-2,5),PC(N1-1,5),PC(N1,5),PC(N1-2,6),PC(N1-1,6),P
*C(N1,6)
1 WRITE(6,14)
14 FORMAT(//,120('='))
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE VECAR
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
DIMENSION PT(6)
COMMON /UM/ EE(10),TU(10),PESD(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),X

```

```

*(200),Y(200),XE(8,2),COMP,T
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QD(16),PD(15),TO(24),PP(5)
*,SE(24,24),PC(433,6),P(433)
COMMON /TET/ NH,IPONT(433,24),VZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ NE,NN,NNPE,NGLV,NVDP,NMAT,NTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NV2,LADD,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),NA(20),NFI(23),KN(5),LQUAN(
*50),NMA,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5

```

CALCULO DO VETOR DE CARGA PARA CADA HARMONICO

```

MPL=2*NNPE
MPO=NNPE-4
K3=1
DO 59 JG=1,NCARG
WRITE(6,90) JG
90 FORMAT(///,30X,'C A R R E G A M E N T O   N U M E R O',I5,/)
DO 38 J1=1,NN2
DO 38 J2=1,NTARM
38 PC(J1,J2)=0.
PI=3.141592653589793

WRITE(6,91)
91 FORMAT(//,5X,'ELEM.',5X,'CARGA',5X,'TIPO',5X,'LADO',4X,'INICIO',9X
*, 'X1',10X,'Y1',10X,'X2',10X,'Y2',10X,'X3',10X,'Y3',/)
DO 9 LT=1,NE
DO 75 J=1,MPL
75 PD(J)=0.
JKH=IMAT(LT)
DO 23 M1=1,NNPE
KB=NEL(LT,M1)
XE(M1,1)=X(KB)
23 XE(M1,2)=Y(KB)
DO 49 J3=1,NV1
TD(J3)=0.
DO 49 J4=1,NTARM
49 U(J3,J4)=0.
NCAL =0
NMA=0
IF(LQUAN(LT)) 18,9,18

18 LCA=LQUAN(LT)
DO 14 NMC=1,LCA
READ(5,21) LQAD,LADD,ZA,(P(I),I=1,NDEF)

```

```

21 FORMAT(2I5,7F10.2)
WRITE(6,8) LT,LQUAN(LT),LJAD,LADD,ZA,(P(I),I=1,NDEF)
8 FORMAT(4(4X,I5),7(2X,F10.2))
IF(LOAD.EQ.0) GO TO 9
IF(LOAD.EQ.5) NMAS=1
IF(LOAD.EQ.7) NCAL=1
GO TO(50,51,50,51,43,12,43),LOAD
50 DO 60 I=1,NDEF
J=I+NDEF
60 P(J)=P(I)
ZB=T
GO TO 39

51 READ(5,22) ZB,(P(I),I=7,12)
22 FORMAT(7F10.2)
WRITE(6,42)ZB,(P(I),I=7,12)
42 FORMAT(//,44X,'FIM',//,36X,7(2X,F10.2),//)
39 IF(NSIM-3) 3,2,3
3 ZA=ZA*PI
IF(ZB.EQ.T) GO TO 43
ZB=ZB*PI
2 GO TO 43

12 READ(5,25)((U(I,J),I=1,NV1),J=1,NTARM)
25 FORMAT(8F10.2)
RAID=1.
DO 79 J=1,24
I=(J+2)/3
IF(NSIM.LE.2) RAID=XE(I,1)
79 U(J,1)=U(J,1)*2.*PI*RAID
WRITE(6,59)((U(I,J),I=1,NV1),J=1,NTARM)
59 FORMAT(//,12F10.2,/,12F10.2,//)

43 IF(NMAS) 30,31,30
30 CALL SAFE1

31 DO 26 NHARM=1,NTARM
K5=LT
NH=KN(NHARM)
IF(NCAL.EQ.0) GO TO 32
DO 44 K=1,MPD
N=VEL(LT,K)
44 IAUX(K)=VEL(LT,K)
READ(55*K5) (PP(IAUX(J)),J=1,4)
CALL SAFE1
LQUAN(LT)=-LQUAN(LT)

```

```

32 DO 1 J=1,MPL
  1 QO(J)=0.
  LK=0
  KL=0
  IF(NSIM-2) 27,27,28
27 RAB=(2-NSIM)*PI*((NH+2)/(NH+1))+{NSIM-1}*PI**{2*NH/(1+NH)}
  IF(NH) 53,54,53
53 CO=(2-NSIM)+(NSIM-1)*4./(NH*PI)
  GO TO 55
54 CO=1.
55 IF(LOAD.GE.5) GO TO 24
  GO TO 29
28 RAB=COMP/2.
  CO=4./(NH*PI)
  IF(LOAD.GE.5) GO TO 24

29 DO 20 IM=1,NDEF
  IN=IM+NDEF
  IF(NH) 11,13,11
13 PP(IM)=(P(IM)-(P(IN)-P(IM)))/(ZB-ZA)*ZA)+T*(P(IN)-P(IM))/(ZB-ZA)/4.
  GO TO 20
11 GO TO(16,15,15,15),NSIM
16 PP(IM)=(P(IN)-P(IM))/(ZB-ZA)*(DSIN(NH*PI)+1./NH/PI*(DCOS(NH*PI)-1.
  *))*T/NH/PI+(P(IM)-(P(IN)-P(IM)))/(ZB-ZA)*ZA)*2*DSIN(NH*PI)/NH/PI
  GO TO 20
15 PP(IM)=(P(IN)-P(IM))/(ZB-ZA)*(DSIN(NH*PI)/NH/PI-DCOS(NH*PI))*T/NH/
  *PI-(P(IM)-(P(IN)-P(IM)))/(ZB-ZA)*ZA)*2*(DCOS(NH*PI)-1.)/NH/PI
20 CONTINUE

  IF(LOAD-3) 52,24,24

52 CALL SAFE2

24 MS=NN1-NGLN+1
  DO 26 M1=1,MS,NGLN
  KL=1+LK
  LK=1+KL
  U(M1,NHARM)=U(M1,NHARM)+RAB*(QO(KL)+PO(KL)*CO)+TO(M1)*CO
  M3=M1+2
  U(M3,NHARM)=U(M3,NHARM)+CO*TO(M3)
  M2=M1+1
26 U(M2,NHARM)=U(M2,NHARM)+RAB*(QO(LK)*CO+PO(LK)*CO)+TO(M2)*CO
14 CONTINUE

DO 37 NHARM=1,NTARM
DO 37 NM=1,NNPC

```

```

LL=VEL(LT,NM)
DO 37 MN=1,NGLN
KK=MN+(NM-1)*NGLN
MM=NGLN#LL-NGLN+MN
37 PC(MM,NHARM)=PC(MM,NHARM)+U(KK,NHARM)

```

9 CONTINUE

```

NCAL=0
NMAS=0
DO 33 NHARM=1,NTARM
WRITE(53*K3) (PC(I,NHARM),I=1,NN2)
33 CONTINUE
K1=1

```

69 CONTINUE

```

K3=1
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SAFE1
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
DIMENSION A(2,12),F(2,8),W(8)
COMMON /UM/ EE(10),TU(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),V
*(200),GX(200),XE(8,2),COMP,PE
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QQ(16),PD(16),TO(24),PP(6)
*,SE(24,24),R(8000),D(2,8),T(2,2),T1(2,2),SN(8),B1(6,24),B2(6,24),Y
*(6,6),D1(2,8),SNV(2,16),EO1(6),EO2(6),DE1(6),DE2(6)
COMMON /TET/ NH,IPDNT(433,24),NZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ VE,VV,VNPE,NGLN,NNDP,VMAT,NTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NVZ,LADO,LB,JKH,VEL(50,3),IMAT(50),VA(20),NFIX(20),KN(6),LQJAN(
*50),VMAS,NCAL,NCARS,K1,K3,K4,K5
DATA A/8*0.,3*1.,2*-1.,1.,2*-1.,1.,2*0.,1.,0.,2*-1.,0./
DATA F/3*1.,2*-1.,1.,2*-1.,1.,2*0.,1.,0.,2*-1.,0./
DATA W/1.,-1.,1.,-1.,1.,1.,-1.,-1./

```

ELEMENTO QUADRATICO  
CARGAS CONSISTENTES

OBTENCAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ  
PESO PROPRIO E TEMPERATURA

```

NDI=NGLN-1
MPL=2*NNPE
MPD=NNPE-4
PI=3.141592653589733

```

```
AB=0.577350269189626
```

```
DO 1 J=1,MPD
```

```
A(1,J)=AB*W(J)
```

```
1 A(2,J)=AB*W(J+MPD)
```

```
DO 48 I=1,NN1
```

```
TU(I)=0.
```

```
DO 48 J=1,NN1
```

```
48 SE(I,J)=0.
```

```
DO 26 I=1,NDEF
```

```
DO 26 J=1,NDEF
```

```
26 Y(I,J)=0.
```

```
E=EE(JKH)*(1.-TU(JKH))/((1.+TU(JKH))*(1.-2.*TU(JKH)))
```

```
Y(1,1)=E
```

```
Y(1,2)=TU(JKH)/(1.-TU(JKH))*E
```

```
Y(1,3)=Y(1,2)
```

```
Y(2,3)=Y(1,2)
```

```
Y(2,2)=E
```

```
Y(3,3)=E
```

```
Y(4,4)=(1.-2*TU(JKH))/(2.*(1.-TU(JKH)))*E
```

```
Y(5,5)=Y(4,4)
```

```
Y(6,6)=Y(4,4)
```

```
DO 27 I=1,NDEF
```

```
DO 27 J=1,NDEF
```

```
27 Y(J,I)=Y(I,J)
```

```
DO 29 KM=1,MPL
```

```
29 PD(KM)=0.
```

```
DO 72 K=1,12
```

```
RAID=0.
```

```
DO 2 J=1,NNPE
```

```
J1=J
```

```
GO TO (7,7,7,7,8,9,9,8),J1
```

```
7 SN(J)=(1.+A(1,K)*F(1,J))*(1.+A(2,K)*F(2,J))*(A(1,K)*F(1,J)+A(2,K)*  
*F(2,J)-1)*0.25
```

```
ED1(J)=(1.+A(1,K)*F(1,J))*(1.+A(2,K)*F(2,J))*0.25
```

```
DO 13 I=1,NDI
```

```
N=NGLN-I
```

```
13 D(I,J)=((1.+A(N,K)*F(N,J))*F(I,J)*(2.*A(I,K)*  
*F(I,J)+A(N,K)*F(N,J)))/4.
```

```
GO TO 2
```

```
8 SN(J)=(1.+A(1,K)*F(1,J))*(1.-A(2,K)**2)*0.5
```

```
D(1,J)=(1.-A(2,K)**2)*F(1,J)/2.
```

```

D(2,J)=-((1.+A(1,K)*F(1,J))*A(2,K))
GO TO 2
9  SN(J)=(1.-A(1,K)**2)*(1.+A(2,K)*F(2,J))*0.5
D(1,J)=-((1.+A(2,K)*F(2,J))*A(1,K))
D(2,J)=(1.-A(1,K)**2)*F(2,J)/2.
2  CONTINUE

IF(NSIM-2) 83,83,84
84  RAID=1.
GO TO 85
83  DO 14 I=1,NNPE
14  RAID=RAID+SN(I)*XE(I,1)
85  DO 16 I=1,NDI
DO 16 J=1,NDI
T(I,J)=0.
DO 16 KK=1,NNPE
16  T(I,J)=T(I,J)+D(I,KK)*XE(KK,J)

DET=T(1,1)*T(2,2)-T(1,2)*T(2,1)
T1(1,1)=T(2,2)/DET
T1(1,2)=-T(1,2)/DET
T1(2,1)=-T(2,1)/DET
T1(2,2)=T(1,1)/DET

DO 18 I=1,NDI
DO 18 J=1,MPL
18  SNV(I,J)=0.
PU=DET*PE/2.
IF(NMAS) 10,11,10
10  DO 3 L1=1,NNPE
SNN(1,2*L1-1)=SN(L1)
3  SNN(2,2*L1)=SN(L1)
DO 17 I=1,MPL
DO 17 J=1,NDI
17  PO(I)=PO(I)+SNN(J,I)*PESO(J,JKH)*RAID*DET
11  CONTINUE
DO 20 J=1,NNPE
DO 20 I=1,NDI
D1(I,J)=0.
DO 20 M=1,NDI
20  D1(I,J)=D1(I,J)+T1(I,M)*D(M,J)
DO 24 I=1,NDEF
DO 24 J=1,NN1
B1(I,J)=0.
24  B2(I,J)=0.

DO 25 J=1,NNPE
M=NGLN*(J-1)
GO TO(82,82,81,81),NSIM

```

```

82 B1(5,M+1)=-NH*SN(J)/XE(J,1)
   B1(5,M+3)=D1(1,J)-SN(J)/XE(J,1)
   B1(6,M+2)=B1(5,M+1)
   B1(6,M+3)=D1(2,J)
   B2(1,M+1)=D1(1,J)
   B2(2,M+2)=D1(2,J)
   B2(3,M+1)=SN(J)/XE(J,1)
   B2(3,M+3)=NH*SN(J)/XE(J,1)
   B2(4,M+1)=D1(2,J)
   B2(4,M+2)=D1(1,J)

```

```

   IF(NSIM-1) 80,25,80

```

```

80 B1(5,M+1)=-B1(5,M+1)
   B1(6,M+2)=-B1(6,M+2)
   B2(3,M+3)=-B2(3,M+3)
   GO TO 25

```

```

81 B1(1,M+1)=D1(1,J)
   B1(4,M+1)=D1(2,J)
   B1(2,M+2)=D1(2,J)
   B1(4,M+2)=D1(1,J)
   B1(3,M+3)=-PI*SN(J)*NH/COMP
   B2(6,M+1)=PI*SN(J)*NH/COMP
   B2(5,M+2)=B2(6,M+1)
   B2(5,M+3)=D1(2,J)
   B2(6,M+3)=D1(1,J)

```

```

25 CONTINUE

```

```

   IF(NCAL.NE.1) GO TO 86

```

```

87 CA=0.

```

```

   DO 88 J=1,MPD

```

```

88 CA=CA+EO1(J)*PP(J)

```

```

   DO 91 I=1,NDEF

```

```

   EO1(I)=0.

```

```

91 EO2(I)=0.

```

```

   UT=ALFA(JKH)*CA

```

```

   IF(NSIM-1) 90,89,90

```

```

89 EO2(3)=UT

```

```

   EO2(1)=UT

```

```

   EO2(2)=UT

```

```

   GO TO 92

```

```

90 EO1(1)=UT

```

```

   EO1(2)=UT

```

```

   EO1(3)=UT

```

```

92 LRB=(2*NH)/(1+NH)

```

```

   KRB=(NH+2)/(NH+1)

```

```

   DO 94 I=1,NDEF

```

```

DE1(I)=0.
DE2(I)=0.
DO 94 J=1,NDEF
DE1(I)=DE1(I)+Y(I,J)*EQ1(J)*LR3
94 DE2(I)=DE2(I)+Y(I,J)*EQ2(J)
IF(K-4) 97,97,96
97 DO 95 J=1,NN1
DO 95 I=1,NDEF
95 TO(J)=TO(J)+(B1(I,J)*DE1(I)+B2(I,J)*DE2(I))*PU*KR8*RAIO

GO TO 86
96 WRITE(54*K4) (DE1(J),DE2(J),J=1,NDEF)
GO TO 72
86 DO 28 I=1,NDEF
DO 28 J=1,NN1
DB1(I,J)=0.
DB2(I,J)=0.
DO 28 KK=1,NDEF
DB1(I,J)=DB1(I,J)+Y(I,KK)*B1(KK,J)
28 DB2(I,J)=DB2(I,J)+Y(I,KK)*B2(KK,J)

IF(K-4) 51,51,55

51 IF(NH) 30,31,30
31 DO 36 I=1,NN1
DO 36 M=1,NN1
DO 36 N=1,NDEF
36 SE(I,M)=SE(I,M)+(B2(N,I)*DB2(N,M)*(2-NSIM)+B1(N,I)*DB1(N,M)*(NSIM-
*1))*PU*2*RAIO
GO TO 72

30 DO 45 I=1,NN1
DO 45 M=1,NN1
DO 45 N=1,NDEF
45 SE(I,M)=SE(I,M)+(B1(N,I)*DB1(N,M)+B2(N,I)*DB2(N,M))*PU*RAIO

GO TO 72

55 WRITE(50*K1) DB1,DB2

72 CONTINUE

73 RETURN

```

END

SUBROUTINE INDIC

IMPLICIT REAL \*8(A-H,O-Z), INTEGER \*2(I-N)

INTEGER \*4 NH

COMMON /UM/ EE(10),TU(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),X  
\*(200),Y(200),XE(8,2),COMP,PE

COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QO(16),PO(16),TO(24),PP(6)  
\*,SE(24,24),A(8000),P(433)

COMMON /TET/ NH,IPONT(433,24),NZERO(433),IAUX(433)

COMMON /TRI/ NE,NV,NNPE,NGLN,NNDP,NMAT,NTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N  
\*N1,NN2,LADO,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),NA(20),NFI(20),KN(6),LQUAN(  
\*50),NMAS,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5

K4=1

K1=1

LIMIT=7500

SUBROTINA PARA A CONSTRUCAO DE MATRIZES INDICADORAS

DO 2 I=1,NN2

DO 1 J=1,LB

1 IPONT(I,J)=0

2 IPONT(I,1)=I

DO 7 N=1,NE

DO 7 II=1,NNPE

ILIN=(NEL(N,II)-1)\*NGLN

DO 7 M=1,NGLN

ILIN=ILIN+1

DO 7 JJ=1,NNPE

JCOL=(NEL(N,JJ)-1)\*NGLN

DO 7 N1=1,NGLN

JCOL=JCOL+1

IF(JCOL-ILIN) 7,3,3

3 DO 5 L=1,LB

K=L

IF(IPONT(ILIN,K)-JCOL) 4,7,4

4 IF(IPONT(ILIN,K)) 6,6,5

5 CONTINUE

STOP

6 IPONT(ILIN,K)=JCOL

7 CONTINUE

LOCALIZACAO DOS TERMOS NAO NULOS A SEREM CRIADOS NO PROCESSO DE RESOLUCAO DAS EQUACOES

```

DO 8 M=1,LB
8  IAUX(M)=IPONT(1,M)
DO 14 N=2,NN2
DO 13 M=1,LB
IF(IAUX(M)) 13,13,109
109 IF(IAUX(M)-N+1) 9,13,9
9  DO 11 I=1,LB
    J=I
    IF(IPONT(N,J)) 10,12,10
10 IF(IPONT(N,J)-IAUX(M)) 11,13,11
11 CONTINUE
    STOP
12 IPONT(N,J)=IAUX(M)
13 CONTINUE
DO 14 M=1,LB
14 IAUX(M)=IPONT(N,M)

```

PESQUISA DO NUMERO DE TERMOS NAO NULOS ACUMULADOS QUE APARECEM EM CADA LINHA DO SISTEMA

```

NZERO(1)=0
M=0
DO 18 N=2,NN2
K=0
DO 16 J=1,LB
IF(IPONT(N-1,J)) 17,17,15
15 K=K+1
16 CONTINUE
17 M=M+K
IF(M-LIMIT) 18,40,40
40 WRITE(6,50) N
50 FORMAT(///,'          E X C E D E U N A   E Q U A C A O',I5,///,70('*'))
*)
STOP
18 NZERO(N)=M

RETURN
END

```

```

SUBROUTINE MONTA
IMPLICIT REAL *8(A-H,D-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
COMMON /UM/ EE(10),TU(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),X
*(200),Y(200),XE(8,2),COMP,PE
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QO(16),PO(16),TO(24),PP(6)
*,SE(24,24),A(8000),P(433)
COMMON /TET/ NH,IPONT(433,24),NZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ NE,NN,NNPE,NGLN,NNDP,NMAT,NTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NN2,LADU,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),NA(20),NFI(20),KN(6),LOJAN(
*50),VMAS,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5

```

MONTAGEM DA MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA PARA CADA HARMONICO

```

LIMIT=7500
GRAV=10.E 20
NH=KN(NHAR)
J=NZERO(NN2)+1
DO 1 I=1,J
1 A(I)=0.
DO 21 KJ=1,NE
JKH=IMAT(KJ)
DO 22 L=1,NNPE
NR=NEL(KJ,L)
XE(L,1)=X(NR)
22 XE(L,2)=Y(NR)

CALL SAFE1

I=0
DO 8 II=1,NNPE
ILIN=(NEL(KJ,II)-1)*NGLN
DO 8 M=1,NGLN
ILIN=ILIN+1
I=I+1
J=0
DO 8 JJ=1,NNPE
JCOL=(NEL(KJ,JJ)-1)*NGLN
DO 8 N=1,NGLN
JCOL=JCOL+1
J=J+1
IF(JCOL-ILIN) 8,2,2
2 DO 4 L=1,LB
K=L
IF(IPONT(ILIN,K)-JCOL) 3,5,3
3 IF(IPONT(ILIN,K)) 8,8,4
4 CONTINUE
GO TO 8

```

```

5 L=NZERO(ILIN)+K
  A(L)=A(L)+SE(I,J)
8 CONTINUE
21 CONTINUE

```

```

      READ(53,K3) P
      IF(NH) 14,15,14
15 IF(NSIM.EQ.1) M=1
      IF(NSIM.EQ.2) M=2
      DO 13 J=1,NN
      DO 13 L=1,M
      I=NGLN*J-(NSIM-1)*L
      K=NZERO(I)+1
      P(I)=0.
      A(K)=GRAN
13 CONTINUE
14 CONTINUE

```

#### INTRODUCAO DE DESLOCAMENTOS PRESCRITOS

```

      IF(NNDP) 444,130,444
444 DO 12 N=1,NNDP
      NX=10**((NGLN-1)
      L=NA(N)
      KA=NFIX(N)
      I=NGLN*(L-1)
      DO 12 M=1,NGLN
      I=I+1
      ICON=KA/NX
      IF(ICON) 11,11,9
9 K=NZERO(I)+1
      P(I)=DESLP(N,M)*GRAN
      A(K)=GRAN
      KA=KA-NX*ICON
11 NX=NX/10
12 CONTINUE
130 CONTINUE

```

```

RETURN
END

```

```

SUBROUTINE RESEQ
IMPLICIT REAL *8(A-H,J-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
COMMON /UM/ EE(10),TU(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),X
*(200),Y(200),XE(8,2),COMP,PE
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QQ(16),PO(16),TD(24),PP(6)
*,SE(24,24),A(8000),B(433)
COMMON /TET/ NH,IPJNT(433,24),NZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ NE,NN,NNPE,NGLV,NNDP,VMAT,VTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NN2,LADO,LB,JKH,VEL(50,8),IMAT(50),VA(20),NFIX(20),KN(5),LQUAN(
*50),NMAS,NCAL,VCARG,K1,K3,K4,K5

```

### RESOLUCAO DO SISTEMA RAREFEITO

```

NEQM=NN2-1
DO 13 I=1,NEQM
L=NZERO(I)+1
B(I)=B(I)/A(L)
DO 11 M=2,LB
ILIN=IPONT(I,M)
IF(ILIN) 12,12,2
2 DO 4 N=1,LB
J=IPONT(ILIN,N)
IF(J) 3,5,3
3 IAUX(J)=N
4 CONTINUE
5 K=NZERO(I)+M
TEMP=A(K)/A(L)
DO 8 N=1,LB
J=IPONT(I,N)
IF(J) 9,9,6
6 IF(J-ILIN) 8,7,7
7 JCCL=IAUX(J)
II=NZERO(ILIN)+JCCL
JJ=NZERO(I)+N
A(II)=A(II)-TEMP*A(JJ)
8 CONTINUE
9 B(ILIN)=B(ILIN)-B(I)*A(K)
11 CONTINUE
12 DO 111 M=2,LB
IF(IPONT(I,M)) 112,112,110
110 J=NZERO(I)+M
111 A(J)=A(J)/A(L)
112 CONTINUE
13 CONTINUE

```

R E T R O - S U B S T I T U I C A O

```

L=NZERO(NV2)+1
B(NV2)=B(NV2)/A(L)
DO 18 N=1,NEQM
I=NV2-N
DO 17 M=2,LB
J=IPONT(I,M)
IF(J) 18,18,15
15 L=NZERO(I)+M
B(I)=B(I)-A(L)*B(J)
17 CONTINUE
18 CONTINUE

```

```

K3=K3-1
WRITE(53,K3) B

```

```

RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SAFE2
IMPLICIT REAL *8 (A-H,O-Z), INTEGER *2 (I-N)
INTEGER *4 NH
DIMENSION LM(4,3),FF(2,8),MP(16)
COMMON /UM/ EE(10),TU(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),R
*(200),Y(200),XE(8,2),CJMP,PE
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QQ(16),PO(16),TO(24),PP(6)
*,PC(433,6),F(2,8),A(2,8),D(2,8),DJ(2,2),Q(8),PV(2),SNN(2,5),SN(3),
*QQ(6),X(8,2)
COMMON /TET/ NH,IPONT(433,24),VZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ VE,NV,NVPE,NGLV,NVDP,NMAT,NTARM,NSEC,VDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NV2,LADO,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),NA(20),NFI(20),KN(5),LQUAN(
*50),NMA5,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5
DATA FF/3*1.,2*-1.,1.,2*-1.,1.,2*0.,1.,0.,2*-1.,0./
DATA MP/1,2,5,6,3,4,7,8,-1,1,-1,1,1,1,-1,-1/
DATA LM/3,2,2*4,6,5,7,8,2*1,2,3/

```

CARGAS CONSISTENTES

FORCAS DE SUPERFICIE

```

AB=0.577350269189626
DO 30 J=1,4
L=MP(J)
K=MP(J+4)

```

```

A(1,L)=AB*MP(J+8)
30 A(1,K)=MP(J+12)
DO 31 J=1,NNPE
I=NNPE-J+1
31 A(2,I)=-A(1,J)

DO 15 I=1,6
15 QQ(I)=0.
LLL=2*LADD-1
KKK=2*LADD

DO 72 K=LLL,KKK
DO 16 I=1,6
DO 16 J=1,2
16 SNN(J,I)=0.
DO 2 J=1,3
JJ=LM(LADD,J)
X(J,1)=XE(JJ,1)
X(J,2)=XE(JJ,2)
F(1,J)=FF(1,JJ)
F(2,J)=FF(2,JJ)

GO TO (7,7,7,7,8,9,9,8),JJ
7 SN(J)=(1.+A(1,K)*F(1,J))*(1.+A(2,K)*F(2,J))*(A(1,K)*F(1,J)+A(2,K)*
*F(2,J)-1)*0.25
DO 13 I=1,2
N=3-I
13 D(I,J)={((1.+A(N,K)*F(N,J))*F(I,J))*(2.*A(I,K)*
*F(1,J)+A(N,K)*F(N,J))}/4.
GO TO 2
8 SN(J)=(1.+A(1,K)*F(1,J))*(1.-A(2,K)**2)*0.5
D(1,J)=(1.-A(2,K)**2)*F(1,J)/2.
D(2,J)=-((1.+A(1,K)*F(1,J))*A(2,K))
GO TO 2
9 SN(J)=(1.-A(1,K)**2)*(1.+A(2,K)*F(2,J))*0.5
D(1,J)=-((1.+A(2,K)*F(2,J))*A(1,K))
D(2,J)=(1.-A(1,K)**2)*F(2,J)/2.
2 CONTINUE

DO 3 J=1,3
SNN(1,2*J-1)=SN(J)
3 SNN(2,2*J)=SN(J)
DO 17 M=1,2
DO 17 N=1,2
DD(M,N)=0.
DO 17 L=1,3
17 DD(M,N)=DD(M,N)+D(M,L)*X(L,N)

G22={DD(1,1)**2+DD(1,2)**2}**0.5

```

```

G11=(DD(2,1)**2+DD(2,2)**2)**0.5
Q(1)=G22
Q(2)=G22
Q(3)=G11
Q(4)=G11
Q(5)=G22
Q(6)=G22
Q(7)=G11
Q(8)=G11
DO 20 I=1,2
PN(I)=0.
DO 20 L=1,6
20 PN(I)=PN(I)+SNN(I,L)*PP(L)

DO 21 II=1,6
DO 21 KK=1,2
21 QQ(II)=QQ(II)+SNN(KK,II)*PN(KK)*Q(K)

72 CONTINUE

```

```

RA=1.
DO 145 KL=1,3
JJ=LM(LA00,KL)
IF(NSIM.LE.2) RA=XE(JJ,1)
QQ(2*JJ-1)=QQ(2*KL-1)*RA
145 QQ(2*JJ)=QQ(2*KL)*RA

```

```

RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SAFE3
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
DIMENSION SNN(2,12),H(12),F(2,4),A(2,12),Y(5,5),SN(4),D(4),T(2,2),
*TI(2,2),B1(6,24),B2(6,24)
COMMON /UM/ DB1(5,20),DB2(5,20),EE(10),TU(10),PESO(2,10),PD(12),SE
*(20,20),XE(4,2),FI(100),TH(100),COMP,NH,JKH,NMAS,NSIM,KP0N,K1

```

ELEMENTO DE CASCA CUBICO  
CARGA CONSISTENTE

MATRIZ DE RIGIDEZ  
PESO PROPRIO

```

PI=3.141592653589793
CALL INTEG(H,A,F,KP0N)
DO 48 I=1,20

```

```

DD 48 J=1,20
48 SE(1,J)=0.
DD 26 I=1,5
DD 26 J=1,5.
26 Y(I,J)=0.
E=EE(JKH)/(1.-TU(JKH)**2)
Y(1,1)=E
Y(1,2)=E*TU(JKH)
Y(2,2)=E
Y(3,3)=E*(1.-TU(JKH))/(2.*1.2)
Y(5,5)=Y(3,3)
Y(4,4)=E*(1.-TU(JKH))/2.
DD 29 I=1,5
DD 29 J=1,5
29 Y(J,I)=Y(1,J)
DD 39 KM=1,12
39 PD(KM)=0.
MPDN=2*KPDN
NPDN=MPDN+4
DD 72 K=1,NPDN
RAID=0.
DD 2 J=1,4
J1=J
GO TO(7,8,8,7),J1
7 SN(J)=1./16.*(1.+A(1,K)*F(1,J))*(-1.+9.*A(1,K)**2)
D(J)=9./8.*(1.+A(1,K)*F(1,J))*A(1,K)+1./16.*(-1.+9*A(1,K)**2)*F(1,
*J)
GO TO 2
8 SN(J)=9./16.*(1.-A(1,K)**2)*(1.+9*A(1,K)*F(1,J))
D(J)=9./16.*((1.-A(1,K)**2)*9*F(1,J)-(1.+9*A(1,K)*F(1,J))*2*A(1,K)
*)
2 CONTINUE
DD 18 I=1,2
DD 18 J=1,12
18 SNN(I,J)=0.
DD 28 KJ=1,2
DD 28 I=1,2
28 T(I,KJ)=0.
DD 30 J=1,4
TI=F(I)
T(1,1)=T(1,1)+D(J)*XE(J,2)+D(J)*A(2,K)*TH(J)/2.*DSIN(TI)
T(1,2)=T(1,2)+D(J)*XE(J,1)+D(J)*A(2,K)*T(I)/2.*DCOS(TI)
T(2,1)=T(2,1)+SN(J)*TH(J)/2.*DSIN(TI)
30 T(2,2)=T(2,2)+SN(J)*TH(J)/2.*DCOS(TI)
DET=T(1,1)*T(2,2)-T(1,2)*T(2,1)
IF(NSIM-2) 83,83,84
84 RAID=1.
GO TO 85
83 DD 14 I=1,4
TI=FI(I)

```

```

14 RAID=RAID+SN(I)*(XE(I,1)+A(2,K)*TH(I))/2.*DCOS(TI)
85 IF(NMAS) 10,12,10
10 DO 3 L1=1,4
    TI=FI(L1)
    SNN(1,3*L1-2)=SN(L1)
    SNN(1,3*L1)=-SN(L1)*A(2,K)*TH(L1)/2.*DSIN(TI)
    SNN(2,3*L1-1)=SN(L1)
3   SNN(2,3*L1)=SN(L1)*A(2,K)*TH(L1)/2.*DCOS(TI)
    DO 17 I=1,12
    DO 17 J=1,2
17 PD(I)=PD(I)+SNN(J,I)*PESD(J,JKH)*RAID*DET*A(K)
    GO TO 11
12 T1(1,1)=T(2,2)/DET
    T1(1,2)=-T(1,2)/DET
    T1(2,1)=-T(2,1)/DET
    T1(2,2)=T(1,1)/DET
    WK=(T(1,1)**2+T(1,2)**2)**0.5
    T(1,1)=T(1,1)/WK
    T(1,2)=T(1,2)/WK
    DO 31 J=1,5
    DO 31 I=1,20
    B1(J,I)=0.
31 B2(J,I)=0.
    DO 32 J=1,4
    TI=FI(J)
    R=XE(J,1)
    M=5*(J-1)
    IF(TI) 23,22,23
22 T(1,1)=1.
    T(1,2)=0.
23 B2(1,M+1)=D(J)*(T(1,1)*T(1,2)*T1(1,1)+T(1,2)**2*T1(2,1))
    B2(1,M+2)=D(J)*(T(1,1)**2*T1(1,1)+T(1,1)*T(1,2)*T1(2,1))
    B2(1,M+4)=TH(J)/2.*(DCOS(TI)*(T(1,1)**2*(D(J)*A(2,K)*T1(1,1)+T1(1,
*2)*SN(J))+T(1,1)*T(1,2)*(T1(2,1)*D(J)*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J)))-DSIN(
*TI)*(T(1,1)*T(1,2)*(T1(1,1)*D(J)*A(2,K)+T1(1,2)*SN(J))+T(1,2)**2*(
*D(J)*T1(2,1)*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J)))
    B2(3,M+1)=D(J)*((T(1,1)**2-T(1,2)**2)*T1(1,1)+T(1,1)*T(1,2)*T1(2,1
*)*2)
    B2(3,M+2)=D(J)*((T(1,1)**2-T(1,2)**2)*T1(2,1)-T(1,1)*T(1,2)*T1(1,1
*)*2.)
    B2(3,M+4)=TH(J)/2.*(DCOS(TI)*((T(1,1)**2-T(1,2)**2)*(T1(2,1)*D(J)*
*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J))+T(1,1)*T1(2,2)*(-T1(1,1)*D(J)*A(2,K)-T1(1,2)*
*SN(J))*2)-DSIN(TI)*((T(1,1)**2-T(1,2)**2)*(T1(1,1)*D(J)*A(2,K)+T1(
*1,2)*SN(J))+T(1,1)*T(1,2)*(T1(2,1)*D(J)*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J))*2))
    GO TO (40,40,41,41),NSIM
40 B2(2,M+1)=SN(J)/R
    PE=2.*PI
    B2(2,M+3)=NH*SN(J)/R
    B2(2,M+4)=-SN(J)*A(2,K)*TH(J)*DSIN(TI)/(2*R)
    B2(2,M+5)=NH*SN(J)*TH(J)*A(2,K)/(2*R)

```

```

IF(NH) 74,32,74
74 B1(5,M+1)=-T(1,1)*NH*SN(J)/R
   B1(5,M+2)=T(1,2)*NH*SN(J)/R
   B1(4,M+3)=D(J)*(T(1,1)*T1(1,1)+T(1,2)*T1(2,1))-T(1,1)*SN(J)/R
   B1(5,M+4)=NH*SN(J)*A(2,K)*TH(J)/(2.*R)*(T(1,2)*DCOS(TI)+T(1,1)*DSI
*N(TI))
   B1(4,M+5)=T(1,1)*TH(J)/2.*(T1(1,1)*D(J)*A(2,K)+T1(1,2)*SN(J))+T(1,
*2)*TH(J)/2.*(T1(2,1)*D(J)*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J))-T(1,1)*TH(J)/2.*SN
*(J)/R*A(2,K)
   B1(4,M+1)=-T(1,2)*NH*SN(J)/R
   B1(4,M+2)=-T(1,1)*NH*SN(J)/R
   B1(5,M+3)=D(J)*(-T(1,2)*T1(1,1)+T(1,1)*T1(2,1))+T(1,2)*SN(J)/R
   B1(4,M+4)=SN(J)*A(2,K)*TH(J)*NH/(2.*R)*[-T(1,1)*DCOS(TI)+T(1,2)*DS
*IN(TI))
   B2(5,M+5)=-T(1,2)*TH(J)/2.*(T1(1,1)*D(J)*A(2,K)+T1(1,2)*SN(J))+T(1
*,1)*TH(J)/2.*(T1(2,1)*D(J)*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J))+T(1,2)*TH(J)/2.*S
*N(J)/R*A(2,K)
IF(NSIM-2) 32,42,32
42 B2(2,M+3)=-B2(2,M+3)
   B2(2,M+5)=-B2(2,M+5)
   B1(4,M+1)=-B1(4,M+1)
   B1(4,M+2)=-B1(4,M+2)
   B1(4,M+4)=-B1(4,M+4)
   B1(5,M+1)=-B1(5,M+1)
   B1(5,M+2)=-B1(5,M+2)
   B1(5,M+4)=-B1(5,M+4)
GO TO 32
41 B1(2,M+3)=-NH*PI*SN(J)/COMP
   PE=COMP
   B1(2,M+5)=-NH*PI*SN(J)*A(2,K)*TH(J)/(2*COMP)
   B1(1,M+1)=B2(1,M+1)
   B1(1,M+2)=B2(1,M+2)
   B1(1,M+4)=B2(1,M+4)
   B1(3,M+1)=B2(3,M+1)
   B1(3,M+2)=B2(3,M+2)
   B1(3,M+4)=B2(3,M+4)
   B2(1,M+1)=0.
   B2(1,M+2)=0.
   B2(1,M+4)=0.
   B2(3,M+1)=0.
   B2(3,M+2)=0.
   B2(3,M+4)=0.
   B2(4,M+1)=NH*PI*SN(J)*T(1,2)/COMP
   B2(4,M+2)=NH*PI*SN(J)*T(1,1)/COMP
   B2(4,M+3)=D(J)*(T(1,1)*T1(1,1)+T(1,2)*T1(2,1))
   B2(4,M+4)=NH*PI*SN(J)*A(2,K)*TH(J)/(2.*COMP)*(T(1,1)*DCOS(TI)-T(1,
*2)*DSIN(TI))
   B2(4,M+5)=T(1,1)*TH(J)/2.*(T1(1,1)*D(J)*A(2,K)+T1(1,2)*SN(J))+T(1,
*2)*TH(J)/2.*(T1(2,1)*D(J)*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J))
   B2(5,M+1)=NH*PI*SN(J)*T(1,1)/COMP

```

```

B2(5,M+2)=-NH*PI*SN(J)*T(1,2)/COMP
B2(5,M+3)=D(J)*(-T(1,2)*T1(1,1)+T(1,1)*T1(2,1))
B2(5,M+4)=-NH*PI*A(2,K)*TH(J)*SN(J)*(T(1,2)*DCOS(TI)+T(1,1)*DSIN(T
*1))/(2.*COMP)
B2(5,M+5)=-T(1,2)*TH(J)/2.*(T1(1,1)*D(J)*A(2,K)+T1(1,2)*SN(J))+T(1
*,1)*TH(J)/2.*(T1(2,1)*D(J)*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J))
32 CONTINUE
DO 33 I=1,5
DO 33 J=1,20
DB1(I,J)=0.
DB2(I,J)=0.
DO 33 KK=1,5
DB1(I,J)=DB1(I,J)+Y(I,KK)*B1(KK,J)
33 DB2(I,J)=DB2(I,J)+Y(I,KK)*B2(KK,J)
IF(K-MPON) 200,200,201
200 PU=DET*PE/2.
IF(NH) 44,43,44
43 DO 34 I=1,20
DO 34 M=1,20
DO 34 N=1,5
34 SE(I,M)=SE(I,M)+B2(N,I)*DB2(N,M)*2*PI*DET*H(K)*RAID
GO TO 72
44 DO 45 I=1,20
DO 45 M=1,20
DO 45 N=1,5
45 SE(I,M)=SE(I,M)+(B2(N,I)*DB2(N,M)+B1(N,I)*DB1(N,M))*PU*H(K)*RAID
GO TO 72
201 WRITE(11,K1) DB1,DB2,T(1,1),T(1,2)
72 CONTINUE
11 RETURN
END

```

```
IMPLICIT REAL *8(A-H,D-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
COMMON /UM/ EE(10),TU(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),X
*(200),Y(200),XE(8,2),COMP,PE
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QD(16),PD(16),TO(24),PP(6)
*,SE(24,24),A(8000),P(433)
COMMON /TET/ NH,IPONT(433,24),VZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ VE,NN,NNPE,NGLN,NNDP,NMAT,NTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NN2,LADD,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),NA(20),NFIK(20),KN(5),LQUAN(
*50),NMAK,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5
DEFINE FILE 50(480,576,U,K1),53(4,1200,U,K3),54(240,24,U,K4),55(24
*0,8,U,K5)
LB=24
```

-----

PROCESSO SEMI-ANALITICO EM ELEMENTOS FINITOS

-----

```
READ(5,2) NPROB
2 FORMAT(I5)
```

```
DO 3 J=1,NPROB
```

```
CALL ENTRA
```

```
CALL INDIC
```

```
CALL VECAR
```

```
DO 1 NHAR=1,NTARM
```

```
DO 1 I=1,NCARG
```

```
CALL MONTA
```

```
1 CALL RESEQ
```

```
CALL DESEN
```

```
3 CONTINUE
```

CALL EXIT

END

```
SUBROUTINE ENTRA
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
DIMENSION LE(10),LI(10)
COMMON /U4/ EE(10),TU(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),X
*(200),Y(200),XE(8,2),COMP,PE
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QO(16),PO(16),TD(24),PP(6)
*,SE(24,24),A(8000),P(433)
-----
COMMON /TET/ NH,IPONT(433,24),NZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ VE,NN,NNPE,NGLN,NNDP,VMAT,NTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NN2,LADD,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),NA(20),NFI(20),KN(6),LQUAN(
*50),NMAS,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5
DATA LE/0,1,2,3,4,5,6,7,8,9/
DATA LI/1,3,5,7,9,11,13,15,17,19/
```

LEITURA E IMPRESSAO DOS DADOS

```
NDEF=6
NGLN=3
NNPE=8
NN1=NNPE*NGLN
PI=3.141592653589793
WRITE(6,19)
19 FORMAT('1')
WRITE(6,1)
1 FORMAT('1',34X,50('-'),/,35X,' ',48X,' ',/,35X,' ',3X,'M E T O D O
* S E M I - A N A L I T I C O',3X,' ',/,35X,' ',48X,' ',/,35X,' '
*,5X,'ELEMENTO ISOPARAMETRICO-QUADRILATERO',5X,' ',/,35X,' ',48X,
*' ',/,35X,' ',3X,'NELSON FRANCISCO FAVILLA EBECKEN COPPE/72',3X,'
* ',/,35X,50('-'),//)
READ(5,16) NSIM,VE,NN,NNDP,VMAT,NSEC,NCARG,NTARM
16 FORMAT(8I10)
```

```

READ(5,37) COMP,(ZZ(I),I=1,NSEC)
37 FORMAT(8F10.2)
DO 13 I=1,10
13 KN(I)=LI(I)
PE=2*PI
GO TO (3,4,5,6),NSIM
3 WRITE(6,9)
DO 14 I=1,10
14 KN(I)=LE(I)
GO TO 20
4 WRITE(6,10)
GO TO 20
5 WRITE(6,11)
PE=COMP
GO TO 20
6 WRITE(6,12)
PE=COMP*PI
9 FORMAT(//,15X,'* E S T R U T U R A   A X I S S I M E T R I C A   C
* D M   C A R R E G A M E N T O   S I M E T R I C O *',///)
10 FORMAT(//,15X,'* E S T R U T U R A   A X I S S I M E T R I C A   C
* D M   C A R R E G A M E N T O   A N T I M E T R I C O *',///)
11 FORMAT(//,15X,'* E S T R U T U R A   P R I S M A T I C A   E I X O
* R E T O *',///)
12 FORMAT(//,15X,'* E S T R U T U R A   P R I S M A T I C A   E I X O
* C I R C U L A R *',///)
20 READ(5,15)
15 FORMAT(80H
*
WRITE(6,15)
NN2=NN*NGLN
IF(NSIM-3) 38,39,38
38 DO 40 M=1,NSEC
40 ZZ(M)=ZZ(M)*PI
39 CONTINUE
READ(5,17) (EE(N),TU(N),PESO(1,N),PESO(2,N),ALFA(N),N=1,NMAT)
17 FORMAT(4F10.2,F15.7)
IF(NCARG) 22,21,22
21 NCARG=1
22 WRITE(6,23) NMAT,NTARM,NN,NSEC,NE,NCARG,NNDP,PE
23 FORMAT(///,20X,'NUMERO DE MATERIAIS',11('. '),15,10X,'NUMERO DE HAR
*MONICOS',10('. '),15,/,20X,'NUMERO DE NOS',17('. '),15,10X,'NUMERO D
*E SECOES',14('. '),15,/,20X,'NUMERO DE ELEMENTOS',11('. '),15,10X,'N
*UMERO DE CARREGAMENTOS',7('. '),15,/,20X,'NUMERO DE APOIOS',14('. '),
*15,10X,'DESENVOLVIMENTO DE ZERO A',5('. '),E9.3,///)
WRITE(6,24) (N,EE(N),TU(N),PESO(1,N),ALFA(N),PESO(2,N),N=1,NMAT)
24 FORMAT(//,30X,'CARACTERISTICAS DO MATERIAL NUMERO ',15,///,20X
*, 'MODULO DE ELASTICIDADE =',F10.0,10X,'COEFICIENTE DE POISSON =',
*,F10.3,/,20X,'PESO ESPECIFICO DIR. X =',F10.3,10X,'COEFICIENTE DE D
*ILAT. =',F10.6,/,20X,'PESO ESPECIFICO DIR. Y =',F10.3)
READ(5,25) (X(I),Y(I),I=1,NN)

```

```

25 FORMAT(8F10.3)
   WRITE(6,26)
26 FORMAT(////,30X,'C O R D E N A D A S   D O S   N O S   ',///,30X,'
*NO',16X,'X',19X,'Y')
   WRITE(6,27) (I,X(I),Y(I),I=1,NN)
27 FORMAT(27X,I5,10X,F10.3,10X,F10.3)
   WRITE(6,28)
28 FORMAT(////,30X,'D E F I N I C A O   D O S   E L E M E N T O S',/)
   WRITE(6,29)
29 FORMAT(///,2X,'ELEMENTO',6X,'NO 1',6X,'NO 2',6X,'NO 3',6X,'NO 4',6
*X,'NO 5',6X,'NO 6',6X,'NO 7',6X,'NO 8',6X,'MATERIAL',/)
   READ(5,30) ((NEL(I,J),J=1,8),IMAT(I),LQUAN(I),I=1,NE)
30 FORMAT(10I5)
   WRITE(6,31) (I,(NEL(I,J),J=1,8),IMAT(I),I=1,NE)
31 FORMAT(1H ,10I10)
   IF(NNDP) 34,35,34
34 READ(5,36) (NA(I),NFIX(I),(DESLP(I,L),L=1,3),I=1,NNDP)
36 FORMAT(2I10,3F10.3)
   WRITE(6,32)
32 FORMAT(///,30X,'D E S L O C A M E N T O   P R E S C R I T O S',///
*/,8X,'NO',14X,'CODIGO',5X,'DESLOCAMENTO-X',5X,'DESLOCAMENTO-Y',5X,
*'DESLOCAMENTO-Z',/)
   WRITE(6,33) (NA(I),NFIX(I),(DESLP(I,L),L=1,3),I=1,NNDP)
33 FORMAT(I10,15X,I3,9X,F10.3,9X,F10.3,9X,F10.3)
35 CONTINUE
   DO 51 I=1,NN
51 NZERO(I)=0.
   DO 43 N=1,NMAT
   IF(ALFA(N)) 41,43,41
41 WRITE(6,46)
46 FORMAT(///,30X,'T E M P E R A T U R A S   N O D A I S',///,30X,'NO
*',16X,'TEMP.',/)
   READ(5,16)          NTER
   READ(5,48)          ((I,P(I)),J=1,NTER)
48 FORMAT(4(I10,F10.3))
   K5=1
   DO 50 J=1,NE
   DO 52 I=1,4
   K=NEL(J,I)
   IAUX(I)=K
   NZERO(K)=NZERO(K)+1
   IF(NZERO(K).NE.1) GO TO 52
   WRITE(6,47) K,P(K)
52 CONTINUE
50 WRITE(55*K5)(P(IAUX(L)),L=1,4)
47 FORMAT(27X,I5,10X,F10.3)
   GO TO 44
43 CONTINUE
44 RETURN
   END

```

```

SUBROUTINE DESEN
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
COMMON /UM/ EE(10),TU(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),X
*(200),Y(200),XE(8,2),COMP,PE
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QO(16),PO(16),TO(24),PP(6)
*,PC(433,6),SIG(6),V(24),P(433)
COMMON /TET/ NH,IPONT(433,24),NZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ NE,NN,NVPE,NGLN,NNDP,NMAT,NTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NN2,LADD,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),NA(20),NFIK(20),KN(6),LQUAN(
*50),VMAS,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5

```

```

DESENVOLVIMENTO   DJS   DESLOCAMENTOS   PARCIAIS   E   ACUMULADOS
CALCULO   DAS   TENSOES   MEDIAS   ACUMULADAS

```

PI=3.141592653589793

```

DO 1 NW=1,NCARG
WRITE(6,10) NW

DO 1 N=1,NSEC
K3=NW

K1=1
K4=1

DO 6 I=1,NDEF
PP(I)=0.
DO 6 J=1,NN2
6 PC(J,I)=0.
Z=ZZ(N)
IF(NSIM-3) 7,8,8
8 Z=Z*PI/COMP

7 DO 1 NHARM=1,NTARM
NH=KN(NHARM)
IF(NSIM-1) 5,4,5
4 XX=DSIN(NH*Z)
YY=DCOS(NH*Z)
GO TO 11
5 XX=DCOS(NH*Z)
YY=DSIN(NH*Z)

```

```

11 WRITE(6,46) Z,NHARM
46 FORMAT(/,30X,' SECAO Z =',F10.2,15X,' HARMONICO NUMERO =',I3)
WRITE(6,2)
2 FORMAT(/,21X,' DESLOCAMENTOS PARCIAIS',29X,' DESLOCAMENTOS
*ACUMULADOS'///,4X,'ND',5X,'DESLOCAMENTO-X',5X,'DESLOCAMENTO-Y',5X,'
*DESLOCAMENTO-Z',5X,'DESLOCAMENTO-X',5X,'DESLOCAMENTO-Y',5X,'DESLOC
*AMENTO-Z',//)
READ(53,K3) P
K3=K3-1+NCARG

```

```

DO 3 I=1,NN
W1=P(3*I-2)*YY
W2=P(3*I-1)*YY
W3=P(3*I)*XX
JA=3*I
PC(JA-2,1)=PC(JA-2,1)+W1
PC(JA-1,1)=PC(JA-1,1)+W2
PC(JA,1)=PC(JA,1)+W3
3 WRITE(6,9) I,W1,W2,W3,PC(JA-2,1),PC(JA-1,1),PC(JA,1)
9 FORMAT(2X,I4,6(4X,E15.7))

```

```

WRITE(6,14)
10 FORMAT(/,120('='),///,47X,'CARREGAMENTO',I5)
WRITE(6,12)
12 FORMAT(/,38X,'T E N S O E S M E D I A S A C U M U L A D A S',
*//)
WRITE(6,15)
15 FORMAT(/,4X,'ND',8X,'TENSAD-X',11X,'TENSAD-Y',11X,'TENSAD-Z',11X,
*'TENSAD-XY',10X,'TENSAD-YZ',10X,'TENSAD-ZX',//)

```

```

IF(NSIM-2) 48,47,48
47 XX=DCOS(NH*Z)
YY=DSIN(NH*Z)
GO TO 49
48 XX=DSIN(NH*Z)
YY=DCOS(NH*Z)

```

```

49 DO 13 M=1,NE
DO 16 IK=1,NNPE
DO 16 I=1,NGLN
LP=NEL(M,IK)
JB=3*IK-NGLN+I
JC=3*LP-NGLN+I
16 V(JB)=P(JC)

```

```

DD 13 K=1,NNPE
L=NEL(M,K)
IF(NHARM-1) 50,51,50
51 PC(L,2)=PC(L,2)+1.
50 READ(50*K1) DB1,DB2
DO 17 II=1,NDEF
SIG(II)=0.
DO 17 JJ=1,NN1
17 DB1(II,JJ)=DB1(II,JJ)*XX+DB2(II,JJ)*YY
DO 18 KL=1,NDEF
DO 18 LK=1,NN1
18 SIG(KL)=SIG(KL)+DB1(KL,LK)*V(LK)
IF(LQUAN(M).GE.0) GO TO 55
READ(54*K4) (PP(I),TO(I),I=1,NDEF)
DO 24 JO=1,NDEF
24 SIG(JO)=SIG(JO)-PP(JO)*XX-TO(JO)*YY
55 DO 19 JI=1,NGLN
MA=3*L-NGLN+JI
PC(MA,3)=PC(MA,3)+SIG(JI)
19 PC(MA,4)=PC(MA,4)+SIG(JI+3)
13 CONTINUE

```

---

```

DD 45 I=1,NN2
L=(I-1)/NGLN+1
PC(I,5)=PC(I,3)/PC(L,2)
45 PC(I,6)=PC(I,4)/PC(L,2)

```

```

DD 21 I=1,NN
N1=3*I
21 WRITE(6,9)I,PC(N1-2,5),PC(N1-1,5),PC(N1,5),PC(N1-2,6),PC(N1-1,6),P
*C(N1,6)
1 WRITE(6,14)
14 FORMAT(//,120('='))
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE VECAR
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
DIMENSION PT(6)
COMMON /UM/ EE(10),TU(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),X

```

```

*(200),Y(200),XE(8,2),CDMP,T
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QD(16),PD(15),TD(24),PP(5)
*,SE(24,24),PC(433,6),P(433)
COMMON /TET/ NH,IPONT(433,24),NZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ NE,NN,NNPE,NGLN,NNDP,NMAT,NTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NN2,LADO,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),NA(20),NFI(20),KN(5),LQUAN(
*50),NMAS,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5

```

CALCULO DO VETOR DE CARGA PARA CADA HARMONICO

```

MPL=2*NNPE
MPO=NNPE-4
K3=1
DO 69 JG=1,NCARG
WRITE(6,90) JG
90 FORMAT(///,30X,'C A R R E G A M E N T O   N U M E R O',I5,/)
DO 38 J1=1,NN2
DO 38 J2=1,NTARM
38 PC(J1,J2)=0.
PI=3.141592653589793

```

---

```

WRITE(6,91)
91 FORMAT(//,5X,'ELEM.',5X,'CARGA',5X,'TIPO',5X,'LADO',4X,'INICIO',9X
*, 'X1',10X,'Y1',10X,'X2',10X,'Y2',10X,'X3',10X,'Y3',/)
DO 9 LT=1,NE
DO 75 J=1,MPL
75 PO(J)=0.
JKH=IMAT(LT)
DO 23 M1=1,NNPE
KB=NEL(LT,M1)
XE(M1,1)=X(KB)
23 XE(M1,2)=Y(KB)
DO 49 J3=1,NN1
TD(J3)=0.
DO 49 J4=1,NTARM
49 U(J3,J4)=0.
NCAL =0
NMAS=0
IF(LQUAN(LT)) 18,9,18

```

```

18 LCA=LQUAN(LT)
DO 14 NMC=1,LCA
READ(5,21) LOAD,LADO,ZA,(P(I),I=1,NDEF)

```

```

21 FORMAT(2I5,7F10.2)
   WRITE(6,8)  LT,LQUAN(LT),LOAD,LADD,ZA,(P(I),I=1,NDEF)
  8  FORMAT(4(4X,I5),7(2X,F10.2))
   IF(LOAD.EQ.0) GO TO 9
   IF(LOAD.EQ.5) NMA5=1
   IF(LOAD.EQ.7) NCAL=1
   GO TO(50,51,50,51,43,12,43),LOAD
50  DO 60 I=1,NDEF
   J=I+NDEF
60  P(J)=P(I)
   ZB=T
   GO TO 39

```

```

51 READ(5,22) ZB,(P(I),I=7,12)
22  FORMAT(7F10.2)
   WRITE(6,42)ZB,(P(I),I=7,12)
42  FORMAT(//,44X,'FIM',//,36X,7(2X,F10.2),//)
39  IF(NSIM-3) 3,2,3
   3  ZA=ZA*PI
   IF(ZB.EQ.T) GO TO 43
   ZB=ZB*PI
   2  GO TO 43

```

---

```

12 READ(5,25)((U(I,J),I=1,NN1),J=1,NTARM)
25  FORMAT(8F10.2)
   RAIO=1.
   DO 79 J=1,24
   I=(J+2)/3
   IF(NSIM.LE.2) RAIO=XE(I,1)
79  U(J,1)=U(J,1)*2.*PI*RAIO
   WRITE(6,59)((U(I,J),I=1,NN1),J=1,NTARM)
59  FORMAT(//,12F10.2,/,12F10.2,/)

```

```

43 IF(NMAS) 30,31,30
30 CALL SAFE1

```

```

31 DO 26 NHARM=1,NTARM
   K5=LT
   NH=KN(NHARM)
   IF(NCAL.EQ.0) GO TO 32
   DO 44 K=1,MPD
   N=NEL(LT,K)
44  IAUX(K)=NEL(LT,K)
   READ(55*K5) (PP(IAUX(J)),J=1,4)
   CALL SAFE1
   LQUAN(LT)=-LQUAN(LT)

```

```

32 DO 1 J=1,MPL
  1 QO(J)=0.
    LK=0
    KL=0
    IF(NSIM-2) 27,27,28
27 RAB=(2-NSIM)*PI*((NH+2)/(NH+1))+(NSIM-1)*PI**((2*NH/(1+NH))
  IF(NH) 53,54,53
53 CO=(2-NSIM)+(NSIM-1)*4./(NH*PI)
  GO TO 55
54 CO=1.
55 IF(LOAD.GE.5) GO TO 24
  GO TO 29
28 RAB=COMP/2.
  CO=4./(NH*PI)
  IF(LOAD.GE.5) GO TO 24

29 DO 20 IM=1,NDEF
  IN=IM+NDEF
  IF(NH) 11,13,11
13 PP(IM)=(P(IM)-(P(IN)-P(IM)))/(ZB-ZA)*ZA)+T*(P(IN)-P(IM))/(ZB-ZA)/4.
  GO TO 20
11 GO TO(16,15,15,15),NSIM
16 PP(IM)=(P(IN)-P(IM))/(ZB-ZA)*((DSIN(NH*PI)+1.)/NH/PI*(DCOS(NH*PI)-1.
*)*T/NH/PI+(P(IM)-(P(IN)-P(IM)))/(ZB-ZA)*ZA)*2*DSIN(NH*PI)/NH/PI
  GO TO 20
15 PP(IM)=(P(IN)-P(IM))/(ZB-ZA)*((DSIN(NH*PI)/NH/PI-DCOS(NH*PI))*T/NH/
*PI-(P(IM)-(P(IN)-P(IM)))/(ZB-ZA)*ZA)*2*(DCOS(NH*PI)-1.)/NH/PI
20 CONTINUE

  IF(LOAD-3) 52,24,24

52 CALL SAFE2

24 MS=NN1-NGLN+1
  DO 26 M1=1,MS,NGLN
    KL=1+LK
    LK=1+KL
    U(M1,NHARM)=U(M1,NHARM)+RAB*(QO(KL)+PO(KL)*CO)+TO(M1)*CO
    M3=M1+2
    U(M3,NHARM)=U(M3,NHARM)+CO*TO(M3)
    M2=M1+1
26 U(M2,NHARM)=U(M2,NHARM)+RAB*(QO(LK)*CO+PO(LK)*CO)+TO(M2)*CO
14 CONTINUE

DO 37 NHARM=1,NTARM
DO 37 NM=1,NNPE

```

```
LL=NEL(LT,NM)
DO 37 MN=1,NGLN
KK=MN+(NM-1)*NGLN
MM=NGLN*LL-NGLN*MN
37 PC(MM,NHARM)=PC(MM,NHARM)+U(KK,NHARM)
```

9 CONTINUE

```
NCAL=0
NMAS=0
DO 33 NHARM=1,NTARM
WRITE(53,K3) (PC(I,NHARM),I=1,NN2)
33 CONTINUE
K1=1
```

```
69 CONTINUE
K3=1
RETURN
END
```

---

```
SUBROUTINE SAFE1
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
DIMENSION A(2,12),F(2,8),W(8)
COMMON /UM/ EE(10),TU(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),V
*(200),GX(200),XE(8,2),COMP,PE
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QO(16),PD(16),TO(24),PP(6)
*,SE(24,24),R(8000),D(2,8),T(2,2),T1(2,2),SN(8),B1(6,24),B2(6,24),Y
*(6,6),D1(2,8),SNN(2,16),EO1(6),EO2(6),DE1(6),DE2(6)
COMMON /TET/ NH,IPONT(433,24),NZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ NE,NN,NVPE,NGLN,NNDP,NMAT,NTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NN2,LADD,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),NA(20),NFIX(20),KN(6),LQUAN(
*50),NMAS,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5
DATA A/8*0.,3*1.,2*-1.,1.,2*-1.,1.,2*0.,1.,0.,2*-1.,0./
DATA F/3*1.,2*-1.,1.,2*-1.,1.,2*0.,1.,0.,2*-1.,0./
DATA W/1.,-1.,1.,-1.,1.,1.,-1.,-1./
```

ELEMENTO QUADRATICO  
CARGAS CONSISTENTES

OBTENCAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ  
PESO PROPRIO E TEMPERATURA

NDI=NGLN-1  
MPL=2\*NNPE  
MPO=NNPE-4  
PI=3.141592653589793

AB=0.577350269189626

DO 1 J=1,MPO

A(1,J)=AB\*W(J)

1 A(2,J)=AB\*W(J+MPO)

DO 48 I=1,NN1

TD(I)=0.

DO 48 J=1,NN1

48 SE(I,J)=0.

DO 26 I=1,NDEF

DO 26 J=1,NDEF

26 Y(I,J)=0.

E=EE(JKH)\*(1.-TU(JKH))/((1.+TU(JKH))\*(1.-2.\*TU(JKH)))

Y(1,1)=E

Y(1,2)=TU(JKH)/(1.-TU(JKH))\*E

Y(1,3)=Y(1,2)

Y(2,3)=Y(1,2)

Y(2,2)=E

Y(3,3)=E

Y(4,4)=(1.-2\*TU(JKH))/(2.\*(1.-TU(JKH)))\*E

Y(5,5)=Y(4,4)

Y(6,6)=Y(4,4)

DO 27 I=1,NDEF

DO 27 J=1,NDEF

27 Y(J,I)=Y(I,J)

DO 29 KM=1,MPL

29 PD(KM)=0.

DO 72 K=1,12

RAID=0.

DO 2 J=1,NNPE

J1=J

GO TO (7,7,7,7,8,9,9,8),J1

7 SN(J)=(1.+A(1,K)\*F(1,J))\*(1.+A(2,K)\*F(2,J))\*(A(1,K)\*F(1,J)+A(2,K)\*  
\*F(2,J)-1)\*0.25

EO1(J)=(1.+A(1,K)\*F(1,J))\*(1.+A(2,K)\*F(2,J))\*0.25

DO 13 I=1,NDI

N=NGLN-I

13 D(I,J)=((1.+A(N,K)\*F(N,J))\*F(I,J)\*(2.\*A(I,K)\*  
\*F(I,J)+A(N,K)\*F(N,J)))/4.

GO TO 2

8 SN(J)=(1.+A(1,K)\*F(1,J))\*(1.-A(2,K)\*\*2)\*0.5

D(1,J)=(1.-A(2,K)\*\*2)\*F(1,J)/2.

```
D(2,J)=-((1.+A(1,K)*F(1,J))*A(2,K))
GO TO 2
9 SN(J)=(1.-A(1,K)**2)*(1.+A(2,K)*F(2,J))*0.5
D(1,J)=-((1.+A(2,K)*F(2,J))*A(1,K))
D(2,J)=(1.-A(1,K)**2)*F(2,J)/2.
2 CONTINUE
```

```
IF(NSIM-2) 83,83,84
84 RAID=1.
GO TO 85
83 DO 14 I=1,NNPE
14 RAID=RAID+SN(I)*XE(I,1)
85 DO 16 I=1,NDI
DO 16 J=1,NDI
T(I,J)=0.
DO 16 KK=1,NNPE
16 T(I,J)=T(I,J)+D(I,KK)*XE(KK,J)
```

```
DET=T(1,1)*T(2,2)-T(1,2)*T(2,1)
T1(1,1)=T(2,2)/DET
T1(1,2)=-T(1,2)/DET
T1(2,1)=-T(2,1)/DET
T1(2,2)=T(1,1)/DET
```

---

```
DO 18 I=1,NDI
DO 18 J=1,MPL
18 SNN(I,J)=0.
PU=DET*PE/2.
IF(NMAS) 10,11,10
10 DO 3 L1=1,NNPE
SNN(1,2*L1-1)=SN(L1)
3 SNN(2,2*L1)=SN(L1)
DO 17 I=1,MPL
DO 17 J=1,NDI
17 PO(I)=PO(I)+SNN(J,I)*PESO(J,JKH)*RAID*DET
11 CONTINUE
DO 20 J=1,NNPE
DO 20 I=1,NDI
D1(I,J)=0.
DO 20 M=1,NDI
20 D1(I,J)=D1(I,J)+T1(I,M)*D(M,J)
DO 24 I=1,NDEF
DO 24 J=1,NN1
B1(I,J)=0.
24 B2(I,J)=0.
```

```
DO 25 J=1,NNPE
M=NGLN*(J-1)
GO TO(82,82,81,81),NSIM
```

```
82 B1(5,M+1)=-NH*SN(J)/XE(J,1)
   B1(5,M+3)=D1(1,J)-SN(J)/XE(J,1)
   B1(6,M+2)=B1(5,M+1)
   B1(6,M+3)=D1(2,J)
   B2(1,M+1)=D1(1,J)
   B2(2,M+2)=D1(2,J)
   B2(3,M+1)=SN(J)/XE(J,1)
   B2(3,M+3)=NH*SN(J)/XE(J,1)
   B2(4,M+1)=D1(2,J)
   B2(4,M+2)=D1(1,J)
```

```
IF(NSIM-1) 80,25,80
```

```
80 B1(5,M+1)=-B1(5,M+1)
   B1(6,M+2)=-B1(6,M+2)
   B2(3,M+3)=-B2(3,M+3)
   GO TO 25
```

```
81 B1(1,M+1)=D1(1,J)
   B1(4,M+1)=D1(2,J)
   B1(2,M+2)=D1(2,J)
   B1(4,M+2)=D1(1,J)
   B1(3,M+3)=-PI*SN(J)*NH/COMP
   B2(6,M+1)=PI*SN(J)*NH/COMP
   B2(5,M+2)=B2(6,M+1)
   B2(5,M+3)=D1(2,J)
   B2(6,M+3)=D1(1,J)
```

```
25 CONTINUE
```

```
IF(NCAL.NE.1) GO TO 86
```

```
87 CA=0.
   DO 88 J=1,MPD
88 CA=CA+EO1(J)*PP(J)
   DO 91 I=1,NDEF
   EO1(I)=0.
91 EO2(I)=0.
   UT=ALFA(JKH)*CA
   IF(NSIM-1) 90,89,90
89 EO2(3)=UT
   EO2(1)=UT
   EO2(2)=UT
   GO TO 92
90 EO1(1)=UT
   EO1(2)=UT
   EO1(3)=UT
92 LRB=(2*NH)/(1+NH)
   KRB=(NH+2)/(NH+1)
   DO 94 I=1,NDEF
```

```
DE1(I)=0.
DE2(I)=0.
DO 94 J=1,NDEF
DE1(I)=DE1(I)+Y(I,J)*ED1(J)*LRB
94 DE2(I)=DE2(I)+Y(I,J)*ED2(J)
IF(K-4) 97,97,96
97 DO 95 J=1,NN1
DO 95 I=1,NDEF
95 TO(J)=TO(J)+(B1(I,J)*DE1(I)+B2(I,J)*DE2(I))*PU*KRB*RAIO
```

```
GO TO 86
96 WRITE(54*K4) (DE1(J),DE2(J),J=1,NDEF)
GO TO 72
86 DO 28 I=1,NDEF
DO 28 J=1,NN1
DB1(I,J)=0.
DB2(I,J)=0.
DO 28 KK=1,NDEF
DB1(I,J)=DB1(I,J)+Y(I,KK)*B1(KK,J)
28 DB2(I,J)=DB2(I,J)+Y(I,KK)*B2(KK,J)
```

---

```
IF(K-4) 51,51,55
```

```
51 IF(NH) 30,31,30
31 DO 36 I=1,NN1
DO 36 M=1,NN1
DO 36 N=1,NDEF
36 SE(I,M)=SE(I,M)+(B2(N,I)*DB2(N,M)*(2-NSIM)+B1(N,I)*DB1(N,M)*(NSIM-
*1))*PU*2*RAIO
GO TO 72
```

```
30 DO 45 I=1,NN1
DO 45 M=1,NN1
DO 45 N=1,NDEF
45 SE(I,M)=SE(I,M)+(B1(N,I)*DB1(N,M)+B2(N,I)*DB2(N,M))*PU*RAIO
```

```
GO TO 72
```

```
55 WRITE(50*K1) DB1,DB2
```

```
72 CONTINUE
```

```
73 RETURN
```

END

```
SUBROUTINE INDIC
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
COMMON /UM/ EE(10),TU(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),X
*(200),Y(200),XE(8,2),COMP,PE
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QO(16),PO(16),TO(24),PP(6)
*,SE(24,24),A(8000),P(433)
COMMON /TET/ NH,IPONT(433,24),NZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ NE,NN,NNPE,NGLN,NNDP,NMAT,NTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NN2,LADO,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),NA(20),NFIX(20),KN(6),LQUAN(
*50),NMAS,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5
K4=1
K1=1
LIMIT=7500
```

SUBROTINA PARA A CONSTRUCAO DE MATRIZES INDICADORAS

```
DO 2 I=1,NN2
DO 1 J=1,LB
1 IPONT(I,J)=0
2 IPONT(I,1)=I
DO 7 N=1,NE
DO 7 II=1,NNPE
ILIN=(NEL(N,II)-1)*NGLN
DO 7 M=1,NGLN
ILIN=ILIN+1
DO 7 JJ=1,NNPE
JCOL=(NEL(N,JJ)-1)*NGLN
DO 7 N1=1,NGLN
JCOL=JCOL+1
IF(JCOL-ILIN) 7,3,3
3 DO 5 L=1,LB
K=L
IF(IPONT(ILIN,K)-JCOL) 4,7,4
4 IF(IPONT(ILIN,K)) 6,6,5
5 CONTINUE
STOP
6 IPONT(ILIN,K)=JCOL
7 CONTINUE
```

LOCALIZACAO DOS TERMOS NAO NULOS A SEREM CRIADOS NO PROCESSO DE REDUCAO DAS EQUACOES

```
DO 8 M=1, LB
8 IAUX(M)=IPONT(1, M)
DO 14 N=2, NN2
DO 13 M=1, LB
IF(IAUX(M)) 13, 13, 109
109 IF(IAUX(M)-N+1) 9, 13, 9
9 DO 11 I=1, LB
J=I
IF(IPONT(N, J)) 10, 12, 10
10 IF(IPONT(N, J)-IAUX(M)) 11, 13, 11
11 CONTINUE
STOP
12 IPONT(N, J)=IAUX(M)
13 CONTINUE
DO 14 M=1, LB
14 IAUX(M)=IPONT(N, M)
```

PESQUISA DO NUMERO DE TERMOS NAO NULOS ACUMULADOS QUE APARECEM EM CADA LINHA DO SISTEMA

---

```
NZERO(1)=0
M=0
DO 18 N=2, NN2
K=0
DO 16 J=1, LB
IF(IPONT(N-1, J)) 17, 17, 15
15 K=K+1
16 CONTINUE
17 M=M+K
IF(M-LIMIT) 18, 40, 40
40 WRITE(6, 50) N
50 FORMAT(///, ' EXCEDEU NA EQUACAO', I5, ///, 70(' '))
*)
STOP
18 NZERO(N)=M

RETURN
END
```

```

SUBROUTINE MONTA
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
COMMON /UM/ EE(10),TU(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),X
*(200),Y(200),XE(8,2),COMP,PE
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QD(16),PO(16),TD(24),PP(6)
*,SE(24,24),A(8000),P(433)
COMMON /TET/ NH,IPONT(433,24),NZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ NE,NN,NNPE,NGLN,NNDP,NMAT,NTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NN2,LADO,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),NA(20),NFIX(20),KN(6),LQUAN(
*50),NMAS,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5

```

MONTAGEM DA MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA PARA CADA HARMONICO

```

LIMIT=7500
GRAN=10.E 20
NH=KN(NHAR)
J=NZERO(NN2)+1
DO 1 I=1,J
1 A(I)=0.
DO 21 KJ=1,NE
JKH=IMAT(KJ)
DO 22 L=1,NNPE
NR=NEL(KJ,L)
XE(L,1)=X(NR)
22 XE(L,2)=Y(NR)

CALL SAFE1

I=0
DO 8 II=1,NNPE
ILIN=(NEL(KJ,II)-1)*NGLN
DO 8 M=1,NGLN
ILIN=ILIN+1
I=I+1
J=0
DO 8 JJ=1,NNPE
JCOL=(NEL(KJ,JJ)-1)*NGLN
DO 8 N=1,NGLN
JCOL=JCOL+1
J=J+1
IF(JCOL-ILIN) 8,2,2
2 DO 4 L=1,LB
K=L
IF(IPONT(ILIN,K)-JCOL) 3,5,3
3 IF(IPONT(ILIN,K)) 8,8,4
4 CONTINUE
GO TO 8

```

```
5 L=NZERO(ILIN)+K
  A(L)=A(L)+SE(I,J)
8 CONTINUE
21 CONTINUE
```

```
READ(53,K3) P
IF(NH) 14,15,14
15 IF(NSIM.EQ.1) M=1
  IF(NSIM.EQ.2) M=2
  DO 13 J=1,NN
  DO 13 L=1,M
  I=NGLN*J-(NSIM-1)*L
  K=NZERO(I)+1
  P(I)=0.
  A(K)=GRAN
13 CONTINUE
14 CONTINUE
```

#### INTRODUCAO DE DESLOCAMENTOS PRESCRITOS

```
IF(NNDP) 444,130,444
444 DO 12 N=1,NNDP
  NX=10**((NGLN-1)
  L=NA(N)
  KA=NFIX(N)
  I=NGLN*(L-1)
  DO 12 M=1,NGLN
  I=I+1
  ICON=KA/NX
  IF(ICON) 11,11,9
  9 K=NZERD(I)+1
  P(I)=DESLP(N,M)*GRAN
  A(K)=GRAN
  KA=KA-NX*ICON
11 NX=NX/10
12 CONTINUE
130 CONTINUE
```

```
RETURN
END
```

```

SUBROUTINE RESEQ
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
COMMON /UM/ EE(10),TU(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),X
*(200),Y(200),XE(8,2),COMP,PE
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QD(16),PO(15),TD(24),PP(6)
*,SE(24,24),A(8000),B(433)
COMMON /TET/ NH,IPONT(433,24),NZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ NE,NN,NNPE,NGLN,NNDP,NMAT,NTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NN2,LADO,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),NA(20),NFI(20),KN(5),LQUAN(
*50),NMAS,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5

```

## RESOLUCAO DO SISTEMA RAREFEITO

```

NEQM=NN2-1
DO 13 I=1,NEQM
L=NZERO(I)+1
B(I)=B(I)/A(L)
DO 11 M=2,LB
ILIN=IPONT(I,M)
IF(ILIN) 12,12,2
2 DO 4 N=1,LB
J=IPONT(ILIN,N)
IF(J) 3,5,3
3 IAUX(J)=N
4 CONTINUE
5 K=NZERO(I)+M
TEMP=A(K)/A(L)
DO 8 N=1,LB
J=IPONT(I,N)
IF(J) 9,9,6
6 IF(J-ILIN) 8,7,7
7 JCOL=IAUX(J)
II=NZERO(ILIN)+JCOL
JJ=NZERO(I)+N
A(II)=A(II)-TEMP*A(JJ)
8 CONTINUE
9 B(ILIN)=B(ILIN)-B(I)*A(K)
11 CONTINUE
12 DO 111 M=2,LB
IF(IPONT(I,M)) 112,112,110
110 J=NZERO(I)+M
111 A(J)=A(J)/A(L)
112 CONTINUE
13 CONTINUE

```

R E T R O - S U B S T I T U I C A O

```

L=NZERO(NV2)+1
B(NN2)=B(NN2)/A(L)
DO 18 N=1,NEQM
I=NN2-N
DO 17 M=2,LB
J=IPONT(I,M)
IF(J) 18,18,15
15 L=NZERO(I)+M
B(I)=B(I)-A(L)*B(J)
17 CONTINUE
18 CONTINUE

```

```

K3=K3-1
WRITE(53*K3) B

```

```

RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SAFE2
IMPLICIT REAL *8 (A-H,O-Z), INTEGER *2 (I-N)
INTEGER *4 NH
DIMENSION LM(4,3),FF(2,8),MP(16)
COMMON /UM/ EE(10),TU(10),PESO(2,10),ALFA(10),ZZ(10),DESLP(10,3),R
*(200),Y(200),XE(8,2),COMP,PE
COMMON /BI/ DB1(6,24),DB2(6,24),U(24,9),QO(16),PO(16),TO(24),PP(6)
*,PC(433,6),F(2,8),A(2,8),D(2,8),DD(2,2),Q(8),PN(2),SNN(2,6),SN(3),
*QQ(6),X(8,2)
COMMON /TET/ NH,IPONT(433,24),NZERO(433),IAUX(433)
COMMON /TRI/ NE,NV,NNPE,NGLN,NNDP,NMAT,NTARM,NSEC,NDEF,NSIM,NHAR,N
*N1,NN2,LADD,LB,JKH,NEL(50,8),IMAT(50),NA(20),NFIX(20),KN(6),LQUAN(
*50),NMAS,NCAL,NCARG,K1,K3,K4,K5
DATA FF/3*1.,2*-1.,1.,2*-1.,1.,2*0.,1.,0.,2*-1.,0./
DATA MP/1,2,5,6,3,4,7,8,-1,1,-1,1,1,1,-1,-1/
DATA LM/3,2,2*4,6,5,7,8,2*1,2,3/

```

CARGAS CONSISTENTES

FORCAS DE SUPERFICIE

```

AB=0.577350269189626
DO 30 J=1,4
L=MP(J)
K=MP(J+4)

```

```

A(1,L)=AB*MP(J+8)
30 A(1,K)=MP(J+12)
DO 31 J=1,NNPE
I=NNPE-J+1
31 A(2,I)=-A(1,J)

DO 15 I=1,6
15 QQ(I)=0.
LLL=2*LADO-1
KKK=2*LADO

DO 72 K=LLL,KKK
DO 16 I=1,6
DO 16 J=1,2
16 SNN(J,I)=0.
DO 2 J=1,3
JJ=LM(LADO,J)
X(J,1)=XE(JJ,1)
X(J,2)=XE(JJ,2)
F(1,J)=FF(1,JJ)
F(2,J)=FF(2,JJ)

GO TO (7,7,7,7,8,9,9,8),JJ
7 SN(J)={(1.+A(1,K)*F(1,J))*(1.+A(2,K)*F(2,J))*(A(1,K)*F(1,J)+A(2,K)*
*F(2,J)-1)*0.25
DO 13 I=1,2
N=3-I
13 D(I,J)={(1.+A(N,K)*F(N,J))*F(I,J)*(2.*A(I,K)*
*F(I,J)+A(N,K)*F(N,J)))/4.
GO TO 2
8 SN(J)={(1.+A(1,K)*F(1,J))*(1.-A(2,K)**2)*0.5
D(1,J)={(1.-A(2,K)**2)*F(1,J)/2.
D(2,J)=-((1.+A(1,K)*F(1,J))*A(2,K))
GO TO 2
9 SN(J)={(1.-A(1,K)**2)*(1.+A(2,K)*F(2,J))*0.5
D(1,J)=-((1.+A(2,K)*F(2,J))*A(1,K))
D(2,J)={(1.-A(1,K)**2)*F(2,J)/2.
2 CONTINUE

DO 3 J=1,3
SNN(1,2*J-1)=SN(J)
3 SNN(2,2*J)=SN(J)
DO 17 M=1,2
DO 17 N=1,2
DD(M,N)=0.
DO 17 L=1,3
17 DD(M,N)=DD(M,N)+D(M,L)*X(L,N)

G22=(DD(1,1)**2+DD(1,2)**2)**0.5

```

```

G11=(DD(2,1)**2+DD(2,2)**2)**0.5
Q(1)=G22
Q(2)=G22
Q(3)=G11
Q(4)=G11
Q(5)=G22
Q(6)=G22
Q(7)=G11
Q(8)=G11
DO 20 I=1,2
PN(I)=0.
DO 20 L=1,6
20 PN(I)=PN(I)+SNN(I,L)*PP(L)

DO 21 II=1,6
DO 21 KK=1,2
21 QQ(II)=QQ(II)+SNN(KK,II)*PN(KK)*Q(K)

72 CONTINUE

```

```

RA=1.
DO 145 KL=1,3
JJ=LM(LADO,KL)
IF(NSIM.LE.2) RA=XE(JJ,1)
QQ(2*JJ-1)=QQ(2*KL-1)*RA
145 QQ(2*JJ)=QQ(2*KL)*RA

RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SAFE3
IMPLICIT REAL *8(A-H,D-Z), INTEGER *2(I-N)
INTEGER *4 NH
DIMENSION SNN(2,12),H(12),F(2,4),A(2,12),Y(5,5),SN(4),D(4),T(2,2),
*T1(2,2),B1(6,24),B2(6,24)
COMMON /UM/ DB1(5,20),DB2(5,20),EE(10),TU(10),PESO(2,10),PO(12),SE
*(20,20),XE(4,2),FI(100),TH(100),COMP,NH,JKH,NMAS,NSIM,KPON,K1

```

ELEMENTO DE CASCA CUBICO  
CARGA CONSISTENTE

MATRIZ DE RIGIDEZ  
PESO PROPRIO

```

PI=3.141592653589793
CALL INTEG(H,A,F,KPON)
DO 48 I=1,20

```

```

DO 48 J=1,20
48 SE(I,J)=0.
DO 26 I=1,5
DO 26 J=1,5
26 Y(I,J)=0.
E=EE(JKH)/(1.-TU(JKH)**2)
Y(1,1)=E
Y(1,2)=E*TU(JKH)
Y(2,2)=E
Y(3,3)=E*(1.-TU(JKH))/(2.*1.2)
Y(5,5)=Y(3,3)
Y(4,4)=E*(1.-TU(JKH))/2.
DO 29 I=1,5
DO 29 J=1,5
29 Y(J,I)=Y(I,J)
DO 39 KM=1,12
39 PO(KM)=0.
MPDN=2*KPON
NPON=MPDN+4
DO 72 K=1,NPON
RAID=0.
DO 2 J=1,4
J1=J
GO TO(7,8,8,7),J1
7 SN(J)=1./16.*(1.+A(1,K)*F(1,J))*(-1.+9.*A(1,K)**2)
D(J)=9./8.*(1.+A(1,K)*F(1,J))*A(1,K)+1./16.*(-1.+9*A(1,K)**2)*F(1,
*)
GO TO 2
8 SN(J)=9./16.*(1.-A(1,K)**2)*(1.+9*A(1,K)*F(1,J))
D(J)=9./16.*((1.-A(1,K)**2)*9*F(1,J)-(1.+9*A(1,K)*F(1,J))*2*A(1,K)
*)
2 CONTINUE
DO 18 I=1,2
DO 18 J=1,12
18 SNN(I,J)=0.
DO 28 KJ=1,2
DO 28 I=1,2
28 T(I,KJ)=0.
DO 30 J=1,4
TI=FI(J)
T(1,1)=T(1,1)+D(J)*XE(J,2)+D(J)*A(2,K)*TH(J)/2.*DSIN(TI)
T(1,2)=T(1,2)+D(J)*XE(J,1)+D(J)*A(2,K)*TH(J)/2.*DCOS(TI)
T(2,1)=T(2,1)+SN(J)*TH(J)/2.*DSIN(TI)
30 T(2,2)=T(2,2)+SN(J)*TH(J)/2.*DCOS(TI)
DET=T(1,1)*T(2,2)-T(1,2)*T(2,1)
IF(NSIM-2) 83,83,84
84 RAID=1.
GO TO 85
83 DO 14 I=1,4
TI=FI(I)

```

```

14 RAID=RAID+SN(I)*(XE(I,1)+A(2,K)*TH(I)/2.*DCOS(TI))
85 IF(NMAS) 10,12,10
10 DO 3 L1=1,4
   TI=FI(L1)
   SNN(1,3*L1-2)=SN(L1)
   SNN(1,3*L1)=-SN(L1)*A(2,K)*TH(L1)/2.*DSIN(TI)
   SNN(2,3*L1-1)=SN(L1)
3  SNN(2,3*L1)=SN(L1)*A(2,K)*TH(L1)/2.*DCOS(TI)
   DO 17 I=1,12
   DO 17 J=1,2
17  PD(I)=PD(I)+SNN(J,I)*PESO(J,JKH)*RAID*DET*H(K)
   GO TO 11
12  T1(1,1)=T(2,2)/DET
   T1(1,2)=-T(1,2)/DET
   T1(2,1)=-T(2,1)/DET
   T1(2,2)=T(1,1)/DET
   WK=(T(1,1)**2+T(1,2)**2)**0.5
   T(1,1)=T(1,1)/WK
   T(1,2)=T(1,2)/WK
   DO 31 J=1,5
   DO 31 I=1,20
   B1(J,I)=0.
31  B2(J,I)=0.
   DO 32 J=1,4
-----
   TI=FI(J)
   R=XE(J,1)
   M=5*(J-1)
   IF(TI) 23,22,23
22  T(1,1)=1.
   T(1,2)=0.
23  B2(1,M+1)=D(J)*(T(1,1)*T(1,2)*T1(1,1)+T(1,2)**2*T1(2,1))
   B2(1,M+2)=D(J)*(T(1,1)**2*T1(1,1)+T(1,1)*T(1,2)*T1(2,1))
   B2(1,M+4)=TH(J)/2.*(DCOS(TI)*(T(1,1)**2*(D(J)*A(2,K)*T1(1,1)+T1(1,
*2)*SN(J))+T(1,1)*T(1,2)*(T1(2,1)*D(J)*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J)))-DSIN(
*TI)*(T(1,1)*T(1,2)*(T1(1,1)*D(J)*A(2,K)+T1(1,2)*SN(J))+T(1,2)**2*(
*D(J)*T1(2,1)*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J))))
   B2(3,M+1)=D(J)*((T(1,1)**2-T(1,2)**2)*T1(1,1)+T(1,1)*T(1,2)*T1(2,1
*)*2)
   B2(3,M+2)=D(J)*((T(1,1)**2-T(1,2)**2)*T1(2,1)-T(1,1)*T(1,2)*T1(1,1
*)*2.)
   B2(3,M+4)=TH(J)/2.*(DCOS(TI)*((T(1,1)**2-T(1,2)**2)*(T1(2,1)*D(J)*
*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J))+T(1,1)*T(1,2)*(-T1(1,1)*D(J)*A(2,K)-T1(1,2)*
*SN(J))*2)-DSIN(TI)*((T(1,1)**2-T(1,2)**2)*(T1(1,1)*D(J)*A(2,K)+T1(
*1,2)*SN(J))+T(1,1)*T(1,2)*(T1(2,1)*D(J)*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J))*2))
   GO TO (40,40,41,41),NSIM
40  B2(2,M+1)=SN(J)/R
   PE=2.*PI
   B2(2,M+3)=NH*SN(J)/R
   B2(2,M+4)=-SN(J)*A(2,K)*TH(J)*DSIN(TI)/(2*R)
   B2(2,M+5)=NH*SN(J)*TH(J)*A(2,K)/(2*R)

```

```

IF(NH) 74,32,74
74 B1(5,M+1)=-T(1,1)*NH*SN(J)/R
   B1(5,M+2)=T(1,2)*NH*SN(J)/R
   B1(4,M+3)=D(J)*(T(1,1)*T1(1,1)+T(1,2)*T1(2,1))-T(1,1)*SN(J)/R
   B1(5,M+4)=NH*SN(J)*A(2,K)*TH(J)/(2.*R)*(T(1,2)*DCOS(TI)+T(1,1)*DSI
*N(TI))
   B1(4,M+5)=T(1,1)*TH(J)/2.*(T1(1,1)*D(J)*A(2,K)+T1(1,2)*SN(J))+T(1,
*2)*TH(J)/2.*(T1(2,1)*D(J)*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J))-T(1,1)*TH(J)/2.*SN
*(J)/R*A(2,K)
   B1(4,M+1)=-T(1,2)*NH*SN(J)/R
   B1(4,M+2)=-T(1,1)*NH*SN(J)/R
   B1(5,M+3)=D(J)*(-T(1,2)*T1(1,1)+T(1,1)*T1(2,1))+T(1,2)*SN(J)/R
   B1(4,M+4)=SN(J)*A(2,K)*TH(J)*NH/(2.*R)*(-T(1,1)*DCOS(TI)+T(1,2)*DS
*IN(TI))
   B2(5,M+5)=-T(1,2)*TH(J)/2.*(T1(1,1)*D(J)*A(2,K)+T1(1,2)*SN(J))+T(1
*,1)*TH(J)/2.*(T1(2,1)*D(J)*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J))+T(1,2)*TH(J)/2.*S
*N(J)/R*A(2,K)
IF(NSIM-2) 32,42,32
42 B2(2,M+3)=-B2(2,M+3)
   B2(2,M+5)=-B2(2,M+5)
   B1(4,M+1)=-B1(4,M+1)
   B1(4,M+2)=-B1(4,M+2)
   B1(4,M+4)=-B1(4,M+4)
   B1(5,M+1)=-B1(5,M+1)
   B1(5,M+2)=-B1(5,M+2)
   B1(5,M+4)=-B1(5,M+4)
GO TO 32
41 B1(2,M+3)=-NH*PI*SN(J)/COMP
   PE=COMP
   B1(2,M+5)=-NH*PI*SN(J)*A(2,K)*TH(J)/(2*COMP)
   B1(1,M+1)=B2(1,M+1)
   B1(1,M+2)=B2(1,M+2)
   B1(1,M+4)=B2(1,M+4)
   B1(3,M+1)=B2(3,M+1)
   B1(3,M+2)=B2(3,M+2)
   B1(3,M+4)=B2(3,M+4)
   B2(1,M+1)=0.
   B2(1,M+2)=0.
   B2(1,M+4)=0.
   B2(3,M+1)=0.
   B2(3,M+2)=0.
   B2(3,M+4)=0.
   B2(4,M+1)=NH*PI*SN(J)*T(1,2)/COMP
   B2(4,M+2)=NH*PI*SN(J)*T(1,1)/COMP
   B2(4,M+3)=D(J)*(T(1,1)*T1(1,1)+T(1,2)*T1(2,1))
   B2(4,M+4)=NH*PI*SN(J)*A(2,K)*TH(J)/(2.*COMP)*(T(1,1)*DCOS(TI)-T(1,
*2)*DSIN(TI))
   B2(4,M+5)=T(1,1)*TH(J)/2.*(T1(1,1)*D(J)*A(2,K)+T1(1,2)*SN(J))+T(1,
*2)*TH(J)/2.*(T1(2,1)*D(J)*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J))
   B2(5,M+1)=NH*PI*SN(J)*T(1,1)/COMP

```

```

B2(5,M+2)=-NH*PI*SN(J)*T(1,2)/COMP
B2(5,M+3)=D(J)*(-T(1,2)*T1(1,1)+T(1,1)*T1(2,1))
B2(5,M+4)=-NH*PI*A(2,K)*TH(J)*SN(J)*(T(1,2)*DCOS(TI)+T(1,1)*DSIN(T
*I))/2.*COMP)
B2(5,M+5)=-T(1,2)*TH(J)/2.*(T1(1,1)*D(J)*A(2,K)+T1(1,2)*SN(J))+T(1
*,1)*TH(J)/2.*(T1(2,1)*D(J)*A(2,K)+T1(2,2)*SN(J))
32 CONTINUE
DO 33 I=1,5
DO 33 J=1,20
DB1(I,J)=0.
DB2(I,J)=0.
DO 33 KK=1,5
DB1(I,J)=DB1(I,J)+Y(I,KK)*B1(KK,J)
33 DB2(I,J)=DB2(I,J)+Y(I,KK)*B2(KK,J)
IF(K-MPON) 200,200,201
200 PU=DET*PE/2.
IF(NH) 44,43,44
43 DO 34 I=1,20
DO 34 M=1,20
DO 34 N=1,5
34 SE(I,M)=SE(I,M)+B2(N,I)*DB2(N,M)*2*PI*DET*H(K)*RAID
GO TO 72
44 DO 45 I=1,20
DO 45 M=1,20
DO 45 N=1,5
45 SE(I,M)=SE(I,M)+(B2(N,I)*DB2(N,M)+B1(N,I)*DB1(N,M))*PU*H(K)*RAID
GO TO 72
201 WRITE(11,K1) DB1,DB2,T(1,1),T(1,2)
72 CONTINUE
11 RETURN
END

```