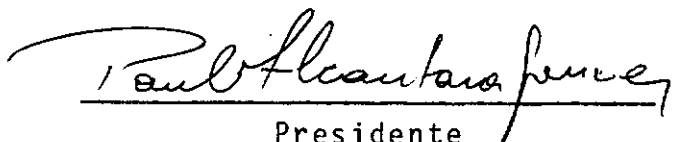
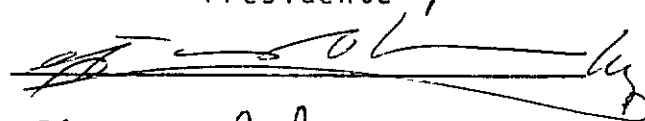
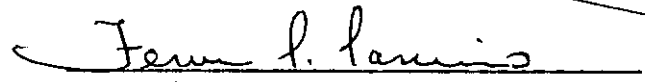
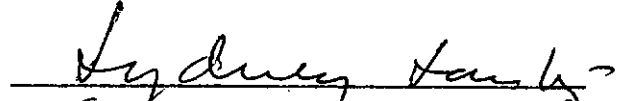
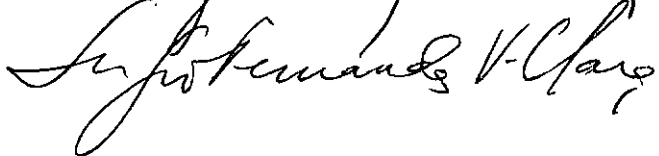


ANÁLISE DINÂMICA DE PLACAS PELO
MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

YECID ALIAGA BRUCH

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

Aprovada por:


Presidente





RIO DE JANEIRO
ESTADO DA GUANABARA - BRASIL
ABRIL DE 1973

A mis Padres y

A mis Hermanas

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

Ao Professor Paulo Alcântara Gomes pela atenciosa orientação dada a este trabalho.

Ao Professor Fernando Venâncio Filho pelos conselhos e sugestões.

Ao Professor Fernando Luiz Lobo B. Carneiro pelos valiosos ensinamentos e por ter possibilitado meus estudos na COPPE.

Ao Corpo Docente da COPPE na pessoa de seu Diretor, Professor Alberto Luiz Coimbra, pelo apoio e incentivo aos cursos de Pós-Graduação.

Aos componentes do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, pela colaboração recebida.

A Helena Santos de Oliveira, pela confecção gráfica deste trabalho.

Aos funcionários da COPPE e em particular a Heloisa Marques.

A B S T R A C T

The main purpose of the present work is to study the dynamic behavior of plates under specified time-varying loads and moving forces.

Initially a brief exposition of the variational formulation concerning the dynamics of thin plates is presented and the finite element method is applied to this formulation.

Three types of elements are presented (triangular with 9 degrees of freedom, rectangular with 12 degrees of freedom and rectangular with 16 degrees of freedom). Numerical results are obtained for free and forced vibrations.

An automatic program has also been formulated to allow the determination of the vibration properties of a plate and also the response to time-varying loads and to moving forces (concentrated or distributed).

This program was developed for an IBM 1130, 32 K, internal memory.

S I N O P S E

O objetivo do presente trabalho é estudar o comportamento dinâmico de placas quando solicitadas por cargas móveis ou por impulsos (função do tempo) definidos matematicamente.

Inicialmente apresenta-se uma formulação variacional da dinâmica das placas delgadas e aplica-se a esta formulação o método dos elementos finitos.

A seguir são apresentados três tipos de elementos (triangular com 9 graus de liberdade, retangular com 12 graus de liberdade e retangular com 16 graus de liberdade) e são obtidos resultados numéricos para os casos de vibrações livres e forçadas.

É apresentado um programa automático que permite determinar as propriedades vibratórias de uma placa, assim como a resposta a cargas fixas e a cargas móveis (concentradas e distribuídas).

O programa foi desenvolvido num computador IBM 1130 com 32 K de memória interna.

S Y N O P S I S

El objetivo del presente trabajo es estudiar el comportamiento dinámico, de placas solicitadas por cargas móviles o por impulsos (función del tiempo) definidos matemáticamente.

Inicialmente se presenta una formulación variacional referente al estudio dinámico de placas delgadas y se aplica a esta formulación el método de los elementos finitos.

A seguir se presentan tres tipos de elementos (triangular con 9 grados de libertad, rectangular con 12 grados de libertad y rectangular con 16 grados de libertad) y posteriormente se obtienen resultados numéricos para los casos de vibraciones libres y forzadas.

Se presenta un programa automático que permite determinar las propiedades vibratorias de una placa, así como la respuesta a cargas fijas y a cargas móviles (concentradas y distribuidas)

El programa foi elaborado para un computador IBM 1130 con 32 K de memoria interna.

Í N D I C E

CAPÍTULO I - FORMULAÇÃO VARIACIONAL DA TEORIA DAS PLACAS

1.1 - Introdução	1
1.2 - Relações Deformações - Deslocamento na Teoria das Placas	2
1.3 - Relações Tensões-Deformações	3
1.4 - Estabelecimento do Funcional que Caracteriza o Princípio Variacional	4
1.4.1 - Energia Cinética	5
1.4.2 - Energia Potencial Total	5
1.5 - Equação de Euler e Condições de Contorno Associadas ao Funcional	8

CAPÍTULO II - MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NA DINÂMICA DAS PLACAS.

2.1 - Introdução	10
2.2 - Introdução do Campo de Deslocamentos - Critérios de Escolha	10
2.3 - Critérios de Convergência	11
2.4 - Derivação das Matrizes de Rigidez e de Massa e dos Vetores de Carga - Equações de Movimento	12
2.5 - Distribuição de Massas Consistentes e Distribuição de Massas Discretas	19

CAPÍTULO III - ELEMENTOS UTILIZADOS NA ANÁLISE

3.1 - Introdução	21
3.2 - Elemento Triangular (T9)	22
3.2.1 - Matriz de Rigidez do Elemento (T9)	30
3.2.2 - Matriz de Massa do Elemento (T9)	31
3.2.3 - Consideração sobre a Convergência do Método para o Elemento (T9)	33
3.3 - Elemento Retangular R12	34
3.4 - Elemento Retangular R16	36
3.4.1 - Matrizes de Rigidez e de Massa e Vetor das Cargas Consistentes Equivalentes do Elemento - R16	40

CAPÍTULO IV - VIBRAÇÕES LIVRES

4.1 - Introdução	42
4.2 - Formulação das Equações de Movimento	43
4.3 - Vibrações Livres não Amortecidas	43
4.4 - Resultados	47
4.5 - Conclusões	56

CAPÍTULO V - VIBRAÇÕES FORÇADAS

5.1 - Introdução	58
5.2 - Método da Superposição Modal	59
5.3 - Resposta Dinâmica a uma Carga Cuja Ordenada Varia com o Tempo	62

5.4 - Resultados	64
5.5 - Resposta Dinâmica a uma Carga cuja Posição Varia com o Tempo (carga-móvel).	67
5.5.1 - Carga Concentrada Móvel	67
5.5.2 - Carga Móvel Uniformemente distribuída	73
5.6 - Resultados e Conclusões	77
CAPÍTULO VI - PROGRAMA AUTOMÁTICO	
6.1 - Considerações Gerais sobre o Programa Elaborado	86
6.2 - Subrotinas que Compõem o Programa	86
6.3 - Programa Principal	90
CONCLUSÕES	95
APÊNDICE	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	167

S I M B O L O G I A

$\uparrow \downarrow$	Matriz diagonal
$\{ \}$	Matriz coluna
$ $	Matriz quadrada
$ ^T$	Matriz transposta
ν	Coeficiente de Poisson
E	Módulo de Young
G	Módulo de Elasticidade Transversal
ρ	Massa específica do material de placas
$\sigma_x, \sigma_y \dots$	Tensões
$\epsilon_x, \epsilon_y \dots$	Deformações
u, v, w	Deslocamentos
$p(x, y)$	Carga por unidade de area
T	Energia cinética
μ	Energia de deformação
Ω	Energia potencial das forças externas
V	Energia potencial total
M_x, M_y	Momentos fletores
M_{xy}	Momento de torção
h	Espessura da placa
S	Área da placa
$\{\delta\}$	Vetor dos deslocamentos no interior do elemento
$\{q\}$	Vetor dos deslocamentos nodais
$\{q_n\}$	Vetor dos deslocamentos em coordenadas naturais
$ M $	Matriz de Massa

$ K $	Matriz de rigidez
$ A $	Vetor das cargas nodais equivalentes
$ E $	Matriz de Elasticidade
ω	Frequência de vibração da placa
$\{\epsilon\}$	Vetor dos deslocamentos generalizados
$W_{,x}$	Derivada de W em relação a x

I - FORMULAÇÃO VARIACIONAL DA TEORIA DAS PLACAS

1.1 - Introdução

No decorrer deste trabalho serão consideradas como válidas as hipóteses de Kirchhoff (1), estabelecidas para placas finas:

- a) Não ocorrem deformações na superfície média da placa
- b) Pontos da placa situados inicialmente na normal ao plano médio permanecem na normal à superfície média após a deformação.
- c) As tensões normais na direção da normal à superfície média da placa podem ser desprezadas.

Teorias baseadas em hipóteses mais refinadas conduzem à eliminação de algumas das aqui assumidas. Assim, por exemplo, a retenção dos termos quadráticos nas expressões das componentes das deformações segundo os eixos que definem o plano médio (Teoria de Von Kármán), elimina a primeira hipótese e permite considerar simultaneamente o efeito de membrana e o efeito de flexão na teoria das placas (2).

Teorias envolvendo o efeito da deformação por esforço cortante podem também ser elaboradas a partir de um princípio variacional de dois campos, como o de Hellinger-Reissner. Entretanto a influência dos termos adicionais nas relações fundamentais, sobre o comportamento dinâmico, é bastante reduzida a não ser em casos de frequências de vibração relativamente altas.

Os pontos fundamentais a serem tratados numa formu

lação variacional seguem em geral, uma sequência padronizada que se constitui em 3 itens:

- a) Estabelecimento das relações deformações-deslocamentos.
- b) Estabelecimento da lei constitutiva do material (relações tensões-deformações)
- c) Estabelecimento do funcional que caracteriza o princípio variacional a ser utilizado, bem como das condições de contorno impostas ao problema (condições forçadas).

A seguir serão desenvolvidos cada um dos itens necessários a esta formulação variacional.

1.2 - Relações deformações-deslocamentos na teoria das placas.

A teoria da elasticidade linear fornece para um problema tridimensional qualquer, as relações

$$\begin{aligned}
 \epsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} & \gamma_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\
 \epsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y} & \gamma_{xz} &= \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \\
 \epsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z} & \gamma_{yz} &= \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

A introdução das hipóteses simplificadoras nestas relações, permitirá eliminar algumas das componentes das deformações (ϵ_z , γ_{xz} , γ_{yz}). É de se notar que, embora a utilização destas hipóteses acarrete alguns paradoxos quando por ocasião da ob-

tenção das equações de equilíbrio, já se tornou corrente o seu em prego, visto que os resultados obtidos por este caminho levam a êrros desprezíveis (3).

Assim sendo, as relações deformações-deslocamentos ficam reduzidas às seguintes expressões:

$$\begin{aligned}\epsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} \\ \gamma_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \epsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y}\end{aligned}\quad (1.2)$$

Tendo em vista que os deslocamentos u e v variam linearmente ao longo da espessura da placa, as deformações na teoria das placas finas (para pequenos deslocamentos transversais) são dadas finalmente por:

$$\begin{aligned}\epsilon_x &= -z \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \\ \gamma_{xy} &= -2z \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} \\ \epsilon_y &= -z \frac{\partial^2 W}{\partial y^2}\end{aligned}\quad (1.3)$$

1.3 - Relações tensões-deformações

As relações tensões-deformações a serem utilizadas na formulação variacional da teoria das placas são obtidas por meio de uma simplificação da lei de Hooke generalizada, graças a aplicação das hipóteses citadas no ítem (1.1). Esta relações para um material linear, isótropo e elástico são dadas por:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_x + \nu \epsilon_y)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_y + \nu \epsilon_x)$$

$$\tau_{xy} = G \gamma_{xy}$$

(1.4)

1.4 - Estabelecimento do funcional que caracteriza o princípio variacional.

A expressão matemática do funcional que está associado ao problema de vibrações de placas pode ser obtida pela utilização do princípio de Hamilton válido para sistemas conservativos, e que por sua vez é definido por meio da minimização da "ação".

A ação é definida através da integral

$$A_c = \int_t L \, dt$$

(1.5)

sendo L a lagrangeana do sistema conservativo, caracterizada pela diferença entre a energia cinética e a energia potencial total.

$$L = T - V$$

(1.6)

Consequentemente, o problema em questão pode ser reduzido a duas etapas: determinação da energia cinética do sistema contínuo e determinação da energia potencial total do sistema.

1.4.1 - Energia Cinética

A energia cinética do sistema, levando em consideração as parcelas devidas a translação e a rotação, é dada por :

$$T = \frac{1}{2} \rho h \iint_S \left(\frac{\partial W}{\partial t} \right)^2 dx dy + \frac{1}{2} \rho h \iint_S i_y^2 \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial t} \right)^2 dx dy + \\ + \frac{1}{2} \rho h \iint_S i_x^2 \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y \partial t} \right)^2 dx dy \quad (1.7)$$

onde ρ é a massa específica, h a espessura da placa, i_x e i_y os raios de giração.

Em alguns casos a energia cinética de rotação pode ser desprezada, em virtude da sua influência desprezível (por exemplo em casos de frequências baixas).

No decorrer deste trabalho, serão considerados os dois casos, quando da análise dos elementos.

1.4.2 - Energia Potencial Total

Levando em consideração as relações tensões-deformações vistas anteriormente, a densidade de energia de deformação (também denominada energia de deformação específica) é dada por (4):

$$u_0 = \frac{E}{2(1-\nu^2)} (\epsilon_x + \epsilon_y)^2 + \frac{G}{2} (\gamma_{xy}^2 - 4 \epsilon_x \epsilon_y) \quad (1.8)$$

A energia de deformação para todo o volume da placa (considerada como fina) é dada por:

$$\mu = \iint_S \left(\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \mu_0 dz \right) dx dy \quad (1.9)$$

substituindo na equação (1.9) as expressões em (1.3) para placas em que são válidas as hipóteses de Kirchhoff, obter-se-ã para expressões da energia de deformação

$$\mu = \iint_S \left[\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \left(\frac{E}{2(1-\nu^2)} (-zW_{,xx} - zW_{,yy})^2 + 2G(-z^2W^2_{,xy} - z^2W_{,xx}W_{,yy}) \right) dz \right] dx dy \quad (1.10)$$

Integrando ao longo da espessura da placa, tem-se:

$$\mu = \iint_S \frac{D}{2} \left[(W_{,xx} + W_{,yy})^2 + 2(1-\nu) (W^2_{,xy} - W_{,xx}W_{,yy}) \right] dx dy \quad (1.11)$$

onde D é a grandeza denominada de rigidez da placa e tem por expressão

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (1.12)$$

A energia potencial das forças externas tem por expressão:

$$\Omega = -\iint_S p(x,y) W dx dy \quad (1.13)$$

onde p é uma carga distribuida, segundo uma lei de variação conhe

cida, normal a superfície média da placa.

A energia potencial total será dada pela soma da energia de deformação na flexão dada pela equação (1.11) e a energia potencial das forças externas dada pela equação (1.12).

$$V = \iint_S \left\{ D (W_{,xx} + W_{,yy})^2 + 2(1-\nu) (W_{,xy}^2 - W_{,xx} W_{,yy}) - p W \right\} dx dy \quad (1.14)$$

Entrando com as expressões (1.7) e (1.14) em (1.5) obter-se-á a expressão da ação, que é o funcional em questão,

$$A_c = \int_{t_0}^{t_1} \iint_S \left\{ -\frac{D}{2} \left[(W_{,xx} + W_{,yy})^2 + 2(1-\nu) (W_{,xy}^2 - W_{,xx} W_{,yy}) \right] + pW + \frac{\rho h}{2} W_{,t}^2 + \rho \frac{h^3}{2} W_{,tx}^2 + \rho \frac{h^3}{2} W_{,ty}^2 \right\} ds dt \quad (1.15)$$

Uma vez obtido o funcional, há que resolvê-lo, ou pela obtenção das equações de Euler a ele associados (equações diferenciais que no caso da teoria das placas, são as derivadas parciais de 4ª ordem), ou pela utilização de um método direto (Rayleigh-Ritz, Galerkin, Kantorovich, Elementos Finitos, etc.).

No ítem que se segue será apresentada sucintamente a dedução da equação de Euler associada ao problema de vibrações de placa, tendo em vista a necessidade da utilização das condições naturais de contorno quando do emprego de métodos diretos.

1.5 - Equação de Euler e condições de contorno associadas ao funcional

Partindo da expressão (1.15), que caracteriza o princípio de extremo utilizado para o estudo dinâmico de placas, e assumindo que as funções W que aparecem no funcional devem pertencer a uma classe Γ tal que qualquer função desta classe seja contínua com derivadas parciais também contínuas até quarta ordem em um certo domínio $V(x,y,t)$ e que também satisfaça às condições forçadas de contorno do tipo $aW + bW_{,n} = c$, (em que a, b, c são funções contínuas do ponto dadas em R_c (região de contorno) e em que $w_{,n}$ caracteriza a derivada normal a R_c), aí introduzindo um acréscimo definido pelo produto $\xi\eta(x,y,t)$ (sendo ξ uma constante arbitrariamente pequena e η uma função definida de modo tal que $W + \xi\eta$ pertença a classe de funções Γ), e aplicando sucessivamente o teorema da divergência às diversas partes do desenvolvimento, obtém-se finalmente (2),

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial W} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial L}{\partial W_{,x}} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial L}{\partial W_{,y}} - \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial L}{\partial W_{,t}} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \frac{\partial L}{\partial W_{,xx}} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \frac{\partial L}{\partial W_{,yy}} + \\ + \frac{\partial^2}{\partial t^2} \frac{\partial L}{\partial W_{,tt}} + \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \frac{\partial L}{\partial W_{,xy}} - \frac{\partial^2}{\partial x \partial t} \frac{\partial L}{\partial W_{,tx}} - \frac{\partial^2}{\partial y \partial t} \frac{\partial L}{\partial W_{,yt}} = 0 \end{aligned} \quad (1.16)$$

$$\eta \left(\frac{\partial L}{\partial W_{,x}} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial L}{\partial W_{,xx}} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial L}{\partial W_{,xy}} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial L}{\partial W_{,yt}} \right) = 0$$

$$\eta \left(\frac{\partial L}{\partial W_{,y}} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial L}{\partial W_{,yy}} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial L}{\partial W_{,yt}} \right) = 0 \quad (1.17)$$

$$\eta \left(\frac{\partial L}{\partial W_{,t}} - \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial L}{\partial W_{,tt}} \right) = 0$$

que traduzem respectivamente a equação de Euler as sociada ao funcional e as condições naturais de contorno (condições mecânicas).

Nos casos usuais, das condições (1.17) podem ser obtidas as relações que traduzem as condições de apoio para apoio simples e bordos livres (momentos nulos e combinação de momento volvente e esforço cortante nulo, respectivamente). Estas são as condições naturais do problema, que no caso de apoio simples vem acompanhadas da condição de flecha nula no apoio (condição geométrica ou forçada).

No caso de engaste, as duas condições de contorno são forçadas ($W = 0$ e $W_{,n} = 0$ ao longo do contorno).

Tais condições serão utilizadas nos capítulos seguintes.

II - MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NA DINÂMICA DAS PLACAS

2.1 - Introdução

O método dos elementos finitos, encarado como uma técnica variacional, consiste em assumir para o funcional a ser minimizado, um certo conjunto de funções que representem aproximadamente a solução das equações de Euler associadas ao funcional.

Este funcional definido para uma certa região V , que caracteriza o problema em análise, é válido também para os sub-domínios da região, e conseqüentemente pode ser assumido que a região V foi dividida em sub-domínios V_i , que representam os elementos finitos.

A introdução das funções citadas, que no caso dos problemas de teoria da elasticidade, tomam o nome de funções de deslocamento, permite que o problema de extremização do funcional seja associado ao problema de extremização de uma certa função de n variáveis (denominadas coordenadas generalizadas). Isto permite a caracterização de certas entidades que passam a definir o problema dinâmico: matrizes de rigidez e de massa e vetores de carga.

2.2 - Introdução do Campo de Deslocamentos - Critérios de Escolha

O campo de deslocamentos a ser utilizado tem geralmente a forma polinomial, tendo em vista a maior facilidade que se tem ao trabalhar com polinômios na formulação do método. O

grau deste polinômio é definido em função do número de parâmetros nodais considerados em cada elemento (número de graus de liberdade), da forma do elemento e de certos critérios de convergência que são estabelecidos de modo a garantir a convergência para solução exata à medida que se aumenta o número de elementos.

2.3 - Critérios de Convergência

a) Completidade

A função deslocamento deve ser tal que possa representar movimentos de corpo rígido e um estado de deformação (generalizada) constante.

b) Compatibilidade ou Conformidade

A função deslocamento e suas primeiras derivadas devem ser contínuas dentro do elemento e, ao longo do lado comum a dois elementos a função deslocamento W e sua derivada normal ao contorno $W_{,n}$ devem ser iguais para os dois elementos.

No estudo de placas finas o critério da completidade é satisfeito se a função deslocamento considerada contiver um polinômio completo de 2º grau. Com efeito, os termos $1, x, y$ representam movimentos de corpo rígido e os termos x^2, xy, y^2 o estado de deformação generalizada constante.

A continuidade da derivada primeira da função deslocamento é para garantir um valor finito, nas derivadas segundas (curvaturas) que aparecem no funcional.

Se os campos de deslocamento satisfazem às condições de completitude e compatibilidade, a solução por elementos finitos converge para a solução exata com o refinamento da malha.

Sendo o sistema idealizado por elementos finitos mais rígido que o sistema real (em se tratando do método dos deslocamentos), a convergência no caso das frequências de uma placa, será feito por valores superiores.

Arantes e Oliveira mostrou que pode haver convergência para a solução exata (no caso de flexão de placas), mesmo não havendo compatibilidade da derivada normal $W_{,n}$ ao longo de um lado comum a dois elementos, isto desde que a derivada terceira de W permaneça limitada a medida que a malha é refinada.

Os elementos cujas funções deslocamento não satisfazem a compatibilidade da derivada normal são chamados de elementos não conformes. Neste caso não se pode garantir se a convergência para a solução exata se realiza por valores superiores ou inferiores a referida solução. No trabalho em questão serão utilizados elementos conformes e não conformes.

2.4 - Derivação das Matrizes de Rigidez e de Massa e dos Vetores de Carga - Equações de Movimento

Seja o campo de deslocamento dentro de um elemento, dado pela expressão

$$W(x,y,t) = \{N(x,y)\}^T \{q(t)\} \quad (2.1)$$

onde $\{N(x,y)\}$ é o vetor contendo as funções de interpolação e $\{q(t)\}$ o vetor dos deslocamentos nodais do elemento.

Foi visto no item (2.1) que o funcional definido para a região V , é também válido para os seus sub-domínios ou seja os elementos. Portanto pode ser assumido que o funcional para toda a região V é igual a soma das contribuições de cada elemento. Consequentemente,

$$A_c = \sum A_c^e \quad (2.2)$$

ou, utilizando as expressões (1.15) e (2.2)

$$A_c = \sum_{j=1}^n \int_{t_0}^{t_1} \int_S \left\{ -\frac{D}{2} \left[(W_{,xx} + W_{,yy})^2 + 2(1-\nu) (W_{,xy}^2 - W_{,xx} W_{,yy}) \right] + pW + \rho \frac{h}{2} W_{,t}^2 + i_y^2 \rho \frac{h}{2} W_{,tx}^2 + i_x^2 \rho \frac{h}{2} W_{,ty}^2 \right\} ds dt \quad (2.3)$$

onde W é a função deslocamento definida para um elemento.

As derivadas da função deslocamento W que aparecem no funcional podem ser expressas matricialmente, a partir da equação (2.1), como

$$W_{,xx}^2 = \{q\} \{N_{,xx}\} \{N_{,xx}\}^T \{q\}$$

$$W_{,yy}^2 = \{q\} \{N_{,yy}\} \{N_{,yy}\}^T \{q\}$$

$$W_{,xy}^2 = \{q\} \{N_{,xy}\} \{N_{,xy}\}^T \{q\}$$

$$W_{,xx} W_{,yy} = \{q\} \{N_{,xx}\} \{N_{,yy}\}^T \{q\} \quad (2.4)$$

$$W_{,t}^2 = \{\dot{q}\} \{N\} \{N\}^T \{\dot{q}\}$$

$$W_{,xt}^2 = \{\dot{q}\} \{N_{,x}\} \{N_{,x}\}^T \{\dot{q}\}$$

$$W_{,yt}^2 = \{\dot{q}\} \{N_{,y}\} \{N_{,y}\}^T \{\dot{q}\}$$

sendo $\{\dot{q}\}$ o vetor cujas componentes são as derivadas dos deslocamentos em relação ao tempo.

Introduzindo agora, no funcional dado em (2.3), a função deslocamento e suas derivadas, dadas em (2.1) e (2.4) respectivamente, obter-se-á

$$\begin{aligned} A_c = & \sum_{j=1}^n \int_{t_0}^{t_1} \int_S \left\{ -\frac{D}{2} \left[\{q\}^T \{N_{,xx}\} \{N_{,xx}\}^T \{q\} + \right. \right. \\ & + \{q\}^T 2\nu \{N_{,xx}\} \{N_{,yy}\}^T \{q\} + \{q\}^T \{N_{,yy}\} \{N_{,yy}\}^T \{q\} + \\ & + \left. \{q\}^T 2(1-\nu) \{N_{,xy}\} \{N_{,xy}\}^T \{q\} \right] + \frac{h}{2} \rho \{\dot{q}\}^T \{N\} \{N\}^T \{\dot{q}\} + \\ & + i_y^2 \frac{h}{2} \rho \{\dot{q}\}^T \{N_{,x}\} \{N_{,x}\}^T \{\dot{q}\} + i_x^2 \frac{h}{2} \rho \{\dot{q}\}^T \{N_{,y}\} \{N_{,y}\}^T \{\dot{q}\} + \\ & + p \{q\}^T \{N\} \} ds dt \end{aligned} \quad (2.5)$$

O princípio de Hamilton estabelece que a primeira variação da ação deve ser nula. Aplicando este princípio ao fun-

cional expresso em (2.5), resultará:

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^n \int_{t_0}^{t_1} \{ \delta_{\dot{q}} \}^T & \left[-D \iint_S (\{N_{,xx}\} \{N_{,xx}\}^T + 2\nu \{N_{,xx}\} \{N_{,yy}\}^T + \right. \\
 & \left. + \{N_{,yy}\} \{N_{,yy}\}^T + 2(1-\nu) \{N_{,xy}\} \{N_{,xy}\}^T) ds \right] \{q\} + \\
 & + \{ \delta_{\dot{q}} \}^T \iint_S p \{N\} ds + \{ \delta_{\dot{q}} \}^T \left(\iint_S (h p \{N\} \{N\}^T + \right. \\
 & \left. + i_y h p \{N_{,x}\} \{N_{,x}\}^T + i_x h p \{N_{,y}\} \{N_{,y}\}^T) ds \{ \dot{q} \} = 0
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

O último termo de (2.6) pode ser integrado por partes, isto é, pode-se escrever que

$$\begin{aligned}
 \int_{t_0}^{t_1} & \left[\{ \delta_{\dot{q}} \}^T \iint_S (h p \{N\} \{N\}^T + i_y h p \{N_{,x}\} \{N_{,x}\}^T + \right. \\
 & \left. + i_x h p \{N_{,y}\} \{N_{,y}\}^T) ds \{ \dot{q} \} \right] dt = \left[\{ \delta_{\dot{q}} \}^T \iint_S (h p \{N\} \{N\}^T + \right. \\
 & \left. + i_y h p \{N_{,x}\} \{N_{,x}\}^T + i_x h p \{N_{,y}\} \{N_{,y}\}^T) ds \{ \dot{q} \} \right]_{t_0}^{t_1} - \\
 & - \int_{t_0}^{t_1} \{ \delta_{\dot{q}} \} \iint_S (h p \{N\} \{N\}^T + i_y h p \{N_{,x}\} \{N_{,x}\}^T + \\
 & + i_x h p \{N_{,y}\} \{N_{,y}\}^T) ds \{ \ddot{q} \} dt
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

Além disso, de acordo com o princípio de Hamilton, a função deslocamento deve satisfazer às condições dadas nos instantes t_0 e t_1 . Sendo $\{ \delta_{\dot{q}}(t_0) \} = \{ \delta_{\dot{q}}(t_1) \} = 0$, o primeiro termo

da equação (2.7) se anula e substituindo o resto da equação (2.7) em (2.6) virá finalmente

$$\sum_{j=1}^n \int_{t_0}^{t_1} \{\delta_q\}^T \left[-D \iint_S (\{N_{,xx}\}\{N_{,xx}\}^T + 2\nu \{N_{,xx}\}\{N_{,yy}\}^T + \{N_{,yy}\}\{N_{,yy}\}^T + 2(1-\nu)\{N_{,xy}\}\{N_{,xy}\}^T) ds \{q\} + \iint_S p\{N\} ds - \right. \\ \left. - \iint_S (h p\{N\}\{N\}^T + i_y h p \{N_{,x}\}\{N_{,x}\}^T + i_x h p \{N_{,y}\}\{N_{,y}\}^T) ds \right. \\ \left. \ddot{\{q\}} \right] = 0 \quad (2.8)$$

Como a variação dos deslocamentos nodais $\{\delta_q\}$ é arbitrária, a expressão dentro do parentesis deverá se anular. Desta maneira obter-se-ão finalmente as equações do movimento de um sistema estrutural não amortecido.

$$[M] \{\ddot{q}\} + [K] \{q\} = \{A\} \quad (2.9)$$

sendo:

$$[M] = \sum_{j=1}^n \iint_S (h p \{N\}\{N\}^T + i_y h p \{N_{,x}\}\{N_{,x}\}^T + i_x h p \{N_{,y}\}\{N_{,y}\}^T) ds \quad (2.10)$$

$$[K] = \sum_{j=1}^n \iint_S D (\{N_{,xx}\}\{N_{,xx}\}^T + 2\nu \{N_{,xx}\}\{N_{,yy}\}^T + \{N_{,yy}\}\{N_{,yy}\}^T + 2(1-\nu)\{N_{,xy}\}\{N_{,xy}\}^T) ds \quad (2.11)$$

$$\{A\} = \sum_{J=1}^n \iint_S p \{N\} ds \quad (2.12)$$

as expressões das matrizes de massa consistente $|M|$, da matriz de rigidez $|K|$ e do vetor de cargas nodais equivalentes $\{A\}$

A expressão (2.11) que fornece a matriz de rigidez pode ser reescrita na forma

$$|K| = \sum_{J=1}^n \iint_S |B|^T |E| |B| ds \quad (2.13)$$

onde $|B|$ é a matriz que relaciona as deformações generalizadas aos deslocamentos nodais e $|E|$ a matriz que relaciona as tensões generalizadas com as deformações generalizadas.

Se o vetor de deformações for agora definido por

$$\{\epsilon\} = - \begin{Bmatrix} w_{,xx} \\ w_{,yy} \\ 2w_{,xy} \end{Bmatrix} \quad (2.14)$$

e utilizando a expressão (2.1), obter-se-á:

$$\{\epsilon\} = |B| \{q\} \quad (2.15)$$

$$|B| = \begin{Bmatrix} - \{N_{,xx}\}^T \\ - \{N_{,yy}\}^T \\ - \{2N_{,xy}\}^T \end{Bmatrix} \quad (2.16)$$

Considerando como tensões generalizadas os momentos fletores e torsores, ter-se-á:

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = [E] \{\epsilon\} \quad (2.17)$$

No caso de uma placa fina de material isotrópico e espessura constante a matriz E , de elasticidade, é dada por

$$[E] = D \begin{vmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{vmatrix} \quad (2.18)$$

A matriz de massa expressa em (2.10) pode ser reescrita na forma

$$[M] = \sum_{j=1}^n h \iint_S [\bar{N}]^T [\mu] [\bar{N}] ds \quad (2.19)$$

sendo

$$[\bar{N}] = \begin{vmatrix} \{N\}^T \\ \{N_{,x}\}^T \\ \{N_{,y}\}^T \end{vmatrix} \quad (2.20)$$

A matriz que relaciona os deslocamentos no interior do elemento com os deslocamentos nodais

$$\{\delta\} = \begin{Bmatrix} w \\ w_{,x} \\ w_{,y} \end{Bmatrix} = [N] \{q\} \quad (2.21)$$

e sendo $i_x = i_y = \frac{h^3}{12}$, a matriz $[\mu]$ é dada por

$$[\mu] = \begin{bmatrix} p & 0 & 0 \\ 0 & \frac{h^2}{12} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{h^2}{12} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

2.5 - Distribuição de Massas Consistente e Distribuição de Massas Discretas.

É bastante normal no tratamento de problemas de di nâmica estrutural considerarem-se processos empíricos de distri buição das massas da estrutura, com a finalidade de tornar o problema contínuo num problema discreto. A utilização de uma divi são racional, porém desprovida de qualquer formalismo matemático, de massas contínuas para massas concentradas em certos pontos ca racterísticos da estrutura, é bastante difundida porque em geral conduz a matrizes de massa diagonalizadas o que simplifica bastan te os métodos de cálculo, e pode reduzir consideravelmente o núme ro de equações do problema dinâmico.

Esta técnica foi utilizada por Venancio Filho (8), para o caso de uma viga simplesmente apoiada, apresentando ótimos resultados para o caso das frequências naturais da viga.

Porém, um segundo enfoque (matriz de massa consistente) que consiste em obter os termos da matriz a partir dos princípios variacionais da mecânica, têm sido bastante empregado. Archer(7) e Venâncio Filho comprovaram a sua eficiência no que se refere a convergência para a solução exata no caso das vigas simplesmente apoiadas, sendo que Archer obteve resultados bem mais precisos, no caso de uma viga livre-livre, do que os obtidos utilizando a matriz de massa discreta.

A vantagem da utilização da matriz de massa consistente é que, para as frequências mais altas os resultados obtidos apresentam melhor precisão e são sempre superiores aos exatos (elementos conformes).

III - ELEMENTOS UTILIZADOS NA ANALISE

3.1 - Introdução

O objetivo deste capítulo será apresentar os três elementos (R12, R16, T9), utilizados no programa elaborado. Será feito um estudo comparando os resultados fornecidos pelos elementos na análise de vibrações livres e nestes, o elemento mais refinado (R16) será escolhido para efetuar a análise de vibrações forçadas.

O desenvolvimento dos elementos foi feito segundo a teoria clássica de flexão de placas cujas hipóteses básicas foram vistas no capítulo I.

Como já foi dito anteriormente o campo de deslocamento refere-se ao deslocamento transversal W , do plano médio da placa, e que define completamente o estado de deformação da placa.

É possível expressar o deslocamento W por

$$W = [\phi] \{\alpha\} \quad (3.1)$$

ou ainda por

$$W = \{N\}^T \{q\} \quad (3.2)$$

onde $\{N\}^T$ é o vetor contendo as funções de interpolação, $\{q\}$ o vetor dos deslocamentos nodais do elemento, $\{\alpha\}$ o vetor das coorde-

nadas generalizadas e $|\phi|$ um polinômio de grau n que define o campo de deslocamentos.

3.2 - Elemento Triangular (T9)

Este elemento representado na fig. (3.1), apresenta 9 deslocamentos nodais sendo 3 deslocamentos por nó.

Os deslocamentos nodais são para o ponto nodal i ($i = 1, 2, 3$):

$$\{q\}_i = \begin{Bmatrix} W \\ W, x \\ W, y \end{Bmatrix}_i \quad (3.3)$$

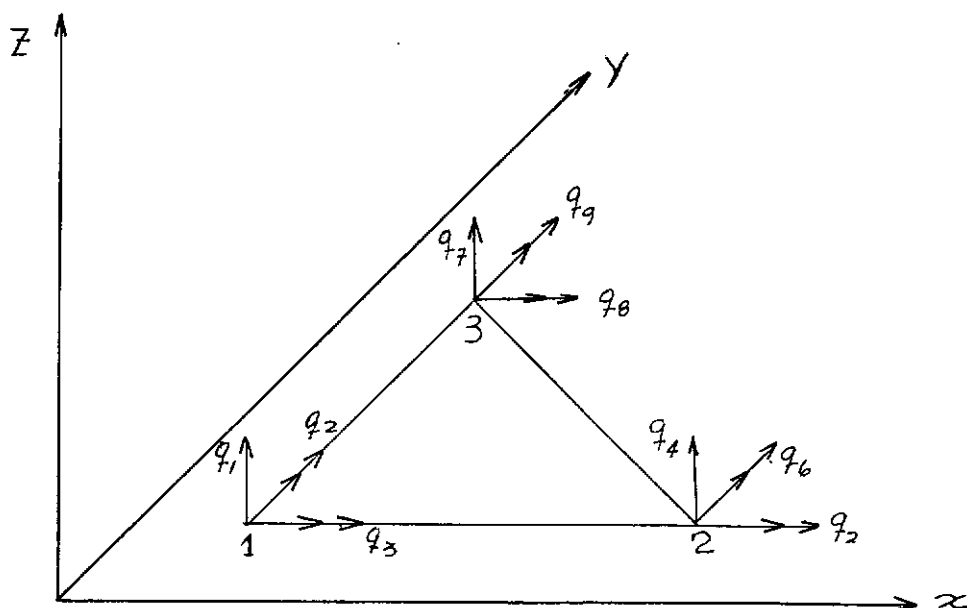


Fig : 3:1

O desenvolvimento da matriz de rigidez e de massa correspondentes ao elemento será feito em coordenadas naturais τ_1, τ_2, τ_3 . São usadas as coordenadas naturais por sua invariância em relação tanto a forma como a orientação do triângulo e porque as formulas de integração que as envolvem são bastante simplificadas.

Os deslocamentos de um ponto nodal em coordenadas naturais são dados por:

$$\{q_n\}_i = \left\{ \begin{array}{l} W \\ W, \tau_1 \\ W, \tau_2 \end{array} \right\} \quad (3.4)$$

E, por sua vez o deslocamento transversal W será descrito por meio de:

$$W = [\phi_n] \{\alpha\} \quad (3.5)$$

onde o campo de deslocamentos assumido em coordenadas naturais(5) é:

$$[\phi_n] = [\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_{12}, \tau_{23}, \tau_{13}, (\tau_1 \tau_2^2 - \tau_1^2 \tau_2), (\tau_2 \tau_3^2 - \tau_2^2 \tau_3), (\tau_3 \tau_1^2 - \tau_3^2 \tau_1)] \quad (3.6)$$

Além disso, as coordenadas cartesianas estão rela-

cionadas com as coordenadas naturais através da seguinte expressão:

$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{vmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \begin{Bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{Bmatrix} \quad (3.7)$$

onde (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) , (X_3, Y_3) são as coordenadas dos pontos nodais.

Por inversão obter-se-á:

$$\begin{Bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{Bmatrix} = \frac{1}{2S} \begin{vmatrix} Y_{23} & X_{23} & X_2 Y_3 - X_3 Y_2 \\ Y_{31} & X_{13} & X_3 Y_1 - Y_1 Y_3 \\ Y_{12} & Y_{21} & X_1 Y_2 - Y_2 Y_1 \end{vmatrix} \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.8)$$

sendo $Y_{ij} = Y_i - Y_j$ e S , a área do triângulo.

De maneira análoga ter-se-á uma relação entre as derivadas cartesianas e naturais (5), tendo em vista que τ_1 e τ_2 são consideradas independentes, isto é,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial \tau_1} \\ \frac{\partial}{\partial \tau_2} \end{Bmatrix} = \begin{vmatrix} X_{13} & Y_{13} \\ Y_{13} & Y_{23} \end{vmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial X} \\ \frac{\partial}{\partial Y} \end{Bmatrix} \quad (3.9)$$

onde

$$|J| = \begin{vmatrix} X_{13} & Y_{13} \\ Y_{13} & Y_{23} \end{vmatrix} \quad (3.10)$$

é conhecida como a matriz jacobiana.

Invertendo-se esta última matriz virá:

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial X} \\ \frac{\partial}{\partial Y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2S} \begin{vmatrix} Y_{23} & Y_{31} \\ X_{23} & X_{13} \end{vmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial \tau_1} \\ \frac{\partial}{\partial \tau_2} \end{Bmatrix} \quad (3.11)$$

Considerando agora as equações (3.5) e (3.6) pode-se escrever uma relação para os deslocamentos, no interior do elemento, em coordenadas naturais.

$$\{\delta_n\} = \begin{Bmatrix} W \\ W, \tau_1 \\ W, \tau_2 \end{Bmatrix} = |\bar{\phi}_n| \{\alpha\} \quad (3.12)$$

onde

$$|\bar{\phi}_n| = \begin{vmatrix} \tau_1 & \tau_2 & \tau_3 & \tau_1\tau_2 & \tau_2\tau_3 & \tau_3\tau_1 & (\tau_1\tau_2^2 - \tau_1^2\tau_2)(\tau_2\tau_3^2 - \tau_2^2\tau_3)(\tau_3\tau_1^2 - \tau_3^2\tau_1) \\ 1 & 0 & -1 & \tau_2 & -\tau_2(-\tau_1 + \tau_3) & (\tau_2^2 - 2\tau_1\tau_2) & (\tau_2^2 - 2\tau_2\tau_3)(-\tau_1^2 + 4\tau_1\tau_3 - \tau_3^2) \\ 0 & 1 & -1 & \tau_1 & (-\tau_2 + \tau_3) & -\tau_1(-\tau_1^2 + 2\tau_1\tau_2) & (\tau_3^2 - 4\tau_2\tau_3 + \tau_2^2)(-\tau_1^2 + 2\tau_3\tau_1) \end{vmatrix} \quad (3.13)$$

Particularizando as equações (3.13) e (3.12) para os pontos nodais, virá

$$\begin{Bmatrix} W \\ W, \tau_1 \\ W, \tau_2 \end{Bmatrix}_1 = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 1 & 0 & -1 & -1 & 0 & -1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} W \\ W, \tau_1 \\ W, \tau_2 \end{Bmatrix}_2 = \begin{Bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 1 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} W \\ W, \tau_1 \\ W, \tau_2 \end{Bmatrix}_3 = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_7 \\ \alpha_8 \\ \alpha_9 \end{Bmatrix}$$

(3.14)

ou melhor,

$$\{q_n\} = |\phi_o| \{\alpha\} \quad (3.15)$$

A inversão de (3.15) fornece as coordenadas generalizadas em função dos deslocamentos nodais (em coordenadas naturais).

$$\{\alpha\} = |\phi_o|^{-1} \{q_n\} \quad (3.16)$$

Tendo em vista a equação (3.9) é possível relacionar os deslocamentos nodais em coordenadas naturais com os deslo-

camentos nodais em coordenadas cartesianas através da expressão

$$\{q_n\} = |T| \{q\} \quad (3.17)$$

sendo

$$|T| = \begin{vmatrix} 1 & & & & 0 \\ & |J| & & & \\ & & 1 & & \\ & & & |J| & \\ & & & & 1 \\ 0 & & & & & |J| \end{vmatrix} \quad (3.18)$$

Substituindo (3.17) em (3.16) obter-se-á

$$\{\alpha\} = |\phi_o|^{-1} |T| \{q\}, \quad (3.19)$$

onde

$$|C| = |\phi_o|^{-1} |T|$$

é uma matriz de transformação que permite relacionar a matriz de rigidez $|K\alpha|$, referida aos deslocamentos generalizados, com a matriz de rigidez $|K|$, referida aos parâmetros nodais, através da expressão

$$|K| = |C| |K\alpha| |C|^T \quad (3.20)$$

Anteriormente foi definido o vetor das deformações generalizadas como

$$\{\epsilon\} = - \left\{ \begin{array}{c} W,_{xx} \\ W,_{yy} \\ 2W,_{xy} \end{array} \right\} \quad (3.21)$$

que, em coordenadas naturais toma a forma

$$\{\epsilon_n\} = - \left\{ \begin{array}{c} W,_{\tau_1 \tau_1} \\ W,_{\tau_2 \tau_2} \\ W,_{\tau_1 \tau_2} \end{array} \right\} \quad (3.22)$$

É necessário neste ponto obter a relação entre a derivada 2ª em coordenadas naturais e cartesianas. Para isto, continua-se a derivação a partir de (3.9).

Desta maneira obter-se-ã a seguinte relação (5)

$$\left\{ \begin{array}{c} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2}{\partial y^2} \\ \frac{2\partial^2}{\partial x \partial y} \end{array} \right\} = \left| \begin{array}{ccc} Y_{23}^2 & Y_{31}^2 & 2Y_{31}Y_{23} \\ Y_{32}^2 & X_{13}^2 & 2X_{13}X_{32} \\ 2X_{32}Y_{23} & 2X_{13}Y_{31} & 2(X_{13}Y_{23} + X_{32}Y_{31}) \end{array} \right| \left\{ \begin{array}{c} \frac{\partial^2}{\partial \tau_1^2} \\ \frac{\partial^2}{\partial \tau_2^2} \\ \frac{\partial^2}{\partial \tau_1 \partial \tau_2} \end{array} \right\} \quad (3.23)$$

ou seja

$$\{\epsilon\} = |\bar{T}| \{\epsilon_n\} \quad (3.24)$$

onde $|\bar{T}|$ a matriz que relaciona as deformações em coordenadas cartesianas com as deformações em coordenadas naturais.

As deformações em coordenadas naturais são obtidas em função dos deslocamentos generalizados através da matriz $|B_n|$.

$$\{\epsilon_n\} = |B_n| \{\alpha\} \quad (3.25)$$

Tendo em vista (3.12) e (3.13) obter-se-ã a matriz $|B_n|$, dada por

$$|B_n| = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & -2\tau_2 & 2\tau_2 & -6(\tau_1 - \tau_3) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 2\tau_1 & 6(\tau_1 - \tau_3) & -2\tau_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & -2(\tau_1 - \tau_2) & 2(\tau_2 - \tau_3) & -2(2\tau_1 - \tau_3) \end{vmatrix} \quad (3.26)$$

Substituindo (3.25) em (3.24) obter-se-ão finalmente as deformações generalizadas em coordenadas naturais

$$\{\epsilon\} = |\bar{T}| |B_n| \{\alpha\} \quad (3.27)$$

3.2.1 - Matriz de Rigidez do Elemento T9

A matriz de rigidez de um elemento genérico, de acôrdo com o Capítulo II (2.13), é dada por:

$$|K| = \int_S |B|^T |E| |B| ds \quad (3.28)$$

A matriz $|B|$ que relaciona as deformações generalizadas com os deslocamentos nodais é definida tendo em vista (3.19), (3.24) e (3.25), por

$$|B| = |\bar{T}| |B_n| |C| \quad (3.29)$$

Substituindo (3.29) em (3.28) obter-se-á

$$|K| = |C|^T \left\{ \int_S |B_n|^T |H| |B_n| ds \right\} |C| \quad (3.30)$$

onde

$$|H| = |\bar{T}|^T |E| |\bar{T}| \quad (3.31)$$

Considerando agora as equações (3.20) e (3.30), pode-se escrever:

$$|K_\alpha| = \int_S |B_n|^T |H| |B_n| ds \quad (3.32)$$

A matriz $|B_n|$ (dada em 3.26) pode ser particionada

em

$$|B_n| = \begin{vmatrix} |0|^{3 \times 3} & |B_n|_1^{3 \times 3} & |B_n|_2^{3 \times 3} \end{vmatrix} \quad (3.33)$$

daí resultando finalmente que

$$|K_\alpha| = \begin{vmatrix} |0| & |0| & |0| \\ S |B_n|_1^T |H| |B_n|_1 & |B_n|_1^T |H| \int_S |B_n|_2 ds \\ \text{SIM.} & \int |B_n|_2^T |H| |B_n|_2 ds \end{vmatrix} \quad (3.34)$$

A matriz $|K_\alpha|$ encontra-se em forma explicitada na subrotina RIMAE, sendo a programação da matriz $|K|$ feita também nesta subrotina.

3.2.2 - Matriz de Massa do Elemento T9

A expressão que fornece a matriz de massa consistente de um elemento genérico $\bar{e}$, de acordo com (2.19)

$$|M| = h \iint_S |\bar{N}|^T |\mu| |\bar{N}| ds \quad (3.35)$$

onde $|\bar{N}|$ é a matriz que relaciona os deslocamentos no interior do elemento com os deslocamentos nodais, sendo os primeiros definidos como:

$$\{\delta\} = \begin{Bmatrix} W \\ W_{,x} \\ W_{,y} \end{Bmatrix} \quad (3.36)$$

Pode-se, com auxílio das equações (3.11), (3.12) e (3.36), relacionar os deslocamentos no interior do elemento em coordenadas cartesianas com os deslocamentos no interior do elemento em coordenadas naturais.

$$\{\delta\} = [\theta] \{\delta_n\} \quad (3.37)$$

onde

$$[\theta] = \frac{1}{2S} \begin{vmatrix} 2S & 0 & 0 \\ 0 & y_{23} & y_{31} \\ 0 & x_{32} & y_{13} \end{vmatrix} \quad (3.38)$$

e tendo em vista (3.12), (3.19) e (3.37) pode-se escrever finalmente

$$\{\delta\} = [\theta] [\bar{\phi}_n] [C] \{q\} \quad (3.39)$$

Comparando com (3.36) e substituindo em (3.35), vi
rã

$$[M] = h [C]^T \left\{ \iint_S [\bar{\phi}_n]^T [\theta]^T [\mu] [\theta] [\bar{\phi}_n] ds \right\} [C] \quad (3.40)$$

No caso em que não são levados em conta os termos referentes a inércia de rotação a equação (3.40) se simplifica e pode-se escrever simplesmente

$$|M| = h p |C|^T \left\{ \int \int_S |\phi_n|^T |\phi_n| ds \right\} |C| \quad (3.41)$$

Esta matriz encontra-se em forma explicitada no Apêndice A. A programação da matriz de massa sem levar em conta os termos de inércia de rotação se encontra na subrotina RIMAE. As parcelas correspondentes a inércia de rotação se encontram na subrotina INFRO.

3.2.3 - Consideração sobre a Convergência do Método para o Elemento em Questão

O campo de deslocamentos especificado em (3.8) contém um polinômio completo do 2º grau que, como vimos no Capítulo II é condição suficiente para satisfazer o critério de completude.

No que se refere a condição de compatibilidade verifica-se que o deslocamento transversal ao longo de um lado comum a dois elementos é perfeitamente caracterizado por parâmetros nodais associados ao lado comum. Entretanto, o mesmo não se verifica para a derivada normal. Portanto o elemento aqui apresentado é um elemento não conforme.

3.3 - Elemento Retangular - R12

Considere-se o elemento retangular de lados a e b , mostrado na fig.(3.3), composto de quatro pontos nodais e três deslocamentos por ponto nodal.

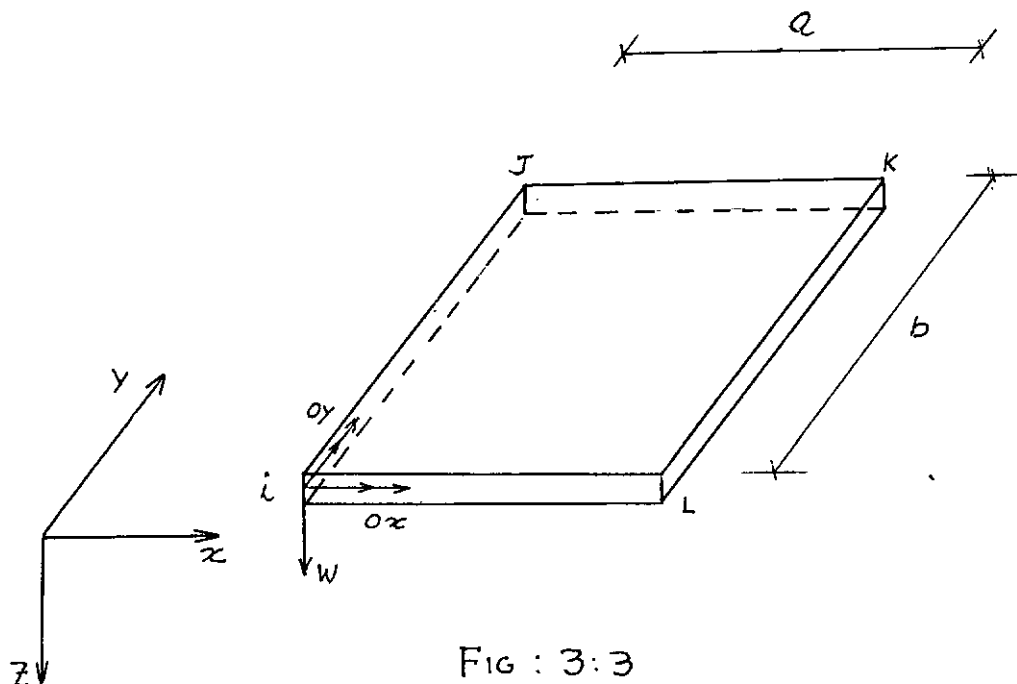


FIG : 3:3

Os deslocamentos nodais considerados serão o deslocamento transversal w e as rotações θ_x e θ_y . Para um ponto genérico i , estes deslocamentos reúnem-se no vetor

$$\{q_i\} = \begin{Bmatrix} w \\ \theta_x \\ \theta_y \end{Bmatrix}_i \quad (3.42)$$

com

$$\theta_x = -W_{,y} \quad \theta_y = W_{,x}$$

Este elemento, que também é conhecido por ACM, foi inicialmente elaborado por A. Adini e R.W. Clough, definindo o campo de deslocamentos a partir de um polinômio de 3^o grau e mais dois termos de 4^o grau, de tal maneira que se tenham 12 constantes relacionadas aos 12 parâmetros nodais do elemento.

$$W = [\phi] \{\alpha\} \quad (3.43)$$

onde

$$[\phi] = [1 \ x \ y \ x^2 \ xy \ y^2 \ x^3 \ x^2y \ y^2x \ y^3 \ x^3y \ yx^3] \quad (3.44)$$

É interessante notar que os termos de 4^o grau x^3y e yx^3 foram escolhidos de modo a preservar a simetria do campo de deslocamentos e que, ao longo de um lado do elemento a variação de W seja no máximo cúbica de modo a preservar a compatibilidade do deslocamento W ao longo de um lado comum a dois elementos.

Independentemente a este desenvolvimento R.J.Melosh desenvolveu este elemento utilizando funções de interpolação.

O desenvolvimento deste último elemento encontra-se detalhadamente em [11], [6], pelo que não será feito neste trabalho. Apenas a matriz de massa encontra-se explicitada no Apên-

dice B.

Quanto aos critérios de convergência, o que foi dito anteriormente para o elemento triangular também se aplica neste elemento. Portanto este será um elemento completo e não conforme.

No programa elaborado as matrizes de rigidez e de massa encontram-se explicitadas nas subrotinas RIREC e MAREC respectivamente.

3.4 - Elemento Retangular (R16)

Considere-se o elemento retangular de lados a e b, mostrado na fig. (3.4), composto de 4 pontos nodais e 4 deslocamentos por ponto nodal.

Para um nó genérico i os deslocamentos nodais considerados são

$$\{q_i\} = \begin{Bmatrix} W \\ W,y \\ W,x \\ W,xy \end{Bmatrix} \quad (3.45)$$

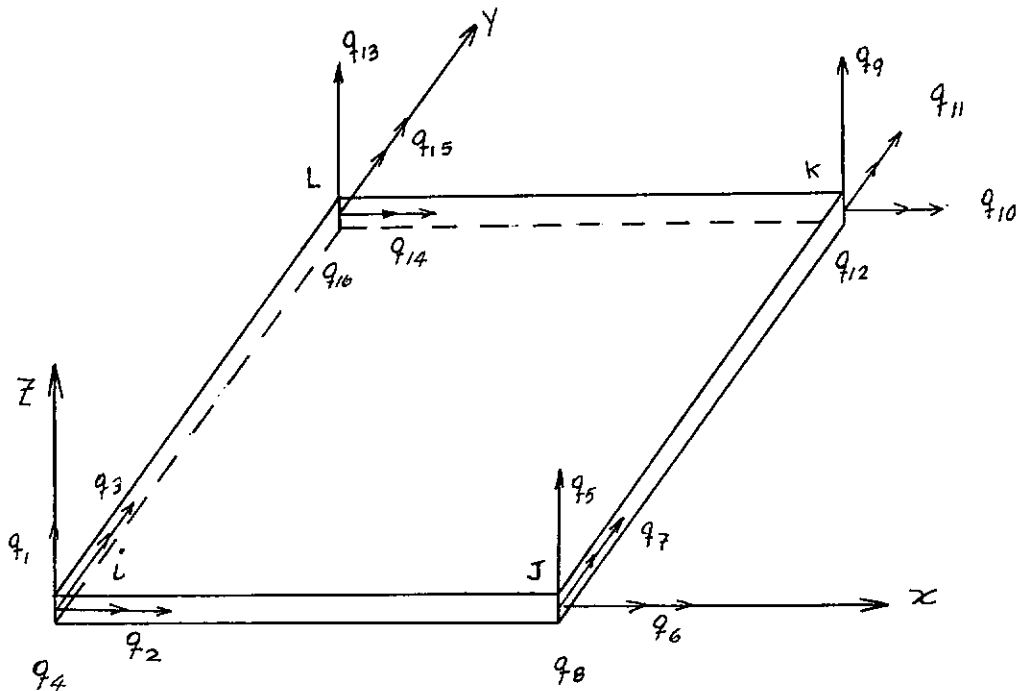


FIG: 3.4

Pode-se expressar o campo de deslocamentos por meio de um polinômio contendo 16 termos correspondentes aos 16 parâmetros nodais.

$$W = [\phi] \{\alpha\} \quad (3.46)$$

$$[\phi] = [1|x|y|x^2|xy|y^2|x^3|x^2y|xy^2|y^3|x^3y|x^2y^2|x^3y^2|x^2y^3|x^3y^3|xy^3] \quad (3.47)$$

Os termos acrescentados ao polinômio completo de 3º grau são de tal maneira a permitir no máximo uma variação cúbica, do deslocamento transversal e da derivada normal, ao longo de um lado do elemento, sendo que agora, com a introdução da derivada cruzada como parâmetro nodal, o deslocamento transversal e sua

derivada normal ao longo de um lado comum a dois elementos ficam completamente caracterizados pelos parâmetros nodais associados ao lado comum. Portanto este elemento é um elemento conforme.

O elemento em questão foi formulado originalmente por Bogner, et al. (13) que usaram funções de interpolação para caracterizar o deslocamento W em função dos deslocamentos nodais.

$$W = \{N\}^T \{q\} \quad (3.48)$$

Estas funções de interpolação podem ser obtidas pelo produto apropriado das funções de interpolação cúbicas de uma viga e que são dadas por:

$$f_1(x) = 1 - \frac{3x^2}{a^2} + \frac{2x^3}{a^3}$$

$$f_2(x) = \frac{3x^2}{a^2} - \frac{2x^3}{a^3}$$

$$g_1(x) = x - \frac{2x^2}{a} + \frac{x^3}{a^2}$$

$$g_2(x) = -\frac{x^2}{a} + \frac{x^3}{a^2}$$

onde as funções $f(x)$ correspondem aos deslocamentos transversais e as funções $g(x)$ a rotações como mostra a fig. (3.4)

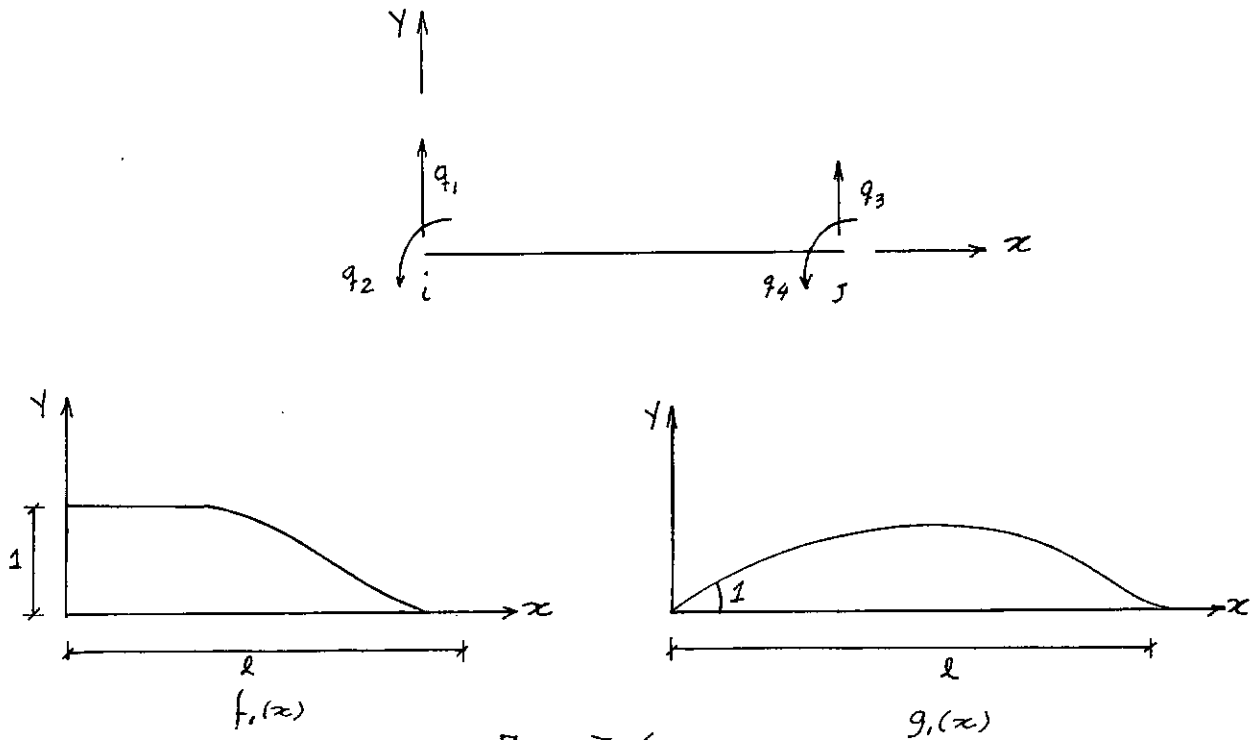


FIG: 3.4

A seguir são apresentadas as funções de interpolação para o elemento de placa em análise (12).

As funções $f(x)$ e $g(x)$ são obtidas em termos de y substituindo x por y e b por a nas expressões em (3.49).

$$\begin{aligned}
 N_1(x,y) &= f_1(x) f_1(y) & N_2(x,y) &= f_1(x) g_1(y) \\
 N_3(x,y) &= -g_1(x) f_1(y) & N_4(x,y) &= -g_1(x) g_1(y) \\
 N_5(x,y) &= f_2(x) f_1(y) & N_6(x,y) &= f_2(x) g_1(y) \\
 N_7(x,y) &= -g_2(x) f_1(y) & N_8(x,y) &= -g_2(x) g_1(y) \\
 N_9(x,y) &= f_2(x) f_2(y) & N_{10}(x,y) &= f_2(x) g_2(y) \\
 N_{11}(x,y) &= -g_2(x) f_2(y) & N_{12}(x,y) &= -g_2(x) g_2(y) \\
 N_{13}(x,y) &= f_1(x) f_2(y) & N_{14}(x,y) &= f_1(x) g_2(y) \\
 N_{15}(x,y) &= -g_1(x) f_2(y) & N_{16}(x,y) &= -g_1(x) g_2(y)
 \end{aligned} \tag{3.50}$$

3.4.1 - Matrizes de Rigidez e de Massa - Vetor das Cargas Consistentes Equivalentes

A derivação das matrizes de rigidez e de massa e do vetor das cargas nodais equivalentes segue o mesmo desenvolvimento feito no Capítulo II, sendo suas expressões dadas por (2.10), (2.11) e (2.12) aqui repetidas

$$|K| = D \int_0^b \int_0^a \{ \{N_{,xx}\} \{N_{,xx}\}^T + 2\nu \{N_{,xx}\} \{N_{,yy}\}^T + \\ + 2(1-\nu) \{N_{,xy}\} \{N_{,xy}\} + \{N_{,yy}\} \{N_{,yy}\}^T \} dx dy \quad (3.51)$$

$$|M| = h \rho \int_0^b \int_0^a \{ \{N\} \{N\}^T + i_y \{N_{,x}\} \{N_{,x}\}^T + i_x \{N_{,y}\} \{N_{,y}\}^T \} dx dy \quad (3.52)$$

$$|A| = \int_0^b \int_0^a p(x,y) \{N\} dx dy \quad (3.53)$$

Desprezando o efeito da inércia de rotação a matriz de massa fica simplificada para

$$|M| = h \rho \int_0^b \int_0^a \{N\} \{N\}^T dx dy \quad (3.54)$$

No caso de uma carga concentrada P normal ao plano médio da placa o vetor de cargas equivalentes será dada por:

$$|A| = P \{N\} \quad (3.55)$$

As matrizes de rigidez e de massa encontram-se em forma explicitada nas subrotinas RIR16 e MAR16 respectivamente.

No que se refere a convergência do elemento para solução exata no caso das frequências da placa, ela ocorrerá por valores superiores já que, como foi visto, trata-se de um elemento que satisfaz as condições de completitude e de compatibilidade.

IV - VIBRAÇÕES LIVRES

4.1 - Introdução

As oscilações harmônicas de um sistema elástico podem ser produzidas impondo ao sistema, deslocamentos iniciais devidamente escolhidos e logo a seguir liberando-os. O sistema entrará num movimento oscilatório. Este movimento oscilatório é uma propriedade característica do sistema e depende da distribuição da massa e da rigidez. No caso de não haver amortecimento as oscilações continuarão indefinidamente com amplitudes que dependem dos deslocamentos iniciais. O movimento oscilatório ocorre a certas frequências e segue modos de deformação definidos chamados modos normais de vibração. O estudo destas características vibratórias do sistema é um prerequisite para o estudo da resposta dinâmica a uma excitação num sistema elástico quando for utilizado o método da superposição modal.

É conveniente se considerar a análise dinâmica dividida em três partes:

- a) formulação das equações de movimento
- b) cálculo das propriedades vibratórias (vibrações livres)
- c) cálculo da resposta dinâmica a uma carga que varia com o tempo (vibrações forçadas)

4.2 - Formulação das Equações de Movimento

A análise de um sistema estrutural discretizado é considerada linear quando suas relações tensão-deformação e deformação-deslocamento são lineares. Foi visto no segundo capítulo como, a partir destas relações e do Princípio de Hamilton, chega-se para um certo carregamento dinâmico, a um sistema de equações diferenciais lineares que traduzem as equações do movimento de um sistema estrutural discretizado não amortecido. Pode-se assim re-escrever

$$[M] \{\ddot{q}\} + [K] \{q\} = \{A\} \quad (4.1)$$

onde $[M]$ é a matriz de massa, $[K]$ a matriz de rigidez e $\{q\}$, $\{\ddot{q}\}$ são respectivamente os deslocamentos nodais e suas acelerações.

4.3 - Vibrações Livres não Amortecidas

Os modos normais de vibração e as frequências de um sistema dinâmico podem ser determinados resolvendo as equações de movimento do sistema no caso em que não existe amortecimento e não existem forças externas aplicadas. Neste caso as equações de movimento dadas em (4.1) ficam sendo:

$$[M] \{\ddot{q}\} + [K] \{q\} = 0 \quad (4.2)$$

Nas vibrações livres não amortecidas os deslocamentos variam harmonicamente com a mesma frequência e em fase. Es-

crevem-se, portanto, os deslocamentos como

$$\{q\} = \{q_0\} \sin \omega t \quad (4.3)$$

sendo ω a frequência de vibração e $\{q_0\}$ o vetor constituído pelas amplitudes máximas dos deslocamentos $\{q\}$.

A equação (4.3) representa a vibração do sistema num unico modo normal de vibração. O vetor $\{q_0\}$ representa o modo normal e ω é a frequência natural deste modo.

Diferenciando a equação (4.3) e introduzindo-a na equação (4.2) obter-se-á:

$$[K] \{q_0\} = \omega^2 [M] \{q_0\} \quad (4.4)$$

que representa um problema de autovalor e vetor. O autovalor corresponde a frequência natural ao quadrado ω^2 e o autovetor $\{q_0\}$, o modo normal correspondente.

Supondo as frequências ω^2 reunidas na matriz diagonal $[\omega^2] = \begin{bmatrix} \omega_1^2 & \omega_2^2 & \dots & \omega_i^2 & \dots & \omega_n^2 \end{bmatrix}$ e os modos normais na matriz

$$[q_0] = \begin{bmatrix} \{q_0\}_1 & \{q_0\}_2 & \dots & \{q_0\}_i & \dots & \{q_0\}_n \end{bmatrix}$$

o conjunto de equações (4.4) escreve-se

$$[K] [q_0] = [M] [q_0] [\omega^2] \quad (4.5)$$

Na matriz de rigidez $|K|$, e na matriz de massa $|M|$ ficam suprimidas as linhas e colunas correspondentes as direções com deslocamentos prescritos, quando da montagem das matrizes de rigidez e de massa no sistema global. O número de frequências obtidas será, portanto, igual ao número de g. de lib. do sistema idealizado por elementos finitos.

A maioria dos métodos computacionais disponíveis requer o problema de autovalor sob a forma:

$$|A_0| \{q_0\} = \lambda \{q_0\} \quad (4.6)$$

em que $|A_0|$ é simétrica.

Premultiplicando ambos os lados da equação (4.4) por $|M|^{-1}$ e comparando-a com a equação (4.6) ter-se-á que a matriz $|A_0|$ é dada pelo produto matricial $|M|^{-1} |K|$. A matriz $|A_0|$ obtida desta maneira não é simétrica, entretanto, é possível a partir de (4.4) obter-se (4.6) com a matriz $|A_0|$ simétrica como se segue.

$|M|$ pode ser fatorada pela triangularização de Cholesky

$$|M| = |T|^t |T| \quad (4.7)$$

Introduz-se (4.7) em (4.4):

$$|K| \{q_0\} = \omega^2 |T|^t |T| \{q_0\} \quad (4.8)$$

fazendo agora

$$\{p_o\} = |T| \{q_o\} \quad ; \quad \{q_o\} = |T|^{-1} \{p_o\} \quad (4.9)$$

A equação (4.4) fica, depois de premultiplicados ambos os lados por $|T|^{t-1}$

$$|A_o| \{p_o\} = \lambda \{p_o\} \quad (4.10)$$

com

$$|A_o| = |T|^{t-1} |K| |T|^{-1} ; \quad \lambda = \omega^2$$

sendo agora a matriz $|A_o|$ simétrica. O autovetor $\{q_o\}$ é obtido a partir de $\{p_o\}$ através da equação (4.9).

A resolução do problema de autovalor como expresso em (4.4) é feito no programa elaborado através das subrotinas EIGEN e NROOT do 1130 Scientific Subroutine Package.

A transformação da equação (4.4) em (4.10) é feita na subrotina NROOT e a obtenção dos autovalores e vetores como expressos em (4.10) é feita na subrotina EIGEN. O método utilizado pela subrotina EIGEN é o método de Jacobi que através de rotações apropriadas vai tornando os elementos fora da diagonal principal da matriz simétrica $|A_o|$ nulos enquanto que os valores da diagonal principal resultam sendo os autovalores [16].

Para utilização das subrotinas acima mencionadas

as matrizes $|K|$ e $|M|$ tem que ser simétricas, sendo $|M|$ positiva e definida o que sempre ocorre nos sistemas estruturais.

Um estudo detalhado sobre os diversos métodos para o cálculo dos autovalores e vetores como expressos em (4.4) é apresentado por Clough (14) e por Weaver e Yoshida (12).

4.4 - Resultados

As propriedades vibratórias de uma placa quadrada e de uma placa circular (ambas de concreto armado) são obtidas com utilização do programa elaborado.

a) Utilizando os elementos apresentados no Capítulo III (R16, R12, T9) foi analisada uma placa quadrada simplesmente apoiada. São apresentados os resultados referentes as primeiras quatro frequências da placa.

Os resultados obtidos se encontram nos quadros (4.41), (4.42), (4.43) e nos gráficos (4.41), (4.42), (4.43), (4.44) é mostrada a convergência dos três elementos para a solução exata.

As constantes do material e as dimensões da placa ensaiada são:

$$E = 2,1 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \qquad h = 0,1 \text{ m} \qquad \nu = 0,18$$

$$a = b = 5,0 \text{ m} \qquad \mu = 0.245 \text{ t seg}^2/\text{m}^4$$

onde μ é a massa específica do material, a e b os lados da placa e h a espessura da placa.

QUADRO 4.41

ELEMENTO TRIANGULAR T9									
MALHA	NG	ω_{11}	ERRO%	ω_{12}	ERRO%	ω_{22}	ERRO%	ω_{13}	ERRO%
(2x2)	7	63,234	-6,78	177,480	4,65	352,546	29,92	411,080	21,19
(3x3)	20	64,546	-4,86	158,694	-6,42	250,469	-7,69	370,911	9,35
(4x4)	39	65,664	-3,21	161,133	-4,98	251,046	-7,48	334,240	-1,4
(6x6)	95	67,008	-1,23	165,784	-2,24	258,183	-4,85	320,680	-5,45
(8x8)	175	66,875	-1,42	167,135	-1,44	262,653	-3,20	331,54	-2,25
EXATA		67,838		169,597		271,355		339,194	

NG - Número de graus de liberdade do sistema estrutural idealizado por elementos finitos.

ω_{ij} -Frequências angulares (rd/seg)

QUADRO 4.2

ELEMENTO RETANGULAR R12									
MALHA	NG	ω_{11}	ERRO%	ω_{12}	ERRO%	ω_{22}	ERRO%	ω_{13}	ERRO%
(2x2)	7	62,464	7,91	178,816	-5,43	377,009	38,93	408,004	20,28
(3x3)	20	64,844	4,41	160,581	5,31	242,177	-10,75	365,557	-7,77
(4x4)	39	66,003	2,70	163,488	3,59	249,932	-7,89	329,652	-2,81
(6x6)	95	67,470	0,54	168,309	0,75	259,379	-4,41	333,004	-1,82
(8x8)	175	67,794	0,06	169,171	0,24	264,013	-2,70	336,199	-0,88
EXATA		67,838		169,597		271,355		339,194	

QUADRO 4.43

ELEMENTO RETANGULAR R16									
MALHA	NG	ω_{11}	ERRO%	ω_{12}	ERRO%	ω_{22}	ERRO%	ω_{31}	ERRO%
(1x1)	4	72,089	6,20	202,739	19,54	318,117	17,23	-	-
(2x2)	16	67,984	0,21	182,115	7,38	288,358	6,26	407,943	20,27
(3x3)	36	67,867	0,04	170,931	0,78	273,171	0,67	370,053	9,10
(4x4)	64	67,847	0,01	170,003	0,24	271,939	0,21	344,313	1,51
(6x6)	144	67,841	0,006	169,683	0,05	271,467	0,04	340,283	0,33
EXATA		67,838		169,597		271,355		339,194	

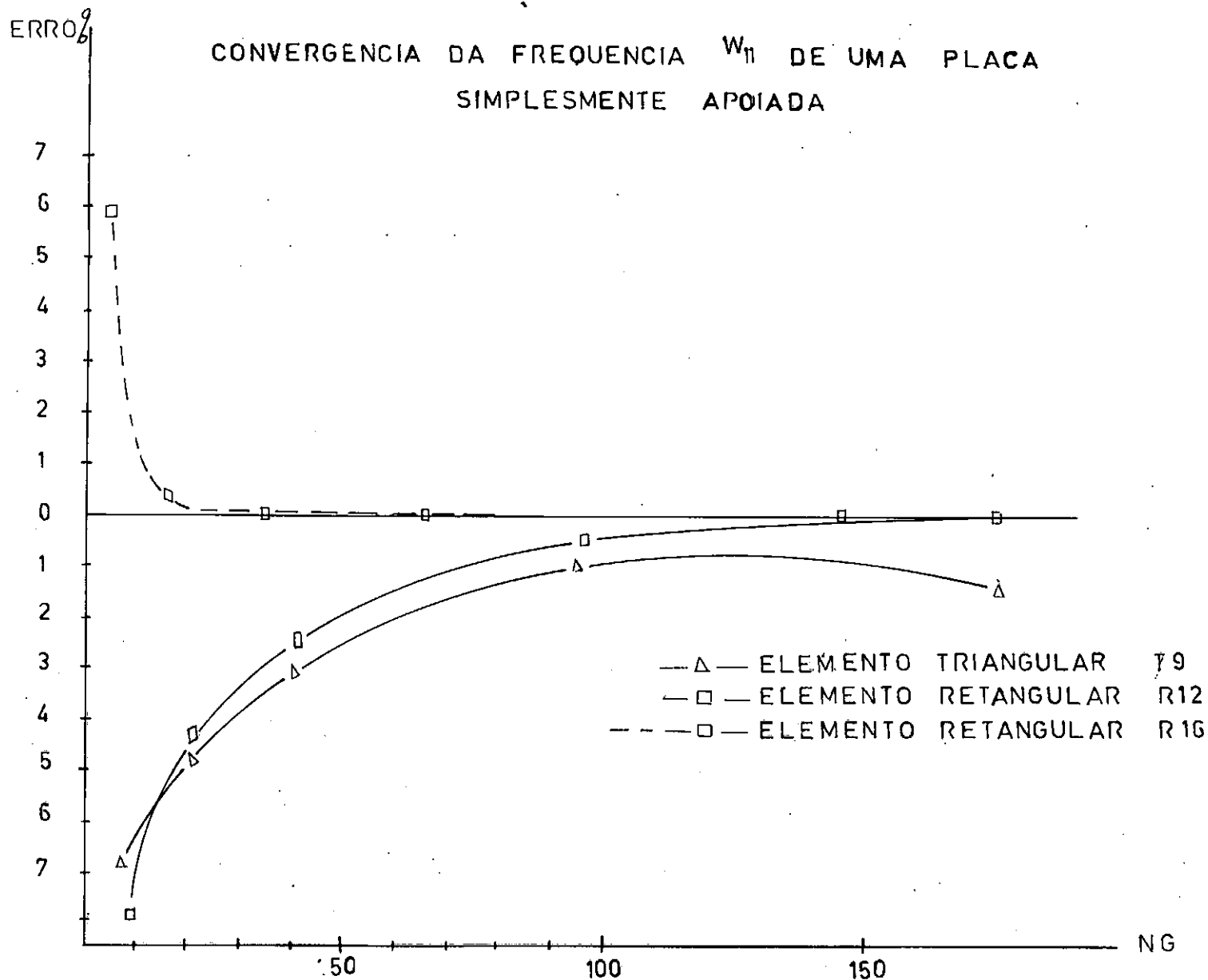


FIG 4.41

CONVERGÊNCIA DA FREQUENCIA $W_{12} = W_{21}$ DE UMA PLACA
SIMPLESMENTE APOIADA

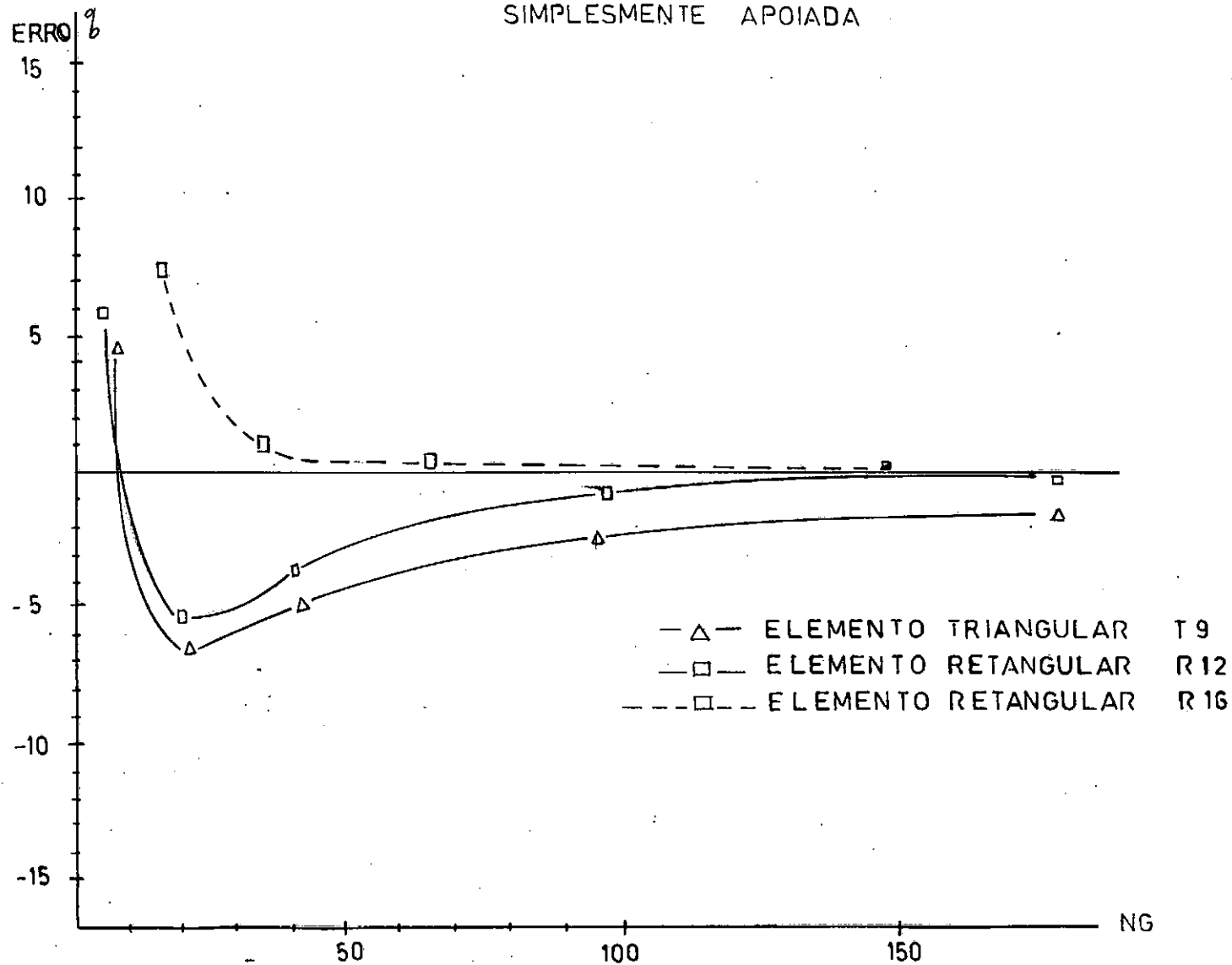


FIG 4.42

CONVERGENCIA DA FREQUECIA $\omega_{13} = \omega_{31}$ DE UMA PLACA
SIMPLISMENTE APOIADA

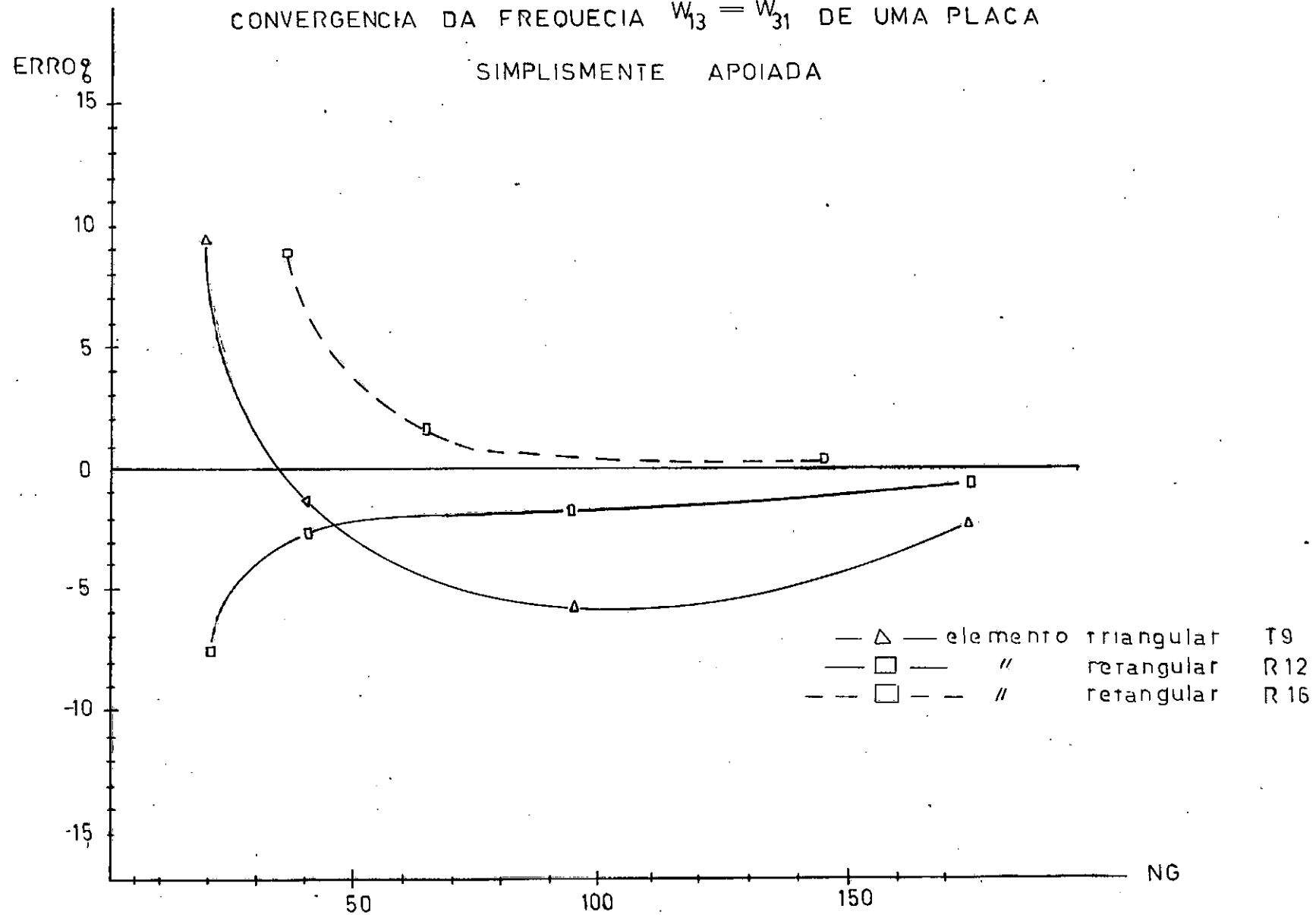


FIG 4.44

CONVERGENCIA DA FREQUENCIA w_{22} DE UMA PLACA SIMPLESMENTE APOIADA

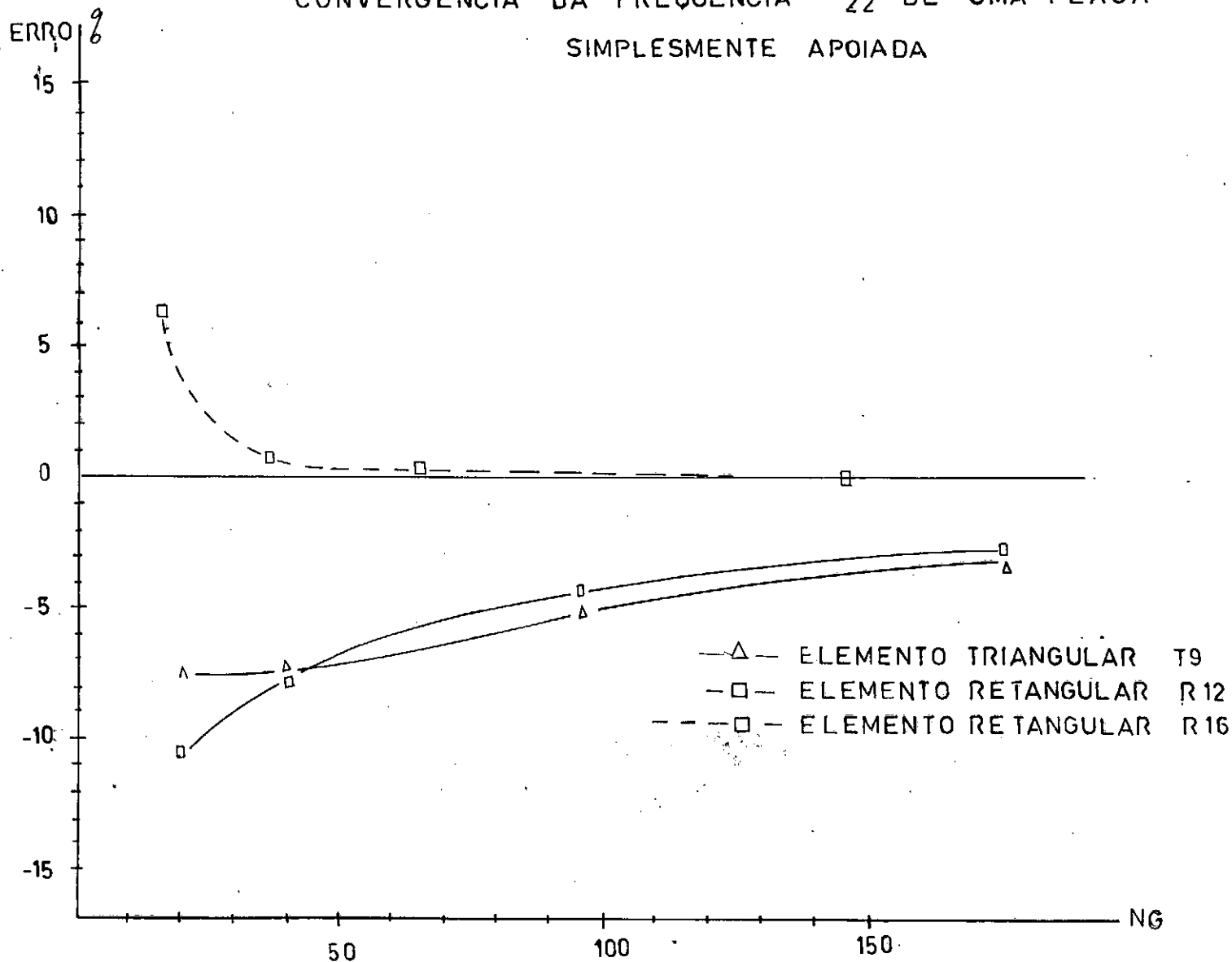
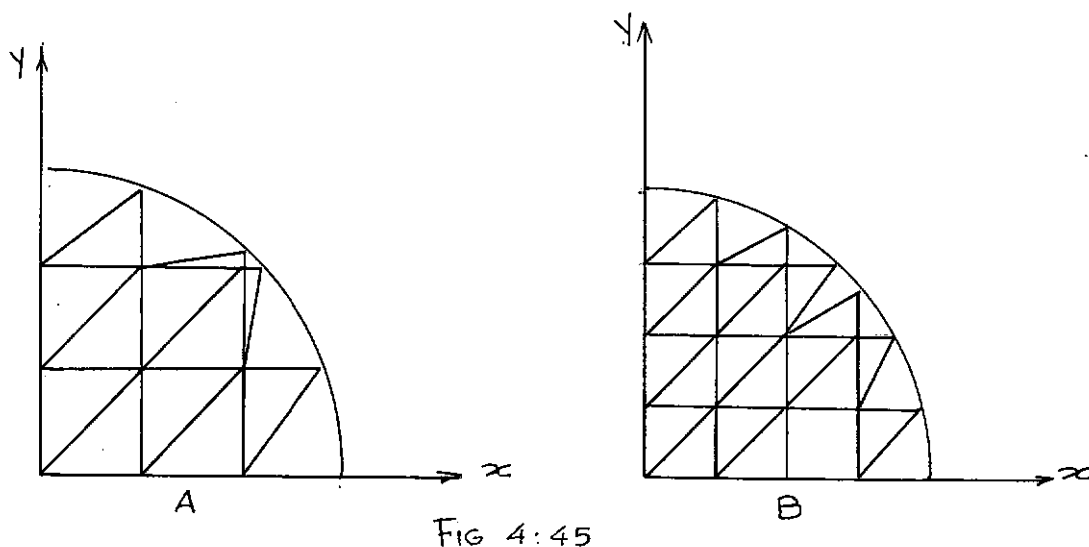


FIG 4.43

b) Utilizando o elemento triangular T9 foi calculada a primeira frequência de uma placa circular engastada cujos resultados são apresentados no quadro (4.44). Foram utilizadas duas malhas mostradas na figura (4.45) e foi feito uso da simetria. Os resultados são comparados com o valor exato obtido por Kirchhoff (17).



As características da placa são as mesmas que o exemplo anterior. O raio da placa é de 4 metros.

QUADRO 4.44

MALHA	NG	ω_{11} (rd/seg)	ERRO %
A	21	54,11	1,42
B	37	53,81	1,89
EXATA		54,85	

4.5 - Conclusões

- a) Os resultados mostram claramente a superioridade do elemento mais refinado R16 em relação aos outros. A comparação é feita tendo em vista o número de graus de liberdade, já que em termos comparativos de memória e tempo de computação é o fator mais importante.
- b) No elemento retangular R16 é possível garantir, que o sentido de convergência para a solução exata se dá por valores superiores, já que se trata de um elemento conforme. O mesmo não pode ser dito dos elementos R12 e T9 e como pode ser visto nos gráficos 4.42 e 4.44 pode inclusive convergir oscilando em tôrnio da solução exata.
- c) Comparando os elementos T9 e R12 verificamos que o elemento retangular apresenta melhores resultados, mesmo quando é feita a comparação tendo em vista o número de graus de lib. o que corresponde para uma mesma malha a dois elementos triangulares para cada elemento retangular.
- d) A grande vantagem do elemento triangular é sua aplicação no caso de placas com contornos irregulares, como foi visto no exemplo apresentado de uma placa circular.
- e) Finalmente a análise de vibrações forçadas pelo método da superposição nodal requer o conhecimento prévio das propriedades vibratórias de sistema. Portanto é necessário obter um certo número de frequências e modos normais com uma precisão razoável. No presente trabalho e com o computador utilizado sô foi

possível resolver o problema de vibrações forçadas utilizando o elemento mais refinado R16.

V - VIBRAÇÕES FORÇADAS

5.1 - Introdução

A resposta dinâmica a uma excitação conhecida em função do tempo é o problema a ser abordado neste capítulo e seu estudo será dividido em duas partes:

- a) Resposta dinâmica a uma carga numa posição fixa cuja ordenada varia com o tempo.
- b) Resposta dinâmica a uma carga cuja posição varia com o tempo (carga móvel).

O estudo em ambos casos será feito tanto para uma carga concentrada como para uma carga uniformemente distribuída.

A solução do sistema de equações diferenciais lineares pode ser obtida através de métodos de integração numérica ou, como foi feito no presente trabalho, utilizando o método da superposição modal.

No método da superposição modal é necessário o conhecimento prévio das frequências e modos normais de vibrações do sistema estrutural. Os métodos de integração numérica dispensam o conhecimento das características dinâmicas e são indispensáveis no tratamento de problemas dinâmicos não lineares. Entretanto, os resultados obtidos são menos exatos (12).

5.2 - Método da Superposição Modal

O conceito básico do método da superposição modal consiste em considerar a resposta do sistema como sendo uma combinação linear dos modos normais de vibração. Assim sendo ter-se-á que

$$\{q\} = [q_0] \{\epsilon\} \quad (5.1)$$

onde $\{q\}$ é o vetor dos deslocamentos nodais, $[q_0]$ a matriz cujas colunas são os modos normais de vibração considerados no cálculo da resposta dinâmica e $\{\epsilon\}$ é um vetor constituído por deslocamentos generalizados associados aos modos normais.

Substituindo os deslocamentos nodais, como expressos em (5.1), e suas derivadas nas equações de movimento expressas em (4.1) resultará a seguinte expressão:

$$[M] [q_0] \{\ddot{\epsilon}\} + [K] [q_0] \{\epsilon\} = \{A\} \quad (5.2)$$

Utilizando agora as propriedades de ortogonalidade dos modos normais de vibração, dadas por

$$\begin{aligned} \{q_0\}_n^T [M] \{q_0\}_m &= 0 \\ &\text{para } m \neq n \\ \{q_0\}_n^T [K] \{q_0\}_m &= 0 \end{aligned} \quad (5.3)$$

e premultiplicando a expressão (5.2) por $\{q_0\}_n^T$ obter-se-á, finalmente:

$$\{q_0\}_n^T [M] \{q_0\}_n \ddot{\epsilon}_n + \{q_0\}_n^T [K] \{q_0\}_n \epsilon_n = \{q_0\}_n^T \{A\} \quad (5.4)$$

que representa uma equação diferencial linear correspondente ao n -ésimo modo normal.

Simplificando a expressão em (5.4) ter-se-á:

$$M_n^* \ddot{\epsilon}_n + K_n^* \epsilon_n = A^* \quad (5.5)$$

onde

$$M_n^* = \{q_0\}_n^T [M] \{q_0\}_n$$

$$K_n^* = \{q_0\}_n^T [K] \{q_0\}_n$$

$$A_n^* = \{q_0\}_n^T \{A\}$$

Desta maneira o sistema de equações diferenciais lineares foi desacoplado obtendo-se um conjunto de equações diferenciais lineares independentes sendo que em cada uma das equações está presente o deslocamento generalizado correspondente a um modo normal de vibração.

A equação em (5.5) corresponde ao modo normal n e pode ser integrada através do método da integral de Duhamel obten

do-se:

$$\epsilon_n = \epsilon_n(0) \cos \omega_n t + \dot{\epsilon}_n(0) \omega_n^{-1} \sin \omega_n t + M_n^{-1} \omega_n^{-1} \int_0^t \sin \omega_n (t - \tau) A_n^*(\tau) d\tau \quad (5.7)$$

sendo $\epsilon_n(0)$ e $\dot{\epsilon}_n(0)$ os valores iniciais de ϵ_n e $\dot{\epsilon}_n$.

Assim, podem ser calculados todos os deslocamentos generalizados correspondentes aos modos normais de vibração levados em conta na análise e a partir da eq. (5.1) obter-se-ão os deslocamentos nodais $\{q_0\}$.

Os valores de $\{\epsilon(0)\}$ e $\{\dot{\epsilon}(0)\}$ são obtidos em função dos deslocamentos nodais $\{q(0)\}$ e das velocidades nodais $\{\dot{q}(0)\}$ iniciais, supostas conhecidas através da eq. (5.1) particularizando-se para o tempo $t = 0$ e premultiplicando ambos os lados por $|q_0|^t |M|$, obtendo-se

$$\begin{aligned} \{\epsilon(0)\} &= |M^*|^{-1} |q_0|^t |M| \{q(0)\} \\ \{\dot{\epsilon}(0)\} &= |M^*|^{-1} |q_0|^t |M| \{\dot{q}(0)\} \end{aligned} \quad (5.8)$$

onde $|M^*|^{-1}$ é uma matriz diagonal do tipo

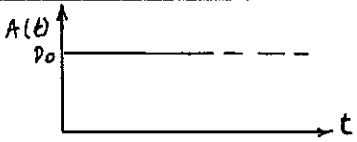
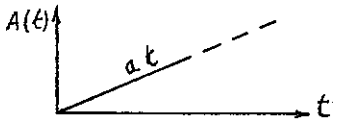
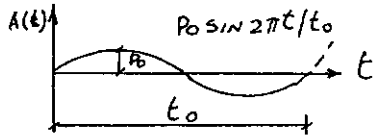
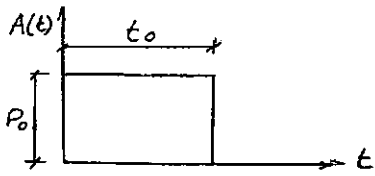
$$|M^*|^{-1} = |M_1^{-1} \quad M_2^{-1} \quad M_3^{-1} \dots M_i^{-1} \dots M_n^{-1}|$$

5.3 - Resposta Dinâmica a uma Carga Cuja Ordenada Varia com o Tempo

Nas soluções práticas a carga dinâmica $A(t)$ e conseqüentemente as cargas generalizadas A_n^* podem ser aproximadas por soluções simples para as quais a integral de Duhamel pode ser determinada exatamente.

Przenieniecki (18) apresenta a solução da integral de Duhamel para uma grande variedade de tipos de variação de $A^*(\tau)$. No programa elaborado foram escolhidos somente alguns tipos de variação de $A^*(\tau)$ cujas integrais de Duhamel se encontram no quadro (5.1). É, entretanto, muito fácil introduzir qualquer outro tipo de variação de $A^*(\tau)$, bastando para isto introduzir na subrotina TFUNC do programa elaborado uma declaração que defina a nova integral de Duhamel.

QUADRO 5.1

TIPO	FUNÇÃO $A^*(\tau)$	$\int_0^t \sin[\omega(t-\tau)] A^*(\tau) d\tau$
1		$\frac{p_0}{\omega} (1 - \cos \omega t)$
2		$\frac{a}{\omega} (t - \frac{\sin \omega t}{\omega})$
3		$\frac{p_0 t_0}{\omega^2 t_0^2 - 4\pi^2} (\omega t_0 \sin 2\pi \frac{t}{t_0} - 2\pi \sin t)$
4		$\frac{p_0}{\omega} (1 - \cos \omega t) \quad t \leq t_0$ $\frac{p_0}{\omega} \cos \omega(t-t_0) - \cos \omega t \quad t \geq t_0$

Quando uma carga concentrada está aplicada num ponto nodal pode-se introduzir esta carga diretamente no vetor de cargas $\{A(t)\}$ global.

Entretanto no caso de uma carga distribuida ou de uma carga concentrada aplicada no interior do elemento é necessário obter-se um vetor de cargas nodais (locais) equivalentes ao nível do elemento e posteriormente introduzi-lo no vetor de cargas global $\{A(t)\}$.

O vetor de cargas nodais equivalentes no caso de uma carga concentrada será dado por:

$$\{A(t)\} = P(t) \{N(x,y)\} \quad (5.9)$$

e no caso de uma carga uniformemente distribuida por

$$\{A(t)\} = P(t) \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} \{N(x,y)\} dx dy \quad (5.10)$$

onde $\{N(x,y)\}$ são as funções de interpolação e x_1, x_2, y_1, y_2 as coordenadas da carga no sistema local do elemento.

Este vetor encontra-se explicitado no Apêndice tanto para a carga concentrada como para a carga distribuida.

Uma vez obtido o vetor de cargas nodais equivalentes global $A(t)$ calculam-se as cargas generalizadas e através da eq. (5.7) obtêm-se os deslocamentos generalizados com os quais através de (5.1) tem-se finalmente os deslocamentos nodais para um instante t dado.

5.4 - Resultados

Para os exemplos apresentados a seguir foram utilizadas as características e dimensões da placa quadrada simplesmente apoiada apresentada no capítulo IV.

No primeiro exemplo apresentado, foi aplicada no meio da placa uma carga concentrada cuja variação com o tempo é do tipo 1 do quadro (5.1). É calculado o deslocamento transversal no meio da placa e é apresentada na fig. (5.1) sua variação com o tempo.

No segundo exemplo a placa é toda carregada com uma carga distribuída uniforme sendo a variação da ordenada da carga a mesma que para o caso da carga concentrada. A variação do deslocamento transversal no meio da placa com o tempo encontra-se na fig. (5.2).

Nos dois exemplos os deslocamentos foram calculados em intervalos de tempo iguais a $T_f/20$, sendo T_f o primeiro período natural da placa.

Nos gráficos apresentados W_d é o deslocamento dinâmico e W_{est} é o deslocamento estático.

DESLOCAMENTO TRANSVERSAL NO MEIO DA PLACA DEVIDO A UMA CARGA DINAMICA

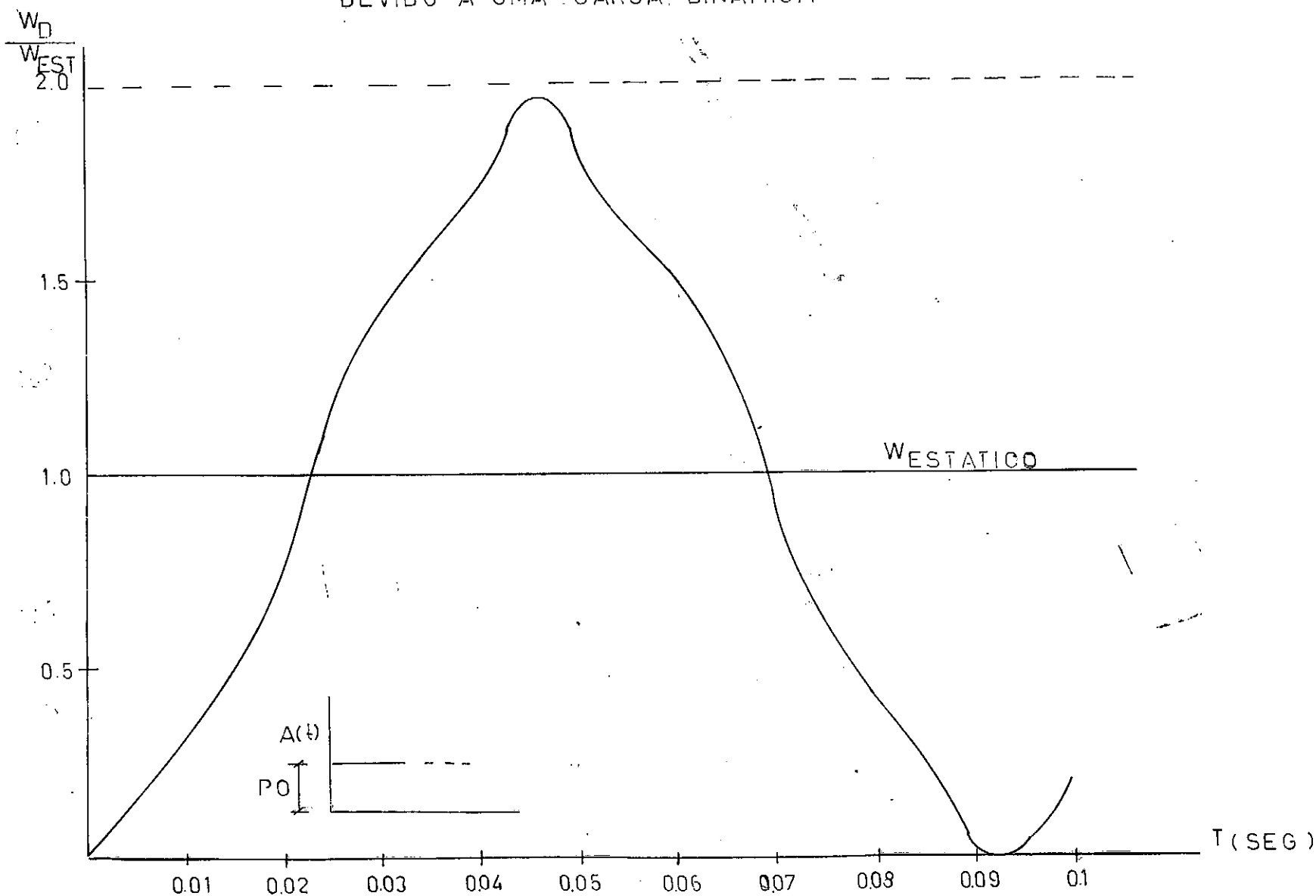


FIG 5:1

DESLOCAMENTO TRANSVERSAL NO MEIO DA PLACA
CARGA DINAMICA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA

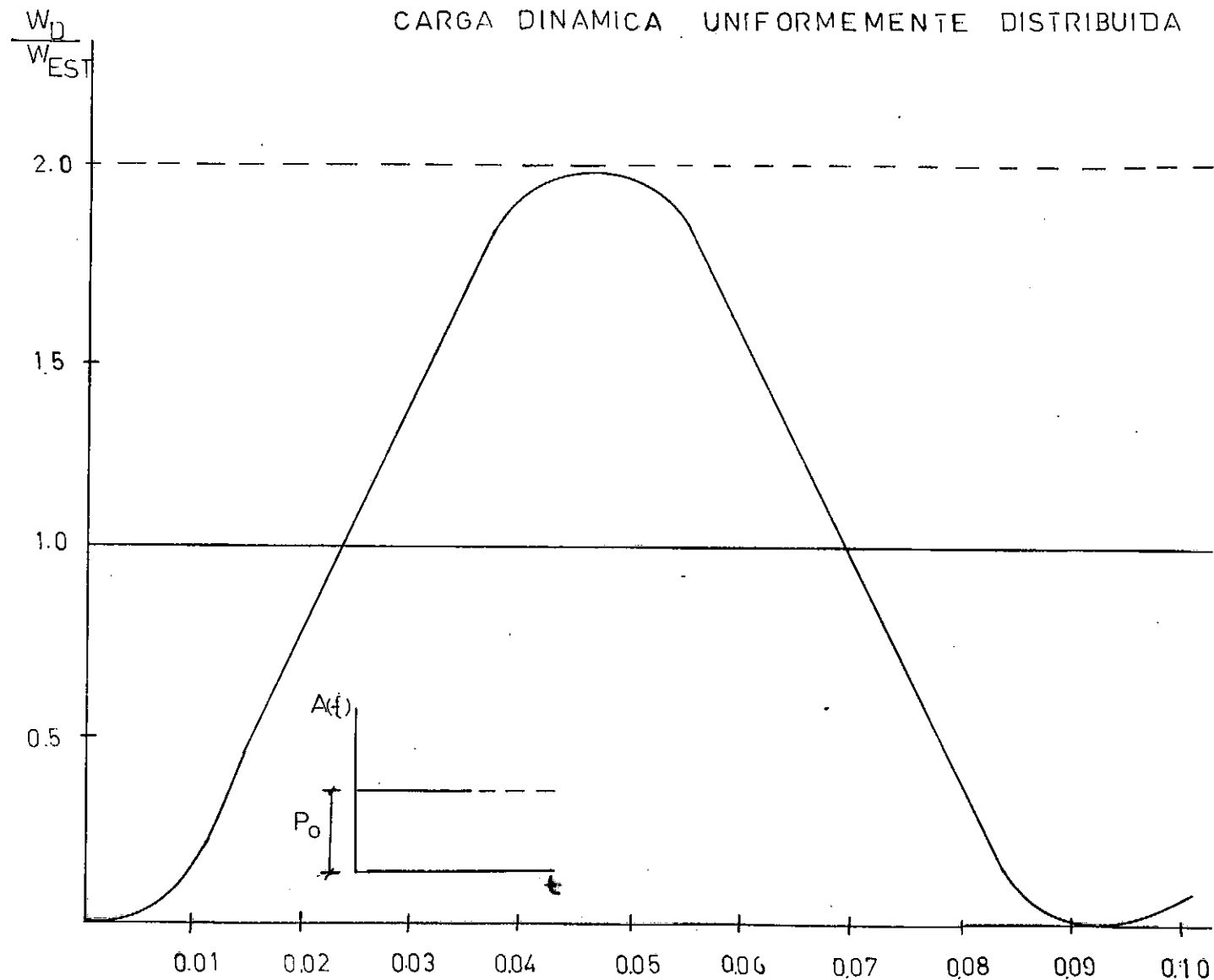


FIG 5:2

5.5 - Resposta Dinâmica a uma Carga Cuja Posição Varia com o Tempo (Carga Móvel)

O problema da carga móvel sempre fornece termos que são independentes dos deslocamentos generalizados. Por isto pode-se aplicar o método da superposição modal para desacoplar o sistema de equações diferenciais lineares resolvendo cada uma das equações separadamente.

Serão estudados aqui dois tipos de carregamento:

- a) Carga concentrada atravessando a placa
- b) Carga distribuída uniforme atravessando a placa

A trajetória da carga móvel foi fixada como sendo sempre paralela ao eixo x . A carga se move na placa a uma velocidade constante sendo que no caso da carga concentrada pode fazê-lo a uma aceleração constante. O tempo que a carga leva para percorrer toda a placa é chamado de tempo de travessia (T_{trav}).

No presente trabalho não foi considerado o amortecimento. Por causa disto, quando a carga deixar a placa as vibrações continuarão indefinidamente.

5.5.1 - Carga Concentrada Móvel

- a) Velocidade constante

A posição da carga móvel é definida por

$$x(t) = V_0 t \quad \text{e} \quad y = y_0 \quad (5.11)$$

sendo V_0 a velocidade e Y_0 a ordenada da trajetória em relação ao eixo local do elemento em que a carga se encontra como mostra a fig. (5.3) na qual a carga passa pelos elementos 3 e 4.

As cargas nodais equivalentes do elemento são dadas por:

$$\{A(t)\} = P\{N\} \quad (5.12)$$

Substituindo as expressões em (5.11) na equação das cargas nodais equivalentes verifica-se que estas cargas nodais tem uma variação cúbica no tempo. Assim sendo, escrever-se-á:

$$\{A(t)\} = P\left[\{\alpha_0\} + \{\alpha_1\}t + \{\alpha_2\}t^2 + \{\alpha_3\}t^3\right] \quad (5.13)$$

Estas cargas nodais equivalentes serão computadas considerando-se tanto a numeração como as características do elemento em que a carga se encontra num instante t genérico e sendo que neste instante haverá no máximo 16 termos do vetor de cargas nodais equivalentes diferentes de zero e correspondentes aos pontos nodais do elemento em que a carga se encontra.

Os vetores $\{\alpha_0\}$, $\{\alpha_1\}$, $\{\alpha_2\}$, $\{\alpha_3\}$ são determinados a partir das expressões (3.50), (5.11), (5.12) e (5.13).

Assim, por exemplo, seja a ação nodal equivalente $A_1(t)$ dada por:

$$A_1(x,y) = P \left(1 - \frac{3x^2}{a^2} + \frac{2x^3}{a^3} \right) \left(1 - \frac{3y^2}{b^2} + \frac{2y^3}{b^3} \right) \quad (5.14)$$

fazendo $x = V_0 t$ e $y = y_0$ na expressão (5.14), virã:

$$A_1(t) = P \left(1 - \frac{3V_0^2 t^2}{a^2} + \frac{2V_0^3 t^3}{a^3} \right) \left(1 - \frac{3y_0^2}{b^2} + \frac{2y_0^3}{b^3} \right) \quad (5.15)$$

Comparando (5.15) com (5.13) e fazendo

$$\gamma_0 = 1 - \frac{3\gamma_0^2}{b^2} + \frac{2\gamma_0^3}{b^3}$$

obter-se-ã:

$$\alpha_0 = \gamma_0 \quad \alpha_1 = 0 \quad \alpha_2 = - \frac{3\gamma_0 V_0^2}{a^2} \quad \alpha_3 = \frac{2\gamma_0 V_0^3}{a^3}$$

referentes a ação nodal equivalente $A_1(t)$. De maneira análoga calculam-se todos os termos dos vetores $\{\alpha_0\}$, $\{\alpha_1\}$, $\{\alpha_2\}$ e $\{\alpha_3\}$.

Tendo em vista que as cargas generalizadas são dadas pela expressão:

$$A_n^* = \{q_0\}_n^T \{A\} \quad (5.16)$$

e levando em conta as eq. (5.7) e (5.13) verifica-se ser necessário integrar expressões do seguinte tipo:

$$\int_0^t A_{i}^*(\tau) \sin \omega_i(t-\tau) d\tau = \int_0^t \left\{ \alpha_{0_i} + \alpha_{1_i} \tau + \alpha_{2_i} \tau^2 + \alpha_{3_i} \tau^3 \right\} \sin \omega_i(t-\tau) d\tau \quad (5.17)$$

Esta integração é feita termo a termo e pode ser encontrada no Apêndice.

Finalmente, é possível escrever a expressão do i -ésimo deslocamento generalizado a partir das expressões (5.7) e (5.17):

$$\begin{aligned} \epsilon_i(t) = & \epsilon_i(0) \cos \omega_i t + \dot{\epsilon}_i(0) \frac{\sin \omega_i t}{\omega_i} + \\ & + \frac{1}{\omega_i M_i^*} \sum_{k=1}^n \{ (q_0)_{k_i} \left[\alpha_{0_k} \left(\frac{1 - \cos \omega_i t}{\omega_i} \right) + \right. \\ & \left. \frac{\alpha_{1_k}}{\omega_i} \left(t - \frac{\sin \omega_i t}{\omega_i} \right) + \frac{\alpha_{2_k}}{\omega_i} \left(t^2 - \frac{2}{\omega_i^2} + \frac{2}{\omega_i^2} \cos \omega_i t \right) + \right. \\ & \left. \left. + \frac{\alpha_{3_k}}{\omega_i} \left(t^3 - \frac{6t}{\omega_i^2} + \frac{6}{\omega_i^3} \sin \omega_i t \right) \right] \right\} P \end{aligned} \quad (5.18)$$

Quando a carga passa de um elemento para outro ocorrem duas mudanças:

- 1) As funções de interpolação e características do novo elemento são utilizadas para computar as cargas nodais equivalentes.
- 2) As condições iniciais associadas ao novo elemento são os deslocamentos e velocidades finais do elemento anterior.

Estas condições iniciais precisam ser obtidas somente em coordenadas generalizadas através da eq. (5.18) e sua derivada primeira em relação ao tempo dada pela seguinte expressão:

$$\begin{aligned}
\dot{\varepsilon}_i(t) = & -\varepsilon_i(0) \omega_i \sin \omega_i t + \dot{\varepsilon}_i(0) \cos \omega_i t + \\
& + \frac{1}{\omega_i M_i^*} \sum_{k=1}^n \{ (q_0)_{k_i} [\alpha_{0k} \sin \omega_i t + \\
& + \frac{\alpha_{1k}}{\omega} (1 - \cos \omega_i t) + \frac{\alpha_{2k}}{\omega} (2t - \frac{2}{\omega_i} \sin \omega_i t) + \\
& + \frac{\alpha_{3k}}{\omega_i} (3t^2 - \frac{6}{\omega_i^2} + \frac{6}{\omega_i^2} \cos \omega_i t)] \} P
\end{aligned} \tag{5.19}$$

b) Aceleração constante

Sendo agora a posição da carga dada por:

$$X(t) = VI_0 + \frac{1}{2} A_0 t^2 \tag{5.20}$$

onde VI_0 é a velocidade inicial e A_0 a aceleração constante.

O desenvolvimento é análogo ao feito para o caso da velocidade constante sendo que agora as ações nodais equivalentes terão uma variação de sexto grau com o tempo, isto é

$$\begin{aligned}
\{A(t)\} = P \{ & \{\alpha_0\} + \{\alpha_1\}t + \{\alpha_2\}t^2 + \{\alpha_3\}t^3 + \{\alpha_4\}t^4 + \\
& + \{\alpha_5\}t^5 + \{\alpha_6\}t^6 \}
\end{aligned} \tag{5.21}$$

Seguindo o mesmo desenvolvimento chega-se as expressões dos deslocamentos e suas velocidades em coordenadas generalizadas:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_i(t) = & \varepsilon_i(0) \cos \omega_i t + \dot{\varepsilon}_i(0) \sin \frac{\omega_i t}{\omega_i} + \\
& + \frac{1}{\omega_i M_i^*} \sum_{k=1}^n \{ (q_0)_{k_i} \left[\alpha_{0k} \left(1 - \frac{\cos \omega_i t}{\omega_i} \right) + \right. \\
& + \frac{\alpha_{1k}}{\omega_i} \left(t - \frac{\sin \omega_i t}{\omega_i} \right) + \frac{\alpha_{2k}}{\omega_i} \left(t^2 - \frac{2}{\omega_i^2} + \frac{2}{\omega_i^2} \cos \omega_i t \right) + \\
& + \frac{\alpha_{3k}}{\omega_i} \left(t^3 - \frac{6t}{\omega_i^2} + \frac{6}{\omega_i^3} \sin \omega_i t \right) + \frac{\alpha_{4k}}{\omega_i} \left(t^4 - \frac{12t^2}{\omega_i^2} + \right. \\
& + \frac{24}{\omega_i^4} - \frac{24}{\omega_i^4} \cos \omega_i t \left. \right) + \frac{\alpha_{5k}}{\omega_i} \left(t^5 - \frac{20t^3}{\omega_i^2} + \frac{120t}{\omega_i^4} - \frac{120}{\omega_i^5} \sin \omega_i t \right) + \\
& \left. + \frac{\alpha_{6k}}{\omega_i} \left(t^6 - \frac{30t^4}{\omega_i^2} + \frac{360t^2}{\omega_i^4} - \frac{720}{\omega_i^6} + \frac{720}{\omega_i^6} \cos \omega_i t \right) \right] \} P \quad (5.22)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\dot{\varepsilon}_i(t) = & - \dot{\varepsilon}_i(0) \omega_i \sin \omega_i t + \varepsilon_i(0) \cos \omega_i t + \\
& + \frac{1}{\omega_i M_i^*} \sum_{k=1}^n \{ (q_0)_{k_i} \left[\alpha_{0k} \sin \omega_i t + \frac{\alpha_{1k}}{\omega_i} (1 - \cos \omega_i t) + \right. \\
& + \frac{\alpha_{2k}}{\omega_i} \left(2t - \frac{2}{\omega_i} \sin \omega_i t \right) + \frac{\alpha_{3k}}{\omega_i} \left(3t^2 - \frac{6}{\omega_i^2} + \frac{6}{\omega_i^2} \cos \omega_i t \right) + \\
& + \frac{\alpha_{4k}}{\omega_i} \left(4t^3 - \frac{24t}{\omega_i^2} + \frac{24}{\omega_i^3} \sin \omega_i t \right) + \frac{\alpha_{5k}}{\omega_i} \left(5t^4 - \frac{60t^2}{\omega_i^2} + \frac{120}{\omega_i^4} - \right. \\
& \left. + \frac{120}{\omega_i^4} \cos \omega_i t \right) + \frac{\alpha_{6k}}{\omega_i} \left(6t^5 - \frac{120t^3}{\omega_i^2} + \frac{720t}{\omega_i^4} - \frac{720}{\omega_i^5} \sin \omega_i t \right) \left. \right] \} P \quad (5.23)
\end{aligned}$$

5.5.2 - Carga Móvel Uniformemente Distribuída

O estudo de carregamentos distribuídos será feito para o caso de uma carga distribuída atravessando a placa a uma velocidade constante e cujas dimensões são limitadas na direção X , por $c \leq a_1$ e $c \leq a_2$ e na direção y , por $d \leq 2b_1$ e $d \leq 2b_2$ como mostra a fig. (5.4). O eixo de simetria da carga distribuída na direção X tem que coincidir com uma linha divisória entre elementos. Assim a carga estará no mínimo em dois elementos e no máximo em quatro elementos.

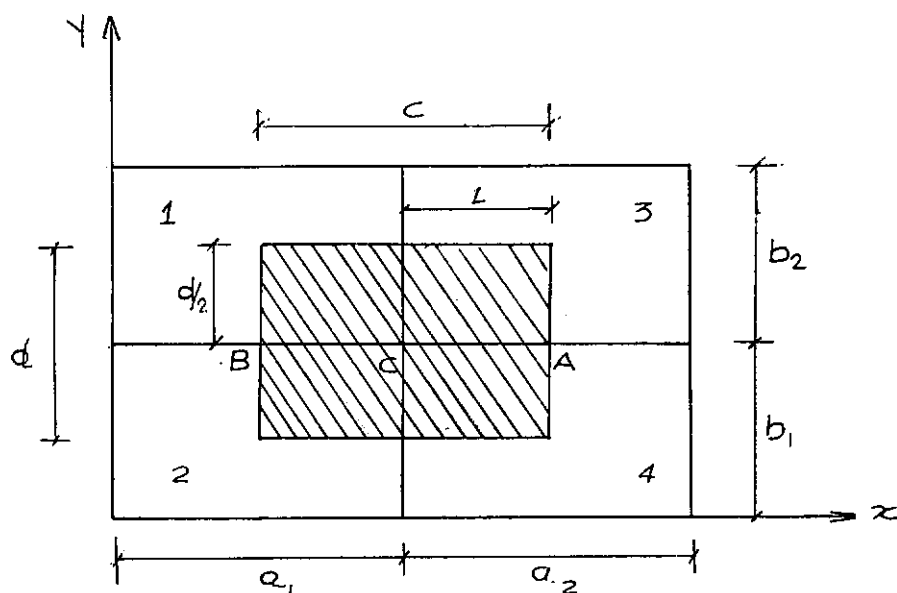


FIG: 5:4

A posição da carga é definida pelo ponto A como sendo $X_A = V_0 t$.

Seja por exemplo o elemento número 4 da fig.(5.4). As cargas nodais equivalentes devidas a parte da carga situada no elemento são dadas pela expressão:

$$\{A\} = p \int_{Y_1}^{Y_2} \int_{X_1}^{X_2} \{N(x,y)\} dx dy \quad (5.19)$$

onde as coordenadas da carga situada no elemento são dadas por:

$$X_2 = V_0 t \quad X_1 = X_2 - L \quad Y_2 = b_1 \quad Y_1 = b_1 - \frac{d}{2}$$

Como vimos anteriormente as funções de interpolação são obtidas pelo produto apropriado de funções cúbicas. Na integração da expressão (5.19) será feito primeiro a integração das funções cúbicas e depois o produto. Integrando as funções cúbicas dadas em (3.49) obter-se-á:

$$\begin{aligned} f_1^*(x) &= \left(x - \frac{x^3}{a^2} + \frac{x^4}{2a^3}\right) \\ f_2^*(x) &= \left(\frac{x^3}{a^2} - \frac{x^4}{2a^3}\right) \\ g_1^*(x) &= \left(\frac{x^2}{2} - \frac{2x^3}{3a} + \frac{x^4}{4a^2}\right) \\ g_2^*(x) &= \left(-\frac{x^3}{3a} + \frac{x^4}{4a^2}\right) \end{aligned} \quad (5.20)$$

Por exemplo a ação nodal equivalente $A_1(x,y)$ é dada, tendo em vista as equações (3.50), (5.19) e (5.20), por

$$A_1(x,y) = p(f_1^*(x_2) - f_1^*(x_1))(f_1^*(y_2) - f_1^*(y_1)) \quad (5.21)$$

Introduzindo agora na eq. (5.21) os valores de

$x_2 = v_0 t$ e $x_1 = x_2 - L$ ter-se-á:

$$A_1(t) = [\alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \alpha_3 t^3]$$

onde

$$\alpha_0 = (L - \frac{L^3}{a^2} - \frac{L^4}{2a^3}) \gamma_0$$

$$\alpha_1 = (\frac{3L^2 v_0}{a^2} + \frac{4L^3 v_0}{2a^3}) \gamma_0$$

$$\alpha_2 = (-\frac{3L v_0^2}{a^2} - \frac{v_0^3}{2a^3}) \gamma_0$$

$$\alpha_3 = (\frac{2v_0^3 L}{a^3}) \gamma_0$$

$$\gamma_0 = (y_2 - y_1) - \frac{(y_2^3 - y_1^3)}{b^2} + \frac{(y_2^4 - y_1^4)}{2b^3}$$

sendo L o comprimento da carga que se encontre no elemento estudado.

De maneira análoga são calculados todos os vetores $\{\alpha_0\}$, $\{\alpha_1\}$, $\{\alpha_2\}$, $\{\alpha_3\}$ referentes as 16 ações nodais equivalentes do elemento em que a carga se encontra. Estes vetores encontram-se explicitados no Apêndice.

Com os vetores alfa calculados os deslocamentos generalizados são obtidos pela eq. (5.18).

Verifica-se que no caso da fig. (5.4) os deslocamentos generalizados serão dados pela soma dos deslocamentos generalizados referentes as parcelas da carga que se encontram nos elementos 1, 2, 3 e 4.

As condições iniciais, quando a carga passa de um elemento para outro, são divididas em dois casos:

- 1) Quando a carga num instante t se encontra em dois elementos si multaneamente.
- 2) Quando a carga num instante t se encontra em 4 elementos como mostra a fig. (5.4).

No primeiro caso as condições iniciais do novo elemento serão os deslocamentos e velocidades finais do elemento anterior obtidas com a carga na posição mostrada na fig. (5.5). No segundo caso o problema é dividido em duas cargas cada uma contida num único elemento e cada uma delas estudada independentemente sendo o resultado final a soma dos deslocamentos devidos as duas cargas.

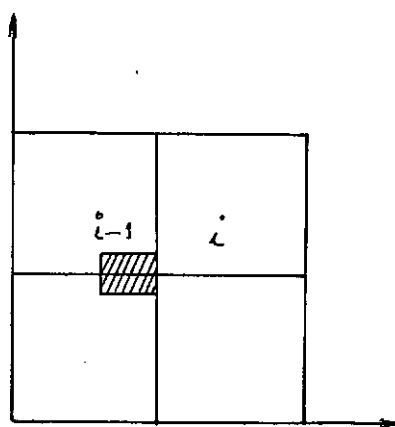


Fig 5.5

5.6 - Resultados e Conclusões

Utiliza-se, para os exemplos apresentados a seguir, a placa quadrada simplesmente apoiada apresentada no Capítulo IV.

a) Carga móvel concentrada

Com o programa elaborado obtem-se a resposta dinâmica a uma carga móvel concentrada unitária atravessando a placa a uma velocidade constante e ao longo da linha de simetria como mostra a fig. (5.12).

Nos gráficos das figs. (5.6), (5.7), (5.8), (5.9) e (5.10) é apresentada a variação do deslocamento transversal no meio da placa para várias relações entre o primeiro período natural da placa e o tempo de travessia (T_f/T_{trav})!

No quadro (5.2) apresenta-se para cada relação $\frac{T_f}{T_{trav}}$, a velocidade da carga é o coeficiente dinâmico de majoração que é, a relação entre o máximo valor do deslocamento dinâmico é o máximo valor do deslocamento estático. Os valores destes coeficientes são comparados com os obtidos por Yoshida e com os obtidos por Wilson e Tsirk (12), os quais são apresentados no quadro (5.2).

Quando a relação t/T_{trav} for maior que 1, a carga encontra-se fora da placa, neste caso as vibrações continuarão indefinidamente.

A linha de influência estática do deslocamento transversal do n.º no meio da placa é apresentada em cada gráfico a título de comparação com os valores dinâmicos.

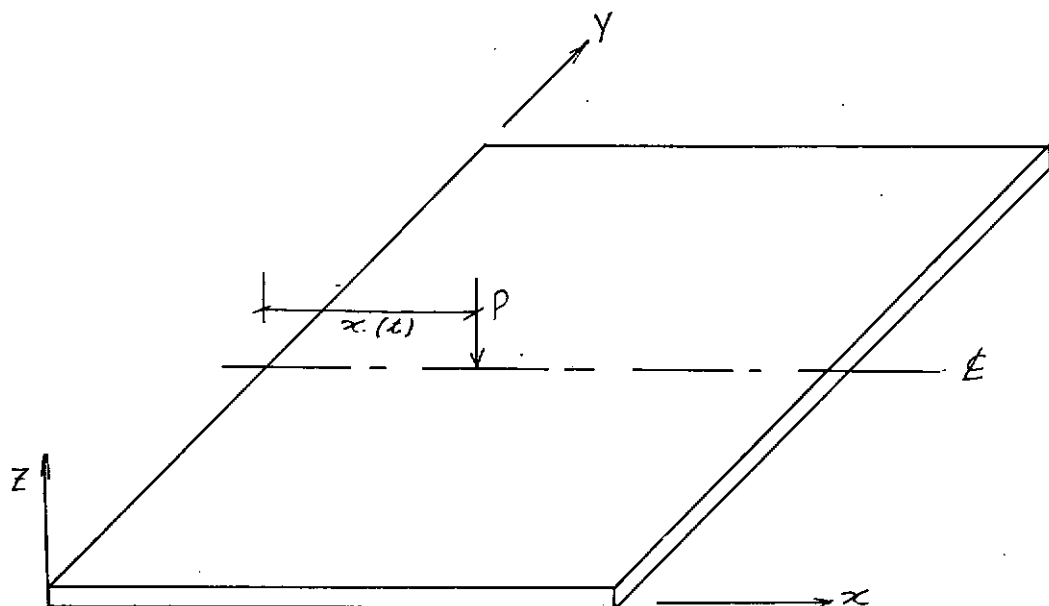


FIG 5.12

b) Carga móvel distribuída

Neste caso a resposta dinâmica é obtida para uma carga móvel distribuída cujo eixo de simetria, paralelo ao eixo dos x , coincide com a linha de simetria da placa.

No gráfico (5.11) apresentam-se as variações dos deslocamentos transversais, no meio da placa, para alguns casos de carga móvel distribuída. Estas cargas distribuídas são equivalentes a uma carga concentrada unitária. A título de comparação apresenta-se no mesmo gráfico os resultados obtidos com a carga móvel concentrada equivalente.

As curvas A, B, C e D no gráfico (5.11) correspondem as cargas mostradas no quadro (5.3).

A curva referente a carga concentrada unitária coincide com a curva A.

Obs: Todos os resultados foram obtidos utilizando cinco modos normais de vibração que influem na análise.

QUADRO 5.2

$\frac{T_f}{T_{trav}}$	VELOCIDADE (m/sec.)	$\frac{t^{**}}{T_{trav}}$	$\frac{t^{***}}{T_{trav}}$	CDM* (Wilson e Tsirt)	CDM** (Yoshida)	CDM ***
0,125	6,78	0,475	0,472	-	1,042	1,014
0,250	13,49	0,450	0,449	1,111	1,088	1,065
0,500	26,99	0,408	0,409	1,216	1,200	1,184
1,000	53,99	0,650	0,650	1,510	1,568	1,572
1,200	64,78	-	0,745	-	-	1,571
1,500	80,98	-	0,879	-	-	1,506
2,000	107,90	0,993	1,001	-	1,390	1,395

* - Valores obtidos por Wilson e Tsirt

** - Valores obtidos por Yoshida

*** - Valores obtidos no presente trabalho

CDM - Relação entre o máximo valor do deslocamento estático e o máximo valor do deslocamento dinâmico.

	ORDENADA DA CARGA	COMPRIMENTO (m)	LARGURA (m)
A	10.000	0,01	0.01
B	1.	1.	1.
C	0.32	1.25	2.5
D	0.16	1.25	5.0

QUADRO 5.3

$\frac{W_D}{W_{EM}}$

DESLOCAMENTO DO NO CENTRAL

CARGA MOVEL CONCENTRADA $\frac{\bar{I}_F}{T_{TRAV}} = 0.125$

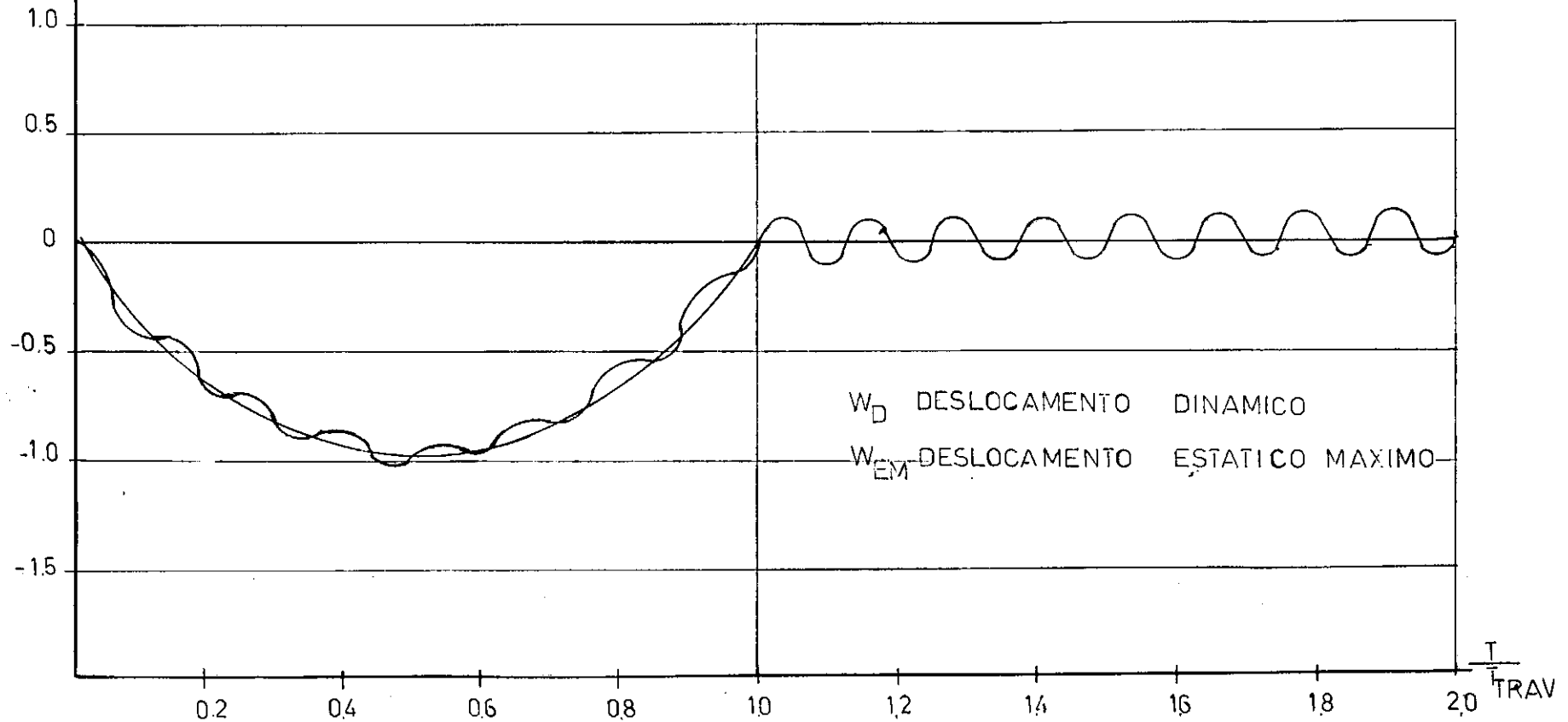


FIG 5.6

$\frac{W_D}{W_{EM}}$

DESLOCAMENTO DO NO CENTRAL

CARGA MOVEL CONCENTRADA $\frac{T_E}{T_{TRAV}} = 0.25$

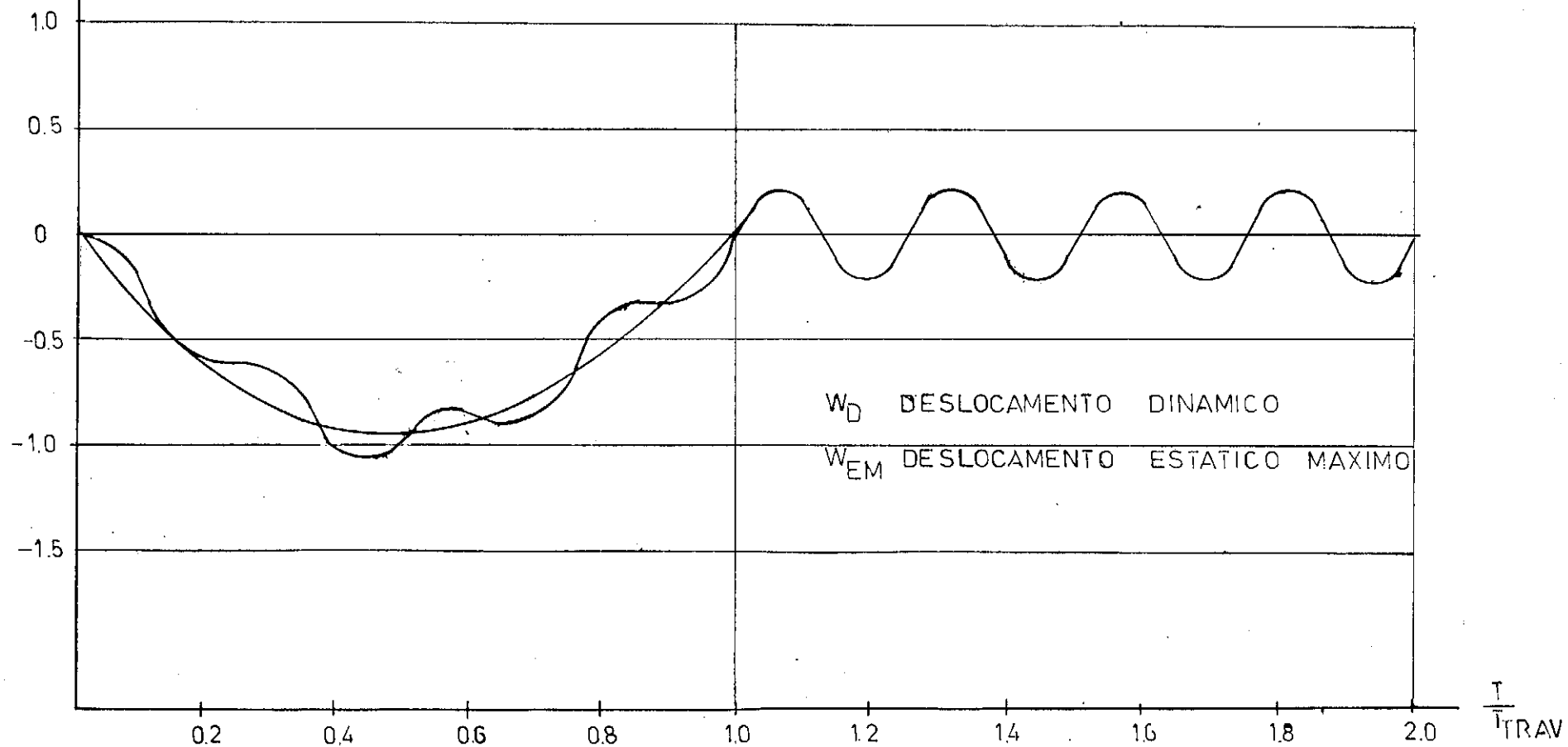


FIG 5:7

DESLOCAMENTO DO NO CENTRAL
 CARGA MOVEL CONCENTRADA $\frac{T_E}{T_{TRAV}} = 0.5$

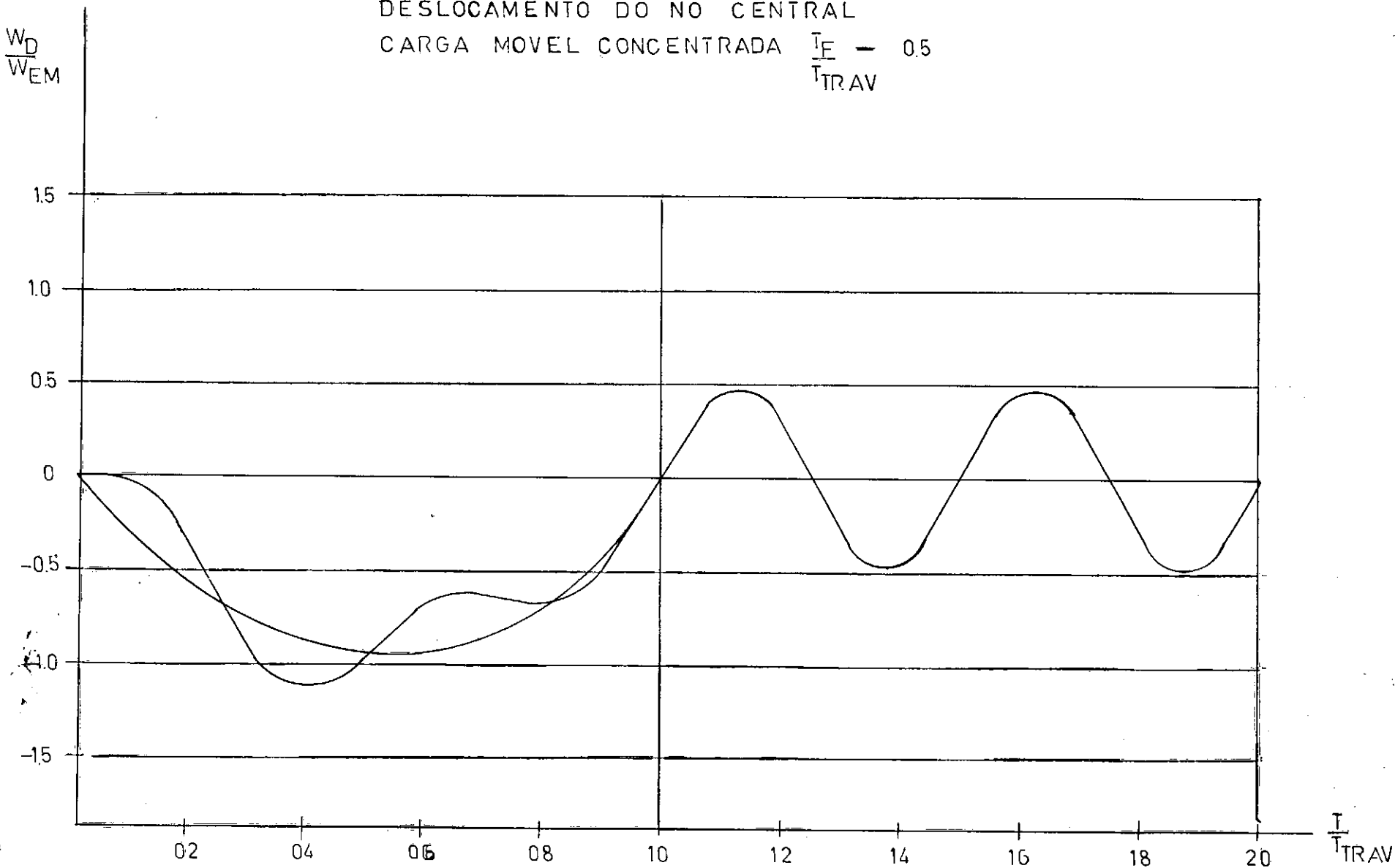


FIG 5.8

DESLOCAMENTO DO NO CENTRAL
 CARGA MOVEL CONCENTRADA $\frac{T_E}{T_{TRAV}} = 10$

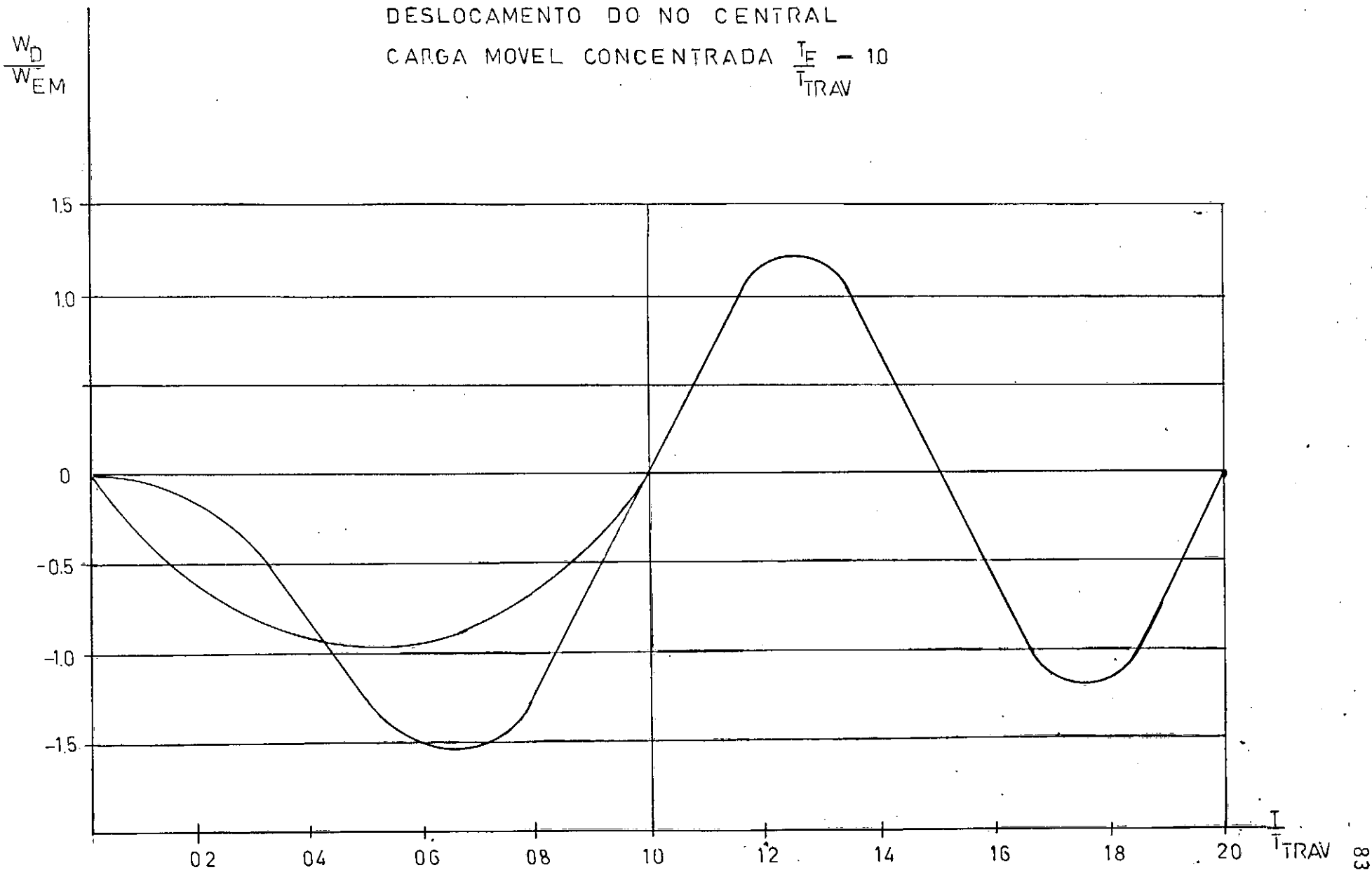


FIG 5.9

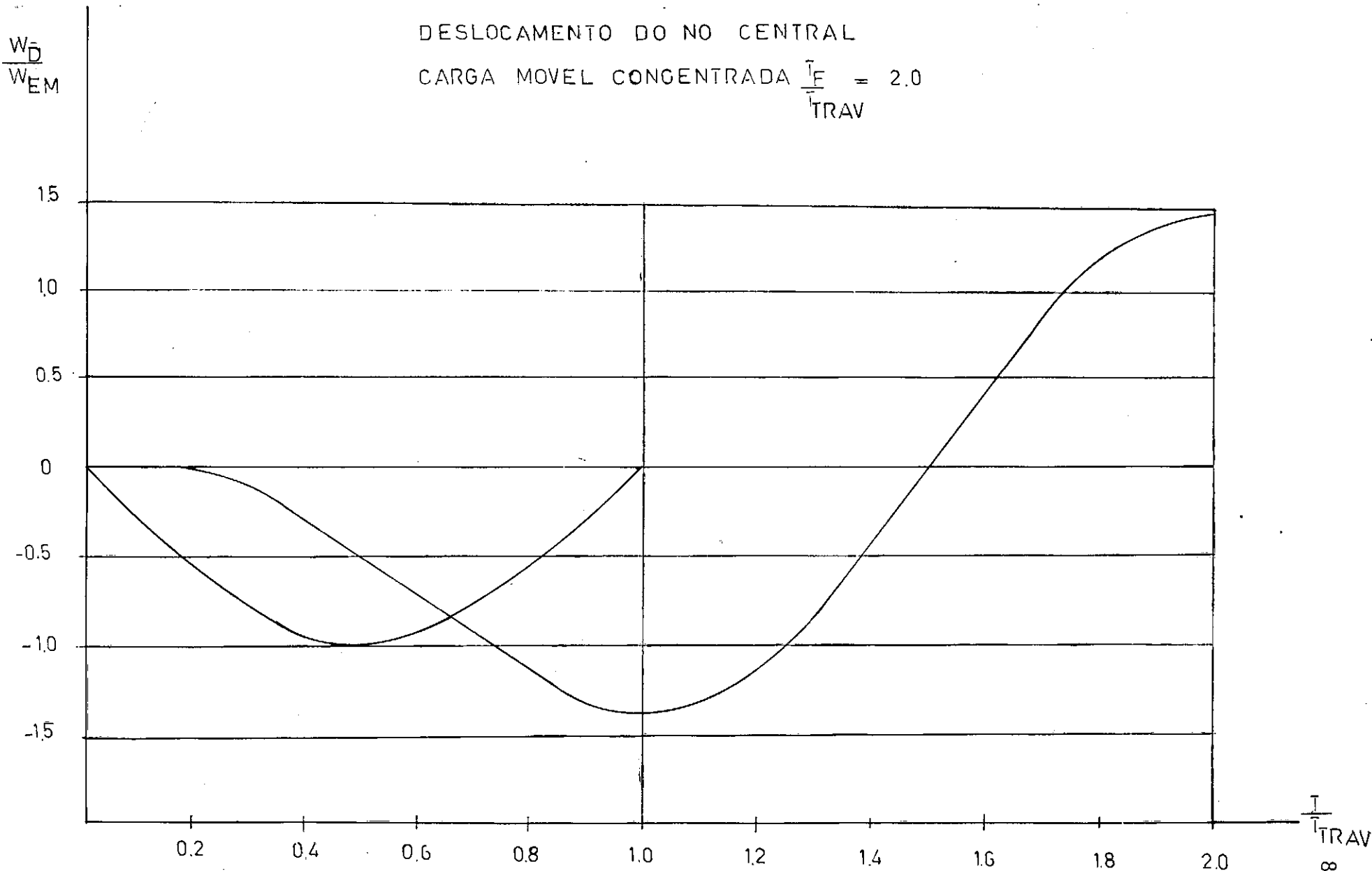


FIG 5.10

RESPOSTA DINAMICA A UMA CARGA MOVEL DISTRIBUIDA

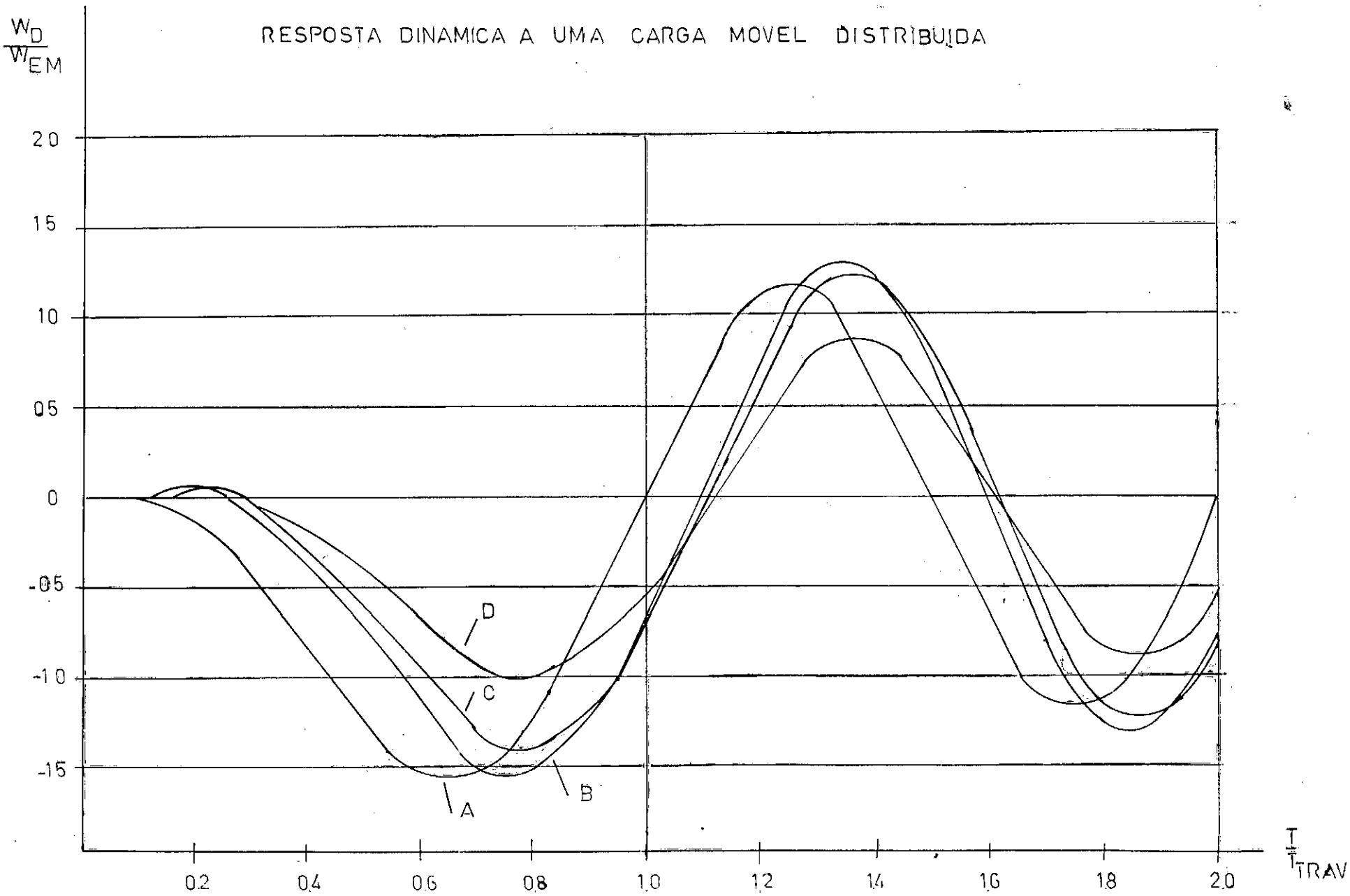


FIG 5.11

VI - PROGRAMA AUTOMÁTICO

6.1 - Considerações Gerais sobre o Programa Elaborado

No presente trabalho foi elaborado um programa automático para um computador IBM 1130-32 K em linguagem FORTRAN IV. O programa compõe-se fundamentalmente de duas partes:

- 1) Cálculo das características dinâmicas da Placa (LINK 1)
- 2) Cálculo da resposta dinâmica a uma excitação que varia com o tempo. (LINK 2).

A capacidade do programa fica limitada pelo número de g. de lib. (NG) da estrutura idealizada por elementos finitos que no máximo pode ser igual a 5.4. O número de g. de lib. é expresso por:

$$NG = NDN * NPN - NR$$

sendo NDN o número de deslocamentos nodais, NPN o número de pontos nodais e NR o número de restrições.

6.2 - Subrotinas que Compõem o Programa

1) Subrotina RIMAE

Esta subrotina tem por finalidade formar as matrizes de massa e de rigidez do elemento triangular (T9).

2) Subrotina INFR0

Esta subrotina forma os têrmos da matriz de massa incluindo a inércia de rotação do elemento (T9).

3) Subrotina MAREC

Forma a matriz de massa do elemento retangular(R12).

4) Subrotina RIREC

Forma a matriz de rigidez do elemento retangular (R12).

5) Subrotina MARIG

Forma a matriz de massa do elemento retangular(R16).

6) Subrotina RIR16

Forma a matriz de rigidez do elemento retangular (R16).

7) Subrotina NROOT

Esta subrotina tem por finalidade a resolução do problema de autovalores e autovetores. Fornece o quadrado das frequências da placa e também os modos normais de vibração.

8) Subrotina DXDXS

Esta subrotina tem por finalidade fazer o desacoplamento do sistema de equações diferenciais lineares.

9) Subrotina LEXL

A finalidade desta subrotina é ler os dados referentes a carga fixa que varia com o tempo, sendo a carga ou concentrada ou distribuída.

10) Subrotina CXCXF

Nesta subrotina é feito o cálculo dos deslocamentos nodais resultantes de uma carga fixa variando com o tempo.

11) Subrotina TFUNC

Nesta subrotina encontram-se os tipos de variação da carga fixa em função do tempo e suas respectivas integrais de Duhamel.

12) Subrotina MXDXC

Calcula o vetor de cargas nodais equivalentes do elemento de uma carga concentrada e de uma carga distribuída uniforme.

13) Subrotina CXNXC

Esta subrotina tem por finalidade a formação do vetor de cargas nodais equivalentes de uma carga fixa variando com o tempo no sistema global.

14) Subrotina CXCXM

Nesta subrotina é feito o cálculo dos deslocamentos nodais resultantes de uma carga concentrada móvel.

15) Subrotina FXAXU

Subrotina auxiliar no cálculo dos deslocamentos generalizados no caso da carga móvel.

16) Subrotina VECON

Esta subrotina tem por finalidade o cálculo da matriz $|\alpha|$ no caso da carga concentrada móvel com velocidade constante.

17) Subrotina ACON

Esta subrotina calcula a matriz $|\alpha|$ no caso da carga concentrada móvel com aceleração constante.

18) Subrotina CXDXM

Nesta subrotina é feito o cálculo dos deslocamentos nodais resultantes de uma carga distribuída móvel.

19) Subrotina CXDXA

Subrotina auxiliar utilizada no caso em que a carga distribuída encontra-se num instante t em 4 elementos como mostra a Fig. 5.4

20) Subrotina VEDIS

Esta subrotina tem por finalidade o cálculo da matriz $|\alpha|$ no caso de uma carga distribuída móvel com velocidade constante.

21) Subrotina LXEXR

Subrotina que lê os dados referentes a carga móvel concentrada e distribuída.

6.3 - Programa Principal

O programa principal segue o esquema apresentado nas figuras (6.2), (6.3) e (6.4) e como foi dito anteriormente e composto de duas partes chamadas no diagrama por PP1 e PP2 respectivamente.

PROGRAMA PRINCIPAL (PP1)

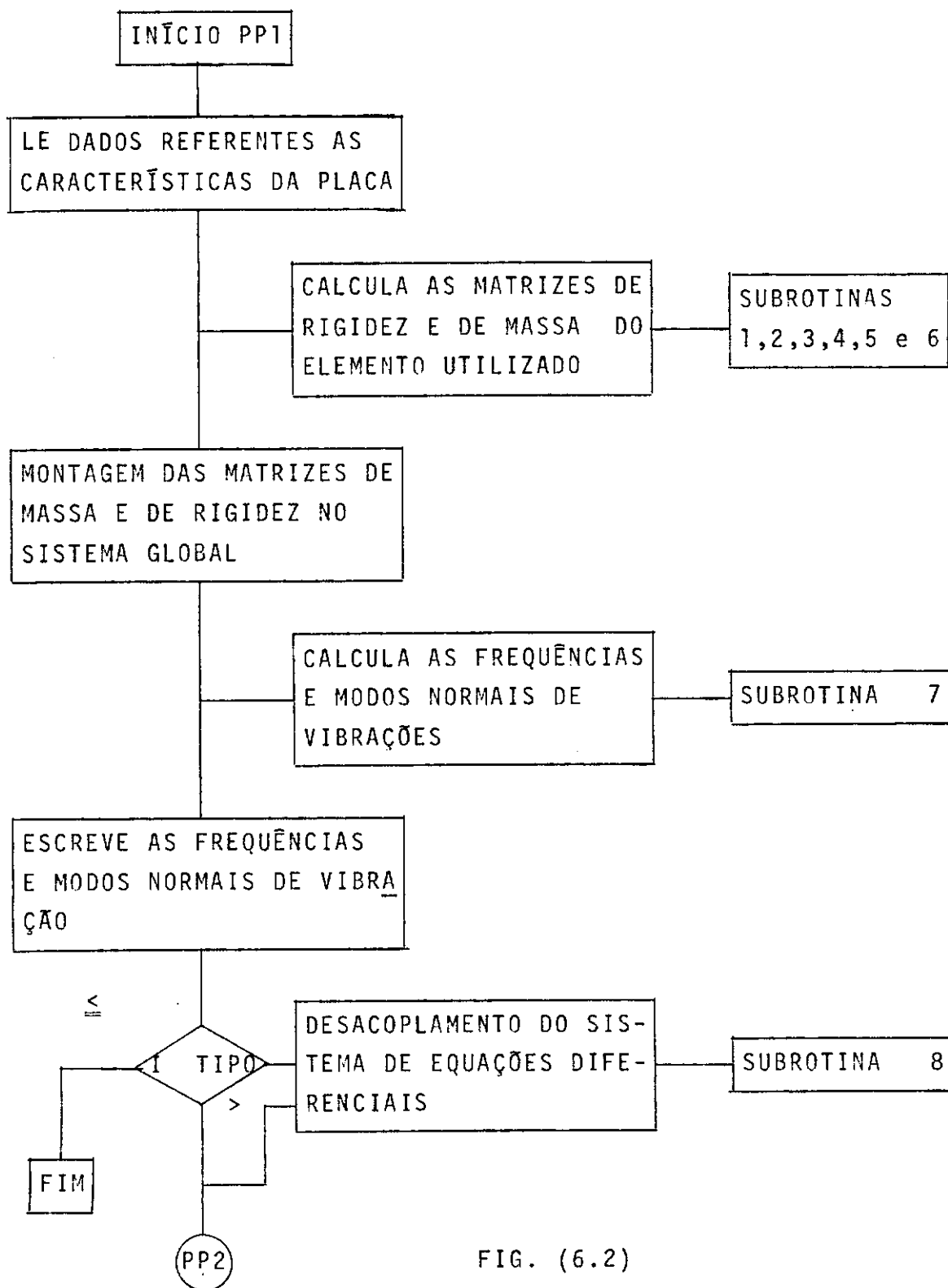


FIG. (6.2)

PROGRAMA PRINCIPAL (PP2)

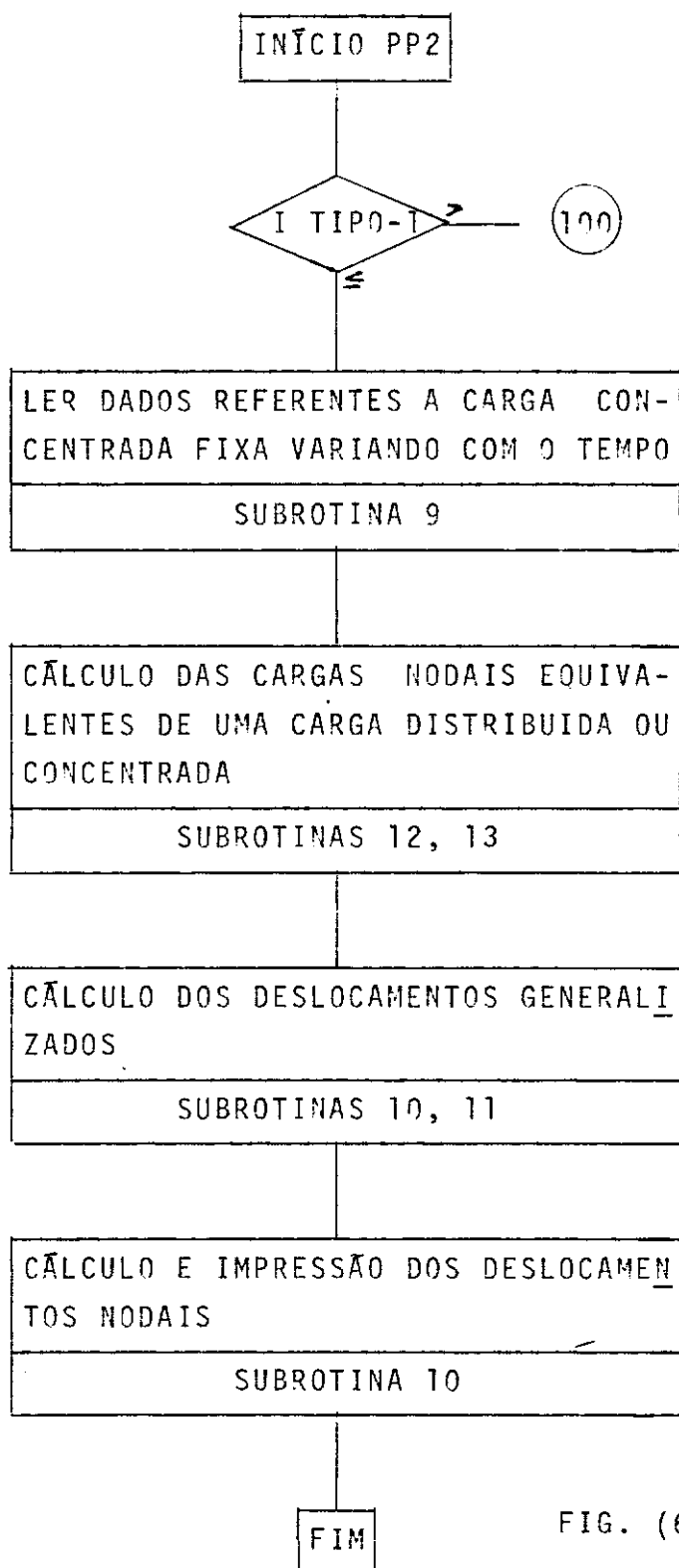


FIG. (6.3)

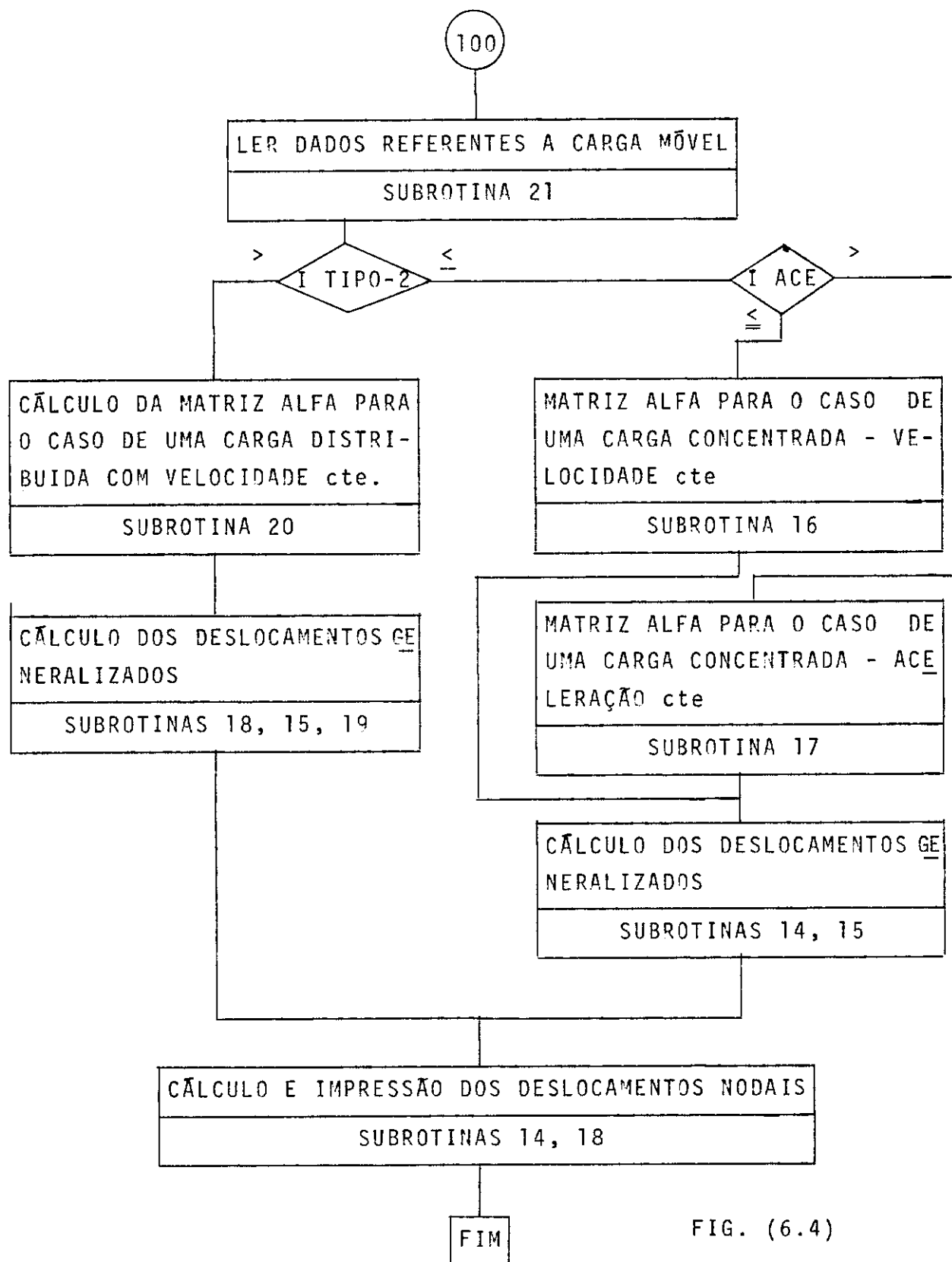


FIG. (6.4)

As variáveis I TIPO e I ACE dos diagramas são definidas da seguinte maneira:

I TIPO = 0 Vibrações Livres (são serão calculadas as frequências e os modos normais de vibração.

I TIPO = 1 Caso de uma carga fixa concentrada ou distribuída variando com o tempo.

I TIPO = 2 Carga móvel concentrada

I TIPO = 3 Carga móvel distribuída

I ACE = 0 Carga móvel com velocidade constante

I ACE = 1 Carga Móvel com aceleração constante

C O N C L U S Õ E S

O programa automático elaborado permite determinar as características vibratórias de placas ou sistemas de placas e obter a sua resposta às solicitações deterministicamente definidas tais como impulsos senoidais, cosenoidais, uniformes ou suas combinações diversas. É possível, com o programa, estudar o comportamento dinâmico de uma placa, solicitada por um impulso do qual não se pode obter uma expressão matemática mas que seja desenvolvível em séries de Fourier.

Além disso, o programa permite obter a resposta da placa a um certo carregamento que caminha sobre a placa, segundo uma certa lei de velocidade.

Os resultados para ambos os casos foram apresentados e discutidos nos Capítulos IV e V e comparados com as referências, quando isto é possível. No caso de carga móvel uma verificação através de uma particularização para o caso de uma carga concentrada.

No que se refere aos elementos pode-se concluir que tanto os não-conforme (R12 e T9) como o conforme (R16) apresentam resultados suficientemente bons para o caso de vibrações livres. Entretanto, a convergência para resultados considerados exatos é muito mais lenta nos primeiros, e para o computador utilizado (IBM 1130-32K) é bastante difícil ser obtida uma taxa de erro aceitável. Para o terceiro elemento, contudo, os resultados podem ser considerados excelentes.

Finalmente, o presente trabalho pode ser ampliado para:

- a) Outros casos de solicitações dinâmicas, mediante alteração da subrotina TFUNG
- b) Outras leis de velocidades para cargas concentradas e distribuídas
- c) Consideração do efeito do amortecimento e extensão das propriedades elásticas (casos de ortotropia)
- d) Análise da resposta dinâmica a solicitações aleatórias. Atualmente, com o programa elaborado, já podem ser obtidas as respostas para simulações determinísticas de solicitações aleatórias. (Por exemplo, o caso citado anteriormente, do desenvolvimento em série de Fourier de um certo impulso), desde que sejam efetuadas mínimas modificações no programa.
- e) Inclusão da massa do carregamento no caso da carga móvel.

A P E N D I X A

MATRIZ DE MASSA DO ELEMENTO (T9)

(Nesta matriz não foi levada em conta a influência dos termos de inércia de rotação)

$$|M| = \rho t |C| |M_o| |C|$$

S = Área do triângulo

$$|M_o| = \frac{h\rho S}{2520}$$

420									
210	420								
210	210	420							
84	84	42	28						
42	84	84	14	28					
84	42	84	14	14	28				
-14	14	0	0	2	-2	3			
0	-14	14	-2	0	2	-1	3		
14	0	-14	2	-2	0	-1	-1	3	

MATRIZ QUE LEVA EM CONTA AS PARCELAS DE
INÉRCIA DE ROTAÇÃO

$$M(1,1) = (Y_{23}^2 + X_{23}^2) \times C \quad C = \frac{t^3 \rho}{48 \times S}$$

$$M(2,1) = (-Y_{13}Y_{23} - X_{13}X_{23}) \times C$$

$$M(3,1) = (-Y_{23}^2 + Y_{23}Y_{13} - X_{23}^2 + X_{23}Y_{13}) \times C$$

$$M(4,1) = |(Y_{23}^2 - Y_{23}Y_{13} + X_{23}^2 - X_{23}X_{13})/3| \times C$$

$$M(5,1) = |(-Y_{23}^2 - X_{23}^2)/3| \times C$$

$$M(6,1) = |(Y_{23}Y_{13} + X_{23}X_{13})/3| \times C$$

$$M(2,2) = (Y_{13}^2 + X_{13}^2) \times C$$

$$M(3,2) = (Y_{13}Y_{23} - Y_{13}^2 + X_{13}X_{23} - X_{13}^2) \times C$$

$$M(4,2) = |(Y_{13}^2 - Y_{13}Y_{23} + X_{13}^2 - X_{13}X_{23})/3| \times C$$

$$M(5,2) = |(Y_{23}Y_{13} + X_{23}X_{13})/3| \times C$$

$$M(6,2) = -|(Y_{13}^2 + X_{13}^2)/3| \times C$$

$$M(3,3) = |(Y_{23} - Y_{13})^2 + (-X_{23} + X_{13})^2| \times C$$

$$M(4,3) = -|(Y_{23}^2 - 2Y_{13}Y_{23} + Y_{13}^2 + X_{23}^2 - 2X_{13}X_{23} + X_{13}^2)/3| \times C$$

$$M(5,3) = |(Y_{23}^2 - Y_{23}Y_{13} + X_{23}^2 - X_{23}X_{13})/3| \times C$$

$$M(6,3) = |(Y_{13}^2 - Y_{23}Y_{13} + X_{13}^2 - X_{23}X_{13})/3| \times C$$

$$M(4,4) = |(Y_{23}^2 - Y_{23}Y_{13} + Y_{13}^2 + X_{23}^2 - X_{23}X_{13} + X_{13}^2)/6| \times C$$

$$M(5,4) = -|(Y_{23}^2 - Y_{23}Y_{13} + X_{23}^2 - X_{23}X_{13})/6| \times C$$

$$M(6,4) = -|(Y_{13}^2 - Y_{13}Y_{23} + X_{13}^2 - X_{13}X_{23})/6| \times C$$

$$M(7,4) = |(Y_{23}^2 - Y_{13}^2 + X_{23}^2 - X_{13}^2)/30| \times C$$

$$M(8,4) = |(Y_{23}^2 + X_{23}^2)/30| \times C$$

$$M(9,4) = -|(Y_{13}^2 + X_{13}^2)/30| \times C$$

$$M(5,5) = |(Y_{23}^2 - Y_{23}Y_{13} + Y_{13}^2 + X_{23}^2 - X_{23}X_{13} + X_{13}^2)/6| \times C$$

$$M(6,5) = -|(Y_{23}Y_{13} + X_{23}X_{13})/6| \times C$$

$$M(7,5) = -|(Y_{23}^2 - 2Y_{13}Y_{23} + Y_{13}^2 + X_{23}^2 - 2X_{13}X_{23} + X_{13}^2)/30| \times C$$

$$M(8,5) = -|Y_{23}^2 - 2Y_{23}Y_{13} + X_{23}^2 - 2X_{13}X_{23})/30| \times C$$

$$M(9,5) = |(Y_{13}^2 + X_{13}^2)/30| \times C$$

$$M(6,6) = |(Y_{23}^2 - Y_{23}Y_{13} + Y_{13}^2 + X_{23}^2 - X_{23}X_{13} + X_{13}^2)/6| \times C$$

$$M(7,6) = |(Y_{13}^2 - 2Y_{13}Y_{23} + Y_{23}^2 + X_{13}^2 - 2X_{13}X_{23} + X_{23}^2)/6| \times C$$

$$M(8,6) = -|(Y_{23}^2 + X_{23}^2)/30| \times C$$

$$M(9,6) = |(Y_{13}^2 - 2Y_{23}Y_{13} + X_{13}^2 - 2X_{23}X_{13})/30| \times C$$

$$M(7,7) = |(2Y_{23}^2 - Y_{23}Y_{13} + 2Y_{13}^2 + 2X_{23}^2 - X_{23}X_{13} + 2X_{13}^2)/45| \times C$$

$$M(8,7) = |(Y_{23}^2 - Y_{13}Y_{23} + X_{23}^2 - X_{13}X_{23})/45| \times C$$

$$M(9,7) = |(Y_{13}^2 - Y_{13}Y_{23} + X_{13}^2 - X_{13}X_{23})/45| \times C$$

$$M(8,8) = |(2Y_{23}^2 - 3Y_{23}Y_{13} + 3Y_{13}^2 + 2X_{23}^2 - 3X_{23}X_{13} + 3X_{13}^2)/45| \times C$$

$$M(9,8) = |(Y_{23}Y_{13} + X_{23}X_{13})/45| \times C$$

$$M(9,9) = |(3Y_{23}^2 - 3Y_{23}Y_{13} + 2Y_{13}^2 + 3X_{23}^2 - 3X_{23}X_{13} + 2X_{13}^2)/45| \times C$$

$$X_{iJ} = X_i - X_J$$

A P E N D I X B

MATRIZ DE MASSA DO ELEMENTO (R12)

$$|M| = |L| |M_0| |L|$$

$$|L| = \begin{bmatrix} l & 0 & 0 & 0 \\ 0 & l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & l & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l \end{bmatrix}$$

$$|l| = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 \\ 0 & 0 & a \end{bmatrix}$$

$$|M_0| \frac{\text{phab}}{25200}$$

3454																			
-461	80																		
-461	-63	80																	
1226	-274	199	3454																
274	-60	42	461	80															
199	-42	40	461	63	80														
394	-116	116	1226	199	274	3454													
116	-30	28	199	40	42	461	80												
-116	28	-30	-274	-42	-60	-461	-63	80											
1226	-199	274	394	116	116	1226	274	-199	3454										
-199	40	-42	-116	-30	-28	-274	-60	42	-461	80									
-274	42	-60	-116	-28	-30	-119	-42	40	-461	63	80								

SIMÉTRICA

A P E N D I X C

INTEGRAIS DE DUHAMEL - CARGA MÔVEL

$$\int_0^t \sin p_i (t-\tau) d\tau = \frac{1}{p_i} (1 - \cos p_i t)$$

$$\int_0^t \tau \sin p_i (t-\tau) d\tau = \frac{1}{p_i} \left(t - \frac{\sin p_i t}{p_i} \right)$$

$$\int_0^t \tau^2 \sin p_i (t-\tau) d\tau = \frac{1}{p_i} \left(t^2 - \frac{2t}{p_i} + \frac{2}{p_i^2} \cos p_i t \right)$$

$$\int_0^t \tau^3 \sin p_i (t-\tau) d\tau = \frac{1}{p_i} \left(t^3 - \frac{6t^2}{p_i} + \frac{6}{p_i^2} \sin p_i t \right)$$

$$\int_0^t \tau^4 \sin p_i (t-\tau) d\tau = \frac{1}{p_i} \left(t^4 - \frac{12t^3}{p_i} + \frac{24t^2}{p_i^2} - \frac{24}{p_i^3} \cos p_i t \right)$$

$$\int_0^t \tau^5 \sin p_i (t-\tau) d\tau = \frac{1}{p_i} \left(t^5 - \frac{20t^4}{p_i} + \frac{120t^3}{p_i^2} - \frac{120}{p_i^3} \sin p_i t \right)$$

$$\int_0^t \tau^6 \sin p_i (t-\tau) d\tau = \frac{1}{p_i} \left(t^6 - \frac{30t^5}{p_i} + \frac{360t^4}{p_i^2} - \frac{720t^3}{p_i^3} + \frac{720}{p_i^4} \cos p_i t \right)$$

MATRIZ DAS CONSTANTES ALFA-VELOCIDADE Cte

CARGA CONCENTRADA

$$| \alpha | = \begin{array}{c} \begin{array}{c} \{\alpha_0\} \\ \gamma_0 \\ \gamma_2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \gamma_1 \\ \gamma_3 \\ 0 \\ 0 \end{array} \quad \begin{array}{c} \{\alpha_0\} \\ 0 \\ 0 \\ -\gamma_0 V_0 \\ -\gamma_2 V_0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\gamma_1 V_0 \\ -\gamma_3 V_0 \end{array} \quad \begin{array}{c} \{\alpha_2\} \\ -3\gamma_0 V_0^2/a^2 \\ -3\gamma_2 V_0^2/a^2 \\ 2\gamma_0 V_0^2/a \\ 2\gamma_2 V_0^2/a \\ 3\gamma_0 V_0^2/a^2 \\ 3\gamma_2 V_0^2/a^2 \\ \gamma_0 V_0^2/a \\ \gamma_2 V_0^2/a \\ 3\gamma_1 V_0^2/a^2 \\ 3\gamma_3 V_0^2/a^2 \\ \gamma_1 V_0^2/a \\ \gamma_3 V_0^2/a \\ -3\gamma_1 V_0^2/a^2 \\ -3\gamma_3 V_0^2/a^2 \\ 2\gamma_1 V_0^2/a \\ 2\gamma_3 V_0^2/a \end{array} \quad \begin{array}{c} \{\alpha_3\} \\ 2\gamma_0 V_0^3/a^3 \\ 2\gamma_2 V_0^3/a^3 \\ -\gamma_0 V_0^3/a^2 \\ -\gamma_2 V_0^3/a^2 \\ -2\gamma_0 V_0^3/a^3 \\ -2\gamma_2 V_0^3/a^3 \\ -\gamma_0 V_0^3/a^2 \\ -2\gamma_1 V_0^3/a^3 \\ -2\gamma_1 V_0^3/a^3 \\ -\gamma_1 V_0^3/a^2 \\ -\gamma_1 V_0^3/a^2 \\ 2\gamma_1 V_0^3/a^3 \\ 2\gamma_1 V_0^3/a^3 \\ 2\gamma_3 V_0^3/a^3 \\ -\gamma_1 V_0^3/a^2 \\ -\gamma_3 V_0^3/a^2 \end{array} \end{array}$$

$$\gamma_0 = 1 - \frac{3 \gamma_0^2}{b^2} + \frac{2 \gamma_0^3}{b^3}$$

$$\gamma_2 = \gamma_0 - \frac{2 \gamma_0^2}{b} + \frac{\gamma_0^3}{b^2}$$

$$\gamma_1 = \frac{3 \gamma_0^2}{b^2} - \frac{2 \gamma_0^3}{b^3}$$

$$\gamma_3 = -\frac{\gamma_0^2}{b} + \frac{\gamma_0^3}{b^2}$$

MATRIZ DAS CONSTANTES ALFA - ACELERAÇÃO cte.

CARGA CONCENTRADA

$$|\alpha| = \begin{matrix} & \{\alpha_0\} \{\dot{\alpha}_1\} & \{\alpha_2\} & \{\alpha_3\} \\ \begin{matrix} \gamma_0 \\ \gamma_2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \gamma_1 \\ \gamma_3 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ -\gamma_0 V_{I_0} \\ -\gamma_2 V_{I_0} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\gamma_1 V_0 \\ -\gamma_3 V_0 \end{matrix} & \begin{matrix} -3\gamma_0 V_{I_0}^2/a^2 \\ \gamma_2 \alpha(1,3)/\gamma_0 \\ \gamma_0 (2V_{I_0}^2/a - A_0/2) \\ \gamma_2 \alpha(3,3)/\gamma_0 \\ 3\gamma_0 V_{I_0}^2/a^2 \\ \gamma_2 \alpha(5,3)/\gamma_0 \\ \gamma_0 V_{I_0}^2/a \\ \gamma_2 \alpha(7,3)/\gamma_0 \\ \gamma_1 \alpha(5,3)/\gamma_0 \\ \gamma_3 \alpha(5,3)/\gamma_0 \\ \gamma_1 \alpha(7,3)/\gamma_0 \\ \gamma_3 \alpha(7,3)/\gamma_0 \\ \gamma_1 \alpha(1,3)/\gamma_0 \\ \gamma_3 \alpha(1,3)/\gamma_0 \\ \gamma_1 \alpha(3,3)/\gamma_0 \\ \gamma_3 \alpha(3,3)/\gamma_0 \end{matrix} & \begin{matrix} \gamma_0 V_{I_0} \left| \frac{2V_{I_0}^2}{a} - 3A_0 \right| / a^2 \\ \gamma_2 \alpha(1,4)/\gamma_0 \\ \gamma_0 V_{I_0} |2A - V_{I_0}^2| / a \\ \gamma_2 \alpha(3,4)/\gamma_0 \\ \gamma_0 V_{I_0} \left| 3A_0 - \frac{2V_{I_0}^2}{a} \right| / a^2 \\ \gamma_2 \alpha(5,4)/\gamma_0 \\ \gamma_0 V_{I_0} \left(A_0 - \frac{V_{I_0}^2}{a} \right) / a \\ \gamma_2 \alpha(7,4)/\gamma_0 \\ \gamma_1 \alpha(5,4)/\gamma_0 \\ \gamma_3 \alpha(5,4)/\gamma_0 \\ \gamma_1 \alpha(7,4)/\gamma_0 \\ \gamma_3 \alpha(7,4)/\gamma_0 \\ \gamma_1 \alpha(1,4)/\gamma_0 \\ \gamma_3 \alpha(1,4)/\gamma_0 \\ \gamma_1 \alpha(3,4)/\gamma_0 \\ \gamma_3 \alpha(3,4)/\gamma_0 \end{matrix} \end{matrix}$$

$$\gamma_0 = 1 - 3 \gamma_0^2/b^2 + 2 \gamma_0^3/b^3$$

$$\gamma_1 = 3 \gamma_0^2/b^2 - 2 \gamma_0^3/b^3$$

$$\gamma_2 = \gamma_0^2 - 2 \gamma_0^2/b + \gamma_0^3/b^2$$

$$\gamma_3 = \gamma_0^2/b + \gamma_0^3/b^2$$

$\{\alpha_4\}$	$\{\alpha_5\}$	$\{\alpha_6\}$
$3\gamma_0 A_0 \left \frac{VI_0^2}{a} - \frac{A_0}{4} \right / a^2$	$3\gamma_0 VI_0 A_0^2 / (4a^3)$	$\gamma_0 A_0^3 / (4a^3)$
$\gamma_2 \alpha(1,5) / \gamma_0$	$\gamma_2 \alpha(1,6) / \gamma_0$	$\gamma_2 \alpha(1,7) / \gamma_0$
$\gamma_0 A_0 (A_0 - \frac{3VI_0^2}{a}) / (2a)$	$-3\gamma_0 VI_0 A_0^2 / (4a^2)$	$-\gamma_0 A_0^3 / (8a^2)$
$\gamma_2 \alpha(3,5) / \gamma_0$	$\gamma_2 \alpha(3,6) / \gamma_0$	$\gamma_2 \alpha(3,7) / \gamma_0$
$3\gamma_0 A_0 \left \frac{A_0}{4} - \frac{VI_0^2}{a} \right / a^2$	$-3\gamma_0 VI_0^2 A_0 / (2a^3)$	$-\gamma_0 A_0^3 / (4a^3)$
$\gamma_2 \alpha(5,5) / \gamma_0$	$\gamma_2 \alpha(5,6) / \gamma_0$	$\gamma_2 \alpha(5,7) / \gamma_0$
$\gamma_0 A_0 \left \frac{A_0}{2} - \frac{3VI_0^2}{a} \right / 2a$	$-3\gamma_0 VI_0 A_0^2 / (4a^2)$	$-\gamma_0 A_0^3 / (8a^2)$
$\gamma_2 \alpha(7,5) / \gamma_0$	$\gamma_2 \alpha(6,6) / \gamma_0$	$\gamma_2 \alpha(6,7) / \gamma_0$
$\gamma_1 \alpha(5,5) / \gamma_0$	$\gamma_1 \alpha(5,6) / \gamma_0$	$\gamma_1 \alpha(5,7) / \gamma_0$
$\gamma_3 \alpha(5,5) / \gamma_0$	$\gamma_3 \alpha(5,6) / \gamma_0$	$\gamma_3 \alpha(5,7) / \gamma_0$
$\gamma_1 \alpha(7,5) / \gamma_0$	$\gamma_1 \alpha(7,6) / \gamma_0$	$\gamma_1 \alpha(7,7) / \gamma_0$
$\gamma_3 \alpha(7,5) / \gamma_0$	$\gamma_3 \alpha(7,6) / \gamma_0$	$\gamma_3 \alpha(7,7) / \gamma_0$
$\gamma_1 \alpha(1,5) / \gamma_0$	$\gamma_1 \alpha(1,6) / \gamma_0$	$\gamma_1 \alpha(1,7) / \gamma_0$
$\gamma_3 \alpha(1,5) / \gamma_0$	$\gamma_3 \alpha(1,6) / \gamma_0$	$\gamma_3 \alpha(1,7) / \gamma_0$
$\gamma_1 \alpha(3,5) / \gamma_0$	$\gamma_1 \alpha(3,6) / \gamma_0$	$\gamma_1 \alpha(3,7) / \gamma_0$
$\gamma_3 \alpha(3,5) / \gamma_0$	$\gamma_3 \alpha(3,6) / \gamma_0$	$\gamma_3 \alpha(3,7) / \gamma_0$

MATRIZ DAS CONSTANTES ALFA-VELOCIDADE cte

CARGA DISTRIBUIDA

$$\begin{aligned}
 |\alpha| = & \begin{bmatrix}
 (L - \frac{L^3}{a^2} - \frac{L^4}{2a^3})\gamma_0 & (\frac{3L^2V_0}{a^2} + \frac{4L^3V_0}{2a^3})\gamma_0 & (-\frac{3LV_0^2}{a^2} - \frac{6L^2V_0^2}{2a^3})\gamma_0 & \frac{2V_0^3L}{a^3}\gamma_0 \\
 \gamma_2\alpha(1,1)/\gamma_0 & \gamma_2\alpha(1,2)/\gamma_0 & \gamma_2\alpha(1,3)/\gamma_0 & \gamma_2\alpha(1,4)/\gamma_0 \\
 (\frac{L^2}{2} + \frac{2L^3}{3a} - \frac{L^4}{4a^2})\gamma_0 & -(\frac{2LV_0}{2} + \frac{6L^2V_0}{33a} + \frac{4L^3V_0}{4a^2})\gamma_0 & (\frac{6LV_0^2}{3a} - \frac{6L^2V_0^2}{4a^2})\gamma_0 & -\frac{4V_0^3L}{4a^2}\gamma_0 \\
 \gamma_2\alpha(3,1)/\gamma_0 & \gamma_2\alpha(3,2)/\gamma_0 & \gamma_2\alpha(3,3)/\gamma_0 & \gamma_2\alpha(3,4)/\gamma_0 \\
 (\frac{L^3}{a^2} + \frac{L^4}{2a^3})\gamma_0 & (-\frac{3L^2V_0}{a^2} - \frac{4L^3V_0}{2a^3})\gamma_0 & (\frac{3LV_0^2}{a^2} + \frac{6L^2V_0^2}{2a^3})\gamma_0 & \frac{4V_0^3L}{2a^3}\gamma_0 \\
 \gamma_2\alpha(5,1)/\gamma_0 & \gamma_2\alpha(5,2)/\gamma_0 & \gamma_2\alpha(5,3)/\gamma_0 & \gamma_2\alpha(5,4)/\gamma_0 \\
 (\frac{L^3}{3a} + \frac{L^4}{4a^2}) & -(\frac{3L^2V_0}{3a} + \frac{4L^3V_0}{4a^2}) & (\frac{3LV_0^2}{3a} - \frac{6L^2V_0^2}{4a^2}) & -\frac{4V_0^3L}{4a^2}\gamma_0 \\
 \gamma_2\alpha(7,2)/\gamma_0 & \gamma_2\alpha(7,3)/\gamma_0 & \gamma_2\alpha(7,4)/\gamma_0 & \gamma_2\alpha(7,5)/\gamma_0 \\
 \gamma_1\alpha(5,1)/\gamma_0 & \gamma_1\alpha(5,2)/\gamma_0 & \gamma_1\alpha(5,3)/\gamma_0 & \gamma_1\alpha(5,4)/\gamma_0 \\
 \gamma_3\alpha(5,1)/\gamma_0 & \gamma_3\alpha(5,2)/\gamma_0 & \gamma_3\alpha(5,3)/\gamma_0 & \gamma_3\alpha(5,4)/\gamma_0 \\
 \gamma_1\alpha(7,1)/\gamma_0 & \gamma_1\alpha(7,2)/\gamma_0 & \gamma_1\alpha(7,3)/\gamma_0 & \gamma_1\alpha(7,4)/\gamma_0 \\
 \gamma_3\alpha(7,1)/\gamma_0 & \gamma_3\alpha(7,2)/\gamma_0 & \gamma_3\alpha(7,3)/\gamma_0 & \gamma_3\alpha(7,4)/\gamma_0 \\
 \gamma_1\alpha(1,1)/\gamma_0 & \gamma_1\alpha(1,2)/\gamma_0 & \gamma_1\alpha(1,3)/\gamma_0 & \gamma_1\alpha(1,4)/\gamma_0 \\
 \gamma_3\alpha(1,1)/\gamma_0 & \gamma_3\alpha(1,2)/\gamma_0 & \gamma_3\alpha(1,3)/\gamma_0 & \gamma_3\alpha(1,4)/\gamma_0 \\
 \gamma_1\alpha(3,1)/\gamma_0 & \gamma_1\alpha(3,2)/\gamma_0 & \gamma_1\alpha(3,3)/\gamma_0 & \gamma_1\alpha(3,4)/\gamma_0 \\
 \gamma_3\alpha(3,1)/\gamma_0 & \gamma_3\alpha(3,2)/\gamma_0 & \gamma_3\alpha(3,3)/\gamma_0 & \gamma_3\alpha(3,4)/\gamma_0
 \end{bmatrix} \\
 \gamma_0 = & (Y_2 - Y_1) - \frac{(Y_2^3 - Y_1^3)}{b^2} + \frac{(Y_2^4 - Y_1^4)}{2b^3} \\
 \gamma_1 = & \frac{(Y_3^3 - Y_1^3)}{b^2} - \frac{(Y_2^4 - Y_1^4)}{2b^3} \\
 \gamma_2 = & \frac{(Y_2^2 - Y_1^2)}{2} - 2\frac{(Y_2^3 - Y_1^3)}{3b} + \frac{2(Y_2^4 - Y_1^4)}{4b^2} \\
 \gamma_3 = & -\frac{(Y_2^3 - Y_1^3)}{3b} + \frac{(Y_2^4 - Y_1^4)}{4b^2}
 \end{aligned}$$

APÊNDICE D

MANUAL DE ENTRADA DO PROGRAMA

NÚMERO DE ORDEM	NÚMERO DE CARTÕES	VARIÁVEL	FORMATO
1	1	NPROB, IULT, ITIPO, LEMOD	4I10
2	1	TITULO	72 colunas
3	1	NUMEL, NUMP, NUMAT, NRJ, ITIEL, INRO	6I10
4	NUMAT	MTYPE, RO(MTYPE), EE1(MTYPE), EE2(MTYPE)	I10, 3F10.0
5	NUMP	NU, X(NU), Y(NU)	I10, 2F10.0
6a	NUMEL	NU, NUNO(NU, 1), NUNO(NU, 2)	4I10, F10.0
		NUNO(NU, 3), ESPE, NEP	I10
6b	NUMEL	NU, NUNO(NU, 1), NUNO(NU, 2)	5I10, F10.0
		NUNO(NU, 3), NUNO(NU, 4), ESPE, NEP	I10
7a	NRJ	NU, LR(3NU-2), LR(3NU-1), LR(3NU)	4I10
7b	NRJ	NU, LR(4NU-3), LR(4NU-2), LR(4NU-1), LR(4NU)	5I10
8	1	NMOD	I10
9	$\frac{NMOD}{8}$	F(NMOD), F(NMOD-1), ..., F(1)	8F10.0
9-NMOD	$\frac{NMOD}{8}$	XV(1, NMOD) ... XV(i, NMOD) ... XV(NMOD, NMOD)	8F10.0
9-i	$\frac{NMOD}{8}$	XV(1, i) ... XV(i, i) ... CV(NMOD, i)	8F10.0
9-1	$\frac{NMOD}{8}$	XV(1, 1) ... XV(i, 1) ... XV(NMOD, 1)	8F10.0
10	1	NUCAR	
11	1	ITIPO, LTEMP	

CARGA MÔVEL

NÚMERO DE ORDEM	NÚMERO DE CARTÕES	VARIÁVEL	FORMATO
12	1	NUTEM, NUELE	2I10
13a	1	VO,YPASS,VIO,AO	4F10.0
13a1	$\frac{NUTEM}{8}$	T(1),(T(2)...T(i)...T(NUTEM))	8F10.0
13b	1	REL,XTOT,NDT,YPASS,IACE	2F10.0,I10 5F10.0,I10
14a	$\frac{NUELE}{8}$	ELECA(1,1)...ELECA(1,NUELE)	8F10.0
14a1	$\frac{NUELE}{8}$	ELECA(2,1)...ELECA(2,NUELE)	8F10.0
14b	$\frac{NUELE}{8}$	ELECA(1,1)...ELECA(1,NUELE)	8F10.0
15	1	PCA,COMP,LARG	3F10.0

CARGA FIXA VARIANDO COM O TEMPO

12	1	NUTEM,NCC,NCCI,NECD,NCDIT	5I10
13a	1	NDIV	I10
13b	$\frac{NUTEM}{8}$	T(1),T(2)...T(NUTEM)	8F10.0
14	NCC	NU,LTF(NU),P(NU),PTO(NU),AFU(NU)	2I10,3F10.0
15	NCCI	NEL(K),LTF(K),P(K),PTO(K) AFU(K),XX1(K,1),XX2(K,1)	2I10,5F10.0
16	NECD	NEL(K),LTF(K),P(K),PTO(K),AFU	2I10,3F10.0
17	NECD	XX1(K,1),XX1(K,2),XX2(K,1),XX2(K,2)	4F10.0

COMENTÁRIOS E EXPLICAÇÕES

1 - Informações Gerais

NPROB - Número do problema a ser analisado

IULT = 0 - Se for o último problema

= 1 - Se não for o último problema

ITIPO = 0 - Cálculo das frequências e modos normais de vibração (Vibrações Livres)

= 1 - Cálculo da resposta dinâmica a uma carga variando com o tempo (Vibrações forçadas)

LEMOD = 0 - As frequências e os modos serão calculados

= 1 - As frequências e os modos serão lidos

2 - TITULO - No máximo 72 caracteres alfanuméricos

3 - Informações sobre a Estrutura

NUMEL - Numero de elementos

NUPN - Número de pontos nodais

NUMAT - Número de materiais

NRJ - Número de suportes

ITIEL - Tipo do elemento utilizado

= 1 - Elemento triangular T9

= 2 - Elemento retangular R12

= 3 - Elemento retangular R16

INRO = 1 - Calcula as influências dos termos de inércia de rotação do elemento T9

= 0 - Não calcula esta influencia

(Este parâmetro só é válido para o elemento T9)

4 - Características do Material

- MTYPE - Número que caracteriza o material
- RO - Massa específica do material
- EE1 - Módulo de elasticidade
- EE2 - Coeficiente de Poisson

5 - Coordenada dos Nós da Estrutura

- NU - Número do nó
- X - Abcissa do nó
- Y - Ordenada do nó

6 - INCIDÊNCIAS, Espessura e Material do Elemento

- NU - Número do elemento
- ESPE - Espessura do elemento
- NEP - Número que caracteriza o material do elemento NU

6a) Elemento triangular T9

$NUNO(NU,1) = i, NUNO(NU,2) = J, NUNO(NU,3) = K$

Número dos nós do elemento

6b) Elementos retangulares R12 e R16

$NUNO(NU,1) = i, NUNO(NU,2) = j, NUNO(NU,3) = k$

$NUNO(NU,4) = L$

Número dos nós do elemento

7 - Deslocamentos Prescritos Nulos

NU - Número do nó

7a) Elemento retangular (R12) e elemento triangular (T9)

$LR(3*NU-2) = 1$ - Restrição de W

1. - Restrito

$LR(3*NU-1) = 1$ - Restrição de $W_{,y}$

0. - Livre

$LR(3*NU) = 1$ - Restrição de $W_{,x}$

7b) Elemento retangular (R16)

$LR(4*NU-3) = 1$ - Restrição de W

$LR(4*NU-2) = 1$ - Restrição de $W_{,y}$

$LR(4*NU-1) = 1$ - Restrição de $W_{,x}$

$LR(4*NU) = 1$ - Restrição de $W_{,xy}$

8 - a) No caso de Vibrações Livres

NMOD - Número de frequências e modos normais de vibração a serem impressos

b) No caso de Vibrações Forçadas

NMOD - Número de modos com os quais será feita a análise

No caso em que as frequências e modos são lidos é o número de frequências e modos a serem obtidos

Obs.: No caso de vibrações livres não são necessários mais dados

9 - Este Grupo de Cartões sã Serão Lidos se:

LEMOD = 1.

F(NMOD), F(NMOD-1), ..., F(1) - frequências da placa da mais alta para mais baixa

XV - Matriz que contém os modos normais de vibração. Cada vetor coluna da matriz é um modo correspondente a uma frequência

10- NUCAR - Número de carregamentos

11- ITIPO - Tipo do Carregamento

= 1 - Carga concentrada ou distribuída cuja ordenada varia com o tempo

= 2 - Carga móvel concentrada

= 3 - Carga móvel distribuída

LTEMP = 1 - Os tempos serão lidos

= 0 - Os tempos serão gerados

CARGA MÓVEL

A próxima sequência de cartões são válidas para carga móvel concentrada ou distribuída

- 12 - NUTEM - Número de tempos nos quais serão calculados os deslocamentos
- NUELE - Número de elementos que definem a trajetória da carga.

13 - Características da Carga Móvel

13a) Caso em que os tempos são lidos

- V0 - Velocidade da carga
- YPASS - Ordenada de passagem da carga no sistema global
- VIO - Velocidade inicial
- A0 - Aceleração da carga (só para carga concentrada)

13a1) - T(1), T(2) ... T(NUTEM) - Tempos lidos nos quais serão calculados os deslocamentos.

13b) Caso em que os tempos são gerados LTEMP = 1

- REL - Relação entre o tempo de travessia e o primeiro período fundamental da placa.
- XTOT - Dimensão da placa no sentido da trajetória da placa
- NOT - Número de divisões em que é dividida a placa e nas quais serão calculados os deslocamentos

YPASS - Ordenada da trajetória de passagem da carga
 IACE = 1- Aceleração constante (sô carga concentrada)
 = 0- Velocidade constante

14 - Elementos pelos Quais Passa a Carga

14a) Carga Distribuida

ELECA(1,1), ..., ELECA(1,NUELE) - Número dos elementos, situados na parte superior da trajetória
 ELECA(2,1), ..., ELECA(2,NUELE) - Número dos elementos, situados na parte inferior da trajetória

14b) Carga Concentrada

ELECA(1,1), ..., ELECA(1,NUELE) - Número dos elementos, que compoem a trajetória da carga. Se a carga se encontrar numa linha divisória são os elementos inferiores.

15 - Dimensões da Carga

PCA - Valor da carga concentrada ou distribuida
 COMP - Comprimento da carga distribuida na direção da trajetória (No máximo igual ao comprimento de um elemento).
 No caso de carga concentrada COMP = 0
 LARG - Semi-largura da carga distribuida (no máximo igual a largura de um elemento)
 No caso de carga concentrada COMP = 0

CARGA FIXA VARIANDO COM O TEMPO

- 16 - NUTEM - Número de tempos para os quais serão calculados os deslocamentos
- NCC - Número de cargas concentradas nos nós variando com o tempo
- NCCI - Número de cargas concentradas fora dos nós variando com o tempo (no máximo uma carga por elemento)
- NECD - Número de elementos com carga distribuída variando com o tempo
- NCDIT = 1 - Quando toda a placa está carregada com uma carga distribuída.
- NCDIT = 0 - Quando só parte da placa está carregada com a carga distribuída

17 - Tempos Lidos ou Gerados

13a) Os tempos são gerados LTEMP = 1

NDIV - Número de dimensões em que se divide o primeiro período fundamental da placa dando assim os intervalos de tempo nos quais serão calculados os deslocamentos.

13b) Os tempos são lidos LTEMP = 0

T(1), T(2), T(3), ..., T(LTEMP) - Tempos nos quais serão calculados os deslocamentos

18 - Cargas Concentradas nos nós Variando com o Tempo

NU - Número de nó carregado

LTF	- Tipo de variação da função (ver quadro 5.1)
P	- Amplitude da função
PTO	- Período da função
AFU	- Constante da função

19 - Cargas Concentradas Fora dos Nós Variando com o Tempo

NEL	- Número do elemento
XX1(K,1)	- Valor da abcissa x no sistema local
XX2(K,1)	- Valor da ordenada y no sistema local

20 - Carga Distribuida Uniforme Variando com o Tempo

NEL	- Número do elemento
-----	----------------------

21 - XX1(1,K)	- Valor da abcissa x inicial no sistema local
XX2(1,K)	- Valor da ordenada y inicial no sistema local
XX1(2,K)	- Valor da abcissa x final no sistema local
XX2(2,K)	- Valor da ordenada y final no sistema local

Obs.: Se NCDIT = 1. Os cartões de número 17 não são lidos e no número 16 só é lido uma vez a definição da função.

APENDICE E

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

SUBROUTINE RIMAE(XE,YE,ESP,E1,E2,H0,S,M)

REAL M(16,16)

DIMENSION XE(4),YE(4),S(16,16),C(9,9),E(3,3),H(3,3),I(3,3),

*A(9,9),HE(3,3)

DO 1 I=1,9

DO 1 J=1,9

M(I,J)=0.

A(I,J)=0.

S(I,J)=0.

1 C(I,J)=0.

DO 2 I=1,3

DO 2 J=1,3

2 E(I,J)=0.

X13=XE(1)-XE(3)

X23=XE(2)-XE(3)

Y13=YE(1)-YE(3)

Y23=YE(2)-YE(3)

C(1,1)=1.

C(2,4)=1.

C(3,7)=1.

C(4,2)=(X23-X13)/2.

C(4,3)=(Y23-Y13)/2.

C(4,5)=-C(4,2)

C(4,6)=-C(4,3)

C(5,5)=-X23/2.

C(5,6)=-Y23/2.

C(5,8)=-C(5,5)

C(5,9)=-C(5,6)

C(6,2)=-X13/2.

C(6,3)=-Y13/2.

C(6,8)=-C(6,2)

C(6,9)=-C(6,3)

C(7,1)=-1.

C(7,2)=C(4,5)

C(7,3)=C(4,6)

C(7,4)=1.

C(7,5)=C(7,2)

C(7,6)=C(7,3)

C(8,4)=-1.

C(8,5)=C(5,8)

C(8,6)=C(5,9)

C(8,7)=1.

C(8,8)=C(5,8)

C(8,9)=C(5,9)

C(9,1)=1.

C(9,2)=C(6,2)

C(9,3)=C(6,3)

```

C(9,7)=-1.
C(9,8)=C(9,2)
C(9,9)=C(9,3)
C  A MATRIZ C TRANSFORMA KALFA EM KQ
C  CALCULO DO DETERMINANTE QUE E IGUAL A DUAS VEZES A AREA DO
C  TRIANGULO
  DELTA=XE(2)*YE(3)+XE(3)*YE(1)+XE(1)*YE(2)-XE(2)*YE(1)-XE(3)*YE(2)
*-XE(1)*YE(3)
  AREA=DELTA/2.
  E(1,1)=(E1*ESP**3)/(12.*(1.-E2**2))
  E(1,2)=E2*E(1,1)
  E(2,1)=E(1,2)
  E(2,2)=E(1,1)
  E(3,3)=(1.-E2)*E(1,1)/2.
  T(1,1)=Y23**2/(4.*AREA**2)
  T(1,2)=Y13**2/(4.*AREA**2)
  T(1,3)=(-2.*Y13*Y23)/(4.*AREA**2)
  T(2,1)=X23**2/(4.*AREA**2)
  T(2,2)=X13**2/(4.*AREA**2)
  T(2,3)=(-2*X13*X23)/(4.*AREA**2)
  T(3,1)=(-2*X23*Y23)/(4.*AREA**2)
  T(3,2)=(-2.*X13*Y13)/(4.*AREA**2)
  T(3,3)=(2.*(X13*Y23+X23*Y13))/(4.*AREA**2)
  DO 20 I=1,3
  DO 20 J=1,3
20  H(I,J)=0.
C  CALCULO DA MATRIZ H=T(TRANSPOTA)*E
  DO 3 I=1,3
  DO 3 K=1,3
  DO 3 J=1,3
  3  H(K,I)=T(J,K)*E(J,I)+H(K,I)
  DO 21 I=1,3
  DO 21 J=1,3
21  E(I,J)=0.
C  CALCULO DA MATRIZ E =T(TRANSPOTA)*E*T
  DO 4 I=1,3
  DO 4 K=1,3
  DO 4 J=1,3
  4  E(K,I)=E(K,I)+H(K,J)*T(J,I)
  DO 5 I=1,3
  DO 5 J=1,3
  5  H(I,J)=0.
  H(1,3)=-2.
  H(2,2)=-2.
  H(3,1)=1.
  H(3,2)=-1.
  H(3,3)=-1.
  DO 22 I=1,3
  DO 22 J=1,3
22  T(I,J)=0.

```



```

DO 6 I=1,3
DO 6 K=1,3
DO 6 J=1,3
6 T(K,I)=T(K,I)+H(J,K)*E(J,I)
DO 23 I=1,3
DO 23 J=1,3
23 HE(I,J)=0.
DO 7 I=1,3
DO 7 K=1,3
DO 7 J=1,3
7 HE(K,I)=HE(K,I)+T(K,J)*H(J,I)*AREA
DO 8 I=1,3
DO 8 J=1,3
II=I+3
JJ=J+3
8 S(II,JJ)=HE(I,J)
H(1,1)=-2.*AREA/3.
H(2,1)=-H(1,1)
H(3,1)=0.
H(1,2)=H(2,1)
H(2,2)=0.
H(3,2)=H(2,1)
H(1,3)=0.
H(2,3)=H(1,1)
H(3,3)=H(1,1)
DO 24 I=1,3
DO 24 J=1,3
24 HE(I,J)=0.
DO 9 I=1,3
DO 9 K=1,3
DO 9 J=1,3
9 HE(K,I)=HE(K,I)+T(K,J)*H(J,I)
DO 10 I=1,3
DO 10 J=1,3
II=I+3
JJ=J+6
S(II,JJ)=HE(I,J)
10 S(JJ,II)=HE(I,J)
S(7,7)=AREA*(2.*E(1,1)-E(2,1)-E(3,1)-E(1,2)+2.*E(2,2)-E(3,2)-
*E(1,3)-E(2,3)+2.*E(3,3))/3.
S(7,8)=AREA*(-2.*E(1,1)-3.*E(2,1)-3.*E(3,1)+E(1,2)
*+E(1,3)+E(3,2)+3.*E(2,3)+2.*E(3,3))/3.
S(8,7)=S(7,8)
S(7,9)=AREA*(E(2,1)+E(3,1)-3.*E(1,2)-2.*E(2,2)
*-3.*E(3,2)+3.*E(1,3)+E(2,3)+2.*E(3,3))/3.
S(9,7)=S(7,9)
S(8,8)=AREA*(2.*E(1,1)+3.*E(2,1)+3.*E(3,1)+3.*E(1,2)+18.*E(2,2)
*+9.*E(3,2)+3.*E(1,3)+9.*E(2,3)+6.*E(3,3))/3.
S(8,9)=AREA*(-E(2,1)-E(3,1)-9.*E(1,2)-3.*E(3,2)-3.*E(1,3)
*-E(2,3)-2.*E(3,3))/3.

```

```

S(9,8)=S(8,9)
S(9,9)=AREA*(18.*E(1,1)+3.*E(2,1)+9.*E(3,1)+3.*E(1,2)
*+2.*E(2,2)+3.*E(3,2)+9.*E(1,3)+3.*E(2,3)+6.*E(3,3))/3.
DO 11 I=1,9
DO 11 K=1,9
DO 11 J=1,9
11 M(K,I)=M(K,I)+C(J,K)*S(J,I)
DO 25 I=1,9
DO 25 J=1,9
25 S(I,J)=0.
DO 12 I=1,9
DO 12 K=1,9
DO 12 J=1,9
12 S(K,I)=S(K,I)+M(K,J)*C(J,I)
DO 14 I=1,9
DO 14 J=1,9
14 M(I,J)=0.
DO 13 I=1,3
M(1,I)=HO*ESP*AREA/6.
II=I+3
M(II,II)=M(I,I)/15.
JJ=I+6
13 M(JJ,JJ)=M(I,I)/140.
M(1,2)=M(1,1)/2.
M(1,3)=M(1,2)
M(1,4)=M(1,1)/5.
M(1,5)=M(1,4)/2.
M(1,6)=M(1,4)
M(1,7)=-M(1,5)/3.
M(1,9)=-M(1,7)
M(2,3)=M(1,2)
M(2,4)=M(1,4)
M(2,5)=M(1,4)
M(2,6)=M(1,5)
M(2,7)=M(1,9)
M(2,8)=-M(1,9)
M(3,4)=M(1,5)
M(3,5)=M(1,4)
M(3,6)=M(1,4)
M(3,8)=M(1,9)
M(3,9)=-M(1,9)
M(4,5)=M(1,9)
M(4,6)=M(1,9)
M(4,8)=-M(1,9)/7.
M(4,9)=-M(4,8)
M(5,6)=M(1,9)
M(5,7)=M(4,9)
M(5,9)=-M(4,9)
M(6,7)=-M(4,9)
M(6,8)=M(4,9)

```

```

M(7,8)=M(5,9)/2.
M(7,9)=M(5,9)/2.
M(8,9)=M(5,9)/2.
DO 27 I=1,9
DO 27 J=1,9
27 M(J,I)=M(I,J)
DO 15 I=1,9
DO 15 K=1,9
DO 15 J=1,9
15 A(K,I)=A(K,I)+C(J,K)*M(J,I)
DO 26 I=1,9
DO 26 J=1,9
26 M(I,J)=0.
DO 16 I=1,9
DO 16 K=1,9
DO 16 J=1,9
16 M(K,I)=M(K,I)+A(K,J)*C(J,I)
RETURN
END

// DUP
*DELETE      WS  UA  RIMAE      OEC3
*STORE       WS  UA  RIMAE      OEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
SUBROUTINE INFRO(XE,YE,ME,HO,ESP)
REAL M(9,9),ME(12,12)
DIMENSION XE(4),YE(4)
X13=XE(1)-XE(3)
X23=XE(2)-XE(3)
Y13=YE(1)-YE(3)
Y23=YE(2)-YE(3)
DELTA=XE(2)*YE(3)+XE(3)*YE(1)+XE(1)*YE(2)
*-XE(2)*YE(1)-XE(3)*YE(2)-XE(1)*YE(3)
AREA=DELTA/2.
CUNS=ESP**3*HO/(48.*AREA)
M(1,1)=CUNS*(Y23**2+X23**2)
M(1,2)=-CUNS*(Y23*Y13+X13*X23)
M(1,3)=CUNS*(-Y23*(Y23-Y13)+X23*(-X23+X13))
M(1,4)=CUNS*(Y23**2-Y23*Y13+X23**2-X23*X13)/3.
M(1,5)=CUNS*(-Y23**2-X23**2)/3.
M(1,6)=CUNS*(Y23*Y13+X23*X13)/3.
M(1,7)=0.
M(1,8)=0.
M(1,9)=0.
M(2,2)=CUNS*(Y13**2+X13**2)
M(2,3)=CUNS*(Y13*Y23-Y13**2+X13*X23-X13**2)
M(2,4)=CUNS*(Y13**2-Y23*Y13+X13**2-X13*X23)/3.
M(2,5)=CUNS*(Y23*Y13+X23*X13)/3.
M(2,6)=-CUNS*(Y13**2+X13**2)/3.

```

```

M(2,7)=0.
M(2,8)=0.
M(2,9)=0.
M(3,3)=CUNS*((Y23-Y13)**2+(X13-X23)**2)
M(3,4)=-CUNS*(Y23**2-2.*Y23*Y13+Y13**2+X23**2-2.*X23*X13+X13**2)/3.
M(3,5)=CUNS*(Y23**2-Y23*Y13+X23**2-X23*X13)/3.
M(3,6)=CUNS*(Y13**2-Y23*Y13+X13**2-X23*X13)/3.
M(3,7)=0.
M(3,8)=0.
M(3,9)=0.
M(4,4)=CUNS*(Y23**2-Y23*Y13+Y13**2+X23**2-X23*X13+X13**2)/6.
M(4,5)=-CUNS*(Y23**2-Y23*Y13+X23**2-X23*X13)/6.
M(4,6)=-CUNS*(Y13**2-Y23*Y13+X13**2-X13*X23)/6.
M(4,7)=CUNS*(Y23**2-Y13**2+X23**2-X13**2)/30.
M(4,8)=CUNS*(Y23**2+X23**2)/30.
M(4,9)=-CUNS*(Y13**2+X13**2)/30.
M(5,5)=CUNS*(Y23**2-Y23*Y13+Y13**2+X23**2-X13*X23+X13**2)/6.
M(5,6)=-CUNS*(Y23*Y13+X23*X13)/6.
M(5,7)=-CUNS*(Y23**2+Y13**2-2.*Y23*Y13+X23**2+X13**2-2.*X23*X13
*)/30.
M(5,8)=-CUNS*(Y23**2-2.*Y23*Y13+X23**2-2.*X23*X13)/30.
M(5,9)=CUNS*(Y13**2+X13**2)/30.
M(6,6)=CUNS*(Y23**2-Y23*Y13+Y13**2+X23**2-X13*X23+X13**2)/6.
M(6,7)=-M(5,7)
M(6,8)=-CUNS*(Y23**2+X23**2)/30.
M(6,9)=CUNS*(Y13**2-2.*Y13*Y23+X13**2-2.*X13*X23)/30.
M(7,7)=CUNS*(2.*Y23**2-Y23*Y13+2.*Y13**2+2.*X23**2-X23*X13+
*2.*X13**2)/45.
M(7,8)=CUNS*(Y23**2-Y23*Y13+X23**2-X13*X23)/45.
M(7,9)=CUNS*(Y13**2-Y23*Y13+X13**2-X13*X23)/45.
M(8,8)=CUNS*(2.*Y23**2-3.*Y23*Y13+3.*Y13**2+2.*X23**2-3.*X23*X13+
*3.*X13**2)/45.
M(8,9)=CUNS*(Y23*Y13+X23*X13)/45.
M(9,9)=CUNS*(3.*Y23**2-3.*Y23*Y13+2.*Y13**2+3.*X23**2-3.*X23*X13
*+2.*X13**2)/45.
DO 5 I=1,9
DO 5 J=1,9
M(J,I)=M(I,J)
5 CONTINUE
DO 4 I=1,9
DO 4 J=1,9
ME(I,J)=ME(I,J)+M(I,J)
4 CONTINUE
RETURN
END

// DUP
*DELETE      WS  UA  INFRO      OEC3
*STORE       WS  UA  INFRO      OEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM

```

*ONE WORD INTEGERS

```

SUBROUTINE MAREC(XE,YE,DEN,ESP,ME)
REAL ME(16,16)
DIMENSION VEL(12),XE(4),YE(4)
A=SQRT((XE(4)-XE(1))**2+(YE(4)-YE(1))**2)
B=SQRT((XE(2)-XE(1))**2+(YE(2)-YE(1))**2)
VA=(DEN*ESP*A*B)/25200.
ME(1,1)=3454.*VA
ME(2,1)=-461.*VA
ME(3,1)=ME(2,1)
ME(4,1)=1226.*VA
ME(5,1)=274.*VA
ME(6,1)=199.*VA
ME(7,1)=394.*VA
ME(8,1)=116.*VA
ME(9,1)=-ME(8,1)
ME(10,1)=ME(4,1)
ME(11,1)=-199.*VA
ME(12,1)=-274.*VA
ME(2,2)=80.*VA
ME(3,2)=-63.*VA
ME(4,2)=ME(12,1)
ME(5,2)=-60.*VA
ME(6,2)=-42.*VA
ME(7,2)=-116.*VA
ME(8,2)=-30.*VA
ME(9,2)=28.*VA
ME(10,2)=ME(11,1)
ME(11,2)=40.*VA
ME(12,2)=42.*VA
ME(3,3)=80.*VA
ME(4,3)=199.*VA
ME(5,3)=42.*VA
ME(6,3)=40.*VA
ME(7,3)=116.*VA
ME(8,3)=28.*VA
ME(9,3)=-30.*VA
ME(10,3)=274.*VA
ME(11,3)=-42.*VA
ME(12,3)=-60.*VA
ME(4,4)=3454.*VA
ME(5,4)=461.*VA
ME(6,4)=461.*VA
ME(7,4)=1226.*VA
ME(8,4)=199.*VA
ME(9,4)=-274.*VA
ME(10,4)=394.*VA
ME(11,4)=-116.*VA
ME(12,4)=-116.*VA
ME(5,5)=80.*VA

```

```

ME(6,5)=63.*VA
ME(7,5)=199.*VA
ME(8,5)=40.*VA
ME(9,5)=-42.*VA
ME(10,5)=116.*VA
ME(11,5)=-30.*VA
ME(12,5)=-28.*VA
ME(6,6)=80.*VA
ME(7,6)=274.*VA
ME(8,6)=42.*VA
ME(9,6)=-60.*VA
ME(10,6)=116.*VA
ME(11,6)=-28.*VA
ME(12,6)=-30.*VA
ME(7,7)=3454.*VA
ME(8,7)=461.*VA
ME(9,7)=-461.*VA
ME(10,7)=1226.*VA
ME(11,7)=-274.*VA
ME(12,7)=-199.*VA
ME(8,8)=80.*VA
ME(9,8)=-63.*VA
ME(10,8)=274.*VA
ME(11,8)=-60.*VA
ME(12,8)=-42.*VA
ME(9,9)=80.*VA
ME(10,9)=-199.*VA
ME(11,9)=42.*VA
ME(12,9)=40.*VA
ME(10,10)=3454.*VA
ME(11,10)=-461.*VA
ME(12,10)=-461.*VA
ME(11,11)=80.*VA
ME(12,11)=63.*VA
ME(12,12)=80.*VA
DO 100 J=1,4
VEL(3*J-2)=1.
VEL(3*J-1)=B
100 VEL(3*J)=A
DO 101 J=1,12
DO 101 K=1,J
ME(J,K)=VEL(J)*ME(J,K)*VEL(K)
101 ME(K,J)=ME(J,K)
RETURN
END

```

```

// DUP
*DELETE      WS  UA  MAREC      DEC3
*STORE       WS  UA  MAREC      DEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM

```

*ONE WORD INTEGERS

```

SUBROUTINE RIREC(XE,YE,E1,E2,ESP,SMD)
DIMENSION VEL(12),XE(4),YE(4),SMD(16,16)
A=SQRT((XE(4)-XE(1))**2+(YE(4)-YE(1))**2)
B=SQRT((XE(2)-XE(1))**2+(YE(2)-YE(1))**2)
P2=A**2/B**2
VA1=1./15./A/B
VA2=ESP**3/12.
DX=(E1*VA2)/(1.-E2**2)
DY=DX
D1=E2*DX
DXY=DX*(1.-E2)/2.
SMD(1,1)=60./P2*DX+60.*P2*DY+30.*D1+84.*DXY
SMD(2,1)=-30.*P2*DY-15.*D1-6.*DXY
SMD(3,1)=30./P2*DX+15*D1+6.*DXY
SMD(4,1)=30./P2*DX-60.*P2*DY-30.*D1-84.*DXY
SMD(5,1)=-30.*P2*DY-6.*DXY
SMD(6,1)=15./P2*DX-15.*D1-6.*DXY
SMD(7,1)=-30./P2*DX-30.*P2*DY+30.*D1+84.*DXY
SMD(8,1)=-15.*P2*DY+6.*DXY
SMD(9,1)=15./P2*DX-6.*DXY
SMD(10,1)=-60./P2*DX+30.*P2*DY-30.*D1-84.*DXY
SMD(11,1)=-15.*P2*DY+15.*D1+6.*DXY
SMD(12,1)=30./P2*DX+6.*DXY
SMD(12,2)=20.*P2*DY+8.*DXY
SMD(3,2)=-15.*D1
SMD(4,2)=-SMD(5,1)
SMD(5,2)=10.*P2*DY-2.*DXY
SMD(6,2)=0.
SMD(7,2)=-SMD(8,1)
SMD(8,2)=5.*P2*DY+2.*DXY
SMD(9,2)=0.
SMD(10,2)=SMD(11,1)
SMD(11,2)=10.*P2*DY-8.*DXY
SMD(12,2)=0.
SMD(3,3)=20./P2*DX+8.*DXY
SMD(4,3)=SMD(6,1)
SMD(5,3)=0.
SMD(6,3)=10./P2*DX-8.*DXY
SMD(7,3)=-SMD(9,1)
SMD(8,3)=0.
SMD(9,3)=5./P2*DX+2.*DXY
SMD(10,3)=-SMD(12,1)
SMD(11,3)=0.
SMD(12,3)=10./P2*DX-2.*DXY
SMD(4,4)=SMD(1,1)
SMD(5,4)=-SMD(2,1)
SMD(6,4)=SMD(3,1)
SMD(7,4)=SMD(10,1)
SMD(8,4)=-SMD(11,1)

```

```

SMD(9,4)=SMD(12,1)
SMD(10,4)=SMD(7,1)
SMD(11,4)=-SMD(8,1)
SMD(12,4)=SMD(9,1)
SMD(5,5)=SMD(2,2)
SMD(6,5)=-SMD(3,2)
SMD(7,5)=-SMD(11,1)
SMD(8,5)=SMD(11,2)
SMD(9,5)=0.
SMD(10,5)=SMD(8,1)
SMD(11,5)=SMD(8,2)
SMD(12,5)=0.
SMD(6,6)=SMD(3,3)
SMD(7,6)=-SMD(12,1)
SMD(8,6)=0.
SMD(9,6)=SMD(12,3)
SMD(10,6)=-SMD(9,1)
SMD(11,6)=0.
SMD(12,6)=SMD(9,3)
SMD(7,7)=SMD(1,1)
SMD(8,7)=-SMD(2,1)
SMD(9,7)=-SMD(3,1)
SMD(10,7)=SMD(4,1)
SMD(11,7)=-SMD(5,1)
SMD(12,7)=-SMD(6,1)
SMD(8,8)=SMD(2,2)
SMD(9,8)=SMD(3,2)
SMD(10,8)=SMD(5,1)
SMD(11,8)=SMD(5,2)
SMD(12,8)=0.
SMD(9,9)=SMD(3,3)
SMD(10,9)=-SMD(6,1)
SMD(11,9)=0.
SMD(12,9)=SMD(6,3)
SMD(10,10)=SMD(1,1)
SMD(11,10)=SMD(2,1)
SMD(12,10)=-SMD(3,1)
SMD(11,11)=SMD(2,2)
SMD(12,11)=-SMD(3,2)
SMD(12,12)=SMD(3,3)
DO 100 J=1,4
  VEL(3*J-2)=1.
  VEL(3*J-1)=B
100 VEL(3*J)=A
  DO 101 J=1,12
    DO 101 K=1,J
      SMD(J,K)=VEL(J)*SMD(J,K)*VEL(K)*VAL
101 SMD(K,J)=SMD(J,K)
  RETURN
END

```



```

// DUP
*DELETE      WS  UA  RIREC      OEC3
*STORE       WS  UA  RIREC      OEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
  SUBROUTINE MAR16(XE,YE,ROE,T,ME)
    REAL ME(16,16)
    DIMENSION XE(4),YE(4)
    A1=XE(2)-XE(1)
    B1=YE(4)-YE(1)
    C1=ROE*T*A1*B1/1225.
    A2=A1*A1
    B2=B1*B1
    ME(1,1)=169./1.*C1
    ME(1,2)=143./6.*C1*B1
    ME(1,3)=-143./6.*C1*A1
    ME(1,4)=-121./36.*C1*A1*B1
    ME(1,5)=117./2.*C1
    ME(1,6)=33./4.*C1*B1
    ME(1,7)=169./12.*C1*A1
    ME(1,8)=143./72.*C1*A1*B1
    ME(1,9)=81./4.*C1
    ME(1,10)=-39./8.*C1*B1
    ME(1,11)=39./8.*C1*A1
    ME(1,12)=-169./144.*C1*A1*B1
    ME(1,13)=117./2.*C1
    ME(1,14)=-169./12.*C1*B1
    ME(1,15)=-33./4.*C1*A1
    ME(1,16)=143./72.*C1*A1*B1
    ME(2,2)=13./3.*C1*B2
    ME(2,3)=-121./36.*C1*A1*B1
    ME(2,4)=-11./18.*C1*A1*B2
    ME(2,5)=33./4.*C1*B1
    ME(2,6)=3./2.*C1*B2
    ME(2,7)=143./72.*C1*A1*B1
    ME(2,8)=13./36.*C1*A1*B2
    ME(2,9)=39./8.*C1*B1
    ME(2,10)=-9./8.*C1*B2
    ME(2,11)=169./144.*C1*A1*B1
    ME(2,12)=-13./48.*C1*A1*B2
    ME(2,13)=169./12.*C1*B1
    ME(2,14)=-13./4.*C1*B2
    ME(2,15)=-143./72.*C1*A1*B1
    ME(2,16)=11./24.*C1*A1*B2
    ME(3,3)=13./3.*C1*A2
    ME(3,4)=11./18.*C1*A2*B1
    ME(3,5)=-169./12.*C1*A1
    ME(3,6)=-143./72.*C1*A1*B1
    ME(3,7)=-13./4.*C1*A2

```

$ME(3,8) = -11./24.*C1*A2*B1$
 $ME(3,9) = -39./8.*C1*A1$
 $ME(3,10) = 169./144.*C1*A1*B1$
 $ME(3,11) = -9./8.*C1*A2$
 $ME(3,12) = 13./48.*C1*A2*B1$
 $ME(3,13) = -33./4.*C1*A1$
 $ME(3,14) = 143./72.*C1*B1*A1$
 $ME(3,15) = 3./2.*C1*A2$
 $ME(3,16) = -13./36.*C1*A2*B1$
 $ME(4,4) = 1./9.*C1*A2*B2$
 $ME(4,5) = -143./72.*C1*A1*B1$
 $ME(4,6) = -13./36.*C1*A1*B2$
 $ME(4,7) = -11./24.*C1*A2*B1$
 $ME(4,8) = -1./12.*C1*A2*B2$
 $ME(4,9) = -169./144.*C1*A1*B1$
 $ME(4,10) = 13./48.*C1*A1*B2$
 $ME(4,11) = -13./48.*C1*A2*B1$
 $ME(4,12) = 1./16.*C1*A2*B2$
 $ME(4,13) = -143./72.*C1*A1*B1$
 $ME(4,14) = 11./24.*C1*A1*B2$
 $ME(4,15) = 13./36.*C1*A2*B1$
 $ME(4,16) = -1./12.*C1*A2*B2$
 $ME(5,5) = 169./1.*C1$
 $ME(5,6) = 143./6.*C1*B1$
 $ME(5,7) = 143./6.*C1*A1$
 $ME(5,8) = 121./36.*C1*A1*B1$
 $ME(5,9) = 117./2.*C1$
 $ME(5,10) = -169./12.*C1*B1$
 $ME(5,11) = 33./4.*C1*A1$
 $ME(5,12) = -143./72.*C1*A1*B1$
 $ME(5,13) = 81./4.*C1$
 $ME(5,14) = -39./8.*C1*B1$
 $ME(5,15) = -39./8.*C1*A1$
 $ME(5,16) = 169./144.*C1*A1*B1$
 $ME(6,6) = 13./3.*C1*B2$
 $ME(6,7) = 121./36.*C1*A1*B1$
 $ME(6,8) = 11./18.*C1*A1*B2$
 $ME(6,9) = 169./12.*C1*B1$
 $ME(6,10) = -13./4.*C1*B2$
 $ME(6,11) = 143./72.*C1*A1*B1$
 $ME(6,12) = -11./24.*C1*A1*B2$
 $ME(6,13) = 39./8.*C1*B1$
 $ME(6,14) = -9./8.*C1*B2$
 $ME(6,15) = -169./144.*C1*A1*B1$
 $ME(6,16) = 13./48.*C1*A1*B2$
 $ME(7,7) = 13./3.*C1*A2$
 $ME(7,8) = 11./18.*C1*A2*B1$
 $ME(7,9) = 33./4.*C1*A1$
 $ME(7,10) = -143./72.*C1*A1*B1$
 $ME(7,11) = 3./2.*C1*A2$

```

ME(7,12)=-13./36.*C1*A2*B1
ME(7,13)=39./8.*C1*A1
ME(7,14)=-169./144.*C1*A1*B1
ME(7,15)=-9./8.*C1*A2
ME(7,16)=13./48.*C1*A2*B1
ME(8,8)=1./9.*C1*A2*B2
ME(8,9)=143/72.*C1*A1*B1
ME(8,10)=-11./24.*C1*A1*B2
ME(8,11)=13./36.*C1*A2*B1
ME(8,12)=-1./12.*C1*A2*B2
ME(8,13)=169./144.*C1*A1*B1
ME(8,14)=-13./48.*C1*A1*B2
ME(8,15)=-13./48.*C1*A2*B1
ME(8,16)=1./16.*C1*A2*B2
ME(9,9)=169./1.*C1
ME(9,10)=-143./6.*C1*B1
ME(9,11)=143./6.*C1*A1
ME(9,12)=-121./36.*C1*A1*B1
ME(9,13)=117./2.*C1
ME(9,14)=-33./4.*C1*B1
ME(9,15)=-169./12.*C1*A1
ME(9,16)=143./72.*C1*A1*B1
ME(10,10)=13./3.*C1*B2
ME(10,11)=-121./36.*C1*A1*B1
ME(10,12)=11./18.*C1*A1*B2
ME(10,13)=-33./4.*C1*B1
ME(10,14)=3./2.*C1*B2
ME(10,15)=143./72.*C1*A1*B1
ME(10,16)=-13./36.*C1*A1*B2
ME(11,11)=13./3.*C1*A2
ME(11,12)=-11./18.*C1*A2*B1
ME(11,13)=169./12.*C1*A1
ME(11,14)=-143./72.*C1*A1*B1
ME(11,15)=-13./4.*C1*A2
ME(11,16)=11./24.*C1*A2*B1
ME(12,12)=1./9.*C1*A2*B2
ME(12,13)=-143./72.*C1*A1*B1
ME(12,14)=13./36.*C1*A1*B2
ME(12,15)=11./24.*C1*A2*B1
ME(12,16)=-1./12.*C1*A2*B2
ME(13,13)=169./1.*C1
ME(13,14)=-143./6.*C1*B1
ME(13,15)=-143./6.*C1*A1
ME(13,16)=121./36.*C1*A1*B1
ME(14,14)=13./3.*C1*B2
ME(14,15)=121./36.*C1*A1*B1
ME(14,16)=-11./18.*C1*A1*B2
ME(15,15)=13./3.*C1*A2
ME(15,16)=-11./18.*C1*A2*B1
ME(16,16)=1./9.*C1*A2*B2

```

```

DO 30 J=1,16
DO 30 K=J,16
ME(K,J)=ME(J,K)
30 CONTINUE
RETURN
END

// DUP
*DELETE      WS  UA  MAR16      DEC3
*STORE       WS  UA  MAR16      DEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
SUBROUTINE RIR16(XE,YE,E,U,T,SE)
DIMENSION SE(16,16),XE(4),YE(4)
A1=XE(2)-XE(1)
B1=YE(4)-YE(1)
D=E*T**3/(12.*(1.-U*U))
D=D/(A1*B1)
A2=A1*A1
B2=B1*B1
A=A2/B2
B=B2/A2
SE(1,1)=D*(156./35.*B+156./35.*A+72./25.)
SE(1,2)=D*(22./35.*B+78./35.*A+6./25.+6./5.*U)*B1
SE(1,3)=D*(-78./35.*B-22./35.*A-6./25.-6./5.*U)*A1
SE(1,4)=D*(-11./35.*B-11./35.*A-1./50.-1./5.*U)*A1*B1
SE(1,5)=D*(-156./35.*B+54./35.*A-72./25.)
SE(1,6)=D*(-22./35.*B+27./35.*A-6./25.-6./5.*U)*B1
SE(1,7)=D*(-78./35.*B+13./35.*A-6./25.)*A1
SE(1,8)=D*(-11./35.*B+13./70.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1
SE(1,9)=D*(-54./35.*B-54./35.*A+72./25.)
SE(1,10)=D*(13./35.*B+27./35.*A-6./25.)*B1
SE(1,11)=D*(-27./35.*B-13./35.*A+6./25.)*A1
SE(1,12)=D*(13./70.*B+13./70.*A-1./50.)*A1*B1
SE(1,13)=D*(54./35.*B-156./35.*A-72./25.)
SE(1,14)=D*(-13./35.*B+78./35.*A+6./25.)*B1
SE(1,15)=D*(-27./35.*B+22./35.*A+6./25.+6./5.*U)*A1
SE(1,16)=D*(13./70.*B-11./35.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1
SE(2,2)=D*(4./35.*B+52./35.*A+9./25.)*B2
SE(2,3)=D*(-11./35.*B-11./35.*A-1./50.-6./5.*U)*A1*B1
SE(2,4)=D*(-2./35.*B-22./105.*A-2./75.-2./15.*U)*A1*B2
SE(2,5)=D*(-22./35.*B+27./35.*A-6./25.-6./5.*U)*B1
SE(2,6)=D*(-4./35.*B+18./35.*A-8./25.)*B2
SE(2,7)=D*(-11./35.*B+13./70.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1
SE(2,8)=D*(-2./35.*B+13./105.*A-2./75.)*A1*B2
SE(2,9)=D*(-13./35.*B-27./35.*A+6./25.)*B1
SE(2,10)=D*(3./35.*B+9./35.*A+2./25.)*B2
SE(2,11)=D*(-13./70.*B-13./70.*A+1./50.)*A1*B1
SE(2,12)=D*(3./70.*B+13./210.*A+1./150.)*A1*B2
SE(2,13)=D*(13./35.*B-78./35.*A-6./25.)*B1

```

$SE(2,14)=D*(-3./35.*B+26./35.*A-2./25.)*B2$
 $SE(2,15)=D*(-13./70.*B+11./35.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(2,16)=D*(3./70.*B-11./105.*A+1./150.+1./30.*U)*A1*B2$
 $SE(3,3)=D*(52./35.*B+4./35.*A+8./25.)*A2$
 $SE(3,4)=D*(22./105.*B+2./35.*A+2./75.+2./15.*U)*A2*B1$
 $SE(3,5)=D*(78./35.*B-13./35.*A+6./25.)*A1$
 $SE(3,6)=D*(11./35.*B-13./70.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(3,7)=D*(26./35.*B-3./35.*A-2./25.)*A2$
 $SE(3,8)=D*(11./105.*B-3./70.*A-1./150.-1./30.*U)*A2*B1$
 $SE(3,9)=D*(27./35.*B+13./35.*A-6./25.)*A1$
 $SE(3,10)=D*(-13./70.*B-13./70.*A+1./50.)*A1*B1$
 $SE(3,11)=D*(9./35.*B+3./35.*A+2./25.)*A2$
 $SE(3,12)=D*(-13./210.*B-3./70.*A-1./150.)*A2*B1$
 $SE(3,13)=D*(-27./35.*B+22./35.*A+6./25.+6./5.*U)*A1$
 $SE(3,14)=D*(13./70.*B-11./35.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(3,15)=D*(18./35.*B-4./35.*A-8./25.)*A2$
 $SE(3,16)=D*(-13./105.*B+2./35.*A+2./75.)*A2*B1$
 $SE(4,4)=D*(4./105.*B+4./105.*A+8./225.)*A2*B2$
 $SE(4,5)=D*(11./35.*B-13./70.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(4,6)=D*(2./35.*B-13./105.*A+2./75.)*A1*B2$
 $SE(4,7)=D*(11./105.*B-3./70.*A-1./150.-1./30.*U)*A2*B1$
 $SE(4,8)=D*(2./105.*B-1./35.*A-2./225.)*A2*B2$
 $SE(4,9)=D*(13./70.*B+13./70.*A-1./50.)*A1*B1$
 $SE(4,10)=D*(-3./70.*B-13./210.*A-1./150.)*A1*B2$
 $SE(4,11)=D*(13./210.*B+3./70.*A+1./150.)*A2*B1$
 $SE(4,12)=D*(-1./70.*B-1./70.*A+1./450.)*A2*B2$
 $SE(4,13)=D*(-13./70.*B+11./35.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(4,14)=D*(3./70.*B-11./105.*A+1./150.+1./30.*U)*A1*B2$
 $SE(4,15)=D*(13./105.*B-2./35.*A-2./75.)*A2*B1$
 $SE(4,16)=D*(-1./35.*B+2./105.*A-2./225.)*A2*B2$
 $SE(5,5)=D*(156./35.*B+156./35.*A+72./25.)*A1$
 $SE(5,6)=D*(22./35.*B+78./35.*A+6./25.+6./5.*U)*B1$
 $SE(5,7)=D*(78./35.*B+22./35.*A+6./25.+6./5.*U)*A1$
 $SE(5,8)=D*(11./35.*B+11./35.*A+1./50.+1./5.*U)*A1*B1$
 $SE(5,9)=D*(54./35.*B-156./35.*A-72./25.)*A1$
 $SE(5,10)=D*(-13./35.*B+78./35.*A+6./25.)*B1$
 $SE(5,11)=D*(27./35.*B-22./35.*A-6./25.-6./5.*U)*A1$
 $SE(5,12)=D*(-13./70.*B+11./35.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(5,13)=D*(-54./35.*B-54./35.*A+72./25.)*A1$
 $SE(5,14)=D*(13./35.*B+27./35.*A-6./25.)*B1$
 $SE(5,15)=D*(27./35.*B+13./35.*A-6./25.)*A1$
 $SE(5,16)=D*(-13./70.*B-13./70.*A+1./50.)*A1*B1$
 $SE(6,6)=D*(4./35.*B+52./35.*A+8./25.)*B2$
 $SE(6,7)=D*(11./35.*B+11./35.*A+1./50.+6./5.*U)*A1*B1$
 $SE(6,8)=D*(2./35.*B+22./105.*A+2./75.+2./15.*U)*A1*B2$
 $SE(6,9)=D*(13./35.*B-78./35.*A-6./25.)*B1$
 $SE(6,10)=D*(-3./35.*B+26./35.*A-2./25.)*B2$
 $SE(6,11)=D*(13./70.*B-11./35.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(6,12)=D*(-3./70.*B+11./105.*A-1./150.-1./30.*U)*A1*B2$
 $SE(6,13)=D*(-13./35.*B-27./35.*A+6./25.)*B1$

$SE(6,14)=0*(3./35.*B+9./35.*A+2./25.)*B2$
 $SE(6,15)=0*(13./70.*B+13./70.*A-1./50.)*A1*B1$
 $SE(6,16)=0*(-3./70.*B-13./210.*A-1./150.)*A1*B2$
 $SE(7,7)=0*(52./35.*B+4./35.*A+0./25.)*A2$
 $SE(7,8)=0*(22./105.*B+2./35.*A+2./75.+2./15.*U)*A2*B1$
 $SE(7,9)=0*(27./35.*B-22./35.*A-6./25.-6./5.*U)*A1$
 $SE(7,10)=0*(-13./70.*B+11./35.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(7,11)=0*(18./35.*B-4./35.*A-8./25.)*A2$
 $SE(7,12)=0*(-13./105.*B+2./35.*A+2./75.)*A2*B1$
 $SE(7,13)=0*(-27./35.*B-13./35.*A+6./25.)*A1$
 $SE(7,14)=0*(13./70.*B+13./70.*A-1./50.)*A1*B1$
 $SE(7,15)=0*(9./35.*B+3./35.*A+2./25.)*A2$
 $SE(7,16)=0*(-13./210.*B-3./70.*A-1./150.)*A2*B1$
 $SE(8,8)=0*(4./105.*B+4./105.*A+8./225.)*A2*B2$
 $SE(8,9)=0*(13./70.*B-11./35.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(8,10)=0*(-3./70.*B+11./105.*A-1./150.-1./30.*U)*A1*B2$
 $SE(8,11)=0*(13./105.*B-2./35.*A-2./75.)*A2*B1$
 $SE(8,12)=0*(-1./35.*B+2./105.*A-2./225.)*A2*B2$
 $SE(8,13)=0*(-13./70.*B-13./70.*A+1./50.)*A1*B1$
 $SE(8,14)=0*(3./70.*B+13./210.*A+1./150.)*A1*B2$
 $SE(8,15)=0*(13./210.*B+3./70.*A+1./150.)*A2*B1$
 $SE(8,16)=0*(-1./70.*B-1./70.*A+1./450.)*A2*B2$
 $SE(9,9)=0*(156./35.*B+156./35.*A+72./25.)*A1$
 $SE(9,10)=0*(-22./35.*B-78./35.*A-6./25.-6./5.*U)*B1$
 $SE(9,11)=0*(78./35.*B+22./35.*A+6./25.+6./5.*U)*A1$
 $SE(9,12)=0*(-11./35.*B-11./35.*A-1./50.-1./5.*U)*A1*B1$
 $SE(9,13)=0*(-156./35.*B+54./35.*A-72./25.)*A1$
 $SE(9,14)=0*(22./35.*B-27./35.*A+6./25.+6./5.*U)*B1$
 $SE(9,15)=0*(78./35.*B-13./35.*A+6./25.)*A1$
 $SE(9,16)=0*(-11./35.*B+13./70.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(10,10)=0*(4./35.*B+52./35.*A+8./25.)*B2$
 $SE(10,11)=0*(-11./35.*B-11./35.*A-1./50.-6./5.*U)*A1*B1$
 $SE(10,12)=0*(2./35.*B+22./105.*A+2./75.+2./15.*U)*A1*B2$
 $SE(10,13)=0*(22./35.*B-27./35.*A+6./25.+6./5.*U)*B1$
 $SE(10,14)=0*(-4./35.*B+18./35.*A-8./25.)*B2$
 $SE(10,15)=0*(-11./35.*B+13./70.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(10,16)=0*(2./35.*B-13./105.*A+2./75.)*A1*B2$
 $SE(11,11)=0*(52./35.*B+4./35.*A+8./25.)*A2$
 $SE(11,12)=0*(-22./105.*B-2./35.*A-2./75.-2./15.*U)*A2*B1$
 $SE(11,13)=0*(-78./35.*B+13./35.*A-6./25.)*A1$
 $SE(11,14)=0*(11./35.*B-13./70.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(11,15)=0*(26./35.*B-3./35.*A-2./25.)*A2$
 $SE(11,16)=0*(-11./105.*B+3./70.*A+1./150.+1./30.*U)*A2*B1$
 $SE(12,12)=0*(4./105.*B+4./105.*A+8./225.)*A2*B2$
 $SE(12,13)=0*(11./35.*B-13./70.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(12,14)=0*(-2./35.*B+13./105.*A-2./75.)*A1*B2$
 $SE(12,15)=0*(-11./105.*B+3./70.*A+1./150.+1./30.*U)*A2*B1$
 $SE(12,16)=0*(2./105.*B-1./35.*A-2./225.)*A2*B2$
 $SE(13,13)=0*(156./35.*B+156./35.*A+72./25.)*A1$
 $SE(13,14)=0*(-22./35.*B-78./35.*A-6./25.-6./5.*U)*B1$

```

SE(13,15)=D*(-78./35.*B-22./35.*A-6./25.-6./5.*U)*A1
SE(13,16)=D*(11./35.*B+11./35.*A+1./50.+1./5.*U)*A1*B1
SE(14,14)=D*(4./35.*B+52./35.*A+8./25.)*B2
SE(14,15)=D*(11./35.*B+11./35.*A+1./50.+6./5.*U)*A1*B1
SE(14,16)=D*(-2./35.*B-22./105.*A-2./75.-2./15.*U)*A1*B2
SE(15,15)=D*(52./35.*B+4./35.*A+8./25.)*A2
SE(15,16)=D*(-22./105.*B-2./35.*A-2./75.-2./15.*U)*A2*B1
SE(16,16)=D*(4./105.*B+4./105.*A+8./225.)*A2*B2
DO 35 J=1,16
DO 35 K=J,16
SE(K,J)=SE(J,K)
35 CONTINUE
RETURN
END

// DUP
*DELETE      WS  UA  RIR16          OEC3
*STORE       WS  UA  RIR16          OEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
C  DESACOPLEMENTO DO SISTEMA
  SUBROUTINE DXDXS(ID)
    REAL M(54,54)
    DIMENSION XL(54),XV(54,54),WX(54),XM(54),LR(80),LCR(80),NUNO(40,4)
    *,X(30),Y(30)
    COMMON X,Y,NUNO,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUNPN,LEMOD,
    *ITIPO,NPROB,IULT,LTEMP,XL,M
    IO=1
    DO 91 IP=1,NG
    DO 91 JP=1,NG
    READ(1:ID)M(IP,JP)
91 CONTINUE
    DO 5 I=1,NG
    J=NG-I+1
    WX(I)=XL(J)
5 CONTINUE
    DO 10 KC=1,NMOD
    JC=NG-KC+1
    DO 15 K=1,NG
    XL(K)=0.
    DO 15 N=1,NG
    XL(K)=XL(K)+XV(N,JC)*M(N,K)
15 CONTINUE
    XM(KC)=0.
    DO 10 N=1,NG
    XM(KC)=XM(KC)+XL(N)*XV(N,JC)
10 CONTINUE
    RETURN
  END

// DUP

```

```

*DELETE      WS  UA  DXDXS      DEC3
*STORE       WS  UA  DXDXS      DEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
  SUBROUTINE LXEX1(LTF,P,PTO,AFU,NCC,NUTEM,T,LTEMP,WX,NEL,ICO,LEU,
    *NCCI,NECD,NUNO,X,Y,NCDIT)
    DIMENSION T(100),LTF(80),P(80),PTO(80),AFU(80),WX(54),X(30),Y(30)
    *,NEL(40),NUNO(40,4),XX1(2,40),XX2(2,40)
    IF(LEU)80,80,85
80  IF(LTEMP)15,15,20
15  PER=6.8232/WX(1)
    READ(8,1055)NDIV
1055 FORMAT(110)
    DT=PER/NDIV
    XX=0.
    DO 25 K=1,NUTEM
      XX=XX+DT
      T(K)=XX
25  CONTINUE
    GO TO 30
20  READ(8,1015)(T(I),I=1,NUTEM)
1015 FORMAT(8F10.0)
30  CONTINUE
    LEU=1
85  GO TO (40,50,65),ICO
40  WRITE(5,1045)
1045 FORMAT(///,7X,'CARGAS CONCENTRADAS NOS NOS',/,7X,'-----
*-----')
    WRITE(5,1040)
1040 FORMAT(/,7X,'NO',8X,'TIPO',9X,'AMPLITUDE',8X,'PERIODO',8X,
    *'CONSTANTE',/,18X,'DA',12X,'MAXIMA',11X,'(TO)',12X,'(A)',/,
    *16X,'FUNCAO',11X,'(PO)')
    DO 5 IC=1,NCC
      READ(8,1030)NU,LTF(4*NU-3),P(4*NU-3),PTO(4*NU-3),AFU(4*NU-3)
1030 FORMAT(2I10,3F10.0)
      WRITE(5,1035)NU,LTF(4*NU-3),P(4*NU-3),PTO(4*NU-3),AFU(4*NU-3)
1035 FORMAT(7X,12,8X,13,9X,E11.4,5X,E11.4,5X,E11.4)
5  CONTINUE
    GO TO 120
50  WRITE(5,1050)
1050 FORMAT(///,7X,'CARGAS CONCENTRADAS FORA DOS NOS',/,7X,'-----
*-----')
    WRITE(5,1060)
1060 FORMAT(/,7X,'ELE.',2X,'TIPO DA',2X,'AMPLITUDE',3X,'PERIODO',5X,
    *'CONSTANTE',3X,'COORDENADAS DA CARGA',/,14X,'FUNCAO',4X,'(PO)',
    *8X,'(TO)',9X,'(A)',9X,'X',11X,'Y')
    DO 55 K=1,NCCI
      READ(8,1085)NEL(K),LTF(K),P(K),PTO(K),AFU(K),XX1(1,K),XX2(1,K)
      WRITE(5,1070)NEL(K),LTF(K),P(K),PTO(K),AFU(K),XX1(1,K),XX2(1,K)

```



```

55 CONTINUE
  CALL CXNXXE(NEL,LTF,P,PTO,AFU,ICO,NCCI,NECD,XX1,XX2,NUNO,X,Y,NCDIT)
  GO TO 120
65 WRITE(5,1065)
1065 FORMAT(///,7X,'CARGA DISTRIBUIDA',/,7X,'-----')
  IF(NCDIT)145,145,155
145 CONTINUE
  WRITE(5,1075)
1075 FORMAT(/,7X,'ELE.',2X,'TIPO DA',2X,'AMPLITUDE',3X,'PERIODO',4X,
  *'CONSTANTE',3X,'COORD. INI. DA CARGA',4X,'COORD. FIN. DA CARGA',
  */,13X,'FUNCAO',6X,'(PD)',7X,'(TO)',8X,'(A)',10X,'X',11X,'Y',11X,
  *'X',11X,'Y')
  NECD=NECD
  GO TO 130
155 CONTINUE
  NECD=1
130 CONTINUE
  DO 70 K=1,NECD
    READ(8,1090)NEL(K),LTF(K),P(K),PTO(K),AFU(K)
70 CONTINUE
    IF(NCDIT)71,71,72
71 CONTINUE
    DO 90 K=1,NECD
      READ(8,1095)XX1(1,K),XX2(1,K),XX1(2,K),XX2(2,K)
      WRITE(5,1115)NEL(K),LTF(K),P(K),PTO(K),AFU(K),XX1(1,K),XX2(1,K),
      *XX1(2,K),XX2(2,K)
90 CONTINUE
72 CONTINUE
  IF(NCDIT)95,95,100
100 WRITE(5,1105)
1105 FORMAT(///,7X,'TODOS OS ELEMENTOS ESTAO CARREGADOS COM UMA CARGA D
  *DISTRIBUIDA VARIANDO COM O TEMPO')
  K=1
  WRITE(5,1110)LTF(K),P(K),PTO(K),AFU(K)
1110 FORMAT(/,7X,'TIPO DA',2X,'AMPLITUDE',3X,'PERIODO',4X,'CONSTANTE'
  *,/8X,'FUNCAO',4X,'(PD)',8X,'(TO)',8X,'(A)',/,9X,I2,2X,3(2X,E10.3))
95 CONTINUE
  CALL CXNXXE(NEL,LTF,P,PTO,AFU,ICO,NCCI,NECD,XX1,XX2,NUNO,X,Y,NCDIT)
120 CONTINUE
1085 FORMAT(2I10,5F10.0)
1090 FORMAT(2I10,3F10.0)
1095 FORMAT(4F10.0)
1070 FORMAT(7X,I2,6X,I2,2X,5(2X,E10.3))
1115 FORMAT(7X,I2,6X,I2,2X,7(2X,E10.3))
  RETURN
END

// DUP
*DELETE      WS  UA  LXEX1      OEC3
*STORE       WS  UA  LXEX1      OEC3
// FOR

```

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

SUBROUTINE CXCXF

DIMENSION X(30),Y(30),LR(80),LCR(80),NUNO(40,4),XM(54),WX(54),

*XV(54,54),T(100),P(80),PTD(80),LTF(80),AFU(80),XF(54),D(54),

*P1(80),NEL(40)

COMMON X,Y,NUNO,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUMPN,LEMOD,

*ITIPO,NPROB,IULT,LTEMP

NPT=4*NUMPN

READ(8,1025)NUTEM,NCC,NCCI,NECD,NCDIT

1025 FORMAT(5I10)

WRITE(5,1020)NUTEM,NCC,NCCI,NECD

1020 FORMAT(///,7X,'NUMERO DE TEMPOS',14X,'=',12,/,7X,'NUMERO DE CARGAS
*CONCENTRADAS',/,7X,'NOS NOS',23X,'=',12,/,7X,'NUMERO DE CARGAS CON
*CENTRADAS',/,7X,'FORA DOS NOS',18X,'=',12,/,7X,'NUMERO DE ELEMENTO
*S COM',/,7X,'CARGA DISTRIBUIDA',13X,'=',12)

LEU=0

DO 2 ILI=1,3

GO TO (100,105,110),ILI

100 IF(NCC)2,2,80

80 ICO=1

GO TO 95

105 IF(NCCI)2,2,85

85 ICO=2

GO TO 95

110 IF(NECD)2,2,90

90 ICO=3

95 CONTINUE

DO 5 J=1,NPT

P(J)=0.

PTD(J)=0.

LTF(J)=0

AFU(J)=0.

5 CONTINUE

DO 6 J=1,40

NEL(J)=0

6 CONTINUE

CALL LXEX1(LTF,P,PTD,AFU,NCC,NUTEM,T,LTEMP,WX,NEL,ICO,LEU,NCCI,
*NECD,NUNO,X,Y,NCDIT)

DO 75 II=1,NUTEM

TEM=T(II)

DO 25 K=1,NMOD

XF(K)=0.

KN=NG-K+1

W=WX(K)

XM=XM(K)

DO 30 IC=1,NPT

P1(IC)=0.

IF(LTF(IC))30,30,40

40 CALL TFUNC(LTF,P,PTD,AFU,IC,W,TEM,P1)

```

30 CONTINUE
C REARUMACAO DOS DESLOCAMENTOS
DO 45 IC=1,NPT
IF(LR(IC))50,50,45
50 JC=IC-LCR(IC)
D(JC)=P1(IC)
45 CONTINUE
DO 25 KK=1,NG
XF(K)=XF(K)+XV(KK,KN)*D(KK)/(XMX*W)
25 CONTINUE
DO 55 K=1,NG
D(K)=0.
DO 55 KK=1,NMOD
KN=NG-KK+1
55 D(K)=D(K)+XV(K,KN)*XF(KK)
DO 60 K=1,NPT
P1(K)=0.
IF(LR(K))65,65,60
65 JJ=K-LCR(K)
P1(K)=D(JJ)
60 CONTINUE
WRITE(5,1005)II,TEM
1005 FORMAT(////7X,'DESLOCAMENTOS PARA UM TEMPO T',I3,'=',E13.6)
WRITE(5,1010)
1010 FORMAT(/16X,'W',14X,'WY',15X,'WX',12X,'WXY')
DO 70 NU=1,NUMP
WRITE(5,1015)NU,P1(4*NU-3),P1(4*NU-2),P1(4*NU-1),P1(4*NU)
1015 FORMAT(7X,I2,4(3X,E13.6))
70 CONTINUE
75 CONTINUE
2 CONTINUE
RETURN
END

```

```
// DUP
```

```
*DELETE      WS  UA  CXCXF          0EC3
```

```
*STORE       WS  UA  CXCXF          0EC3
```

```
// FOR
```

```
*LIST SOURCE PROGRAM
```

```
*ONE WORD INTEGERS
```

```

SUBROUTINE TFUNC(LTF,P1,PTD,AFU,IC,W,TEM,P)
DIMENSION LTF(80),P(80),P1(80),PTD(80),AFU(80)
LF=LTF(IC)
PX=P1(IC)
PX0=PTD(IC)
AX=AFU(IC)
GO TO(5,10,15,20,25),LF
5 P(IC)=PX*(1.-COS(W*TEM))/W
GO TO 30
10 P(IC)=AX*(TEM-SIN(W*TEM)/W)/W
GO TO 30

```

```

15 P(IC)=PX*PXQ*(W*PXQ*SIN(6.2832*TEM/PXQ)-6.2832*SIN(W*TEM))/
  *(W**2*PXQ**2-4.*(3.1416)**2)
GO TO 30
20 IF(TEM-PXQ)5,5,40
40 P(IC)=PX*(COS(W*TEM-W*PXQ)-COS(W*TEM))
GO TO 30
25 CONTINUE
30 CONTINUE
  RETURN
  END

```

```

// CUP
*CELETE      WS  UA  TFUNC      DEC3
*STORE       WS  UA  TFUNC      DEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
  SUBROUTINE MXDXC(ICD,X1,X2,Y1,Y2,AC,A,B)
    DIMENSION AC(16)
    IF(ICD-2)5,5,10
  5 CONTINUE
    F1X=1.-3.*X1**2/A**2+2.*X1**3/A**3
    F2X=3.*X1**2/A**2-2.*X1**3/A**3
    G1X=X1-2.*X1**2/A+X1**3/A**2
    G2X=-X1**2/A+X1**3/A**2
    F1Y=1.-3.*Y1**2/B**2+2.*Y1**3/B**3
    F2Y=3.*Y1**2/B**2-2.*Y1**3/B**3
    G1Y=Y1-2.*Y1**2/B+Y1**3/B**2
    G2Y=-Y1**2/B+Y1**3/B**2
    GO TO 20
  10 CONTINUE
    F1X=(X2-X1)-(X2**3-X1**3)/A**2+(X2**4-X1**4)/(2.*A**3)
    F2X=(X2**3-X1**3)/A**2-(X2**4-X1**4)/(2.*A**3)
    G1X=(X2**2-X1**2)/2.-2.*(X2**3-X1**3)/(3.*A)+(X2**4-X1**4)/(4.*
    *A**2)
    G2X=-(X2**3-X1**3)/(3.*A)+(X2**4-X1**4)/(4.*A**2)
    F1Y=(Y2-Y1)-(Y2**3-Y1**3)/B**2+(Y2**4-Y1**4)/(2.*B**3)
    F2Y=(Y2**3-Y1**3)/B**2-(Y2**4-Y1**4)/(2.*B**3)
    G1Y=(Y2**2-Y1**2)/2.-2.*(Y2**3-Y1**3)/(3.*B)+(Y2**4-Y1**4)/(4.*B**2
    *)
    G2Y=-(Y2**3-Y1**3)/(3.*B)+(Y2**4-Y1**4)/(4.*B**2)
  20 CONTINUE
    AC(1)=F1X*F1Y
    AC(2)=F1X*G1Y
    AC(3)=-G1X*F1Y
    AC(4)=-G1X*G1Y
    AC(5)=F2X*F1Y
    AC(6)=F2X*G1Y
    AC(7)=-G2X*F1Y
    AC(8)=-G2X*G1Y
    AC(9)=F2X*F2Y

```

```

AC(10)=F2X*G2Y
AC(11)=-G2X*F2Y
AC(12)=-G2X*G2Y
AC(13)=F1X*F2Y
AC(14)=F1X*G2Y
AC(15)=-G1X*F2Y
AC(16)=-G1X*G2Y
RETURN
END

```

```
// CUP
```

```
*DELETE      WS  UA  MXDXC      CEC3
```

```
*STORE       WS  UA  MXDXC      CEC3
```

```
// FCR
```

```
*LIST SOURCE PROGRAM
```

```
*CNE WORD INTEGERS
```

```

SUBROUTINE CXNXC(NEL,LTF,P,PTQ,AFU,ICG,NCCI,NECD,XX1,XX2,NUNO,X,Y,
*NCDIT)
  DIMENSION NEL(40),LTF(80),P(30),PTQ(80),AFU(80),X(30),Y(30),
  *A(16),P1(40),PTQ1(40),LTF1(40),AFU1(40),NUNO(40,4)
  *,XX1(2,40),XX2(2,40)
  DO 2 K=1,40
    P1(K)=P(K)
    PTQ1(K)=PTQ(K)
    LTF1(K)=LTF(K)
    AFU1(K)=AFU(K)
2  CONTINUE
  NNO=0
  DO 25 L=1,80
    P(L)=0.
    LTF(L)=0
    AFU(L)=0.
    PTQ(L)=0.
25  CONTINUE
  IF(IGC-2)5,5,10
  5  NI=NCCI
  GO TO 12
10  NI=NECD
  IF(NCDIT)12,12,13
13  NNO=1
12  DO 15 KX=1,NI
    K=KX
    IF(NNO)30,30,50
50  NU=K
    X1=0.
    KL=NUNO(NU,1)
    KK=NUNO(NU,3)
    A1=X(KK)-X(KL)
    B1=Y(KK)-Y(KL)

```

```

Y1=0.
X2=A1
Y2=B1
K=1
GO TO 60
30 CONTINUE
NU=NEL(K)
KL=NUNG(NU,1)
KK=NUNG(NU,3)
A1=X(KK)-X(KL)
B1=Y(KK)-Y(KL)
X1=XX1(1,K)-X(KL)
Y1=XX2(1,K)-Y(KL)
X2=XX1(2,K)-X(KL)
Y2=XX2(2,K)-Y(KL)
60 CONTINUE
CALL MXEXC(ICO,X1,X2,Y1,Y2,A,A1,B1)
DO 20 I=1,4
DO 20 J=1,4
IK=4-J
IJ=4*(I-1)+J
IC=4*NUNG(NU,I)-IK
P(IC)=P1(K)*A(IJ)+P(IC)
LTF(IC)=LTF1(K)
AFU(IC)=AFU1(K)
PTG(IC)=PTG1(K)
20 CONTINUE
15 CONTINUE
RETURN
END

```

// CUP

*DELETE WS UA CXNXC DEC3

*STORE WS UA CXNXC DEC3

// FCR

*LIST SOURCE PROGRAM

*CNE WORD INTEGERS

SUBROUTINE CXCXM

REAL LARG

INTEGER ELECA(2,20),PT(16)

DIMENSION X(30),Y(30),LR(80),LCR(80),NUNG(40,4),T(100),

*XM(54),ALFA(16,7),AUX1(16),AUX2(16),P(80),PO(54),XF(54),DXF(54),

*XC(54),DXC(54),WX(54),XV(54,54),D(54)

COMMON X,Y,NUNG,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUMPN,LEMOD,

*ITIPO,NPROB,IULT,LTEMP

CALL LXEXR(VO,AO,VIO,T,ELECA,NUTEM,NUELE,PCA,YPASS,COMP,LARG)

IJ=1

IJA=0.

NXL=ELECA(1,NUELE)

NCF=NUNG(NXL,3)

VIF=VIO

```

      TEMO=0.
      DO 5 I=1,NUTEM
      XT=T(I)
      IF(AO)1000,15,10
10    XX=VIO*XT+AO*XT**2/2.
      GO TO 20
15    XX=VO*XT
20    CONTINUE
C    DEFINICAO DO TRECHO EM QUE A CARGA SE ENCONTRA
      IF(XX-X(NDI))320,320,330
330   IF(IJA-1)335,325,325
325   TEM=XT-TEMO
      DO 345 K=1,NMOD
      W=WX(K)
      XMX=XM(K)
      KN=NG-K+1
      XF(K)=0.
      DXF(K)=0.
      XF(K)=XF(K)+XD(K)*COS(W*TEM)+DXD(K)*SIN(W*TEM)/W
      DXF(K)=DXF(K)-XD(K)*W*SIN(W*TEM)+DXD(K)*COS(W*TEM)
345   CONTINUE
      DO 350 K=1,NG
      D(K)=0.
      DO 350 KK=1,NMOD
      KN=NG-KK+1
350   D(K)=D(K)+XV(K,KN)*XF(KK)
      KK=4*NUNPN
      DO 355 K=1,KN
      P(K)=0.
      IF(LR(K))351,351,355
351   JJ=K-LCR(K)
      P(K)=D(JJ)
355   CONTINUE
      WRITE(5,1015)I,XT,XX
      WRITE(5,1017)
      DO 360 NU=1,NUNPN
      WRITE(5,1016)NU,P(4*NU-3),P(4*NU-2),P(4*NU-1),P(4*NU)
360   CONTINUE
      IJA=1
      GO TO 5
335   ICON=NUELE+1
      IUL=ICON-1
      GO TO 45
320   DO 35 J=IJ,NUELE
      IIX=ELECA(1,J)
      IIX=NUNO(IIX,3)
      ICON=J
      IF(XX-X(IIX))30,30,35
35   CONTINUE
30   IF(I-1)1000,40,45

```

```

40 IUL=1
   DO 46 K=1,NG
     XO(K)=0.
     DXO(K)=0.
46 CONTINUE
C  NESTA ETAPA SE CALCULAM OS DESLOCAMENTOS INICIAIS E FINAIS
45 DO 50 J=IUL,ICON
   DO 55 K=1,NG
     XF(K)=0.
55 DXF(K)=0.
     IF(I-1)1000,60,65
65 IF(IUL-ICON)60,70,60
70 TEM=XT-TEMO
   GO TO 75
60 NX=ELECA(1,J)
   NO1=NUNO(NX,1)
   NO3=NUNO(NX,3)
   NO4=NUNO(NX,4)
   A=X(NO3)-X(NO4)
   B=Y(NO4)-Y(NO1)
   YO=YPASS-Y(NO1)
   IF(AO)1000,80,85
80 IF(ICON-J)90,95,90
95 TEM=XT-TEMO
   GO TO 100
90 TEM=A/VO
   TEMO=TEMO+TEM
100 CALL VECON(ALFA,VO,A,B,YO)
   GO TO 75
85 IF(ICON-J)105,110,105
110 TEM=XT-TEMO
   GO TO 115
105 CONTINUE
   TEM=(-VIF+SQRT(VIF**2+2.*AO*A))/AO
   TEMO=TEMO+TEM
   VIF=AO*TEMO+VIO
115 CONTINUE
   CALL ACON(ALFA,AO,VIF,A,B,YO)
75 CONTINUE
   DO 76 K=1,16
     PT(K)=0
76 CONTINUE
C  REARUMACAO DOS VETORES DE CARGA
   NDN=NDNO
   DO 120 K=1,NNE
     DO 120 JX=1,NDN
       IC=NDN*(NUNO(NX,K)-1)+JX
       KY=NDN*(K-1)+JX
       IF(LR(IC))125,125,120
125 JJ=IC-LCR(IC)

```



```

PT(KY)=JJ
120 CONTINUE
C  CALCULO DOS DESLOCAMENTOS INICIAIS E VELOCIDADES INICIAIS
DO 130 K=1,NMOD
W=WX(K)
XMX=XM(K)
KN=NG-K+1
XF(K)=XF(K)+XO(K)*COS(W*TEM)+DXO(K)*SIN(W*TEM)/W
DXF(K)=DXF(K)-XO(K)*W*SIN(W*TEM)+DXO(K)*COS(W*TEM)
DO 130 KK=1,NG
DO 290 LL=1,16
IF(KK-PT(LL))290,300,290
290 CONTINUE
GO TO 130
300 LU=LL
CALL FXAXU(AO,ALFA,TEM,W,LU,AUX1,AUX2,PCA)
P(KK)=AUX1(LU)
PD(KK)=AUX2(LU)
XF(K)=XF(K)+XV(KK,KN)*P(KK)/(XMX*W)
DXF(K)=DXF(K)+XV(KK,KN)*PD(KK)/(XMX*W)
130 CONTINUE
IF(J-ICON)135,140,140
135 DO 145 K=1,NG
XO(K)=XF(K)
DXO(K)=DXF(K)
145 CONTINUE
IF(XX-X(NOF))50,50,325
140 DO 150 K=1,NG
D(K)=0.
DO 150 KK=1,NMOD
KN=NG-KK+1
150 D(K)=D(K)+XV(K,KN)*XF(KK)
KK=4*NUMP
DO 210 K=1,KK
P(K)=0.
IF(LR(K))220,220,210
220 JJ=K-LCR(K)
P(K)=D(JJ)
210 CONTINUE
WRITE(5,1015)I,XT,XX
1015 FORMAT(////7X,'DESLOCAMENTOS PARA UN TEMPO T',I3,'=',E13.6
*,//,7X,'ORDENADA EM RELACAO A ORIGEM  ',E13.6)
WRITE(5,1017)
1017 FORMAT(//,7X,'NO',9X,'W',14X,'WY',15X,'WX',12X,'WXY')
DO 260 NU=1,NUMP
WRITE(5,1016)NU,P(4*NU-3),P(4*NU-2),P(4*NU-1),P(4*NU)
1016 FORMAT(7X,I2,4(3X,E13.6))
260 CONTINUE
50 CONTINUE
IUL=ICON

```

```

      IJ=ICON
      5 CONTINUE
      GO TO 200
1000 WRITE(5,1001)
1001 FORMAT(//5X,'ERRO NA ENTRADA DE DADOS')
      200 CONTINUE
      RETURN
      END

// DUP
*DELETE      WS  UA  CXCXM      DEC3
*STORE       WS  UA  CXCXM      DEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
      SUBROUTINE FXAXU(AO,ALFA,TEM,W,KY,AUX1,AUX2,PCA)
      DIMENSION ALFA(16,7),AUX1(16),AUX2(16)
      IF(AO)5,5,10
      5 CONT1=0.
      CONT2=0.
      GO TO 15
10 CONT1=ALFA(KY,5)*(TEM**4-12.*TEM**2/W**2+24./W**4-24.*COS(W*TEM)
      */W**4)/W+ALFA(KY,6)*(TEM**5-20.*TEM**3/W**2+120.*TEM/W**4-120.*
      *SIN(W*TEM)/W**5)/W+ALFA(KY,7)*(TEM**6-30.*TEM**4/W**2+360.*TEM**2
      */W**4-720./W**6+720.*COS(W*TEM)/W**6)/W
      CONT2=ALFA(KY,5)*(4.*TEM**3-24.*TEM/W**2+24.*SIN(W*TEM)/W**3)/W
      **ALFA(KY,6)*(5.*TEM**4-60.*TEM**2/W**2+120./W**4-120.*COS(W*TEM)
      */W**4)/W+ALFA(KY,7)*(6.*TEM**5-120.*TEM**3/W**2+720.*TEM/W**4-
      *720.*SIN(W*TEM)/W**5)/W
15 CONTINUE
      AUX1(KY)=PCA*(ALFA(KY,1)*(1.-COS(W*TEM))/W+ALFA(KY,2)*
      *(TEM-SIN(W*TEM)/W)/W+ALFA(KY,3)*(TEM**2-2./W**2+2.*COS(W*TEM)
      */W**2)/W+ALFA(KY,4)*(TEM**3-6.*TEM/W**2+6.*SIN(W*TEM)/W**3)/W
      **CONT1)
      AUX2(KY)=PCA*(ALFA(KY,1)*SIN(W*TEM)+ALFA(KY,2)*(1.-COS(W*TEM))/W
      **ALFA(KY,3)*(2.*TEM-2.*SIN(W*TEM)/W)/W+ALFA(KY,4)*(3.*TEM**2-6.
      */W**2+6.*COS(W*TEM)/W**2)/W+CONT2)
      RETURN
      END

// DUP
*DELETE      WS  UA  FXAXU      DEC3
*STORE       WS  UA  FXAXU      DEC3
      SUBROUTINE VECON(ALFA,VO,A,B,YO)
      DIMENSION ALFA(16,7)
      DO 1 I=1,16
      DO 1 J=1,7
      1 ALFA(I,J)=0.
      FU=1.-3*YO**2/B**2+2.*YO**3/B**3
      F1=3.*YO**2/B**2-2.*YO**3/B**3
      F2=YO-2.*YO**2/B+YO**3/B**2
      F3=-YO**2/B+YO**3/B**2

```

```

ALFA(1,1)=F0
ALFA(1,3)=-3.*F0*VO**2/A**2
ALFA(1,4)=2.*F0*VO**3/A**3
ALFA(2,1)=F2
ALFA(2,3)=-3.*F2*VO**2/A**2
ALFA(2,4)=2.*F2*VO**3/A**3
ALFA(3,2)=-F0*VO
ALFA(3,3)=2.*F0*VO**2/A
ALFA(3,4)=-F0*VO**3/A**2
ALFA(4,2)=-F2*VO
ALFA(4,3)=2.*F2*VO**2/A
ALFA(4,4)=-F2*VO**3/A**2
ALFA(5,3)=3.*F0*VO**2/A**2
ALFA(5,4)=-2.*F0*VO**3/A**3
ALFA(6,3)=3.*F2*VO**2/A**2
ALFA(6,4)=-2.*F2*VO**3/A**3
ALFA(7,3)=F0*VO**2/A
ALFA(7,4)=-F0*VO**3/A**2
ALFA(8,3)=F2*VO**2/A
ALFA(8,4)=-F2*VO**3/A**2
ALFA(9,3)=3.*F1*VO**2/A**2
ALFA(9,4)=-2.*F1*VO**3/A**3
ALFA(10,3)=3.*F3*VO**2/A**2
ALFA(10,4)=-2.*F3*VO**3/A**3
ALFA(11,3)=F1*VO**2/A
ALFA(11,4)=-F1*VO**3/A**2
ALFA(12,3)=F3*VO**2/A
ALFA(12,4)=-F3*VO**3/A**2
ALFA(13,1)=F1
ALFA(13,3)=-3.*F1*VO**2/A**2
ALFA(13,4)=2.*F1*VO**3/A**3
ALFA(14,1)=F3
ALFA(14,3)=-3.*F3*VO**2/A**2
ALFA(14,4)=2.*F3*VO**3/A**3
ALFA(15,2)=-F1*VO
ALFA(15,3)=2.*F1*VO**2/A
ALFA(15,4)=-F1*VO**3/A**2
ALFA(16,2)=-F3*VO
ALFA(16,3)=2.*F3*VO**2/A
ALFA(16,4)=-F3*VO**3/A**2
RETURN
END

```

```

// DUP
*DELETE      WS  UA  VECON      DEC3
*STORE       WS  UA  VECON      DEC3
// FOR
*ONE WORD INTEGERS
*LIST SOURCE PROGRAM
SUBROUTINE ACON(ALFA,AD,VO,A,B,YO)
DIMENSION ALFA(16,7)

```

```

DO 1 I=1,16
DO 1 J=1,7
1 ALFA(I,J)=0.
FO=1.-3.*YO**2/B**2+2.*YO**3/B**3
F1=3.*YO**2/B**2-2.*YO**3/B**3
F2=YO-2.*YO**2/B+YO**3/B**2
F3=-YO**2/B+YO**3/B**2
ALFA(1,1)=FO
ALFA(1,3)=-3.*FO*VO**2/A**2
ALFA(1,4)=FO*VO*(2.*VO**2/A-3.*AO)/A**2
ALFA(1,5)=3.*FO*AO*(VO**2/A-AO/4.)/A**2
ALFA(1,6)=3.*FO*VO*AO**2/(2.*A**3)
ALFA(1,7)=FO*AO**3/(4.*A**3)
ALFA(2,1)=F2
ALFA(2,3)=F2*ALFA(1,3)/FO
ALFA(2,4)=F2*ALFA(1,4)/FO
ALFA(2,5)=F2*ALFA(1,5)/FO
ALFA(2,6)=F2*ALFA(1,6)/FO
ALFA(2,7)=F2*ALFA(1,7)/FO
ALFA(3,2)=-FO*VO
ALFA(3,3)=FO*(2.*VO**2/A-AO/2.)
ALFA(3,4)=FO*VO*(2.*AO-VO**2/A)/A
ALFA(3,5)=FO*AO*(AO-3.*VO**2/A)/(2.*A)
ALFA(3,6)=-3.*FO*VO*AO**2/(4.*A**2)
ALFA(3,7)=-FO*AO**3/(8.*A**2)
ALFA(4,2)=-F2*VO
ALFA(4,3)=F2*ALFA(3,3)/FO
ALFA(4,4)=F2*ALFA(3,4)/FO
ALFA(4,5)=F2*ALFA(3,5)/FO
ALFA(4,6)=F2*ALFA(3,6)/FO
ALFA(4,7)=F2*ALFA(3,7)/FO
ALFA(5,3)=3.*FO*VO**2/A**2
ALFA(5,4)=FO*VO*(3.*AO-2.*VO**2/A)/A**2
ALFA(5,5)=3.*FO*AO*(AO/4.-VO**2/A)/A**2
ALFA(5,6)=-3.*FO*VO*AO**2/(2.*A**3)
ALFA(5,7)=-FO*AO**3/(4.*A**3)
ALFA(6,3)=F2*ALFA(5,3)/FO
ALFA(6,4)=F2*ALFA(5,4)/FO
ALFA(6,5)=F2*ALFA(5,5)/FO
ALFA(6,6)=F2*ALFA(5,6)/FO
ALFA(6,7)=F2*ALFA(5,7)/FO
ALFA(7,3)=FO*VO**2/A
ALFA(7,4)=FO*VO*(AO-VO**2/A)/A
ALFA(7,5)=FO*AO*(AO/2.-3.*VO**2/A)/2.*A
ALFA(7,6)=-3.*FO*VO*AO**2/(4.*A**2)
ALFA(7,7)=-FO*AO**3/(8.*A**2)
ALFA(8,3)=F2*ALFA(7,3)/FO
ALFA(8,4)=F2*ALFA(7,4)/FO
ALFA(8,5)=F2*ALFA(7,5)/FO
ALFA(8,6)=F2*ALFA(7,6)/FO

```

```

ALFA(8,7)=F2*ALFA(7,7)/FO
ALFA(9,3)=F1*ALFA(5,3)/FO
ALFA(9,4)=F1*ALFA(5,4)/FO
ALFA(9,5)=F1*ALFA(5,5)/FO
ALFA(9,6)=F1*ALFA(5,6)/FO
ALFA(9,7)=F1*ALFA(5,7)/FO
ALFA(10,3)=F3*ALFA(5,3)/FO
ALFA(10,4)=F3*ALFA(5,4)/FO
ALFA(10,5)=F3*ALFA(5,5)/FO
ALFA(10,6)=F3*ALFA(5,6)/FO
ALFA(10,7)=F3*ALFA(5,7)/FO
ALFA(11,3)=F1*ALFA(7,3)/FO
ALFA(11,4)=F1*ALFA(7,4)/FO
ALFA(11,5)=F1*ALFA(7,5)/FO
ALFA(11,6)=F1*ALFA(7,6)/FO
ALFA(11,7)=F1*ALFA(7,7)/FO
ALFA(12,3)=F3*ALFA(7,3)/FO
ALFA(12,4)=F3*ALFA(7,4)/FO
ALFA(12,5)=F3*ALFA(7,5)/FO
ALFA(12,6)=F3*ALFA(7,6)/FO
ALFA(12,7)=F3*ALFA(7,7)/FO
ALFA(13,1)=F1*ALFA(1,1)/FO
ALFA(13,3)=F1*ALFA(1,3)/FO
ALFA(13,4)=F1*ALFA(1,4)/FO
ALFA(13,5)=F1*ALFA(1,5)/FO
ALFA(13,6)=F1*ALFA(1,6)/FO
ALFA(13,7)=F1*ALFA(1,7)/FO
ALFA(14,1)=F3
ALFA(14,3)=F3*ALFA(1,3)/FO
ALFA(14,4)=F3*ALFA(1,4)/FO
ALFA(14,5)=F3*ALFA(1,5)/FO
ALFA(14,6)=F3*ALFA(1,6)/FO
ALFA(14,7)=F3*ALFA(1,7)/FO
ALFA(15,2)=-F1*VO
ALFA(15,3)=F1*ALFA(3,3)/FO
ALFA(15,4)=F1*ALFA(3,4)/FO
ALFA(15,5)=F1*ALFA(3,5)/FO
ALFA(15,6)=F1*ALFA(3,6)/FO
ALFA(15,7)=F1*ALFA(3,7)/FO
ALFA(16,2)=-F3*VO
ALFA(16,3)=F3*ALFA(3,3)/FO
ALFA(16,4)=F3*ALFA(3,4)/FO
ALFA(16,5)=F3*ALFA(3,5)/FO
ALFA(16,6)=F3*ALFA(3,6)/FO
ALFA(16,7)=F3*ALFA(3,7)/FO
RETURN
END

```

```
// DUP
```

```
*DELETE      WS  UA  ACON
```

```
DEC3
```

```
*STORE       WS  UA  ACON
```

```
DEC3
```

```

// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
// FOR
** PROGRAMA YECI4
*ONE WORD INTEGERS
*LIST SOURCE PROGRAM
  SUBROUTINE CXDXM
    REAL LARG
    INTEGER ELECA(2,20),PT(16)
    DIMENSION X(30),Y(30),LR(80),LCR(80),NUNO(40,4),T(100),
    *XM(54),ALFA(16,7),AUX1(16),AUX2(16),P(80),PD(54),XF(54),DXF(54),
    *XD(54),DXD(54),WX(54),XV(54,54),D(80)
    COMMON X,Y,NUNO,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUMPN,LEMOD,
    *ITIPO,NPROB,IULT,LTEMP
    CALL LXEXR(VO,AO,VIO,T,ELECA,NUTEM,NUELE,PCA,YPASS,COMP,LARG)
    IJ=1
    IJA=0
    NXL=ELECA(1,NUELE)
    NOF=NUNO(NXL,3)
    DO 45 K=1,NMOD
      XO(K)=0.
      DXO(K)=0.
45  CONTINUE
      IUL=1
      TEMO=0.
      DO 5 I=1,NUTEM
        XT=T(I)
        IF(AO)10,10,15
10      XX=VO*XT
        GO TO 20
15      XX=VIO*XT+AO*XT**2/2.
20      CONTINUE
        XXFI=X(NOF)+COMP
        IF(XX-XXFI)315,315,320
315      IF(XX-X(NOF))314,314,313
320      IF(IJA-1)325,330,330
330      TEM=XT-TEMO
        DO 345 K=1,NMOD
          W=WX(K)
          XMX=XM(K)
          KN=NG-K+1
          XF(K)=0.
          DXF(K)=0.
          XF(K)=XF(K)+XO(K)*COS(W*TEM)+DXO(K)*SIN(W*TEM)/W
          DXF(K)=DXF(K)-XO(K)*W*SIN(W*TEM)+DXO(K)*COS(W*TEM)
345      CONTINUE
        DO 350 K=1,NG
          D(K)=0.
          DO 350 KK=1,NMOD

```

```

KN=NG-KK+1
350 D(K)=D(K)+XV(K,KN)*XF(KK)
KK=4*NUMPN
DO 355 K=1, KK
P(K)=0.
IF(LR(K))351,351,355
351 JJ=K-LCK(K)
P(K)=D(JJ)
355 CONTINUE
WRITE(5,1005)I,XT,XX
WRITE(5,1010)
DO 360 NU=1, NUMPN
WRITE(5,1016)NU,P(4*NU-3),P(4*NU-2),P(4*NU-1),P(4*NU)
360 CONTINUE
IJA=1
GO TO 5
325 ICON=NUELE+1
IUL=ICON-1
GO TO 44
313 NUTEI=1
NT=4*NUMPN
DO 319 K=1, NT
319 P(K)=0.
DO 318 K=1, 2
IF(K-1)316,316,317
317 T(1)=T(I)
COMI=XX-X(NOF)
GO TO 321
316 T(1)=T(I)-(XX-X(NOF))/VO
COMI=COMP-(XX-X(NOF))
321 CONTINUE
CALL CXDXA(VO,AO,VID,T,ELECA,NUTEI,NUELE,PCA,YPASS,COMI,LARG,D)
DO 322 KL=1, NT
322 P(KL)=D(KL)+P(KL)
318 CONTINUE
GO TO 98
C . VERIFICACAO DO TRECHO EN QUE A CARGA SE ENCONTRA
314 DO 30 J=IJ, NUELE
IIX=ELECA(2,J)
IIX=NUMO(IIX,3)
ICON=J
IF(XX-X(IIX))25,25,30
30 CONTINUE
25 CONTINUE
44 DO 50 J=IUL, ICON
DO 55 K=1, NMOD
XF(K)=0.
DXF(K)=0.
55 CONTINUE
NX2=ELECA(1,J)

```

```

N05=NUNO(NX2,3)
NX1=ELECA(2,J)
N02=NUNO(NX1,2)
N01=NUNO(NX1,1)
N03=NUNO(NX1,3)
A1=X(N02)-X(N01)
B2=Y(N03)-Y(N02)
B1=Y(N05)-Y(N03)
IF(ICON-J)88,88,90
88 XJJ=XX-X(N01)
IF(XJJ-COMP)95,90,90
95 IF(ICON-1)96,96,92
96 XL=XX-X(N01)
GO TO 100
92 NUTEI=1
NT=4*NUMPN
DO 94 K=1,NT
94 P(K)=0.
DO 93 LK=1,2
IF(LK-1)86,86,87
86 T(1)=XT
COMI=XX-X(N01)
GO TO 89
87 T(1)=X(N01)/VO
COMI=COMP-XX+X(N01)
89 CONTINUE
CALL CXDXA(VO,AD,VIO,T,ELECA,NUTEI,NUELE,PCA,YPASS,COMI,LARG,D)
DO 97 K=1,NT
97 P(K)=D(K)+P(K)
93 CONTINUE
GO TO 98
90 XL=COMP
100 A=A1
IF(AD)105,110,105
105 IF(ICON-J)115,120,115
115 TEM=(-VIO+SQRT(VIO**2+2*A1*AD))/AD
TEM0=TEM0+TEM
GO TO 130
120 TEM=XT-TEM0
GO TO 130
110 IF(ICON-J)135,140,135
135 TEM=A1/VO
TEM0=TEM0+TEM
GO TO 130
140 TEM=XT-TEM0
130 CONTINUE
DO 50 NN=1,2
IF(NN-1)185,190,185
190 Y1=0.
Y2=LARG

```



```

      B=B1
      GO TO 195
185  Y1=B2-LARG
      Y2=B2
      B=B2
195  CONTINUE
      CALL VEDIS(ALFA,A,B,VO,Y1,Y2,XL)
      NX=ELECA(NN,J)
C    REARUMACAO DOS VETORES DE CARGA
      DO 196 K=1,16
        PT(K)=0.
196  CONTINUE
      DO 200 K=1,4
        DO 200 JX=1,4
          IK=4-JX
          IC=4*NUNO(NX,K)-IK
          KY=4*(K-1)+JX
          IF(LR(IC))210,210,205
210  JJ=IC-LCR(IC)
          PT(KY)=JJ
205  CONTINUE
200  CONTINUE
      DO 225 K=1,NMOD
        XMX=XM(K)
        W=WX(K)
        KN=NG-K+1
        IF(NN-1)201,201,203
201  XF(K)=XF(K)+XO(K)*COS(W*TEM)+DXO(K)*SIN(W*TEM)/W
        DXF(K)=DXF(K)-XO(K)*W*SIN(W*TEM)+DXO(K)*COS(W*TEM)
203  CONTINUE
      DO 225 KK=1,NG
        DO 230 IL=1,16
          IF(KK-PT(IL))230,235,230
230  CONTINUE
          GO TO 225
235  LU=IL
          CALL FXAXU(AO,ALFA,TEM,W,LU,AUX1,AUX2,PCA)
          P(KK)=AUX1(LU)
          PD(KK)=AUX2(LU)
          XF(K)=XF(K)+XV(KK,KN)*P(KK)/(XMX*W)
          DXF(K)=DXF(K)+XV(KK,KN)*PD(KK)/(XMX*W)
225  CONTINUE
          IF(ICON-J)250,245,250
250  IF(NN-1)255,245,255
255  DO 260 KL=1,NMOD
        XU(KL)=XF(KL)
        DXO(KL)=DXF(KL)
260  CONTINUE
        IF(XX-X(NOF))50,50,330
245  CONTINUE

```

```

50 CONTINUE
DO 275 K=1,NG
D(K)=0.
DO 275 KK=1,NMOD
KN=NG-KK+1
275 D(K)=D(K)+XV(K,KN)*XF(KK)
KK=4*NUMPN
DO 295 K=1,KN
P(K)=0.
IF(LR(K))295,300,295
300 JJ=K-LCR(K)
P(K)=D(JJ)
295 CONTINUE
98 WRITE(5,1005)I,XT,XX
1005 FORMAT(////7X,'DESLOCAMENTOS PARA UN TEMPO T',I3,'=',E13.6,/,
*7X,'ORDENADA EM RELACAO A ORIGEM ',I3,'=',E13.6)
WRITE(5,1010)
1010 FORMAT(//,7X,'NO',9X,'W',14X,'WY',15X,'WX',12X,'WXY')
DO 305 NU=1,NUMPN
WRITE(5,1016)NU,P(4*NU-3),P(4*NU-2),P(4*NU-1),P(4*NU)
1016 FORMAT(7X,12,4(3X,E13.6))
305 CONTINUE
IUL=ICON
IJ=ICON
5 CONTINUE
RETURN
END

// DUP
*DELETE      WS  UA  CXDXM      OEC3
*STORE       WS  UA  CXDXM      OEC3
// FOR
** PROGRAMA YECI4
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
SUBROUTINE CXDXA(VO,AO,VIO,T,ELECA,NUTEM,NUELE,PCA,YPASS,COMP,
*LARG,P)
REAL LARG
INTEGER ELECA(2,20),PT(16)
DIMENSION X(30),Y(30),LR(80),LCR(80),NUNO(40,4),T(100),
*XM(54),ALFA(16,7),AUX1(16),AUX2(16),P(80),PD(54),XF(54),DXF(54),
*XO(54),DXO(54),WX(54),XV(54,54),D(80)
COMMON X,Y,NUNO,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUMPN,LEMOD,
*ITIPO,NPROB,IULT,LTEMP
NXL=ELECA(1,NUELE)
NOF=NUNO(NXL,3)
IJ=1
DO 45 K=1,NMOD
XO(K)=0.
DXO(K)=0.
45 CONTINUE

```

```

IUL=1
TEM0=0.
DO 5 I=1,NUTEM
  XT=T(I)
  IF(A0)10,10,15
10  XX=V0*XT
  GO TO 20
15  XX=V10*XT+A0*XT**2/2.
20  CONTINUE
  IF(XX-X(NOF))11,11,12
12  XT=X(NOF)/V0
11  CONTINUE
C  VERIFICACAO DO TRECHO EN QUE A CARGA SE ENCONTRA
  DO 30 J=IJ,NUELE
  IIX=ELECA(2,J)
  IIX=NUNO(IIX,3)
  ICON=J
  IF(XX-X(IIX))25,25,30
30  CONTINUE
25  CONTINUE
  DO 50 J=IUL,ICON
  DO 55 K=1,NMOD
  XF(K)=0.
  DXF(K)=0.
55  CONTINUE
  NX2=ELECA(1,J)
  NO5=NUNO(NX2,3)
  NX1=ELECA(2,J)
  NO2=NUNO(NX1,2)
  NO1=NUNO(NX1,1)
  NO3=NUNO(NX1,3)
  A1=X(NO2)-X(NO1)
  B2=Y(NO3)-Y(NO2)
  B1=Y(NO5)-Y(NO3)
  XJJ=XX-X(NO1)
  IF(XJJ-COMP)95,90,90
95  XL=XX-X(NO1)
  GO TO 100
90  XL=COMP
100 A=A1
  IF(A0)105,110,105
105 IF(ICON-J)115,120,115
115 TEM=(-V10+SQRT(V10**2+2*A1*A0))/A0
  TEM0=TEM0+TEM
  GO TO 130
120 TEM=XT-TEM0
  GO TO 130
110 IF(ICON-J)135,140,135
135 TEM=A1/V0
  TEM0=TEM0+TEM

```

```

GO TO 130
140 TEM=XT-TEM0
130 CONTINUE
DO 50 NN=1,2
IF(NN-1)185,190,185
190 Y1=0.
Y2=LARG
B=B1
GO TO 195
185 Y1=B2-LARG
Y2=B2
B=B2
195 CONTINUE
CALL VEDIS(ALFA,A,B,VO,Y1,Y2,XL)
NX=ELECA(NN,J)
C REARUMACAO DOS VETORES DE CARGA
DO 196 K=1,16
PT(K)=0.
196 CONTINUE
DO 200 K=1,4
DO 200 JX=1,4
IK=4-JX
IC=4*NUNO(NX,K)-IK
KY=4*(K-1)+JX
IF(LR(IC))210,210,205
210 JJ=IC-LCR(IC)
PT(KY)=JJ
205 CONTINUE
200 CONTINUE
DO 225 K=1,NMOD
XMX=XM(K)
W=WX(K)
KN=NG-K+1
IF(NN-1)201,201,203
201 XF(K)=XF(K)+XO(K)*COS(W*TEM)+DXO(K)*SIN(W*TEM)/W
DXF(K)=DXF(K)-XO(K)*W*SIN(W*TEM)+DXO(K)*COS(W*TEM)
203 CONTINUE
DO 225 KK=1,NG
DO 230 IL=1,16
IF(KK-PT(IL))230,235,230
230 CONTINUE
GO TO 225
235 LU=IL
CALL FXAXU(AO,ALFA,TEM,W,LU,AUX1,AUX2,PCA)
P(KK)=AUX1(LU)
PD(KK)=AUX2(LU)
XF(K)=XF(K)+XV(KK,KN)*P(KK)/(XMX*W)
DXF(K)=DXF(K)+XV(KK,KN)*PD(KK)/(XMX*W)
225 CONTINUE
IF(ICON-J)250,245,250

```

```

250 IF(NN-1)255,245,255
255 DO 260 KL=1,NMOD
    XO(KL)=XF(KL)
    DXO(KL)=DXF(KL)
260 CONTINUE
245 CONTINUE
50 CONTINUE
    IF(XX-X(NOF))246,246,247
247 TEM=T(1)-XT
    DO 248 K=1,NMOD
        XO(K)=XF(K)
        DXO(K)=DXF(K)
        XF(K)=0.
        DXF(K)=0.
        W=WX(K)
        XMX=XM(K)
        KN=NG-K+1
        XF(K)=XF(K)+XO(K)*COS(W*TEM)+DXO(K)*SIN(W*TEM)/W
        DXF(K)=DXF(K)-XO(K)*W*SIN(W*TEM)+DXO(K)*COS(W*TEM)
248 CONTINUE
246 IF(J-ICON)285,290,290
290 DO 275 K=1,NG
    D(K)=0.
    DO 275 KK=1,NMOD
        KN=NG-KK+1
275 D(K)=D(K)+XV(K,KN)*XF(KK)
        KK=4*NUMPN
    DO 295 K=1,KN
        P(K)=0.
        IF(LR(K))295,300,295
300 JJ=K-LCR(K)
        P(K)=D(JJ).
295 CONTINUE
285 CONTINUE
    IUL=ICON
    IJ=ICON
5 CONTINUE
    RETURN
    END
// DUP
*DELETE          CXDXA          OEC3
*STORE          WS  UA  CXDXA          OEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
    SUBROUTINE VEDIS(ALFA,A,B,VO,Y1,Y2,XL)
    DIMENSION ALFA(16,7)
    FO=(Y2-Y1)-(Y2**3-Y1**3)/B**2+(Y2**4-Y1**4)/(2.*B**3)
    F1=(Y2**3-Y1**3)/B**2-(Y2**4-Y1**4)/(2.*B**3)
    F2=(Y2**2-Y1**2)/2.-2.*(Y2**3-Y1**3)/(3.*B)+(Y2**4-Y1**4)/

```

*(4.*B**2)

F3=-(Y2**3-Y1**3)/(3.*B)+(Y2**4-Y1**4)/(4.*B**2)

ALFA(1,1)=(XL-XL**3/A**2-XL**4/(2.*A**3))*FO

ALFA(1,2)=(3.*XL**2*VO/A**2+4.*XL**3*VO/(2.*A**3))*FO

ALFA(1,3)=(-3.*XL*VO**2/A**2-6.*XL**2*VO**2/(2.*A**3))*FO

ALFA(1,4)=(2.*VO**3*XL/A**3)*FO

ALFA(2,1)=F2*ALFA(1,1)/FO

ALFA(2,2)=F2*ALFA(1,2)/FO

ALFA(2,3)=F2*ALFA(1,3)/FO

ALFA(2,4)=F2*ALFA(1,4)/FO

ALFA(3,1)=(XL**2/2.+2.*XL**3/(3.*A)+XL**4/(4.*A**2))*FO

ALFA(3,2)=(-2.*XL*VO/2.-6.*XL**2*VO/(3.*A)-4.*XL**3*VO/(4.*A**2
*))FO

ALFA(3,3)=(6.*XL*VO**2/(3.*A)+6.*XL**2*VO**2/(4.*A**2))*FO

ALFA(3,4)=(-4.*VO**3*XL*FO)/(4.*A**2)

ALFA(4,1)=F2*ALFA(3,1)/FO

ALFA(4,2)=F2*ALFA(3,2)/FO

ALFA(4,3)=F2*ALFA(3,3)/FO

ALFA(4,4)=F2*ALFA(3,4)/FO

ALFA(5,1)=(XL**3/A**2+XL**4/(2.*A**3))*FO

ALFA(5,2)=(-3.*XL**2*VO/A**2-4.*XL**3*VO/(2.*A**3))*FO

ALFA(5,3)=(3.*XL*VO**2/A**2+6.*XL**2*VO**2/(2.*A**3))*FO

ALFA(5,4)=(-4.*VO**3*XL/(2.*A**3))*FO

ALFA(6,1)=F2*ALFA(5,1)/FO

ALFA(6,2)=F2*ALFA(5,2)/FO

ALFA(6,3)=F2*ALFA(5,3)/FO

ALFA(6,4)=F2*ALFA(5,4)/FO

ALFA(7,1)=(XL**3/(3*A)+XL**4/(4.*A**2))*FO

ALFA(7,2)=-(XL**2*VO/A+XL**3*VO/A**2)*FO

ALFA(7,3)=(XL*VO**2/A+6.*XL**2*VO**2/(4.*A**2))*FO

ALFA(7,4)=-4.*VO**3*XL*FO/(4.*A**2)

ALFA(8,1)=F2*ALFA(7,1)/FO

ALFA(8,2)=F2*ALFA(7,2)/FO

ALFA(8,3)=F2*ALFA(7,3)/FO

ALFA(8,4)=F2*ALFA(7,4)/FO

ALFA(9,1)=F1*ALFA(5,1)/FO

ALFA(9,2)=F1*ALFA(5,2)/FO

ALFA(9,3)=F1*ALFA(5,3)/FO

ALFA(9,4)=F1*ALFA(5,4)/FO

ALFA(10,1)=F3*ALFA(5,1)/FO

ALFA(10,2)=F3*ALFA(5,2)/FO

ALFA(10,3)=F3*ALFA(5,3)/FO

ALFA(10,4)=F3*ALFA(5,4)/FO

ALFA(11,1)=F1*ALFA(7,1)/FO

ALFA(11,2)=F1*ALFA(7,2)/FO

ALFA(11,3)=F1*ALFA(7,3)/FO

ALFA(11,4)=F1*ALFA(7,4)/FO

ALFA(12,1)=F3*ALFA(7,1)/FO

ALFA(12,2)=F3*ALFA(7,2)/FO

ALFA(12,3)=F3*ALFA(7,3)/FO

```

ALFA(12,4)=F3*ALFA(7,4)/FO
ALFA(13,1)=F1*ALFA(1,1)/FO
ALFA(13,2)=F1*ALFA(1,2)/FO
ALFA(13,3)=F1*ALFA(1,3)/FO
ALFA(13,4)=F1*ALFA(1,4)/FO
ALFA(14,1)=F3*ALFA(1,1)/FO
ALFA(14,2)=F3*ALFA(1,2)/FO
ALFA(14,3)=F3*ALFA(1,3)/FO
ALFA(14,4)=F3*ALFA(1,4)/FO
ALFA(15,1)=F1*ALFA(3,1)/FO
ALFA(15,2)=F1*ALFA(3,2)/FO
ALFA(15,3)=F1*ALFA(3,3)/FO
ALFA(15,4)=F1*ALFA(3,4)/FO
ALFA(16,1)=F3*ALFA(3,1)/FO
ALFA(16,2)=F3*ALFA(3,2)/FO
ALFA(16,3)=F3*ALFA(3,3)/FO
ALFA(16,4)=F3*ALFA(3,4)/FO
RETURN
END

```

```
// DUP
```

```
*DELETE          VEDIS          OEC3
```

```
*STORE          WS UA VEDIS      OEC3
```

```
// FOR
```

```
*LIST SOURCE PROGRAM
```

```
*ONE WORD INTEGERS
```

```
  SUBROUTINE LXEXR(VO,AD,VIO,T,ELECA,NUTEM,NUELE,PCA,YPASS,COMP,
```

```
  *LARG)
```

```
  REAL LARG
```

```
  INTEGER ELECA(2,20)
```

```
  DIMENSION XV(54,54),WX(54),XM(54),LR(80),LCR(80),NUNO(40,4)
```

```
  *,X(30),Y(30),T(100)
```

```
  COMMON X,Y,NUNO,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUMPN,LEMOD,
```

```
  *ITIPO,NPROB,IULT,LTEMP
```

```
  READ(8,1001)NUTEM,NUELE
```

```
1001 FORMAT(2I10)
```

```
  IF(LTEMP)5,5,10
```

```
  10 READ(8,1012)VO,YPASS,VIO,AD
```

```
1012 FORMAT(4F10.0)
```

```
  READ(8,1004)(T(I),I=1,NUTEM)
```

```
1004 FORMAT(8F10.0)
```

```
  WRITE(5,1003)NUTEM,NUELE,AD,VO,VIO,YPASS
```

```
1003 FORMAT(///,7X,'NUMERO DE TEMPOS',6X,'=',I3,/,7X,'NO. DE ELE. '
```

```
*, 'DO TRAYETO=',I2,/,7X,
```

```
*, 'ACELERACAO CONSTANTE',2X,'=',E11.4,/,7X,'VELOCIDADE CONSTANTE'
```

```
*,2X,'=',E11.4,/,7X,'VELOCIDADE INICIAL',4X,'=',E11.4,/,7X,
```

```
*, 'ORDENADA DO TRAYETO',3X,'=',E11.4)
```

```
  GO TO 6
```

```
  5 READ(8,1015)REL,XTOT,NDT,YPASS,IACE
```

```
1015 FORMAT(2F10.0,I10,F10.0,I10)
```

```
  PER=6.2832/WX(1)
```

```

TRAV=PER/REL
IF(IACE)15,15,20
15 VO=XTOT/TRAV
XX=TRAV/NDT
XF=0.
DO 25 I=1,NUTEM
XF=XF+XX
T(I)=XF
25 CONTINUE
VIO=0.
AO=0.
GO TO 30
20 CONTINUE
AO=2.*XTOT/TRAV**2
VIO=0.
XX=XTOT/NDT
XF=0.
DO 35 I=1,NUTEM
XF=XF+XX
T(I)=SQRT(2.*AO*XF)/AO
35 CONTINUE
30 WRITE(5,1003)NUTEM,NUELE,AO,VO,VIO,YPASS
WRITE(5,1017)REL
1017 FORMAT(//7X,'REL. ENTRE 1. PER. E TEMP. DE TRAV. =',F4.2)
6 CONTINUE
WRITE(5,1008)
1008 FORMAT(//,7X,'ELEMENTOS PELOS QUAIS PASSA A CARGA')
IF(ITIPO-3)36,40,40
36 READ(8,1005)(ELECA(I,I),I=1,NUELE)
1005 FORMAT(8I10)
WRITE(5,1009)(ELECA(I,I),I=1,NUELE)
1009 FORMAT(/,7X,6(2X,I3))
GO TO 45
40 DO 60 I=1,2
READ(8,1005)(ELECA(I,J),J=1,NUELE)
IF(I-1)50,50,55
50 WRITE(5,1020)(ELECA(I,J),J=1,NUELE)
GO TO 60
55 WRITE(5,1022)(ELECA(I,J),J=1,NUELE)
60 CONTINUE
1020 FORMAT(/,7X,'SUPERIORES',1X,8(2X,I3))
1022 FORMAT(/,7X,'INFERIORES',1X,8(2X,I3))
45 CONTINUE
READ(8,1025)PCA,COMP,LARG
WRITE(5,1026)PCA,COMP,LARG
1025 FORMAT(3F10.0)
1026 FORMAT(//,7X,'VALOR DA CARGA',7X,'=',E11.4,/,7X,'COMPRIMENTO DA CA
*RG =',E11.4,/,7X,'LARGURA DA CARGA',5X,'=',E11.4)
RETURN
END

```



```

// DUP
*DELETE      WS  UA  LXEXR      OEC3
*STORE       WS  UA  LXEXR      GEC3
// FOR
** PROGRAMA YECI1
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
*IOCS(2501READER,1403PRINTER,DISK)
C  ANALISIS DINAMICO DE PLACAS-TESIS DE MESTRADO
C  YECID ALIAGA BRUCH-COPPE/UFRJ/ENGENHARIA CIVIL/
  DEFINE FILE 1(2416,2,U,ID)
  REAL M(54,54),ME(16,16)
  DIMENSION X(30),Y(30),S(54,54),XE(4),YE(4),NEP(40),EE1(3)
*,EE2(3),RO(3),ESPE(40),LR(80),LCR(80),SE(16,16),L(4,4),
*NUNO(40,4),XV(54,54),XL(54),XNOME(18),XM(54)
*,WX(54)
  COMMON X,Y,NUNO,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUMPN,LEMOD,
*ITIPO,NPROB,IULT,LTEMP,XL,M
504 READ(8,1105)NPROB,IULT,ITIPO,LEMOD
  IF(NPROB-1)5,6,5
  6 CONTINUE
  WRITE(5,999)
  WRITE(5,998)
999 FORMAT(1H1,////////////////////,20X,41('* '),/,20X,'*',79X,'*',/,20X
*, '*',79X,'*',/,20X,'*',79X,'*',/,20X,'*',14X,'A N A L I S E  D I
*N A M I C A  D E  P L A C A S',14X,'*',/,20X,'*',79X,'*',/,20X,'
**',79X,'*',/,20X,'*',36X,'P E L O',36X,'*',/,20X,'*',79X,'*',/,20X
*, '*',79X,'*',/,20X,'*',12X,'M E T O D O  D O S  E L E M E N T O
*S  F I N I T O S',12X,'*')
998 FORMAT(20X,'*',79X,'*',/,20X,'*',79X,'*',/,20X,'*',79X,'*',/,20X,
*'*',79X,'*',/,20X,'*',12X,'COPPE-UFRJ-1972',23X,'YECID ALIAGA BRUC
*H',11X,'*',/,20X,'*',79X,'*',/,20X,'*',79X,'*',/,20X,41('* '))
  5 CONTINUE
  ID=1
  WRITE(5,1100)
1100 FORMAT(1H1,6X,'A N A L I S E  D I N A M I C A  D E  P L A C A S
*',/,7X,'*****')
1105 FORMAT(5I10)
  WRITE(5,1110)NPROB
1110 FORMAT(//,7X,'PROBLEMA NUMERO',1X,'=',I2)
  READ(8,1000)XNOME
  WRITE(5,1001)XNOME
1000 FORMAT(18A4)
1001 FORMAT(//,7X,'-----
*-----',///,1X,18A4,///,7X,'-----
*-----')
  READ(8,1002)NUMEL,NUMPN,NUMAT,NRJ,ITIEL,INRO
  WRITE(5,1003)
  GO TO (56,57,58),ITIEL
56 NDNO=3

```

```

NNE=3
GO TO 59
57 NDNO=3
NNE=4
GO TO 59
58 NDNO=4
NNE=4
59 CONTINUE
WRITE(5,1004)NUMEL,NUMPN,NUMAT,ITIEL,NRJ,NNE,NDNO
1002 FORMAT(8I10)
1003 FORMAT(///7X,'DADOS DA ESTRUTURA')
1004 FORMAT(//7X,'NUMERO DE ELEMENTOS',1X,'=',12/7X,'NUMERO DE NOS',7X,
*=' ',12/7X,'NUMERO DE MATERIAIS',1X,'=',12/7X,'ELEMENTO UTILIZADO
*=' ',12/7X,'NUMERO DE SUPORTES',2X,'=',12,
*/7X,'NOS POR ELEMENTO',4X,
*=' ',12,/7X,'DESLOCAMENTOS POR NO', '=' ,12)
WRITE(5,1006)
DO 2 IC=1,NUMAT
READ(8,1005)MTYPE,RO(MTYPE),EE1(MTYPE),EE2(MTYPE)
2 WRITE(5,1007)MTYPE,RO(MTYPE),EE1(MTYPE),EE2(MTYPE)
1005 FORMAT(I10,3F10.0)
1006 FORMAT(//7X,'CARACTERISTICAS DO MATERIAL'/7X,'MATERIAL',5X,'MASS.E
*SP.',5X,'MOD.DE.ELAST.',5X,'C.POISSON',/)
1007 FORMAT(7X,12,10X,E11.4,4X,E11.4,5X,E11.4)
WRITE(5,1008)
DO 3 IC=1,NUMPN
READ(8,1009)NU,X(NU),Y(NU)
3 WRITE(5,1010)NU,X(NU),Y(NU)
1008 FORMAT(//7X,'COORDENADAS DOS NOS'/7X,'NO',5X,'X',6X,'Y'/)
1009 FORMAT(I10,2F10.0)
1010 FORMAT(7X,12,1X,2F7.2)
IF(NNE-3)11,11,12
11 WRITE(5,1152)
GO TO 13
12 WRITE(5,1011)
13 DO 4 IC=1,NUMEL
IF(NNE-3)8,8,9
8 READ(8,1012)NU,(NUNO(NU,J),J=1,NNE),ESPE(NU),NEP(NU)
WRITE(5,1033)NU,(NUNO(NU,J),J=1,3),ESPE(NU),NEP(NU)
GO TO 4
9 READ(8,1031)NU,(NUNO(NU,J),J=1,NNE),ESPE(NU),NEP(NU)
WRITE(5,1013)NU,(NUNO(NU,J),J=1,4),ESPE(NU),NEP(NU)
4 CONTINUE
1031 FORMAT(5I10,F10.0,I10)
1152 FORMAT(//7X,'INCIDENCIAS E PROPIEDADES DO ELEMENTO'/7X,'MEMBRO',6X
*,'NOI',5X,'NOJ',5X,'NOK',4X,'ESPE',5X,'MATERIAL'/)
1011 FORMAT(//7X,'INCIDENCIAS E PROPIEDADES DO ELEMENTO'/7X,'MEMBRO',6X
*,'NOI',5X,'NOJ',5X,'NOK',5X,'NOL',4X,'ESPE',5X,'MATERIAL'/)
1012 FORMAT(4I10,F10.0,I10)
1013 FORMAT(7X,12,4X,4(6X,12),F9.2,7X,12)

```

```

1033 FORMAT(7X,I2,4X,3(6X,I2),F9.2,7X,I2)
      NPT=NDND*NUMPN
      DO 15 I=1,NPT
        LR(I)=0
15    LCR(I)=0
        IF(NDND-3)16,16,17
16    WRITE(5,1014)
        IF(NNE-3)27,27,28
27    DO 29 K=1,NRJ
        READ(8,1015)NU,LR(3*NU-2),LR(3*NU),LR(3*NU-1)
        WRITE(5,1016)NU,LR(3*NU-2),LR(3*NU),LR(3*NU-1)
29    CONTINUE
        GO TO 19
28    DO 18 K=1,NRJ
        READ(8,1015)NU,LR(3*NU-2),LR(3*NU-1),LR(3*NU)
18    WRITE(5,1016)NU,LR(3*NU-2),LR(3*NU-1),LR(3*NU)
        GO TO 19
17    WRITE(5,1151)
        DO 20 K=1,NRJ
        READ(8,1015)NU,LR(4*NU-3),LR(4*NU-2),LR(4*NU-1),
          *LR(4*NU)
20    WRITE(5,1150)NU,LR(4*NU-3),LR(4*NU-2),LR(4*NU-1),LR(4*NU)
1150 FORMAT(7X,I2,7X,I1,8X,I1,9X,I1,9X,I1)
1151 FORMAT(//7X,'RESTRICOES DE NO',/7X,'NO',5X,'RESW',5X,'RESWY',5X,
          *'RESWX',5X,'RESWXY'/)
1014 FORMAT(//7X,'RESTRICOES DE NO'/7X,'NO',5X,'RESW',5X,'RESWY',5X,'RE
          *SWX'/)
1015 FORMAT(5I10)
1016 FORMAT(7X,I2,7X,I1,8X,I1,9X,I1)
19    CONTINUE
        LCR(I)=LR(I)
        DO 24 I=2,NPT
          LCR(I)=LCR(I-1)+LR(I)
24    CONTINUE
        NG=NDND*NUMPN-LCR(NPT)
        DO 23 I=1,NG
          DO 23 J=1,NG
            S(I,J)=0.
            M(I,J)=0.
23    CONTINUE
        DO 25 IC=1,NUMEL
          DO 30 JC=1,NNE
            JJ=NUÑO(IC,JC)
            XE(JC)=X(JJ)
30    YE(JC)=Y(JJ)
            ESP=ESPE(IC)
            JX=NEP(IC)
            HO=RO(JX)
            E1=EE1(JX)
            E2=EE2(JX)

```

```

GO TO (31,32,70),ITIEL
31 CONTINUE
CALL RIMAE(XE,YE,ESP,E1,E2,HO,SE,ME)
IF(INRO)33,33,48
48 CALL INFRU(XE,YE,ME,HO,ESP)
GO TO 33
32 CONTINUE
CALL RIREC(XE,YE,E1,E2,ESP,SE)
CALL MAREC(XE,YE,HO,ESP,ME)
GO TO 33
70 CONTINUE
CALL RIR16(XE,YE,E1,E2,ESP,SE)
CALL MAR16(XE,YE,HO,ESP,ME)
33 CONTINUE
C REARUMACAO E MONTAGEM DA MATRIZ DE RIGIDEZ E DE MASSA
DO 35 I=1,NNE
DO 35 J=1,NDNO
IK=NDNO-J
L(I,J)=NDNO*NUNO(IC,I)-IK
JY=L(I,J)
IF(LR(JY))40,40,41
40 L(I,J)=L(I,J)-LCR(JY)
GO TO 35
41 L(I,J)=NG+LCR(JY)
35 CONTINUE
DO 25 I=1,NNE
DO 25 J=1,NDNO
LJ=NDNO*(I-1)+J
IK=NDNO-J
JY=NDNO*NUNO(IC,I)-IK
IF(LR(JY))50,50,25
50 DO 55 N=1,NNE
DO 55 K=1,NDNO
LI=NDNO*(N-1)+K
KE=L(I,J)
IF(KE-NG)300,300,55
300 KP=L(N,K)
IF(KP-NG)310,310,55
310 M(KP,KE)=M(KP,KE)+ME(LI,LJ)
S(KP,KE)=S(KP,KE)+SE(LI,LJ)
55 CONTINUE
25 CONTINUE
DO 132 IP=1,NG
DO 132 JP=1,NG
WRITE(1'D)M(IP,JP)
132 CONTINUE
READ(8,1200)NMOD
IF(LEMDD)500,500,501
500 CONTINUE
CALL ARRAY(2,NG,NG,54,54,S,S)

```

```

CALL ARRAY(2,NG,NG,54,54,M,M)
CALL NROOT(NG,S,M,XL,XV)
CALL ARRAY(1,NG,NG,54,54,XV,XV)
1200 FORMAT(110)
DO 85 KX=1,NG
XL(KX)=SQRT(XL(KX))
85 CONTINUE
WRITE(5,1019)
WRITE(5,1020)
1020 FORMAT(///7X,'FREQUENCIAS DO SISTEMA',/)
1019 FORMAT(1H1,6X,'PROPIEDADES VIBRATORIAS DO SISTEMA')
I4=0
NG1=NG+1
DO 60 I=1,15
I1=I4+1
IF((I1-NMOD)63,63,62)
63 I2=I4+2
I3=I4+3
I4=I4+4
WRITE(5,1021)I1,I2,I3,I4
1021 FORMAT(1X,4(12X,'W',I2))
L1=NG1-I1
L2=NG1-I2
L3=NG1-I3
L4=NG1-I4
60 WRITE(5,1022)XL(L1),XL(L2),XL(L3),XL(L4)
1022 FORMAT(4X,4(2X,E13.6),/)
62 WRITE(5,1023)
1023 FORMAT(///7X,'VETORES DOS MODOS DE VIBRACAO'//)
DO 65 I=1,NMOD
II=NG1-I
65 WRITE(5,1024)I,(XV(J,II),J=1,NG)
1024 FORMAT(/7X,'W',I2,' ~',7(2X,E13.6),/,12X,7(2X,E13.6),/,
*12X,7(2X,E13.6),/,12X,7(2X,E13.6),/,12X,7(2X,E13.6),/
*,12X,7(2X,E13.6),/,12X,7(2X,E13.6),/,12X,7(2X,E13.6))
GO TO 200
501 CONTINUE
WRITE(5,1057)
1057 FORMAT(///,7X,'FREQUENCIAS DO SISTEMA LIDAS',/)
NG1=NG-NMOD+1
READ(8,1052)(XL(I),I=NG1,NG)
WRITE(5,1053)(XL(I),I=NG1,NG)
WRITE(5,1056)
DO 502 J=NG1,NG
READ(8,1054)(XV(I,J),I=1,NG)
WRITE(5,1055)(XV(I,J),I=1,NG)
502 CONTINUE
1052 FORMAT(8F10.0)
1053 FORMAT(/7(2X,E13.6))
1054 FORMAT(8F10.0)

```

```

1055 FORMAT(/,7(2X,E13.6))
1056 FORMAT(/,7X,'MODOS DE VIBRACAO LIDOS',/)
200 CONTINUE
  IF(ITIPO)204,204,210
210 CONTINUE
  CALL DXDXS(ID)
  CALL LINK(YEC12)
204 CONTINUE
  IF(IULT)504,504,503
503 CONTINUE
  CALL EXIT
  END

// DUP
*DELETE      WS  UA  YEC13          DEC3
*STORE       WS  UA  YEC13          DEC3
// FOR
*IOCS(2501READER,1403PRINTER,DISK)
**PROGRAMA YEC12
*ONE WORD INTEGERS
*LIST SOURCE PROGRAM
  DIMENSION XV(54,54),WX(54),XM(54),LR(80),LCR(80),NUNO(40,4)
  *,X(30),Y(30)
  COMMON X,Y,NUNO,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUNPN,LEMOD,
  *ITIPO,NPROB,IULT,LTEMP
  CALL START
  READ(8,1001)NUCAR
  DO 10 K=1,NUCAR
  WRITE(5,1000)
1000 FORMAT(1H1,6X,'V I B R A C O E S   F O R C A D A S ')
  WRITE(5,1008)NMOD
1008 FORMAT(/,7X,'NUMERO DE MODOS DE VIBRACAO PARA ANALISE =',I3)
1001 FORMAT(110)
  READ(8,1002)ITIPO,LTEMP
1002 FORMAT(2110)
  WRITE(5,1003)K
1003 FORMAT(/,7X,'-----',/,7X,'NUMERO DU CARRE
  *GAMENTO =',I3,/,7X,'-----')
  GO TO (55,60,65),ITIPO
  55 WRITE(5,1004)
  CALL CXCF
  GO TO 10
  60 WRITE(5,1005)
  CALL CXCM
  GO TO 10
  65 WRITE(5,1006)
  CALL CXDM
  10 CONTINUE
1004 FORMAT(/,7X,'TIPO DO CARREGAMENTO   =',' CARGA FIXA VARIANDO COM O
  * TEMPO')
1005 FORMAT(/,7X,'TIPO DO CARREGAMENTO   =',' CARGA MOVEL CONCENTRADA')

```

```

1006 FORMAT(/,7X,'TIPO DO CARREGAMENTO   =',' CARGA MOVEL DISTRIBUIDA')
      CALL TIME(TI)
      TI=TI/60000.
      WRITE(5,1010)NPROB,TI
1010 FORMAT(///,7X,'TEMPO DE EXECUCAO NO CALCULO DA RESPOSTA DINAMICA D
      *O PROBLEMA',I2,' = ',F6.2,' MINUTOS ')
      IF(IULT)35,35,40
      35 CALL LINK(YEC11)
      40 CONTINUE
      CALL EXIT
      END

// DUP
*DELETE      WS  UA  YEC12          OEC3
*STORE       WS  UA  YEC12          OEC3
// XEQ YEC13  2
*LOCALYEC13,RIMAE,MAREC,RIREC,RIR16,MAR16,INFRO,NROOT
*FILES(1,XMAS,OEC3)

```

B I B L I O G R A F I A

- 1 . Timoshenko, S and Woinowsky-Krieger, S - "Theory of Plates and Shells", McGraw-Hill, 1959.
- 2 . Langharr, H.L. - "Energy Methods in Applied Mechanics", Wiley and Sons, Inc., 1962
- 3 . Koiter, W.T. - "A Consistent First Approximation in the General Theory of Thin Elastic Shells", International Union of Theoretical and Applied Mechanics, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 12-33, 1960.
- 4 . Washizu, K - "Variational Methods in Elasticity and Plasticity", Oxford, Pergamon Press, 1968.
- 5 . Holland, I and Bell, K. - "Finite Element Methods in Stress Analysis", Tapir, 1970.
- 6 . Zienkiewicz, O.C. - "The Finite Element Method in Engineering Science", MacGraw-Hill, London, 1971.
- 7 . Desai, C.S. and Abel, J.F. - "Introduction to the Finite Element Method", Van Nostrand Reinhold Company, 1972.
- 8 . Venancio Filho, F. - "Análise Dinâmica de Estruturas de massas Discretas", XIII Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Montevideo, 1969.
- 9 . Archer, J.S. - "Consistent Mass Matrix for Distributed Mass Systems", Journal of the Structural Div., ASCE, Vol. 84, No. ST6, AGO. 63.

10. Venancio Filho, F. - "Dynamic Influence Lines of Beams and Frames", Journal of the Structural Div., ASCE, Vol. 92, No. ST2, April, 1966.
11. Vasconcellos Filho, A. - "O Método dos Elementos Finitos: Fundamentos Teóricos, Automatização - Aplicações a Problemas de Placas e de Elasticidade Plana", Tese de D.Sc. , COPPE, 1970.
12. Yoshida, D.M. - "Dynamic Response of Beam and Plates Due to Moving Loads", Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, California, May 1970.
13. Bogner, F.K., Fox, R.L., and Schmit, L.A. - "The Generation of Inter Element Compatible Stiffness and Mass Matrices by Use of Interpolation Formulas, AFIT-1965.
14. Clough, R.W. - "Application of the Finite Element Method to Problems of Structural Dynamics", Nato Advanced Study Institute of Finite Element Methods in Continuum Mechanics, Lisbon, September, 1971.
15. Kapur, K.K. - "Prediction of Plate Vibrations Using a Consistent Mass Matrix", Aerospace Corporation, San Bernardino Calif.
16. Kuo, S.S. - "Numerical Method's and Computers", Addison-Wesley - 1965.
17. Volterra, E - Zachmanoglou, E.C. - "Dynamics of Vibrations ", Charles E. Merrill Books, Inc.

18. Przemieniecki, J.S. - "Theory of Matrix Structural Analysis", McGraw-Hill, 1968.
19. Gomes, P.A. - "Vibrações Livres de Placas Retangulares", Tese de M.Sc., COPPE, 1968.
20. Tottenham, H. and Brebbia, C. - "Finite Element Techniques in Structural Mechanics", Published by Stress Analysis Publishers, Southampton, England, 1970.
21. Elsgoltz, L. - "Ecuaciones Diferenciales y Cálculo Variacional", Editorial Mir, Moscu, 1969.
22. Venancio Filho, F. - "O Método dos Elementos Finitos", Curso dado na COPPE em Setembro de 1971.
23. Iyengar, K.T. and Jagadish, K.S. - "Dynamic Responce of Highway Bridges to Moving Loads", International Association for Bridge and Structural Engineering, No. 30-II, 1970.
24. Gesund, H. and Young, D. - "Dynamic Response of Beams to Moving Loads", International Association for Bridge and Structural Enegineering, 1961.
25. Zagustin, E.A. and Young, D. - "Dynamic Response of Beams to a Traveling Mass", International Association for Bridge and Structural Engineering, No. 32-I, 1972.
26. Yoshida, D.M. and Weaver, W. - "Finite Element Analysis of Beams and Plates with Moving Loads", International Association for Bridge and Structural Engineering, No.32-II, 1972.

27. Wen, R.K. and Toridis, T. - "Dynamic Behavior of Cantilever Bridges", Journal of the Engineering Mechanics Div., ASCE Vol. 88, No. EM4, August 1962.
28. Clough, R.W. - "Analysis of Structural Vibrations and Dynamic Response", Recent Advances in Matrix Methods of Structural Analysis and Design, 1971.

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

```
    SUBROUTINE RIMAE(XE,YE,ESP,E1,E2,HO,S,M)
    REAL M(16,16)
    DIMENSION XE(4),YE(4),S(16,16),C(9,9),E(3,3),H(3,3),T(3,3),
    *A(9,9),HE(3,3)
    DO 1 I=1,9
    DO 1 J=1,9
    M(I,J)=0.
    A(I,J)=0.
    S(I,J)=0.
1  C(I,J)=0.
    DO 2 I=1,3
    DO 2 J=1,3
2  E(I,J)=0.
    X13=XE(1)-XE(3)
    X23=XE(2)-XE(3)
    Y13=YE(1)-YE(3)
    Y23=YE(2)-YE(3)
    C(1,1)=1.
    C(2,4)=1.
    C(3,7)=1.
    C(4,2)=(X23-X13)/2.
    C(4,3)=(Y23-Y13)/2.
    C(4,5)=-C(4,2)
    C(4,6)=-C(4,3)
    C(5,5)=-X23/2.
    C(5,6)=-Y23/2.
    C(5,8)=-C(5,5)
    C(5,9)=-C(5,6)
    C(6,2)=-X13/2.
    C(6,3)=-Y13/2.
    C(6,8)=-C(6,2)
    C(6,9)=-C(6,3)
    C(7,1)=-1.
    C(7,2)=C(4,5)
    C(7,3)=C(4,6)
    C(7,4)=1.
    C(7,5)=C(7,2)
    C(7,6)=C(7,3)
    C(8,4)=-1.
    C(8,5)=C(5,8)
    C(8,6)=C(5,9)
    C(8,7)=1.
    C(8,8)=C(5,8)
    C(8,9)=C(5,9)
    C(9,1)=1.
    C(9,2)=C(6,2)
    C(9,3)=C(6,3)
```

```

C(9,7)=-1.
C(9,8)=C(9,2)
C(9,9)=C(9,3)
C  A MATRIZ C TRANSFORMA KALFA EM KQ
C  CALCULO DO DETERMINANTE QUE E IGUAL A DUAS VEZES A AREA DO
C  TRIANGULO
  DELTA=XE(2)*YE(3)+XE(3)*YE(1)+XE(1)*YE(2)-XE(2)*YE(1)-XE(3)*YE(2)
*-XE(1)*YE(3)
  AREA=DELTA/2.
  E(1,1)=(E1*ESP**3)/(12.*(1.-E2**2))
  E(1,2)=E2*E(1,1)
  E(2,1)=E(1,2)
  E(2,2)=E(1,1)
  E(3,3)=(1.-E2)*E(1,1)/2.
  T(1,1)=Y23**2/(4.*AREA**2)
  T(1,2)=Y13**2/(4.*AREA**2)
  T(1,3)=(-2.*Y13*Y23)/(4.*AREA**2)
  T(2,1)=X23**2/(4.*AREA**2)
  T(2,2)=X13**2/(4.*AREA**2)
  T(2,3)=(-2*X13*X23)/(4.*AREA**2)
  T(3,1)=(-2*X23*Y23)/(4.*AREA**2)
  T(3,2)=(-2.*X13*Y13)/(4.*AREA**2)
  T(3,3)=(2.*(X13*Y23+X23*Y13))/(4.*AREA**2)
  DO 20 I=1,3
  DO 20 J=1,3
20 H(I,J)=0.
C  CALCULO DA MATRIZ H=T(TRANSPOTA)*E
  DO 3 I=1,3
  DO 3 K=1,3
  DO 3 J=1,3
  3 H(K,I)=T(J,K)*E(J,I)+H(K,I)
  DO 21 I=1,3
  DO 21 J=1,3
21 E(I,J)=0.
C  CALCULO DA MATRIZ E =T(TRANSPOTA)*E*T
  DO 4 I=1,3
  DO 4 K=1,3
  DO 4 J=1,3
  4 E(K,I)=E(K,I)+H(K,J)*T(J,I)
  DO 5 I=1,3
  DO 5 J=1,3
  5 H(I,J)=0.
  H(1,3)=-2.
  H(2,2)=-2.
  H(3,1)=1.
  H(3,2)=-1.
  H(3,3)=-1.
  DO 22 I=1,3
  DO 22 J=1,3
22 T(I,J)=0.

```

```

DO 6 I=1,3
DO 6 K=1,3
DO 6 J=1,3
6 T(K,I)=T(K,I)+H(J,K)*E(J,I)
DO 23 I=1,3
DO 23 J=1,3
23 HE(I,J)=0.
DO 7 I=1,3
DO 7 K=1,3
DO 7 J=1,3
7 HE(K,I)=HE(K,I)+T(K,J)*H(J,I)*AREA
DO 8 I=1,3
DO 8 J=1,3
II=I+3
JJ=J+3
8 S(II,JJ)=HE(I,J)
H(1,1)=-2.*AREA/3.
H(2,1)=-H(1,1)
H(3,1)=0.
H(1,2)=H(2,1)
H(2,2)=0.
H(3,2)=H(2,1)
H(1,3)=0.
H(2,3)=H(1,1)
H(3,3)=H(1,1)
DO 24 I=1,3
DO 24 J=1,3
24 HE(I,J)=0.
DO 9 I=1,3
DO 9 K=1,3
DO 9 J=1,3
9 HE(K,I)=HE(K,I)+T(K,J)*H(J,I)
DO 10 I=1,3
DO 10 J=1,3
II=I+3
JJ=J+6
S(II,JJ)=HE(I,J)
10 S(JJ,II)=HE(I,J)
S(7,7)=AREA*(2.*E(1,1)-E(2,1)-E(3,1)-E(1,2)+2.*E(2,2)-E(3,2)-
*E(1,3)-E(2,3)+2.*E(3,3))/3.
S(7,8)=AREA*(-2.*E(1,1)-3.*E(2,1)-3.*E(3,1)+E(1,2)
+E(1,3)+E(3,2)+3.*E(2,3)+2.*E(3,3))/3.
S(8,7)=S(7,8)
S(7,9)=AREA*(E(2,1)+E(3,1)-3.*E(1,2)-2.*E(2,2)
-3.*E(3,2)+3.*E(1,3)+E(2,3)+2.*E(3,3))/3.
S(9,7)=S(7,9)
S(8,8)=AREA*(2.*E(1,1)+3.*E(2,1)+3.*E(3,1)+3.*E(1,2)+18.*E(2,2)
+9.*E(3,2)+3.*E(1,3)+9.*E(2,3)+6.*E(3,3))/3.
S(8,9)=AREA*(-E(2,1)-E(3,1)-9.*E(1,2)-3.*E(3,2)-3.*E(1,3)
-E(2,3)-2.*E(3,3))/3.

```

```

S(9,8)=S(8,9)
S(9,9)=AREA*(18.*E(1,1)+3.*E(2,1)+9.*E(3,1)+3.*E(1,2)
*+2.*E(2,2)+3.*E(3,2)+9.*E(1,3)+3.*E(2,3)+6.*E(3,3))/3.
DO 11 I=1,9
DO 11 K=1,9
DO 11 J=1,9
11 M(K,I)=M(K,I)+C(J,K)*S(J,I)
DO 25 I=1,9
DO 25 J=1,9
25 S(I,J)=0.
DO 12 I=1,9
DO 12 K=1,9
DO 12 J=1,9
12 S(K,I)=S(K,I)+M(K,J)*C(J,I)
DO 14 I=1,9
DO 14 J=1,9
14 M(I,J)=0.
DO 13 I=1,3
M(I,I)=HO*ESP*AREA/6.
II=I+3
M(II,II)=M(I,I)/15.
JJ=I+6
13 M(JJ,JJ)=M(I,I)/140.
M(1,2)=M(1,1)/2.
M(1,3)=M(1,2)
M(1,4)=M(1,1)/5.
M(1,5)=M(1,4)/2.
M(1,6)=M(1,4)
M(1,7)=-M(1,5)/3.
M(1,9)=-M(1,7)
M(2,3)=M(1,2)
M(2,4)=M(1,4)
M(2,5)=M(1,4)
M(2,6)=M(1,5)
M(2,7)=M(1,9)
M(2,8)=-M(1,9)
M(3,4)=M(1,5)
M(3,5)=M(1,4)
M(3,6)=M(1,4)
M(3,8)=M(1,9)
M(3,9)=-M(1,9)
M(4,5)=M(1,9)
M(4,6)=M(1,9)
M(4,8)=-M(1,9)/7.
M(4,9)=-M(4,8)
M(5,6)=M(1,9)
M(5,7)=M(4,9)
M(5,9)=-M(4,9)
M(6,7)=-M(4,9)
M(6,8)=M(4,9)

```

```

M(7,8)=M(5,9)/2.
M(7,9)=M(5,9)/2.
M(8,9)=M(5,9)/2.
DO 27 I=1,9
DO 27 J=1,9
27 M(J,I)=M(I,J)
DO 15 I=1,9
DO 15 K=1,9
DO 15 J=1,9
15 A(K,I)=A(K,I)+C(J,K)*M(J,I)
DO 26 I=1,9
DO 26 J=1,9
26 M(I,J)=0.
DO 16 I=1,9
DO 16 K=1,9
DO 16 J=1,9
16 M(K,I)=M(K,I)+A(K,J)*C(J,I)
RETURN
END

```

// DUP

*DELETE WS UA RIMAE DEC3

*STORE WS UA RIMAE DEC3

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

```

SUBROUTINE INFRO(XE,YE,ME,H0,ESP)
REAL M(9,9),ME(12,12)
DIMENSION XE(4),YE(4)
X13=XE(1)-XE(3)
X23= XE(2)-XE(3)
Y13=YE(1)-YE(3)
Y23=YE(2)-YE(3)
DELTA=XE(2)*YE(3)+XE(3)*YE(1)+XE(1)*YE(2)
*-XE(2)*YE(1)-XE(3)*YE(2)-XE(1)*YE(3)
AREA=DELTA/2.
CUNS=ESP**3*H0/(48.*AREA)
M(1,1)=CUNS*(Y23**2+X23**2)
M(1,2)=-CUNS*(Y23*Y13+X13*X23)
M(1,3)=CUNS*(-Y23*(Y23-Y13)+X23*(-X23+X13))
M(1,4)=CUNS*(Y23**2-Y23*Y13+X23**2-X23*X13)/3.
M(1,5)=CUNS*(-Y23**2-X23**2)/3.
M(1,6)=CUNS*(Y23*Y13+X23*X13)/3.
M(1,7)=0.
M(1,8)=0.
M(1,9)=0.
M(2,2)=CUNS*(Y13**2+X13**2)
M(2,3)=CUNS*(Y13*Y23-Y13**2+X13*X23-X13**2)
M(2,4)=CUNS*(Y13**2-Y23*Y13+X13**2-X13*X23)/3.
M(2,5)=CUNS*(Y23*Y13+X23*X13)/3.
M(2,6)=-CUNS*(Y13**2+X13**2)/3.

```



```

M(2,7)=0.
M(2,8)=0.
M(2,9)=0.
M(3,3)=CUNS*{(Y23-Y13)**2+(X13-X23)**2)
M(3,4)=-CUNS*(Y23**2-2.*Y23*Y13+Y13**2+X23**2-2.*X23*X13+X13**2)/3.
M(3,5)=CUNS*(Y23**2-Y23*Y13+X23**2-X23*X13)/3.
M(3,6)=CUNS*(Y13**2-Y23*Y13+X13**2-X23*X13)/3.
M(3,7)=0.
M(3,8)=0.
M(3,9)=0.
M(4,4)=CUNS*(Y23**2-Y23*Y13+Y13**2+X23**2-X23*X13+X13**2)/6.
M(4,5)=-CUNS*(Y23**2-Y23*Y13+X23**2-X23*X13)/6.
M(4,6)=-CUNS*(Y13**2-Y23*Y13+X13**2-X13*X23)/6.
M(4,7)=CUNS*(Y23**2-Y13**2+X23**2-X13**2)/30.
M(4,8)=CUNS*(Y23**2+X23**2)/30.
M(4,9)=-CUNS*(Y13**2+X13**2)/30.
M(5,5)=CUNS*(Y23**2-Y23*Y13+Y13**2+X23**2-X13*X23+X13**2)/6.
M(5,6)=-CUNS*(Y23*Y13+X23*X13)/6.
M(5,7)=-CUNS*(Y23**2+Y13**2-2.*Y23*Y13+X23**2+X13**2-2.*X23*X13
*)/30.
M(5,8)=-CUNS*(Y23**2-2.*Y23*Y13+X23**2-2.*X23*X13)/30.
M(5,9)=CUNS*(Y13**2+X13**2)/30.
M(6,6)=CUNS*(Y23**2-Y23*Y13+Y13**2+X23**2-X13*X23+X13**2)/6.
M(6,7)=-M(5,7)
M(6,8)=-CUNS*(Y23**2+X23**2)/30.
M(6,9)=CUNS*(Y13**2-2.*Y13*Y23+X13**2-2.*X13*X23)/30.
M(7,7)=CUNS*(2.*Y23**2-Y23*Y13+2.*Y13**2+2.*X23**2-X23*X13+
*2.*X13**2)/45.
M(7,8)=CUNS*(Y23**2-Y23*Y13+X23**2-X13*X23)/45.
M(7,9)=CUNS*(Y13**2-Y23*Y13+X13**2-X13*X23)/45.
M(8,8)=CUNS*(2.*Y23**2-3.*Y23*Y13+3.*Y13**2+2.*X23**2-3.*X23*X13+
*3.*X13**2)/45.
M(8,9)=CUNS*(Y23*Y13+X23*X13)/45.
M(9,9)=CUNS*(3.*Y23**2-3.*Y23*Y13+2.*Y13**2+3.*X23**2-3.*X23*X13
*+2.*X13**2)/45.
DO 5 I=1,9
DO 5 J=I,9
M(J,I)=M(I,J)
5 CONTINUE
DO 4 I=1,9
DO 4 J=1,9
ME(I,J)=ME(I,J)+M(I,J)
4 CONTINUE
RETURN
END
// DUP
*DELETE      WS  UA  INFRO      OEC3
*STORE       WS  UA  INFRO      OEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM

```

*ONE WORD INTEGERS

```
SUBROUTINE MAREC(XE,YE,DEN,ESP,ME)
REAL ME(16,16)
DIMENSION VEL(12),XE(4),YE(4)
A=SQRT((XE(4)-XE(1))*2+(YE(4)-YE(1))*2)
B=SQRT((XE(2)-XE(1))*2+(YE(2)-YE(1))*2)
VA=(DEN*ESP*A*B)/25200.
ME(1,1)=3454.*VA
ME(2,1)=-461.*VA
ME(3,1)=ME(2,1)
ME(4,1)=1226.*VA
ME(5,1)=274.*VA
ME(6,1)=199.*VA
ME(7,1)=394.*VA
ME(8,1)=116.*VA
ME(9,1)=-ME(8,1)
ME(10,1)=ME(4,1)
ME(11,1)=-199.*VA
ME(12,1)=-274.*VA
ME(2,2)=80.*VA
ME(3,2)=-63.*VA
ME(4,2)=ME(12,1)
ME(5,2)=-60.*VA
ME(6,2)=-42.*VA
ME(7,2)=-116.*VA
ME(8,2)=-30.*VA
ME(9,2)=28.*VA
ME(10,2)=ME(11,1)
ME(11,2)=40.*VA
ME(12,2)=42.*VA
ME(3,3)=80.*VA
ME(4,3)=199.*VA
ME(5,3)=42.*VA
ME(6,3)=40.*VA
ME(7,3)=116.*VA
ME(8,3)=28.*VA
ME(9,3)=-30.*VA
ME(10,3)=274.*VA
ME(11,3)=-42.*VA
ME(12,3)=-60.*VA
ME(4,4)=3454.*VA
ME(5,4)=461.*VA
ME(6,4)=461.*VA
ME(7,4)=1226.*VA
ME(8,4)=199.*VA
ME(9,4)=-274.*VA
ME(10,4)=394.*VA
ME(11,4)=-116.*VA
ME(12,4)=-116.*VA
ME(5,5)=80.*VA
```

```

ME(6,5)=63.*VA
ME(7,5)=199.*VA
ME(8,5)=40.*VA
ME(9,5)=-42.*VA
ME(10,5)=116.*VA
ME(11,5)=-30.*VA
ME(12,5)=-28.*VA
ME(6,6)=80.*VA
ME(7,6)=274.*VA
ME(8,6)=42.*VA
ME(9,6)=-60.*VA
ME(10,6)=116.*VA
ME(11,6)=-28.*VA
ME(12,6)=-30.*VA
ME(7,7)=3454.*VA
ME(8,7)=461.*VA
ME(9,7)=-461.*VA
ME(10,7)=1226.*VA
ME(11,7)=-274.*VA
ME(12,7)=-199.*VA
ME(8,8)=80.*VA
ME(9,8)=-63.*VA
ME(10,8)=274.*VA
ME(11,8)=-60.*VA
ME(12,8)=-42.*VA
ME(9,9)=80.*VA
ME(10,9)=-199.*VA
ME(11,9)=42.*VA
ME(12,9)=40.*VA
ME(10,10)=3454.*VA
ME(11,10)=-461.*VA
ME(12,10)=-461.*VA
ME(11,11)=80.*VA
ME(12,11)=63.*VA
ME(12,12)=80.*VA
DO 100 J=1,4
VEL(3*J-2)=1.
VEL(3*J-1)=8
100 VEL(3*J)=A
DO 101 J=1,12
DO 101 K=1,J
ME(J,K)=VEL(J)*ME(J,K)*VEL(K)
101 ME(K,J)=ME(J,K)
RETURN
END

```

// DUP

*DELETE WS UA MAREC

OEC3

*STORE WS UA MAREC

OEC3

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

```
SUBROUTINE RIREC(XE,YE,E1,E2,ESP,SMD)
DIMENSION VEL(12),XE(4),YE(4),SMD(16,16)
A=SQRT((XE(4)-XE(1))**2+(YE(4)-YE(1))**2)
B=SQRT((XE(2)-XE(1))**2+(YE(2)-YE(1))**2)
P2=A**2/B**2
VA1=1./15./A/B
VA2=ESP**3/12.
DX=(E1*VA2)/(1.-E2**2)
DY=DX
D1=E2*DX
DXY=DX*(1.-E2)/2.
SMD(1,1)=60./P2*DX+60.*P2*DY+30.*D1+84.*DXY
SMD(2,1)=-30.*P2*DY-15.*D1-6.*DXY
SMD(3,1)=30./P2*DX+15*D1+6.*DXY
SMD(4,1)=30./P2*DX-60.*P2*DY-30.*D1-84.*DXY
SMD(5,1)=-30.*P2*DY-6.*DXY
SMD(6,1)=15./P2*DX-15.*D1-6.*DXY
SMD(7,1)=-30./P2*DX-30.*P2*DY+30.*D1+84.*DXY
SMD(8,1)=-15.*P2*DY+6.*DXY
SMD(9,1)=15./P2*DX-6.*DXY
SMD(10,1)=-60./P2*DX+30.*P2*DY-30.*D1-84.*DXY
SMD(11,1)=-15.*P2*DY+15.*D1+6.*DXY
SMD(12,1)=30./P2*DX+6.*DXY
SMD(2,2)=20.*P2*DY+8.*DXY
SMD(3,2)=-15.*D1
SMD(4,2)=-SMD(5,1)
SMD(5,2)=10.*P2*DY-2.*DXY
SMD(6,2)=0.
SMD(7,2)=-SMD(8,1)
SMD(8,2)=5.*P2*DY+2.*DXY
SMD(9,2)=0.
SMD(10,2)=SMD(11,1)
SMD(11,2)=10.*P2*DY-8.*DXY
SMD(12,2)=0.
SMD(3,3)=20./P2*DX+8.*DXY
SMD(4,3)=SMD(6,1)
SMD(5,3)=0.
SMD(6,3)=10./P2*DX-8.*DXY
SMD(7,3)=-SMD(9,1)
SMD(8,3)=0.
SMD(9,3)=5./P2*DX+2.*DXY
SMD(10,3)=-SMD(12,1)
SMD(11,3)=0.
SMD(12,3)=10./P2*DX-2.*DXY
SMD(4,4)=SMD(1,1)
SMD(5,4)=-SMD(2,1)
SMD(6,4)=SMD(3,1)
SMD(7,4)=SMD(10,1)
SMD(8,4)=-SMD(11,1)
```

```

SMD(9,4)=SMD(12,1)
SMD(10,4)=SMD(7,1)
SMD(11,4)=-SMD(8,1)
SMD(12,4)=SMD(9,1)
SMD(5,5)=SMD(2,2)
SMD(6,5)=-SMD(3,2)
SMD(7,5)=-SMD(11,1)
SMD(8,5)=SMD(11,2)
SMD(9,5)=0.
SMD(10,5)=SMD(8,1)
SMD(11,5)=SMD(8,2)
SMD(12,5)=0.
SMD(6,6)=SMD(3,3)
SMD(7,6)=-SMD(12,1)
SMD(8,6)=0.
SMD(9,6)=SMD(12,3)
SMD(10,6)=-SMD(9,1)
SMD(11,6)=0.
SMD(12,6)=SMD(9,3)
SMD(7,7)=SMD(1,1)
SMD(8,7)=-SMD(2,1)
SMD(9,7)=-SMD(3,1)
SMD(10,7)=SMD(4,1)
SMD(11,7)=-SMD(5,1)
SMD(12,7)=-SMD(6,1)
SMD(8,8)=SMD(2,2)
SMD(9,8)=SMD(3,2)
SMD(10,8)=SMD(5,1)
SMD(11,8)=SMD(5,2)
SMD(12,8)=0.
SMD(9,9)=SMD(3,3)
SMD(10,9)=-SMD(6,1)
SMD(11,9)=0.
SMD(12,9)=SMD(6,3)
SMD(10,10)=SMD(1,1)
SMD(11,10)=SMD(2,1)
SMD(12,10)=-SMD(3,1)
SMD(11,11)=SMD(2,2)
SMD(12,11)=-SMD(3,2)
SMD(12,12)=SMD(3,3)
DO 100 J=1,4
VEL(3*J-2)=1.
VEL(3*J-1)=B
100 VEL(3*J)=A
DO 101 J=1,12
DO 101 K=1,J
SMD(J,K)=VEL(J)*SMD(J,K)*VEL(K)*VAL
101 SMD(K,J)=SMD(J,K)
RETURN
END

```

```

// DUP
*DELETE      WS  UA  RIREC      OEC3
*STORE       WS  UA  RIREC      OEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
  SUBROUTINE MAR16(XE,YE,ROE,T,ME)
  REAL ME(16,16)
  DIMENSION XE(4),YE(4)
  A1=XE(2)-XE(1)
  B1=YE(4)-YE(1)
  C1=ROE*T*A1*B1/1225.
  A2=A1*A1
  B2=B1*B1
  ME(1,1)=169./1.*C1
  ME(1,2)=143./6.*C1*B1
  ME(1,3)=-143./6.*C1*A1
  ME(1,4)=-121./36.*C1*A1*B1
  ME(1,5)=117./2.*C1
  ME(1,6)=33./4.*C1*B1
  ME(1,7)=169./12.*C1*A1
  ME(1,8)=143./72.*C1*A1*B1
  ME(1,9)=81./4.*C1
  ME(1,10)=-39./8.*C1*B1
  ME(1,11)=39./8.*C1*A1
  ME(1,12)=-169./144.*C1*A1*B1
  ME(1,13)=117./2.*C1
  ME(1,14)=-169./12.*C1*B1
  ME(1,15)=-33./4.*C1*A1
  ME(1,16)=143./72.*C1*A1*B1
  ME(2,2)=13./3.*C1*B2
  ME(2,3)=-121./36.*C1*A1*B1
  ME(2,4)=-11./18.*C1*A1*B2
  ME(2,5)=33./4.*C1*B1
  ME(2,6)=3./2.*C1*B2
  ME(2,7)=143./72.*C1*A1*B1
  ME(2,8)=13./36.*C1*A1*B2
  ME(2,9)=39./8.*C1*B1
  ME(2,10)=-9./8.*C1*B2
  ME(2,11)=169./144.*C1*A1*B1
  ME(2,12)=-13./48.*C1*A1*B2
  ME(2,13)=169./12.*C1*B1
  ME(2,14)=-13./4.*C1*B2
  ME(2,15)=-143./72.*C1*A1*B1
  ME(2,16)=11./24.*C1*A1*B2
  ME(3,3)=13./3.*C1*A2
  ME(3,4)=11./18.*C1*A2*B1
  ME(3,5)=-169./12.*C1*A1
  ME(3,6)=-143./72.*C1*A1*B1
  ME(3,7)=-13./4.*C1*A2

```

$ME(3,8)=-11./24.*C1*A2*B1$
 $ME(3,9)=-39./8.*C1*A1$
 $ME(3,10)=169./144.*C1*A1*B1$
 $ME(3,11)=-9./8.*C1*A2$
 $ME(3,12)=13./48.*C1*A2*B1$
 $ME(3,13)=-33./4.*C1*A1$
 $ME(3,14)=143./72.*C1*B1*A1$
 $ME(3,15)=3./2.*C1*A2$
 $ME(3,16)=-13./36.*C1*A2*B1$
 $ME(4,4)=1./9.*C1*A2*B2$
 $ME(4,5)=-143./72.*C1*A1*B1$
 $ME(4,6)=-13./36.*C1*A1*B2$
 $ME(4,7)=-11./24.*C1*A2*B1$
 $ME(4,8)=-1./12.*C1*A2*B2$
 $ME(4,9)=-169./144.*C1*A1*B1$
 $ME(4,10)=13./48.*C1*A1*B2$
 $ME(4,11)=-13./48.*C1*A2*B1$
 $ME(4,12)=1./16.*C1*A2*B2$
 $ME(4,13)=-143./72.*C1*A1*B1$
 $ME(4,14)=11./24.*C1*A1*B2$
 $ME(4,15)=13./36.*C1*A2*B1$
 $ME(4,16)=-1./12.*C1*A2*B2$
 $ME(5,5)=169./1.*C1$
 $ME(5,6)=143./6.*C1*B1$
 $ME(5,7)=143./6.*C1*A1$
 $ME(5,8)=121./36.*C1*A1*B1$
 $ME(5,9)=117./2.*C1$
 $ME(5,10)=-169./12.*C1*B1$
 $ME(5,11)=33./4.*C1*A1$
 $ME(5,12)=-143./72.*C1*A1*B1$
 $ME(5,13)=81./4.*C1$
 $ME(5,14)=-39./8.*C1*B1$
 $ME(5,15)=-39./8.*C1*A1$
 $ME(5,16)=169./144.*C1*A1*B1$
 $ME(6,6)=13./3.*C1*B2$
 $ME(6,7)=121./36.*C1*A1*B1$
 $ME(6,8)=11./18.*C1*A1*B2$
 $ME(6,9)=169./12.*C1*B1$
 $ME(6,10)=-13./4.*C1*B2$
 $ME(6,11)=143./72.*C1*A1*B1$
 $ME(6,12)=-11./24.*C1*A1*B2$
 $ME(6,13)=39./8.*C1*B1$
 $ME(6,14)=-9./8.*C1*B2$
 $ME(6,15)=-169./144.*C1*A1*B1$
 $ME(6,16)=13./48.*C1*A1*B2$
 $ME(7,7)=13./3.*C1*A2$
 $ME(7,8)=11./18.*C1*A2*B1$
 $ME(7,9)=33./4.*C1*A1$
 $ME(7,10)=-143./72.*C1*A1*B1$
 $ME(7,11)=3./2.*C1*A2$

$ME(7,12) = -13./36.*C1*A2*B1$
 $ME(7,13) = 39./8.*C1*A1$
 $ME(7,14) = -169./144.*C1*A1*B1$
 $ME(7,15) = -9./8.*C1*A2$
 $ME(7,16) = 13./48.*C1*A2*B1$
 $ME(8,8) = 1./9.*C1*A2*B2$
 $ME(8,9) = 143/72.*C1*A1*B1$
 $ME(8,10) = -11./24.*C1*A1*B2$
 $ME(8,11) = 13./36.*C1*A2*B1$
 $ME(8,12) = -1./12.*C1*A2*B2$
 $ME(8,13) = 169./144.*C1*A1*B1$
 $ME(8,14) = -13./48.*C1*A1*B2$
 $ME(8,15) = -13./48.*C1*A2*B1$
 $ME(8,16) = 1./16.*C1*A2*B2$
 $ME(9,9) = 169./1.*C1$
 $ME(9,10) = -143./6.*C1*B1$
 $ME(9,11) = 143./6.*C1*A1$
 $ME(9,12) = -121./36.*C1*A1*B1$
 $ME(9,13) = 117./2.*C1$
 $ME(9,14) = -33./4.*C1*B1$
 $ME(9,15) = -169./12.*C1*A1$
 $ME(9,16) = 143./72.*C1*A1*B1$
 $ME(10,10) = 13./3.*C1*B2$
 $ME(10,11) = -121./36.*C1*A1*B1$
 $ME(10,12) = 11./18.*C1*A1*B2$
 $ME(10,13) = -33./4.*C1*B1$
 $ME(10,14) = 3./2.*C1*B2$
 $ME(10,15) = 143./72.*C1*A1*B1$
 $ME(10,16) = -13./36.*C1*A1*B2$
 $ME(11,11) = 13./3.*C1*A2$
 $ME(11,12) = -11./18.*C1*A2*B1$
 $ME(11,13) = 169./12.*C1*A1$
 $ME(11,14) = -143./72.*C1*A1*B1$
 $ME(11,15) = -13./4.*C1*A2$
 $ME(11,16) = 11./24.*C1*A2*B1$
 $ME(12,12) = 1./9.*C1*A2*B2$
 $ME(12,13) = -143./72.*C1*A1*B1$
 $ME(12,14) = 13./36.*C1*A1*B2$
 $ME(12,15) = 11./24.*C1*A2*B1$
 $ME(12,16) = -1./12.*C1*A2*B2$
 $ME(13,13) = 169./1.*C1$
 $ME(13,14) = -143./6.*C1*B1$
 $ME(13,15) = -143./6.*C1*A1$
 $ME(13,16) = 121./36.*C1*A1*B1$
 $ME(14,14) = 13./3.*C1*B2$
 $ME(14,15) = 121./36.*C1*A1*B1$
 $ME(14,16) = -11./18.*C1*A1*B2$
 $ME(15,15) = 13./3.*C1*A2$
 $ME(15,16) = -11./18.*C1*A2*B1$
 $ME(16,16) = 1./9.*C1*A2*B2$


```
DO 30 J=1,16
DO 30 K=J,16
ME(K,J)=ME(J,K)
```

```
30 CONTINUE
```

```
RETURN
```

```
END
```

```
// DUP
```

```
*DELETE      WS  UA  MAR16      OEC3
```

```
*STORE       WS  UA  MAR16      OEC3
```

```
// FOR
```

```
*LIST SOURCE PROGRAM
```

```
*ONE WORD INTEGERS
```

```
SUBROUTINE RIR16(XE,YE,E,U,T,SE)
```

```
DIMENSION SE(16,16),XE(4),YE(4)
```

```
A1=XE(2)-XE(1)
```

```
B1=YE(4)-YE(1)
```

```
D=E*T**3/(12.*(1.-U*U))
```

```
D=D/(A1*B1)
```

```
A2=A1*A1
```

```
B2=B1*B1
```

```
A=A2/B2
```

```
B=B2/A2
```

```
SE(1,1)=D*(156./35.*B+156./35.*A+72./25.)
```

```
SE(1,2)=D*(22./35.*B+78./35.*A+6./25.+6./5.*U)*B1
```

```
SE(1,3)=D*(-78./35.*B-22./35.*A-6./25.-6./5.*U)*A1
```

```
SE(1,4)=D*(-11./35.*B-11./35.*A-1./50.-1./5.*U)*A1*B1
```

```
SE(1,5)=D*(-156./35.*B+54./35.*A-72./25.)
```

```
SE(1,6)=D*(-22./35.*B+27./35.*A-6./25.-6./5.*U)*B1
```

```
SE(1,7)=D*(-78./35.*B+13./35.*A-6./25.)*A1
```

```
SE(1,8)=D*(-11./35.*B+13./70.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1
```

```
SE(1,9)=D*(-54./35.*B-54./35.*A+72./25.)
```

```
SE(1,10)=D*(13./35.*B+27./35.*A-6./25.)*B1
```

```
SE(1,11)=D*(-27./35.*B-13./35.*A+6./25.)*A1
```

```
SE(1,12)=D*(13./70.*B+13./70.*A-1./50.)*A1*B1
```

```
SE(1,13)=D*(54./35.*B-156./35.*A-72./25.)
```

```
SE(1,14)=D*(-13./35.*B+78./35.*A+6./25.)*B1
```

```
SE(1,15)=D*(-27./35.*B+22./35.*A+6./25.+6./5.*U)*A1
```

```
SE(1,16)=D*(13./70.*B-11./35.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1
```

```
SE(2,2)=D*(4./35.*B+52./35.*A+8./25.)*B2
```

```
SE(2,3)=D*(-11./35.*B-11./35.*A-1./50.-6./5.*U)*A1*B1
```

```
SE(2,4)=D*(-2./35.*B-22./105.*A-2./75.-2./15.*U)*A1*B2
```

```
SE(2,5)=D*(-22./35.*B+27./35.*A-6./25.-6./5.*U)*B1
```

```
SE(2,6)=D*(-4./35.*B+18./35.*A-8./25.)*B2
```

```
SE(2,7)=D*(-11./35.*B+13./70.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1
```

```
SE(2,8)=D*(-2./35.*B+13./105.*A-2./75.)*A1*B2
```

```
SE(2,9)=D*(-13./35.*B-27./35.*A+6./25.)*B1
```

```
SE(2,10)=D*(3./35.*B+9./35.*A+2./25.)*B2
```

```
SE(2,11)=D*(-13./70.*B-13./70.*A+1./50.)*A1*B1
```

```
SE(2,12)=D*(3./70.*B+13./210.*A+1./150.)*A1*B2
```

```
SE(2,13)=D*(13./35.*B-78./35.*A-6./25.)*B1
```

$SE(2,14)=D*(-3./35.*B+26./35.*A-2./25.)*B2$
 $SE(2,15)=D*(-13./70.*B+11./35.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(2,16)=D*(3./70.*B-11./105.*A+1./150.+1./30.*U)*A1*B2$
 $SE(3,3)=D*(52./35.*B+4./35.*A+8./25.)*A2$
 $SE(3,4)=D*(22./105.*B+2./35.*A+2./75.+2./15.*U)*A2*B1$
 $SE(3,5)=D*(78./35.*B-13./35.*A+6./25.)*A1$
 $SE(3,6)=D*(11./35.*B-13./70.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(3,7)=D*(26./35.*B-3./35.*A-2./25.)*A2$
 $SE(3,8)=D*(11./105.*B-3./70.*A-1./150.-1./30.*U)*A2*B1$
 $SE(3,9)=D*(27./35.*B+13./35.*A-6./25.)*A1$
 $SE(3,10)=D*(-13./70.*B-13./70.*A+1./50.)*A1*B1$
 $SE(3,11)=D*(9./35.*B+3./35.*A+2./25.)*A2$
 $SE(3,12)=D*(-13./210.*B-3./70.*A-1./150.)*A2*B1$
 $SE(3,13)=D*(-27./35.*B+22./35.*A+6./25.+6./5.*U)*A1$
 $SE(3,14)=D*(13./70.*B-11./35.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(3,15)=D*(18./35.*B-4./35.*A-8./25.)*A2$
 $SE(3,16)=D*(-13./105.*B+2./35.*A+2./75.)*A2*B1$
 $SE(4,4)=D*(4./105.*B+4./105.*A+8./225.)*A2*B2$
 $SE(4,5)=D*(11./35.*B-13./70.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(4,6)=D*(2./35.*B-13./105.*A+2./75.)*A1*B2$
 $SE(4,7)=D*(11./105.*B-3./70.*A-1./150.-1./30.*U)*A2*B1$
 $SE(4,8)=D*(2./105.*B-1./35.*A-2./225.)*A2*B2$
 $SE(4,9)=D*(13./70.*B+13./70.*A-1./50.)*A1*B1$
 $SE(4,10)=D*(-3./70.*B-13./210.*A-1./150.)*A1*B2$
 $SE(4,11)=D*(13./210.*B+3./70.*A+1./150.)*A2*B1$
 $SE(4,12)=D*(-1./70.*B-1./70.*A+1./450.)*A2*B2$
 $SE(4,13)=D*(-13./70.*B+11./35.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(4,14)=D*(3./70.*B-11./105.*A+1./150.+1./30.*U)*A1*B2$
 $SE(4,15)=D*(13./105.*B-2./35.*A-2./75.)*A2*B1$
 $SE(4,16)=D*(-1./35.*B+2./105.*A-2./225.)*A2*B2$
 $SE(5,5)=D*(156./35.*B+156./35.*A+72./25.)*A1$
 $SE(5,6)=D*(22./35.*B+78./35.*A+6./25.+6./5.*U)*B1$
 $SE(5,7)=D*(78./35.*B+22./35.*A+6./25.+6./5.*U)*A1$
 $SE(5,8)=D*(11./35.*B+11./35.*A+1./50.+1./5.*U)*A1*B1$
 $SE(5,9)=D*(54./35.*B-156./35.*A-72./25.)*A1$
 $SE(5,10)=D*(-13./35.*B+78./35.*A+6./25.)*B1$
 $SE(5,11)=D*(27./35.*B-22./35.*A-6./25.-6./5.*U)*A1$
 $SE(5,12)=D*(-13./70.*B+11./35.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(5,13)=D*(-54./35.*B-54./35.*A+72./25.)*A1$
 $SE(5,14)=D*(13./35.*B+27./35.*A-6./25.)*B1$
 $SE(5,15)=D*(27./35.*B+13./35.*A-6./25.)*A1$
 $SE(5,16)=D*(-13./70.*B-13./70.*A+1./50.)*A1*B1$
 $SE(6,6)=D*(4./35.*B+52./35.*A+8./25.)*B2$
 $SE(6,7)=D*(11./35.*B+11./35.*A+1./50.+6./5.*U)*A1*B1$
 $SE(6,8)=D*(2./35.*B+22./105.*A+2./75.+2./15.*U)*A1*B2$
 $SE(6,9)=D*(13./35.*B-78./35.*A-6./25.)*B1$
 $SE(6,10)=D*(-3./35.*B+26./35.*A-2./25.)*B2$
 $SE(6,11)=D*(13./70.*B-11./35.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(6,12)=D*(-3./70.*B+11./105.*A-1./150.-1./30.*U)*A1*B2$
 $SE(6,13)=D*(-13./35.*B-27./35.*A+6./25.)*B1$

$SE(6,14)=D*(3./35.*B+9./35.*A+2./25.)*B2$
 $SE(6,15)=D*(13./70.*B+13./70.*A-1./50.)*A1*B1$
 $SE(6,16)=D*(-3./70.*B-13./210.*A-1./150.)*A1*B2$
 $SE(7,7)=D*(52./35.*B+4./35.*A+8./25.)*A2$
 $SE(7,8)=D*(22./105.*B+2./35.*A+2./75.+2./15.*U)*A2*B1$
 $SE(7,9)=D*(27./35.*B-22./35.*A-6./25.-6./5.*U)*A1$
 $SE(7,10)=D*(-13./70.*B+11./35.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(7,11)=D*(18./35.*B-4./35.*A-8./25.)*A2$
 $SE(7,12)=D*(-13./105.*B+2./35.*A+2./75.)*A2*B1$
 $SE(7,13)=D*(-27./35.*B-13./35.*A+6./25.)*A1$
 $SE(7,14)=D*(13./70.*B+13./70.*A-1./50.)*A1*B1$
 $SE(7,15)=D*(9./35.*B+3./35.*A+2./25.)*A2$
 $SE(7,16)=D*(-13./210.*B-3./70.*A-1./150.)*A2*B1$
 $SE(8,8)=D*(4./105.*B+4./105.*A+8./225.)*A2*B2$
 $SE(8,9)=D*(13./70.*B-11./35.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(8,10)=D*(-3./70.*B+11./105.*A-1./150.-1./30.*U)*A1*B2$
 $SE(8,11)=D*(13./105.*B-2./35.*A-2./75.)*A2*B1$
 $SE(8,12)=D*(-1./35.*B+2./105.*A-2./225.)*A2*B2$
 $SE(8,13)=D*(-13./70.*B-13./70.*A+1./50.)*A1*B1$
 $SE(8,14)=D*(3./70.*B+13./210.*A+1./150.)*A1*B2$
 $SE(8,15)=D*(13./210.*B+3./70.*A+1./150.)*A2*B1$
 $SE(8,16)=D*(-1./70.*B-1./70.*A+1./450.)*A2*B2$
 $SE(9,9)=D*(156./35.*B+156./35.*A+72./25.)*A1$
 $SE(9,10)=D*(-22./35.*B-78./35.*A-6./25.-6./5.*U)*B1$
 $SE(9,11)=D*(78./35.*B+22./35.*A+6./25.+6./5.*U)*A1$
 $SE(9,12)=D*(-11./35.*B-11./35.*A-1./50.-1./5.*U)*A1*B1$
 $SE(9,13)=D*(-156./35.*B+54./35.*A-72./25.)*A1$
 $SE(9,14)=D*(22./35.*B-27./35.*A+6./25.+6./5.*U)*B1$
 $SE(9,15)=D*(78./35.*B-13./35.*A+6./25.)*A1$
 $SE(9,16)=D*(-11./35.*B+13./70.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(10,10)=D*(4./35.*B+52./35.*A+8./25.)*B2$
 $SE(10,11)=D*(-11./35.*B-11./35.*A-1./50.-6./5.*U)*A1*B1$
 $SE(10,12)=D*(2./35.*B+22./105.*A+2./75.+2./15.*U)*A1*B2$
 $SE(10,13)=D*(22./35.*B-27./35.*A+6./25.+6./5.*U)*B1$
 $SE(10,14)=D*(-4./35.*B+18./35.*A-8./25.)*B2$
 $SE(10,15)=D*(-11./35.*B+13./70.*A-1./50.-1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(10,16)=D*(2./35.*B-13./105.*A+2./75.)*A1*B2$
 $SE(11,11)=D*(52./35.*B+4./35.*A+8./25.)*A2$
 $SE(11,12)=D*(-22./105.*B-2./35.*A-2./75.-2./15.*U)*A2*B1$
 $SE(11,13)=D*(-78./35.*B+13./35.*A-6./25.)*A1$
 $SE(11,14)=D*(11./35.*B-13./70.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(11,15)=D*(26./35.*B-3./35.*A-2./25.)*A2$
 $SE(11,16)=D*(-11./105.*B+3./70.*A+1./150.+1./30.*U)*A2*B1$
 $SE(12,12)=D*(4./105.*B+4./105.*A+8./225.)*A2*B2$
 $SE(12,13)=D*(11./35.*B-13./70.*A+1./50.+1./10.*U)*A1*B1$
 $SE(12,14)=D*(-2./35.*B+13./105.*A-2./75.)*A1*B2$
 $SE(12,15)=D*(-11./105.*B+3./70.*A+1./150.+1./30.*U)*A2*B1$
 $SE(12,16)=D*(2./105.*B-1./35.*A-2./225.)*A2*B2$
 $SE(13,13)=D*(156./35.*B+156./35.*A+72./25.)*A1$
 $SE(13,14)=D*(-22./35.*B-78./35.*A-6./25.-6./5.*U)*B1$

```

SE(13,15)=D*(-78./35.*B-22./35.*A-6./25.-6./5.*U)*A1
SE(13,16)=D*(11./35.*B+11./35.*A+1./50.+1./5.*U)*A1*B1
SE(14,14)=D*(4./35.*B+52./35.*A+8./25.)*B2
SE(14,15)=D*(11./35.*B+11./35.*A+1./50.+6./5.*U)*A1*B1
SE(14,16)=D*(-2./35.*B-22./105.*A-2./75.-2./15.*U)*A1*B2
SE(15,15)=D*(52./35.*B+4./35.*A+8./25.)*A2
SE(15,16)=D*(-22./105.*B-2./35.*A-2./75.-2./15.*U)*A2*B1
SE(16,16)=D*(4./105.*B+4./105.*A+8./225.)*A2*B2
DO 35 J=1,16
DO 35 K=J,16
SE(K,J)=SE(J,K)
35 CONTINUE
RETURN
END

```

```

// DUP
*DELETE      WS  UA  RIR16      OEC3
*STORE       WS  UA  RIR16      OEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
C      DESACOPLEMENTO DO SISTEMA
      SUBROUTINE DXDXS(ID)
      REAL M(54,54)
      DIMENSION XL(54),XV(54,54),WX(54),XM(54),LR(80),LCR(80),NUNO(40,4)
      *,X(30),Y(30)
      COMMON X,Y,NUNO,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUMPN,LEMOD,
      *ITIPO,NPROB,IULT,LEMP,XL,M
      ID=1
      DO 91 IP=1,NG
      DO 91 JP=1,NG
      READ(1*ID)M(IP,JP)
91 CONTINUE
      DO 5 I=1,NG
      J=NG-I+1
      WX(I)=XL(J)
5 CONTINUE
      DO 10 KC=1,NMOD
      JC=NG-KC+1
      DO 15 K=1,NG
      XL(K)=0.
      DO 15 N=1,NG
      XL(K)=XL(K)+XV(N,JC)*M(N,K)
15 CONTINUE
      XM(KC)=0.
      DO 10 N=1,NG
      XM(KC)=XM(KC)+XL(N)*XV(N,JC)
10 CONTINUE
      RETURN
      END
// DUP

```

*DELETE WS UA DXDXS OEC3

*STORE WS UA DXDXS OEC3

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

```
      SUBROUTINE LXEX1(LTF,P,PTO,AFU,NCC,NUTEM,T,LTEMP,WX,NEL,ICO,LEU,
      *NCCI,NECD,NUNO,X,Y,NCDIT)
      DIMENSION T(100),LTF(80),P(80),PTO(80),AFU(80),WX(54),X(30),Y(30)
      *,NEL(40),NUNO(40,4),XX1(2,40),XX2(2,40)
      IF(LEU)80,80,85
80    IF(LTEMP)15,15,20
      15 PER=6.8232/WX(1)
      READ(8,1055)NDIV
1055  FORMAT(I10)
      DT=PER/NDIV
      XX=0.
      DO 25 K=1,NUTEM
      XX=XX+DT
      T(K)=XX
      25 CONTINUE
      GO TO 30
      20 READ(8,1015)(T(I),I=1,NUTEM)
1015  FORMAT(8F10.0)
      30 CONTINUE
      LEU=1
      85 GO TO (40,50,65),ICO
      40 WRITE(5,1045)
1045  FORMAT(///,7X,'CARGAS CONCENTRADAS NOS NOS',/,7X,'-----
      *-----')
      WRITE(5,1040)
1040  FORMAT(/,7X,'NO',8X,'TIPO',9X,'AMPLITUDE',8X,'PERIODO',8X,
      *'CONSTANTE',/,18X,'DA',12X,'MAXIMA',11X,'(TO)',12X,'(A)',/,
      *16X,'FUNCAO',11X,'(PO)')
      DO 5 IC=1,NCC
      READ(8,1030)NU,LTF(4*NU-3),P(4*NU-3),PTO(4*NU-3),AFU(4*NU-3)
1030  FORMAT(2I10,3F10.0)
      WRITE(5,1035)NU,LTF(4*NU-3),P(4*NU-3),PTO(4*NU-3),AFU(4*NU-3)
1035  FORMAT(7X,I2,8X,I3,9X,E11.4,5X,E11.4,5X,E11.4)
      5 CONTINUE
      GO TO 120
      50 WRITE(5,1050)
1050  FORMAT(///,7X,'CARGAS CONCENTRADAS FORA DOS NOS',/,7X,'-----
      *-----')
      WRITE(5,1060)
1060  FORMAT(/,7X,'ELE.',2X,'TIPO DA',2X,'AMPLITUDE',3X,'PERIODO',5X,
      *'CONSTANTE',3X,'COORDENADAS DA CARGA',/,14X,'FUNCAO',4X,'(PO)',
      *8X,'(TO)',9X,'(A)',9X,'X',11X,'Y')
      DO 55 K=1,NCCI
      READ(8,1085)NEL(K),LTF(K),P(K),PTO(K),AFU(K),XX1(1,K),XX2(1,K)
      WRITE(5,1070)NEL(K),LTF(K),P(K),PTO(K),AFU(K),XX1(1,K),XX2(1,K)
```

```

55 CONTINUE
   CALL CXNXXE(NEL,LTF,P,PTO,AFU,ICO,NCCI,NECD,XX1,XX2,NUNO,X,Y,NCDIT)
   GO TO 120
65 WRITE(5,1065)
1065 FORMAT(///,7X,'CARGA DISTRIBUIDA',/,7X,'-----')
      IF(NCDIT)145,145,155
145 CONTINUE
      WRITE(5,1075)
1075 FORMAT(/,7X,'ELE.',2X,'TIPO DA',2X,'AMPLITUDE',3X,'PERIODO',4X,
  *'CONSTANTE',3X,'COORD. INI. DA CARGA',4X,'COORD. FIN. DA CARGA',
  */,13X,'FUNCAO',6X,'(PO)',7X,'(TO)',8X,'(A)',10X,'X',11X,'Y',11X,
  *'X',11X,'Y')
      NECO=NECD
      GO TO 130
155 CONTINUE
      NECO=1
130 CONTINUE
      DO 70 K=1,NECO
        READ(8,1090)NEL(K),LTF(K),P(K),PTO(K),AFU(K)
70 CONTINUE
        IF(NCDIT)71,71,72
71 CONTINUE
        DO 90 K=1,NECD
          READ(8,1095)XX1(1,K),XX2(1,K),XX1(2,K),XX2(2,K)
          WRITE(5,1115)NEL(K),LTF(K),P(K),PTO(K),AFU(K),XX1(1,K),XX2(1,K),
  *XX1(2,K),XX2(2,K)
90 CONTINUE
72 CONTINUE
      IF(NCDIT)95,95,100
100 WRITE(5,1105)
1105 FORMAT(///,7X,'TODOS OS ELEMENTOS ESTAO CARREGADOS COM UMA CARGA D
  *ISTRIBUIDA VARIANDO COM O TEMPO')
      K=1
      WRITE(5,1110)LTF(K),P(K),PTO(K),AFU(K)
1110 FORMAT(/,7X,'TIPO DA',2X,'AMPLITUDE',3X,'PERIODO',4X,'CONSTANTE'
  *,/8X,'FUNCAO',4X,'(PO)',8X,'(TO)',8X,'(A)',/,9X,I2,2X,3(2X,E10.3))
95 CONTINUE
      CALL CXNXXE(NEL,LTF,P,PTO,AFU,ICO,NCCI,NECD,XX1,XX2,NUNO,X,Y,NCDIT)
120 CONTINUE
1085 FORMAT(2I10,5F10.0)
1090 FORMAT(2I10,3F10.0)
1095 FORMAT(4F10.0)
1070 FORMAT(7X,I2,6X,I2,2X,5(2X,E10.3))
1115 FORMAT(7X,I2,6X,I2,2X,7(2X,E10.3))
      RETURN
      END

```

// DUP

*DELETE WS UA LXEX1 OEC3

*STORE WS UA LXEX1 OEC3

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

SUBROUTINE CXCXF

DIMENSION X(30),Y(30),LR(80),LCR(80),NUNO(40,4),XM(54),WX(54),

*XV(54,54),T(100),P(80),PTO(80),LTF(80),AFU(80),XF(54),D(54),

*P1(80),NEL(40)

COMMON X,Y,NUNO,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUMPN,LEMOD,

*ITIPO,NPROB,IULT,LTEMP

NPT=4*NUMPN

READ(8,1025)NUTEM,NCC,NCCI,NECD,NCDIT

1025 FORMAT(5I10)

WRITE(5,1020)NUTEM,NCC,NCCI,NECD

1020 FORMAT(///,7X,'NUMERO DE TEMPOS',14X,'=',I2,7X,'NUMERO DE CARGAS

*CONCENTRADAS',/,7X,'NOS NOS',23X,'=',I2,/,7X,'NUMERO DE CARGAS CON

*CENTRADAS',/,7X,'FORA DOS NOS',18X,'=',I2,/,7X,'NUMERO DE ELEMENTO

*S COM',/,7X,'CARGA DISTRIBUIDA',13X,'=',I2)

LEU=0

DO 2 ILI=1,3

GO TO (100,105,110),ILI

100 IF(NCC)2,2,80

80 ICO=1

GO TO 95

105 IF(NCCI)2,2,85

85 ICO=2

GO TO 95

110 IF(NECD)2,2,90

90 ICO=3

95 CONTINUE

DO 5 J=1,NPT

P(J)=0.

PTO(J)=0.

LTF(J)=0

AFU(J)=0.

5 CONTINUE

DO 6 J=1,40

NEL(J)=0

6 CONTINUE

CALL LXEX1(LTF,P,PTO,AFU,NCC,NUTEM,T,LTEMP,WX,NEL,ICO,LEU,NCCI,

*NECD,NUNO,X,Y,NCDIT)

DO 75 II=1,NUTEM

TEM=T(II)

DO 25 K=1,NMOD

XF(K)=0.

KN=NG-K+1

W=WX(K)

XM=XM(K)

DO 30 IC=1,NPT

P1(IC)=0.

IF(LTF(IC))30,30,40

40 CALL TFUNC(LTF,P,PTO,AFU,IC,W,TEM,P1)

```

30 CONTINUE
C REARUMACAO DOS DESLOCAMENTOS
DO 45 IC=1,NPT
IF(LR(IC))50,50,45
50 JC=IC-LCR(IC)
D(JC)=P1(IC)
45 CONTINUE
DO 25 KK=1,NG
XF(K)=XF(K)+XV(KK,KN)*D(KK)/(XMX*W)
25 CONTINUE
DO 55 K=1,NG
D(K)=0.
DO 55 KK=1,NMOD
KN=NG-KK+1
55 D(K)=D(K)+XV(K,KN)*XF(KK)
DO 60 K=1,NPT
P1(K)=0.
IF(LR(K))65,65,60
65 JJ=K-LCR(K)
P1(K)=D(JJ)
60 CONTINUE
WRITE(5,1005)II,TEM
1005 FORMAT(///7X,'DESLOCAMENTOS PARA UM TEMPO T',I3,'=',E13.6)
WRITE(5,1010)
1010 FORMAT(//16X,'W',14X,'WY',15X,'WX',12X,'WXY')
DO 70 NU=1,NUMPN
WRITE(5,1015)NU,P1(4*NU-3),P1(4*NU-2),P1(4*NU-1),P1(4*NU)
1015 FORMAT(7X,I2,4(3X,E13.6))
70 CONTINUE
75 CONTINUE
2 CONTINUE
RETURN
END

```

// DUP

```
*DELETE      WS  UA  CXCXF      OEC3
```

```
*STORE       WS  UA  CXCXF      OEC3
```

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

```

SUBROUTINE TFUNC(LTF,P1,PTO,AFU,IC,W,TEM,P)
DIMENSION LTF(80),P(80),P1(80),PTO(80),AFU(80)
LF=LTF(IC)
PX=P1(IC)
PX0=PTO(IC)
AX=AFU(IC)
GO TO(5,10,15,20,25),LF
5 P(IC)=PX*(1.-COS(W*TEM))/W
GO TO 30
10 P(IC)=AX*(TEM-SIN(W*TEM)/W)/W
GO TO 30

```



```

15 P(IC)=PX*PX0*(W*PX0*SIN(6.2832*TEM/PX0)-6.2832*SIN(W*TEM))/
  *(W**2*PX0**2-4.*(3.1416)**2)
GO TO 30
20 IF(TEM-PX0)5,5,40
40 P(IC)=PX*(COS(W*TEM-W*PX0)-COS(W*TEM))
GO TO 30
25 CONTINUE
30 CONTINUE
RETURN
END

```

```

// DUP
*DELETE      WS  UA  TFUNC      OEC3
*STORE       WS  UA  TFUNC      OEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
  SUBROUTINE MXDXC(IC0,X1,X2,Y1,Y2,AC,A,B)
    DIMENSION AC(16)
    IF(IC0-2)5,5,10
  5 CONTINUE
    F1X=1.-3.*X1**2/A**2+2.*X1**3/A**3
    F2X=3.*X1**2/A**2-2.*X1**3/A**3
    G1X=X1-2.*X1**2/A+X1**3/A**2
    G2X=-X1**2/A+X1**3/A**2
    F1Y=1.-3.*Y1**2/B**2+2.*Y1**3/B**3
    F2Y=3.*Y1**2/B**2-2.*Y1**3/B**3
    G1Y=Y1-2.*Y1**2/B+Y1**3/B**2
    G2Y=-Y1**2/B+Y1**3/B**2
    GO TO 20
10 CONTINUE
    F1X=(X2-X1)-(X2**3-X1**3)/A**2+(X2**4-X1**4)/(2.*A**3)
    F2X=(X2**3-X1**3)/A**2-(X2**4-X1**4)/(2.*A**3)
    G1X=(X2**2-X1**2)/2.-2.*(X2**3-X1**3)/(3.*A)+(X2**4-X1**4)/(4.*
    *A**2)
    G2X=-(X2**3-X1**3)/(3.*A)+(X2**4-X1**4)/(4.*A**2)
    F1Y=(Y2-Y1)-(Y2**3-Y1**3)/B**2+(Y2**4-Y1**4)/(2.*B**3)
    F2Y=(Y2**3-Y1**3)/B**2-(Y2**4-Y1**4)/(2.*B**3)
    G1Y=(Y2**2-Y1**2)/2.-2.*(Y2**3-Y1**3)/(3.*B)+(Y2**4-Y1**4)/(4.*B**2
    *)
    G2Y=-(Y2**3-Y1**3)/(3.*B)+(Y2**4-Y1**4)/(4.*B**2)
20 CONTINUE
    AC(1)=F1X*F1Y
    AC(2)=F1X*G1Y
    AC(3)=-G1X*F1Y
    AC(4)=-G1X*G1Y
    AC(5)=F2X*F1Y
    AC(6)=F2X*G1Y
    AC(7)=-G2X*F1Y
    AC(8)=-G2X*G1Y
    AC(9)=F2X*F2Y

```

```

AC(10)=F2X*G2Y
AC(11)=-G2X*F2Y
AC(12)=-G2X*G2Y
AC(13)=F1X*F2Y
AC(14)=F1X*G2Y
AC(15)=-G1X*F2Y
AC(16)=-G1X*G2Y
RETURN
END

```

```

// DUP
*DELETE      WS   UA   MXDXC      OEC3
*STORE       WS   UA   MXDXC      OEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
  SUBROUTINE CXNXC(NEL,LTF,P,PTO,AFU,ICO,NCCI,NECD,XX1,XX2,NUNO,X,Y,
  *NCDIT)
    DIMENSION NEL(40),LTF(80),P(80),PTO(80),AFU(80),X(30),Y(30),
  *A(16),P1(40),PTO1(40),LTF1(40),AFU1(40),NUNO(40,4)
  *,XX1(2,40),XX2(2,40)
    DO 2 K=1,40
      P1(K)=P(K)
      PTO1(K)=PTO(K)
      LTF1(K)=LTF(K)
      AFU1(K)=AFU(K)
2  CONTINUE
    NNO=0
    DO 25 L=1,80
      P(L)=0.
      LTF(L)=0
      AFU(L)=0.
      PTO(L)=0.
25  CONTINUE
    IF(ICO-2)5,5,10
    5  NI=NCCI
      GO TO 12
10  NI=NECD
      IF(NCDIT)12,12,13
13  NNO=1
12  DO 15 KX=1,NI
      K=KX
      IF(NNO)30,30,50
50  NU=K
      X1=0.
      KL=NUNO(NU,1)
      KK=NUNO(NU,3)
      A1=X(KK)-X(KL)
      B1=Y(KK)-Y(KL)

```

```

Y1=0.
X2=A1
Y2=B1
K=1
GO TO 60
30 CONTINUE
NU=NEL(K)
KL=NUNO(NU,1)
KK=NUNO(NU,3)
A1=X(KK)-X(KL)
B1=Y(KK)-Y(KL)
X1=XX1(1,K)-X(KL)
Y1=XX2(1,K)-Y(KL)
X2=XX1(2,K)-X(KL)
Y2=XX2(2,K)-Y(KL)
60 CONTINUE
CALL MXDXC(ICO,X1,X2,Y1,Y2,A,A1,B1)
DO 20 I=1,4
DO 20 J=1,4
IK=4-J
IJ=4*(I-1)+J
IC=4*NUNO(NU,I)-IK
P(IC)=P1(K)*A(IJ)+P(IC)
-----LTF(IC)=LTF1(K)-----
AFU(IC)=AFU1(K)
PTO(IC)=PTO1(K)
20 CONTINUE
15 CONTINUE
RETURN
END

```

```

// DUP
*DELETE      WS  UA  CXNXC      OEC3
*STORE       WS  UA  CXNXC      OEC3
// FCR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
SUBROUTINE CXCXM
REAL LARG
INTEGER ELECA(2,20),PT(16)
DIMENSION X(30),Y(30),LR(80),LCR(80),NUNO(40,4),T(100),
*XM(54),ALFA(16,7),AUX1(16),AUX2(16),P(80),PD(54),XF(54),DXF(54),
*XO(54),DXO(54),WX(54),XV(54,54),D(54)
COMMON X,Y,NUNO,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUMPN,LEMOD,
*ITIPO,NPROB,IULT,LTEMP
CALL LXEXR(VO,AO,VIO,T,ELECA,NUTEM,NUELE,PCA,YPASS,COMP,LARG)
IJ=1
IJA=0.
NXL=ELECA(1,NUELE)
NOF=NUNO(NXL,3)
VIF=VIO

```

```

      TEMO=0.
      DO 5 I=1,NUTEM
      XT=T(I)
      IF(AO)1000,15,10
10    XX=VIO*XT+AO*XT**2/2.
      GO TO 20
15    XX=VO*XT
20    CONTINUE
C    DEFINICAO DO TRECHO EM QUE A CARGA SE ENCONTRA
      IF(XX-X(NOF))320,320,330
330  IF(IJA-1)335,325,325
325  TEM=XT-TEMO
      DO 345 K=1,NMOD
      W=WX(K)
      XMX=XM(K)
      KN=NG-K+1
      XF(K)=0.
      DXF(K)=0.
      XF(K)=XF(K)+XD(K)*COS(W*TEM)+DXO(K)*SIN(W*TEM)/W
      DXF(K)=DXF(K)-XD(K)*W*SIN(W*TEM)+DXO(K)*COS(W*TEM)
345  CONTINUE
      DO 350 K=1,NG
      D(K)=0.
      DO 350 KK=1,NMOD
      KN=NG-KK+1
350  D(K)=D(K)+XV(K,KN)*XF(KK)
      KK=4*NUNPN
      DO 355 K=1,KK
      P(K)=0.
      IF(LR(K))351,351,355
351  JJ=K-LCR(K)
      P(K)=D(JJ)
355  CONTINUE
      WRITE(5,1015)I,XT,XX
      WRITE(5,1017)
      DO 360 NU=1,NUNPN
      WRITE(5,1016)NU,P(4*NU-3),P(4*NU-2),P(4*NU-1),P(4*NU)
360  CONTINUE
      IJA=1
      GO TO 5
335  ICON=NUELE+1
      IUL=ICON-1
      GO TO 45
320  DO 35 J=IJ,NUELE
      IIX=ELECA(1,J)
      IIX=NUNO(IIX,3)
      ICON=J
      IF(XX-X(IIX))30,30,35
35  CONTINUE
30  IF(I-1)1000,40,45

```

```

40 IUL=1
   DO 46 K=1,NG
   XO(K)=0.
   DXO(K)=0.
46 CONTINUE
C  NESTA ETAPA SE CALCULAM OS DESLOCAMENTOS INICIAIS E FINAIS
45 DO 50 J=IUL,ICON
   DO 55 K=1,NG
   XF(K)=0.
55 DXF(K)=0.
   IF(I-1)1000,60,65
65 IF(IUL-ICON)60,70,60
70 TEM=XT-TEM0
   GO TO 75
60 NX=ELECA(1,J)
   NO1=NUNO(NX,1)
   NO3=NUNO(NX,3)
   NO4=NUNO(NX,4)
   A=X(NO3)-X(NO4)
   B=Y(NO4)-Y(NO1)
   YO=YPASS-Y(NO1)
   IF(A0)1000,80,85
80 IF(ICON-J)90,95,90
95 TEM=XT-TEM0
   GO TO 100
90 TEM=A/VO
   TEM0=TEM0+TEM
100 CALL VECON(ALFA,VO,A,B,YO)
   GO TO 75
85 IF(ICON-J)105,110,105
110 TEM=XT-TEM0
   GO TO 115
105 CONTINUE
   TEM=(-VIF+SQRT(VIF**2+2.*AO*A))/AO
   TEM0=TEM0+TEM
   VIF=AO*TEM0+VIO
115 CONTINUE
   CALL ACON(ALFA,AO,VIF,A,B,YO)
75 CONTINUE
   DO 76 K=1,16
   PT(K)=0
76 CONTINUE
C  REARUMACAO DOS VETORES DE CARGA
   NDN=NDNO
   DO 120 K=1,NNE
   DO 120 JX=1,NDN
   IC=NDN*(NUNO(NX,K)-1)+JX
   KY=NDN*(K-1)+JX
   IF(LR(IC))125,125,120
125 JJ=IC-LCR(IC)

```

```

      PT(KY)=JJ
120  CONTINUE
C    CALCULO DOS DESLOCAMENTOS INICIAIS E VELOCIDADES INICIAIS
      DO 130 K=1,NMOD
        W=WX(K)
        XMX=XM(K)
        KN=NG-K+1
        XF(K)=XF(K)+XO(K)*COS(W*TEM)+DXO(K)*SIN(W*TEM)/W
        DXF(K)=DXF(K)-XO(K)*W*SIN(W*TEM)+DXO(K)*COS(W*TEM)
        DO 130 KK=1,NG
          DO 290 LL=1,16
            IF(KK-PT(LL))290,300,290
290  CONTINUE
        GO TO 130
300  LU=LL
        CALL FXAXU(AO,ALFA,TEM,W,LU,AUX1,AUX2,PCA)
        P(KK)=AUX1(LU)
        PD(KK)=AUX2(LU)
        XF(K)=XF(K)+XV(KK,KN)*P(KK)/(XMX*W)
        DXF(K)=DXF(K)+XV(KK,KN)*PD(KK)/(XMX*W)
130  CONTINUE
        IF(J-ICON)135,140,140
135  DO 145 K=1,NG
        XO(K)=XF(K)
        DXO(K)=DXF(K)
145  CONTINUE
        IF(XX-X(NOF))50,50,325
140  DO 150 K=1,NG
        D(K)=0.
        DO 150 KK=1,NMOD
          KN=NG-KK+1
150  D(K)=D(K)+XV(K,KN)*XF(KK)
          KK=4*NUPN
          DO 210 K=1,KK
            P(K)=0.
            IF(LR(K))220,220,210
220  JJ=K-LCR(K)
            P(K)=D(JJ)
210  CONTINUE
            WRITE(5,1015)I,XT,XX
1015 FORMAT(////7X,'DESLOCAMENTOS PARA UN TEMPO T',I3,'=',E13.6
            *,//,7X,'ORDENADA EM RELACAO A ORIGEM  ',E13.6)
            WRITE(5,1017)
1017 FORMAT(//,7X,'NO',9X,'W',14X,'WY',15X,'WX',12X,'WXY')
            DO 260 NU=1,NUPN
            WRITE(5,1016)NU,P(4*NU-3),P(4*NU-2),P(4*NU-1),P(4*NU)
1016 FORMAT(7X,I2,4(3X,E13.6))
260  CONTINUE
50   CONTINUE
      IUL=ICON

```

```

      IJ=ICON
      5 CONTINUE
      GO TO 200
1000 WRITE(5,1001)
1001 FORMAT(/5X,'ERRO NA ENTRADA DE DADOS')
      200 CONTINUE
      RETURN
      END

// DUP
*DELETE      WS   UA   CXCXM          OEC3
*STORE       WS   UA   CXCXM          OEC3
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
      SUBROUTINE FXAXU(AO,ALFA,TEM,W,KY,AUX1,AUX2,PCA)
      DIMENSION ALFA(16,7),AUX1(16),AUX2(16)
      IF(AO)5,5,10
      5 CONT1=0.
      CONT2=0.
      GO TO 15
10 CONT1=ALFA(KY,5)*(TEM**4-12.*TEM**2/W**2+24./W**4-24.*COS(W*TEM)
  */W**4)/W+ALFA(KY,6)*(TEM**5-20.*TEM**3/W**2+120.*TEM/W**4-120.*
  *SIN(W*TEM)/W**5)/W+ALFA(KY,7)*(TEM**6-30.*TEM**4/W**2+360.*TEM**2
  */W**4-720./W**6+720.*COS(W*TEM)/W**6)/W
      CONT2=ALFA(KY,5)*(4.*TEM**3-24.*TEM/W**2+24.*SIN(W*TEM)/W**3)/W
  *+ALFA(KY,6)*(5.*TEM**4-60.*TEM**2/W**2+120./W**4-120.*COS(W*TEM)
  */W**4)/W+ALFA(KY,7)*(6.*TEM**5-120.*TEM**3/W**2+720.*TEM/W**4-
  *720.*SIN(W*TEM)/W**5)/W
15 CONTINUE
      AUX1(KY)=PCA*(ALFA(KY,1)*(1.-COS(W*TEM))/W+ALFA(KY,2)*
  *(TEM-SIN(W*TEM)/W)/W+ALFA(KY,3)*(TEM**2-2./W**2+2.*COS(W*TEM)
  */W**2)/W+ALFA(KY,4)*(TEM**3-6.*TEM/W**2+6.*SIN(W*TEM)/W**3)/W
  *+CONT1)
      AUX2(KY)=PCA*(ALFA(KY,1)*SIN(W*TEM)+ALFA(KY,2)*(1.-COS(W*TEM))/W
  *+ALFA(KY,3)*(2.*TEM-2.*SIN(W*TEM)/W)/W+ALFA(KY,4)*(3.*TEM**2-6.
  */W**2+6.*COS(W*TEM)/W**2)/W+CONT2)
      RETURN
      END

// DUP
*DELETE      WS   UA   FXAXU          OEC3
*STORE       WS   UA   FXAXU          OEC3
      SUBROUTINE VECON(ALFA,VO,A,B,YO)
      DIMENSION ALFA(16,7)
      DO 1 I=1,16
      DO 1 J=1,7
1  ALFA(I,J)=0.
      FO=1.-3*YO**2/B**2+2.*YO**3/B**3
      F1=3.*YO**2/B**2-2.*YO**3/B**3
      F2=YO-2.*YO**2/B+YO**3/B**2
      F3=-YO**2/B+YO**3/B**2

```

```

ALFA(1,1)=FO
ALFA(1,3)=-3.*FO*VO**2/A**2
ALFA(1,4)=2.*FO*VO**3/A**3
ALFA(2,1)=F2
ALFA(2,3)=-3.*F2*VO**2/A**2
ALFA(2,4)=2.*F2*VO**3/A**3
ALFA(3,2)=-FO*VO
ALFA(3,3)=2.*FO*VO**2/A
ALFA(3,4)=-FO*VO**3/A**2
ALFA(4,2)=-F2*VO
ALFA(4,3)=2.*F2*VO**2/A
ALFA(4,4)=-F2*VO**3/A**2
ALFA(5,3)=3.*FO*VO**2/A**2
ALFA(5,4)=-2.*FO*VO**3/A**3
ALFA(6,3)=3.*F2*VO**2/A**2
ALFA(6,4)=-2.*F2*VO**3/A**3
ALFA(7,3)=FO*VO**2/A
ALFA(7,4)=-FO*VO**3/A**2
ALFA(8,3)=F2*VO**2/A
ALFA(8,4)=-F2*VO**3/A**2
ALFA(9,3)=3.*F1*VO**2/A**2
ALFA(9,4)=-2.*F1*VO**3/A**3
ALFA(10,3)=3.*F3*VO**2/A**2
ALFA(10,4)=-2.*F3*VO**3/A**3
ALFA(11,3)=F1*VO**2/A
ALFA(11,4)=-F1*VO**3/A**2
ALFA(12,3)=F3*VO**2/A
ALFA(12,4)=-F3*VO**3/A**2
ALFA(13,1)=F1
ALFA(13,3)=-3.*F1*VO**2/A**2
ALFA(13,4)=2.*F1*VO**3/A**3
ALFA(14,1)=F3
ALFA(14,3)=-3.*F3*VO**2/A**2
ALFA(14,4)=2.*F3*VO**3/A**3
ALFA(15,2)=-F1*VO
ALFA(15,3)=2.*F1*VO**2/A
ALFA(15,4)=-F1*VO**3/A**2
ALFA(16,2)=-F3*VO
ALFA(16,3)=2.*F3*VO**2/A
ALFA(16,4)=-F3*VO**3/A**2
RETURN
END

```

```
// DUP
```

```
*DELETE      WS   UA   VECON      OEC3
```

```
*STORE       WS   UA   VECON      OEC3
```

```
// FOR
```

```
*ONE WORD INTEGERS
```

```
*LIST SOURCE PROGRAM
```

```
  SUBROUTINE ACON(ALFA,AO,VO,A,B,YO)
```

```
  DIMENSION ALFA(16,7)
```



```

DO 1 I=1,16
DO 1 J=1,7
1 ALFA(I,J)=0.
FO=1.-3.*YO**2/B**2+2.*YO**3/B**3
F1=3.*YO**2/B**2-2.*YO**3/B**3
F2=YO-2.*YO**2/B+YO**3/B**2
F3=-YO**2/B+YO**3/B**2
ALFA(1,1)=FO
ALFA(1,3)=-3.*FO*VO**2/A**2
ALFA(1,4)=FO*VO*(2.*VO**2/A-3.*AO)/A**2
ALFA(1,5)=3.*FO*AO*(VO**2/A-AO/4.)/A**2
ALFA(1,6)=3.*FO*VO*AO**2/(2.*A**3)
ALFA(1,7)=FO*AO**3/(4.*A**3)
ALFA(2,1)=F2
ALFA(2,3)=F2*ALFA(1,3)/FO
ALFA(2,4)=F2*ALFA(1,4)/FO
ALFA(2,5)=F2*ALFA(1,5)/FO
ALFA(2,6)=F2*ALFA(1,6)/FO
ALFA(2,7)=F2*ALFA(1,7)/FO
ALFA(3,2)=-FO*VO
ALFA(3,3)=FO*(2.*VO**2/A-AO/2.)
ALFA(3,4)=FO*VO*(2.*AO-VO**2/A)/A
ALFA(3,5)=FO*AO*(AO-3.*VO**2/A)/(2.*A)
ALFA(3,6)=-3.*FO*VO*AO**2/(4.*A**2)
ALFA(3,7)=-FO*AO**3/(8.*A**2)
ALFA(4,2)=-F2*VO
ALFA(4,3)=F2*ALFA(3,3)/FO
ALFA(4,4)=F2*ALFA(3,4)/FO
ALFA(4,5)=F2*ALFA(3,5)/FO
ALFA(4,6)=F2*ALFA(3,6)/FO
ALFA(4,7)=F2*ALFA(3,7)/FO
ALFA(5,3)=3.*FO*VO**2/A**2
ALFA(5,4)=FO*VO*(3.*AO-2.*VO**2/A)/A**2
ALFA(5,5)=3.*FO*AO*(AO/4.-VO**2/A)/A**2
ALFA(5,6)=-3.*FO*VO*AO**2/(2.*A**3)
ALFA(5,7)=-FO*AO**3/(4.*A**3)
ALFA(6,3)=F2*ALFA(5,3)/FO
ALFA(6,4)=F2*ALFA(5,4)/FO
ALFA(6,5)=F2*ALFA(5,5)/FO
ALFA(6,6)=F2*ALFA(5,6)/FO
ALFA(6,7)=F2*ALFA(5,7)/FO
ALFA(7,3)=FO*VO**2/A
ALFA(7,4)=FO*VO*(AO-VO**2/A)/A
ALFA(7,5)=FO*AO*(AO/2.-3.*VO**2/A)/2.*A
ALFA(7,6)=-3.*FO*VO*AO**2/(4.*A**2)
ALFA(7,7)=-FO*AO**3/(8.*A**2)
ALFA(8,3)=F2*ALFA(7,3)/FO
ALFA(8,4)=F2*ALFA(7,4)/FO
ALFA(8,5)=F2*ALFA(7,5)/FO
ALFA(8,6)=F2*ALFA(7,6)/FO

```

```

ALFA(8,7)=F2*ALFA(7,7)/FO
ALFA(9,3)=F1*ALFA(5,3)/FO
ALFA(9,4)=F1*ALFA(5,4)/FO
ALFA(9,5)=F1*ALFA(5,5)/FO
ALFA(9,6)=F1*ALFA(5,6)/FO
ALFA(9,7)=F1*ALFA(5,7)/FO
ALFA(10,3)=F3*ALFA(5,3)/FO
ALFA(10,4)=F3*ALFA(5,4)/FO
ALFA(10,5)=F3*ALFA(5,5)/FO
ALFA(10,6)=F3*ALFA(5,6)/FO
ALFA(10,7)=F3*ALFA(5,7)/FO
ALFA(11,3)=F1*ALFA(7,3)/FO
ALFA(11,4)=F1*ALFA(7,4)/FO
ALFA(11,5)=F1*ALFA(7,5)/FO
ALFA(11,6)=F1*ALFA(7,6)/FO
ALFA(11,7)=F1*ALFA(7,7)/FO
ALFA(12,3)=F3*ALFA(7,3)/FO
ALFA(12,4)=F3*ALFA(7,4)/FO
ALFA(12,5)=F3*ALFA(7,5)/FO
ALFA(12,6)=F3*ALFA(7,6)/FO
ALFA(12,7)=F3*ALFA(7,7)/FO
ALFA(13,1)=F1*ALFA(1,1)/FO
ALFA(13,3)=F1*ALFA(1,3)/FO
ALFA(13,4)=F1*ALFA(1,4)/FO
ALFA(13,5)=F1*ALFA(1,5)/FO
ALFA(13,6)=F1*ALFA(1,6)/FO
ALFA(13,7)=F1*ALFA(1,7)/FO
ALFA(14,1)=F3
ALFA(14,3)=F3*ALFA(1,3)/FO
ALFA(14,4)=F3*ALFA(1,4)/FO
ALFA(14,5)=F3*ALFA(1,5)/FO
ALFA(14,6)=F3*ALFA(1,6)/FO
ALFA(14,7)=F3*ALFA(1,7)/FO
ALFA(15,2)=-F1*VO
ALFA(15,3)=F1*ALFA(3,3)/FO
ALFA(15,4)=F1*ALFA(3,4)/FO
ALFA(15,5)=F1*ALFA(3,5)/FO
ALFA(15,6)=F1*ALFA(3,6)/FO
ALFA(15,7)=F1*ALFA(3,7)/FO
ALFA(16,2)=-F3*VO
ALFA(16,3)=F3*ALFA(3,3)/FO
ALFA(16,4)=F3*ALFA(3,4)/FO
ALFA(16,5)=F3*ALFA(3,5)/FO
ALFA(16,6)=F3*ALFA(3,6)/FO
ALFA(16,7)=F3*ALFA(3,7)/FO
RETURN
END

```

// DUP

*DELETE WS UA ACON

0EC3

*STORE WS UA ACON

0EC3

```

// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
// FOR
** PROGRAMA YECI4
*ONE WORD INTEGERS
*LIST SOURCE PROGRAM
  SUBROUTINE CXDXM
    REAL LARG
    INTEGER ELECA(2,20),PT(16)
    DIMENSION X(30),Y(30),LR(80),LCR(80),NUNO(40,4),T(100),
*XM(54),ALFA(16,7),AUX1(16),AUX2(16),P(80),PD(54),XF(54),DXF(54),
*XO(54),DXO(54),WX(54),XV(54,54),D(80)
    COMMON X,Y,NUNO,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUMPN,LEMOD,
*ITIPO,NPROB,IULT,LTEMP
    CALL LXEXR(VO,AO,VIO,T,ELECA,NUTEM,NUELE,PCA,YPASS,COMP,LARG)
    IJ=1
    IJA=0
    NXL=ELECA(1,NUELE)
    NOF=NUNO(NXL,3)
    DO 45 K=1,NMOD
      XO(K)=0.
      DXO(K)=0.
45  CONTINUE
      IUL=1
      TEMO=0.
      DO 5 I=1,NUTEM
        XT=T(I)
        IF(AO)10,10,15
10     XX=VO*XT
        GO TO 20
15     XX=VIO*XT+AO*XT**2/2.
20     CONTINUE
        XXFI=X(NOF)+COMP
        IF(XX-XXFI)315,315,320
315    IF(XX-X(NOF))314,314,313
320    IF(IJA-1)325,330,330
330    TEM=XT-TEMO
        DO 345 K=1,NMOD
          W=WX(K)
          XM=XM(K)
          KN=NG-K+1
          XF(K)=0.
          DXF(K)=0.
          XF(K)=XF(K)+XO(K)*COS(W*TEM)+DXO(K)*SIN(W*TEM)/W
          DXF(K)=DXF(K)-XO(K)*W*SIN(W*TEM)+DXO(K)*COS(W*TEM)
345  CONTINUE
          DO 350 K=1,NG
            D(K)=0.
          DO 350 KK=1,NMOD

```

```

KN=NG-KK+1
350 D(K)=D(K)+XV(K,KN)*XF(KK)
KK=4*NUNPN
DO 355 K=1, KK
P(K)=0.
IF(LR(K))351,351,355
351 JJ=K-LCR(K)
P(K)=D(JJ)
355 CONTINUE
WRITE(5,1005)I,XT,XX
WRITE(5,1010)
DO 360 NU=1,NUNPN
WRITE(5,1016)NU,P(4*NU-3),P(4*NU-2),P(4*NU-1),P(4*NU)
360 CONTINUE
IJA=1
GO TO 5
325 ICON=NUELE+1
IUL=ICON-1
GO TO 44
313 NUTEI=1
NT=4*NUNPN
DO 319 K=1,NT
319 P(K)=0.
DO 318 K=1,2
IF(K-1)316,316,317
317 T(1)=T(I)
COMI=XX-X(NOF)
GO TO 321
316 T(1)=T(I)-(XX-X(NOF))/VO
COMI=COMP-(XX-X(NOF))
321 CONTINUE
CALL CXDXA(VO,AO,VID,T,ELECA,NUTEI,NUELE,PCA,YPASS,COMI,LARG,D)
DO 322 KL=1,NT
322 P(KL)=D(KL)+P(KL)
318 CONTINUE
GO TO 98
C . VERIFICACAO DO TRECHO EN QUE A CARGA SE ENCONTRA
314 DO 30 J=IJ,NUELE
IIX=ELECA(2,J)
IIX=NUNO(IIX,3)
ICON=J
IF(XX-X(IIX))25,25,30
30 CONTINUE
25 CONTINUE
44 DO 50 J=IUL,ICON
DO 55 K=1,NMOD
XF(K)=0.
DXF(K)=0.
55 CONTINUE
NX2=ELECA(1,J)

```

```

N05=NUNO(NX2,3)
NX1=ELECA(2,J)
N02=NUNO(NX1,2)
N01=NUNO(NX1,1)
N03=NUNO(NX1,3)
A1=X(N02)-X(N01)
B2=Y(N03)-Y(N02)
B1=Y(N05)-Y(N03)
IF(ICON-J)88,88,90
88 XJJ=XX-X(N01)
   IF(XJJ-COMP)95,90,90
95 IF(ICON-1)96,96,92
96 XL=XX-X(N01)
   GO TO 100
92 NUTEI=1
   NT=4*NUMPN
   DO 94 K=1,NT
94 P(K)=0.
   DO 93 LK=1,2
   IF(LK-1)86,86,87
86 T(1)=XT
   COMI=XX-X(N01)
   GO TO 89
87 T(1)=X(N01)/VO
   COMI=COMP-XX+X(N01)
89 CONTINUE
   CALL CXDXA(VO,AO,VIO,T,ELECA,NUTEI,NUELE,PCA,YPASS,COMI,LARG,D)
   DO 97 K=1,NT
97 P(K)=D(K)+P(K)
93 CONTINUE
   GO TO 98
90 XL=COMP
100 A=A1
   IF(AO)105,110,105
105 IF(ICON-J)115,120,115
115 TEM=(-VIO+SQRT(VIO**2+2*A1*AO))/AO
   TEMO=TEMO+TEM
   GO TO 130
120 TEM=XT-TEMO
   GO TO 130
110 IF(ICON-J)135,140,135
135 TEM=A1/VO
   TEMO=TEMO+TEM
   GO TO 130
140 TEM=XT-TEMO
130 CONTINUE
   DO 50 NN=1,2
   IF(NN-1)185,190,185
190 Y1=0.
   Y2=LARG

```

```

      B=B1
      GO TO 195
185  Y1=B2-LARG
      Y2=B2
      B=B2
195  CONTINUE
      CALL VEDIS(ALFA,A,B,VO,Y1,Y2,XL)
      NX=ELECA(NN,J)
C    REARUMACAO DOS VETORES DE CARGA
      DO 196 K=1,16
      PT(K)=0.
196  CONTINUE
      DO 200 K=1,4
      DO 200 JX=1,4
      IK=4-JX
      IC=4*NUNO(NX,K)-IK
      KY=4*(K-1)+JX
      IF(LR(IC))210,210,205
210  JJ=IC-LCR(IC)
      PT(KY)=JJ
205  CONTINUE
200  CONTINUE
      DO 225 K=1,NMOD
      XMX=XM(K)
      W=WX(K)
      KN=NG-K+1
      IF(NN-1)201,201,203
201  XF(K)=XF(K)+XO(K)*COS(W*TEM)+DXO(K)*SIN(W*TEM)/W
      DXF(K)=DXF(K)-XO(K)*W*SIN(W*TEM)+DXO(K)*COS(W*TEM)
203  CONTINUE
      DO 225 KK=1,NG
      DO 230 IL=1,16
      IF(KK-PT(IL))230,235,230
230  CONTINUE
      GO TO 225
235  LU=IL
      CALL FXAXU(AO,ALFA,TEM,W,LU,AUX1,AUX2,PCA)
      P(KK)=AUX1(LU)
      PD(KK)=AUX2(LU)
      XF(K)=XF(K)+XV(KK,KN)*P(KK)/(XMX*W)
      DXF(K)=DXF(K)+XV(KK,KN)*PD(KK)/(XMX*W)
225  CONTINUE
      IF(ICON-J)250,245,250
250  IF(NN-1)255,245,255
255  DO 260 KL=1,NMOD
      XO(KL)=XF(KL)
      DXO(KL)=DXF(KL)
260  CONTINUE
      IF(XX-X(NOF))50,50,330
245  CONTINUE

```

```

50 CONTINUE
  DO 275 K=1,NG
    D(K)=0.
    DO 275 KK=1,NMOD
      KN=NG-KK+1
275  D(K)=D(K)+XV(K,KN)*XF(KK)
      KK=4*NUMPN
      DO 295 K=1,KK
        P(K)=0.
        IF(LR(K))295,300,295
300  JJ=K-LCR(K)
      P(K)=D(JJ)
295 CONTINUE
  98 WRITE(5,1005)I,XT,XX
1005 FORMAT(////7X,'DESLOCAMENTOS PARA UN TEMPO. T',I3,'=',E13.6,/,
  *7X,'ORDENADA EM RELACAO A ORIGEM ',I3,'=',E13.6)
  WRITE(5,1010)
1010 FORMAT(//,7X,'NO',9X,'W',14X,'WY',15X,'WX',12X,'WXY')
  DO 305 NU=1,NUMPN
    WRITE(5,1016)NU,P(4*NU-3),P(4*NU-2),P(4*NU-1),P(4*NU)
1016 FORMAT(7X,I2,4(3X,E13.6))
305 CONTINUE
  IUL=ICON
  IJ=ICON
  5 CONTINUE
  RETURN
  END.

// DUP
*DELETE      WS  UA  CXDXM          OEC3
*STORE       WS  UA  CXDXM          OEC3
// FOR
** PROGRAMA YECI4
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
  SUBROUTINE CXDXA(VD,AO,VIO,T,ELECA,NUTEM,NUELE,PCA,YPASS,COMP,
  *LARG,P)
  REAL LARG
  INTEGER ELECA(2,20),PT(16)
  DIMENSION X(30),Y(30),LR(80),LCR(80),NUNO(40,4),T(100),
  *XM(54),ALFA(16,7),AUX1(16),AUX2(16),P(80),PD(54),XF(54),DXF(54),
  *XO(54),DXO(54),WX(54),XV(54,54),D(80)
  COMMON X,Y,NUNO,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUMPN,LEMOD,
  *ITIPO,NPROB,IULT,LTEMP
  NXL=ELECA(1,NUELE)
  NOF=NUNO(NXL,3)
  IJ=1
  DO 45 K=1,NMOD
    XO(K)=0.
    DXO(K)=0.
45 CONTINUE

```

```

IUL=1
TEMO=0.
DO 5 I=1,NUTEM
  XT=T(I)
  IF(AO)10,10,15
10  XX=VO*XT
  GO TO 20
15  XX=VIO*XT+AO*XT**2/2.
20  CONTINUE
  IF(XX-X(NOF))11,11,12
12  XT=X(NOF)/VO
11  CONTINUE
C  VERIFICACAO DO TRECHO EN QUE A CARGA SE ENCONTRA
  DO 30 J=IJ,NUELE
  IIX=ELECA(2,J)
  IIX=NUNO(IIX,3)
  ICON=J
  IF(XX-X(IIX))25,25,30
30  CONTINUE
25  CONTINUE
  DO 50 J=IUL,ICON
  DO 55 K=1,NMOD
  XF(K)=0.
  DXF(K)=0.
55  CONTINUE
  NX2=ELECA(1,J)
  NO5=NUNO(NX2,3)
  NX1=ELECA(2,J)
  NO2=NUNO(NX1,2)
  NO1=NUNO(NX1,1)
  NO3=NUNO(NX1,3)
  A1=X(NO2)-X(NO1)
  B2=Y(NO3)-Y(NO2)
  B1=Y(NO5)-Y(NO3)
  XJJ=XX-X(NO1)
  IF(XJJ-COMP)95,90,90
95  XL=XX-X(NO1)
  GO TO 100
90  XL=COMP
100  A=A1
  IF(AO)105,110,105
105  IF(ICON-J)115,120,115
115  TEM=(-VIO+SQRT(VIO**2+2*A1*AO))/AO
  TEMO=TEMO+TEM
  GO TO 130
120  TEM=XT-TEMO
  GO TO 130
110  IF(ICON-J)135,140,135
135  TEM=A1/VO
  TEMO=TEMO +TEM

```



```

      GO TO 130
140 TEM=XT-TEM0
130 CONTINUE
      DO 50 NN=1,2
      IF(NN-1)185,190,185
190 Y1=0.
      Y2=LARG
      B=B1
      GO TO 195
185 Y1=B2-LARG
      Y2=B2
      B=B2
195 CONTINUE
      CALL VEDIS(ALFA,A,B,VO,Y1,Y2,XL)
      NX=ELECA(NN,J)
C      REARUMACAO DOS VETORES DE CARGA
      DO 196 K=1,16
      PT(K)=0.
196 CONTINUE
      DO 200 K=1,4
      DO 200 JX=1,4
      IK=4-JX
      IC=4*NUNO(NX,K)-IK
      KY=4*(K-1)+JX
      IF(LR(IC))210,210,205
210 JJ=IC-LCR(IC)
      PT(KY)=JJ
205 CONTINUE
200 CONTINUE
      DO 225 K=1,NMOD
      XMX=XM(K)
      W=WX(K)
      KN=NG-K+1
      IF(NN-1)201,201,203
201 XF(K)=XF(K)+XO(K)*COS(W*TEM)+DXO(K)*SIN(W*TEM)/W
      DXF(K)=DXF(K)-XO(K)*W*SIN(W*TEM)+DXO(K)*COS(W*TEM)
203 CONTINUE
      DO 225 KK=1,NG
      DO 230 IL=1,16
      IF(KK-PT(IL))230,235,230
230 CONTINUE
      GO TO 225
235 LU=IL
      CALL FXAXU(AO,ALFA,TEM,W,LU,AUX1,AUX2,PCA)
      P(KK)=AUX1(LU)
      PD(KK)=AUX2(LU)
      XF(K)=XF(K)+XV(KK,KN)*P(KK)/(XMX*W)
      DXF(K)=DXF(K)+XV(KK,KN)*PD(KK)/(XMX*W)
225 CONTINUE
      IF(ICON-J)250,245,250

```

```

250 IF(NN-1)255,245,255
255 DO 260 KL=1,NMOD
    XO(KL)=XF(KL)
    DXO(KL)=DXF(KL)
260 CONTINUE
245 CONTINUE
50 CONTINUE
    IF(XX-X(NOF))246,246,247
247 TEM=T(1)-XT
    DO 248 K=1,NMOD
        XO(K)=XF(K)
        DXO(K)=DXF(K)
        XF(K)=0.
        DXF(K)=0.
        W=WX(K)
        XM=XM(K)
        KN=NG-K+1
        XF(K)=XF(K)+XO(K)*COS(W*TEM)+DXO(K)*SIN(W*TEM)/W
        DXF(K)=DXF(K)-XO(K)*W*SIN(W*TEM)+DXO(K)*COS(W*TEM)
248 CONTINUE
246 IF(J-ICON)285,290,290
290 DO 275 K=1,NG
    D(K)=0.
    DO 275 KK=1,NMOD
        KN=NG-KK+1.
275 D(K)=D(K)+XV(K,KN)*XF(KK)
        KK=4*NUMPN
    DO 295 K=1,KK
        P(K)=0.
        IF(LR(K))295,300,295
300 JJ=K-LCR(K)
        P(K)=D(JJ)
295 CONTINUE
285 CONTINUE
        IUL=ICON
        IJ=ICON
5 CONTINUE
    RETURN
    END

```

// DUP

*DELETE CXDXA OEC3

*STORE WS UA CXDXA OEC3

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

SUBROUTINE VEDIS(ALFA,A,B,VO,Y1,Y2,XL)

DIMENSION ALFA(16,7)

FO=(Y2-Y1)-(Y2**3-Y1**3)/B**2+(Y2**4-Y1**4)/(2.*B**3)

F1=(Y2**3-Y1**3)/B**2-(Y2**4-Y1**4)/(2.*B**3)

F2=(Y2**2-Y1**2)/2.-2.*(Y2**3-Y1**3)/(3.*B)+(Y2**4-Y1**4)/

*(4.*B**2)

F3=-(Y2**3-Y1**3)/(3.*B)+(Y2**4-Y1**4)/(4.*B**2)

ALFA(1,1)=(XL-XL**3/A**2-XL**4/(2.*A**3))*FO

ALFA(1,2)=(3.*XL**2*VO/A**2+4.*XL**3*VO/(2.*A**3))*FO

ALFA(1,3)=(-3.*XL*VO**2/A**2-6.*XL**2*VO**2/(2.*A**3))*FO

ALFA(1,4)=(2.*VO**3*XL/A**3)*FO

ALFA(2,1)=F2*ALFA(1,1)/FO

ALFA(2,2)=F2*ALFA(1,2)/FO

ALFA(2,3)=F2*ALFA(1,3)/FO

ALFA(2,4)=F2*ALFA(1,4)/FO

ALFA(3,1)=(XL**2/2.+2.*XL**3/(3.*A)+XL**4/(4.*A**2))*FO

ALFA(3,2)=(-2.*XL*VO/2.-6.*XL**2*VO/(3.*A)-4.*XL**3*VO/(4.*A**2
*)*FO

ALFA(3,3)=(6.*XL*VO**2/(3.*A)+6.*XL**2*VO**2/(4.*A**2))*FO

ALFA(3,4)=(-4.*VO**3*XL*FO)/(4.*A**2)

ALFA(4,1)=F2*ALFA(3,1)/FO

ALFA(4,2)=F2*ALFA(3,2)/FO

ALFA(4,3)=F2*ALFA(3,3)/FO

ALFA(4,4)=F2*ALFA(3,4)/FO

ALFA(5,1)=(XL**3/A**2+XL**4/(2.*A**3))*FO

ALFA(5,2)=(-3.*XL**2*VO/A**2-4.*XL**3*VO/(2.*A**3))*FO

ALFA(5,3)=(3.*XL*VO**2/A**2+6.*XL**2*VO**2/(2.*A**3))*FO

ALFA(5,4)=-(4.*VO**3*XL/(2.*A**3))*FO

ALFA(6,1)=F2*ALFA(5,1)/FO

ALFA(6,2)=F2*ALFA(5,2)/FO

ALFA(6,3)=F2*ALFA(5,3)/FO

ALFA(6,4)=F2*ALFA(5,4)/FO

ALFA(7,1)=(XL**3/(3*A)+XL**4/(4.*A**2))*FO

ALFA(7,2)=-(XL**2*VO/A+XL**3*VO/A**2)*FO

ALFA(7,3)=(XL*VO**2/A+6.*XL**2*VO**2/(4.*A**2))*FO

ALFA(7,4)=-4.*VO**3*XL*FO/(4.*A**2)

ALFA(8,1)=F2*ALFA(7,1)/FO

ALFA(8,2)=F2*ALFA(7,2)/FO

ALFA(8,3)=F2*ALFA(7,3)/FO

ALFA(8,4)=F2*ALFA(7,4)/FO

ALFA(9,1)=F1*ALFA(5,1)/FO

ALFA(9,2)=F1*ALFA(5,2)/FO

ALFA(9,3)=F1*ALFA(5,3)/FO

ALFA(9,4)=F1*ALFA(5,4)/FO

ALFA(10,1)=F3*ALFA(5,1)/FO

ALFA(10,2)=F3*ALFA(5,2)/FO

ALFA(10,3)=F3*ALFA(5,3)/FO

ALFA(10,4)=F3*ALFA(5,4)/FO

ALFA(11,1)=F1*ALFA(7,1)/FO

ALFA(11,2)=F1*ALFA(7,2)/FO

ALFA(11,3)=F1*ALFA(7,3)/FO

ALFA(11,4)=F1*ALFA(7,4)/FO

ALFA(12,1)=F3*ALFA(7,1)/FO

ALFA(12,2)=F3*ALFA(7,2)/FO

ALFA(12,3)=F3*ALFA(7,3)/FO

```

ALFA(12,4)=F3*ALFA(7,4)/FO
ALFA(13,1)=F1*ALFA(1,1)/FO
ALFA(13,2)=F1*ALFA(1,2)/FO
ALFA(13,3)=F1*ALFA(1,3)/FO
ALFA(13,4)=F1*ALFA(1,4)/FO
ALFA(14,1)=F3*ALFA(1,1)/FO
ALFA(14,2)=F3*ALFA(1,2)/FO
ALFA(14,3)=F3*ALFA(1,3)/FO
ALFA(14,4)=F3*ALFA(1,4)/FO
ALFA(15,1)=F1*ALFA(3,1)/FO
ALFA(15,2)=F1*ALFA(3,2)/FO
ALFA(15,3)=F1*ALFA(3,3)/FO
ALFA(15,4)=F1*ALFA(3,4)/FO
ALFA(16,1)=F3*ALFA(3,1)/FO
ALFA(16,2)=F3*ALFA(3,2)/FO
ALFA(16,3)=F3*ALFA(3,3)/FO
ALFA(16,4)=F3*ALFA(3,4)/FO
RETURN
END

```

```
// DUP
```

```
*DELETE          VEDIS          OEC3
```

```
*STORE          WS  UA  VEDIS          OEC3
```

```
// FOR
```

```
*LIST SOURCE PROGRAM
```

```
*ONE WORD INTEGERS
```

```

SUBROUTINE LXEXR(VO,AO,VIO,T,ELECA,NUTEM,NUELE,PCA,YPASS,COMP,
*LARG)

```

```
REAL LARG
```

```
INTEGER ELECA(2,20)
```

```
DIMENSION XV(54,54),WX(54),XM(54),LR(80),LCR(80),NUNO(40,4)
```

```
*,X(30),Y(30),T(100)
```

```
COMMON X,Y,NUNO,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUMPN,LEMOD,
```

```
*ITIPO,NPROB,IULT,LTEMP
```

```
READ(8,1001)NUTEM,NUELE
```

```
1001 FORMAT(2I10)
```

```
IF(LTEMP)5,5,10
```

```
10 READ(8,1012)VO,YPASS,VIO,AO
```

```
1012 FORMAT(4F10.0)
```

```
READ(8,1004)(T(I),I=1,NUTEM)
```

```
1004 FORMAT(8F10.0)
```

```
WRITE(5,1003)NUTEM,NUELE,AO,VO,VIO,YPASS
```

```
1003 FORMAT(///,7X,'NUMERO DE TEMPOS',6X,'=',I3,/,7X,'NO. DE ELE. '
```

```
*, 'DO TRAYETO=',I2,/,7X,
```

```
*'ACELERACAO CONSTANTE',2X,'=',E11.4,/,7X,'VELOCIDADE CONSTANTE'
```

```
*,2X,'=',E11.4,/,7X,'VELOCIDADE INICIAL',4X,'=',E11.4,/,7X,
```

```
*'ORDENADA DO TRAYETO',3X,'=',E11.4)
```

```
GO TO 6
```

```
5 READ(8,1015)REL,XTOT,NDT,YPASS,IACE
```

```
1015 FORMAT(2F10.0,I10,F10.0,I10)
```

```
PER=6.2832/WX(1)
```

```

TRAV=PER/REL
IF(IACE)15,15,20
15 VO=XTOT/TRAV
XX=TRAV/NDT
XF=0.
DO 25 I=1,NUTEM
XF=XF+XX
T(I)=XF
25 CONTINUE
VIO=0.
AO=0.
GO TO 30
20 CONTINUE
AO=2.*XTOT/TRAV**2
VIO=0.
XX=XTOT/NDT
XF=0.
DO 35 I=1,NUTEM
XF=XF+XX
T(I)=SQRT(2.*AO*XF)/AO
35 CONTINUE
30 WRITE(5,1003)NUTEM,NUELE,AO,VO,VIO,YPASS
WRITE(5,1017)REL
1017 FORMAT(/,7X,'REL. ENTRE 1. PER. E TEMP. DE TRAV. =',F4.2)
6 CONTINUE
WRITE(5,1008)
1008 FORMAT(/,7X,'ELEMENTOS PELOS QUAIS PASSA A CARGA')
IF(ITIPO-3)36,40,40
36 READ(8,1005)(ELECA(1,I),I=1,NUELE)
1005 FORMAT(8I10)
WRITE(5,1009)(ELECA(1,I),I=1,NUELE)
1009 FORMAT(/,7X,6(2X,I3))
GO TO 45
40 DO 60 I=1,2
READ(8,1005)(ELECA(I,J),J=1,NUELE)
IF(I-1)50,50,55
50 WRITE(5,1020)(ELECA(I,J),J=1,NUELE)
GO TO 60
55 WRITE(5,1022)(ELECA(I,J),J=1,NUELE)
60 CONTINUE
1020 FORMAT(/,7X,'SUPERIORES',1X,8(2X,I3))
1022 FORMAT(/,7X,'INFERIORES',1X,8(2X,I3))
45 CONTINUE
READ(8,1025)PCA,COMP,LARG
WRITE(5,1026)PCA,COMP,LARG
1025 FORMAT(3F10.0)
1026 FORMAT(/,7X,'VALOR DA CARGA',7X,'=',E11.4,/,7X,'COMPRIMENTO DA CA
*RG =',E11.4,/,7X,'LARGURA DA CARGA',5X,'=',E11.4)
RETURN
END

```

```

// DUP
*DELETE      WS  UA  LXEXR      OEC3
*STORE       WS. UA  LXEXR      OEC3
// FOR
** PROGRAMA YECI1
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
*IOCS(2501READER,1403PRINTER,DISK)
C      ANALISIS DINAMICO DE PLACAS-TESIS DE MESTRADO
C      YECID ALIAGA BRUCH-COPPE/UFRJ/ENGENHARIA CIVIL/
      DEFINE FILE 1(2416,2,U,ID)
      REAL M(54,54),ME(16,16)
      DIMENSION X(30),Y(30),S(54,54),XE(4),YE(4),NEP(40),EE1(3)
      *,EE2(3),RO(3),ESPE(40),LR(80),LCR(80),SE(16,16),L(4,4),
      *NUNO(40,4),XV(54,54),XL(54),XNOME(18),XM(54)
      *,WX(54)
      COMMON X,Y,NUNO,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUMPN,LEMOD,
      *ITIPO,NPROB,IULT,LTEMP,XL,M
504 READ(8,1105)NPROB,IULT,ITIPO,LEMOD .
      IF(NPROB-1)5,6,5
6 CONTINUE
      WRITE(5,999)
      WRITE(5,998)
999 FORMAT(1H1,/////////////////,20X,41(' * '),/,20X,'*',79X,'*',/,20X
*, '*',79X,'*',/,20X,'*',79X,'*',/,20X,'*',14X,'A N A L I S E   D I
*N A M I C A   D E   P L A C A S',14X,'*',/,20X,'*',79X,'*',/,20X,'
**',79X,'*',/,20X,'*',36X,'P E L O',36X,'*',/,20X,'*',79X,'*',/,20X
*, '*',79X,'*',/,20X,'*',12X,'M E T O D O   D O S   E L E M E N T O
*S   F I N I T O S',12X,'*')
998 FORMAT(20X,'*',79X,'*',/,20X,'*',79X,'*',/,20X,'*',79X,'*',/,20X,
*',*',79X,'*',/,20X,'*',12X,'COPPE-UFRJ-1972',23X,'YECID ALIAGA BRUC
*H',11X,'*',/,20X,'*',79X,'*',/,20X,'*',79X,'*',/,20X,41(' * '))
5 CONTINUE
      ID=1
      WRITE(5,1100)
1100 FORMAT(1H1,6X,'A N A L I S E   D I N A M I C A   D E   P L A C A S
*',/,7X,'*****')
1105 FORMAT(5I10)
      WRITE(5,1110)NPROB
1110 FORMAT(/,7X,'PROBLEMA NUMERO',1X,'=',I2)
      READ(8,1000)XNOME
      WRITE(5,1001)XNOME
1000 FORMAT(18A4)
1001 FORMAT(/,7X,'-----
*-----',///,1X,18A4,///,7X,'-----
*-----')
      READ(8,1002)NUMEL,NUMPN,NUMAT,NRJ,ITIEL,INRO
      WRITE(5,1003)
      GO TO (56,57,58),ITIEL
56 NDNO=3

```

```

      NNE=3
      GO TO 59
57 NDNO=3
      NNE=4
      GO TO 59
58 NDNO=4
      NNE=4
59 CONTINUE
      WRITE(5,1004)NUMEL,NUMPN,NUMAT,ITIEL,NRJ,NNE,NDNO
1002 FORMAT(8I10)
1003 FORMAT(///7X,'DADOS DA ESTRUTURA')
1004 FORMAT(//7X,'NUMERO DE ELEMENTOS',1X,'=',I2/7X,'NUMERO DE NOS',7X,
*'=',I2/7X,'NUMERO DE MATERIAIS',1X,'=',I2/7X,'ELEMENTO UTILIZADO
*=',I2/7X,'NUMERO DE SUPORTES',2X,'=',I2,
*/7X,'NOS POR ELEMENTO',4X,
*'=',I2,/7X,'DESLOCAMENTOS POR NO',I2)
      WRITE(5,1006)
      DO 2 IC=1,NUMAT
      READ(8,1005)MTYPE,RO(MTYPE),EE1(MTYPE),EE2(MTYPE)
      2 WRITE(5,1007)MTYPE,RO(MTYPE),EE1(MTYPE),EE2(MTYPE)
1005 FORMAT(I10,3F10.0)
1006 FORMAT(//7X,'CARACTERISTICAS DO MATERIAL'/7X,'MATERIAL',5X,'MASS.E
*SP.',5X,'MOD.DE.ELAST.',5X,'C.POISSON',/)
1007 FORMAT(7X,I2,10X,E11.4,4X,E11.4,5X,E11.4)
      WRITE(5,1008)
      DO 3 IC=1,NUMPN
      READ(8,1009)NU,X(NU),Y(NU)
      3 WRITE(5,1010)NU,X(NU),Y(NU)
1008 FORMAT(//7X,'COORDENADAS DOS NOS'/7X,'NO',5X,'X',6X,'Y'/)
1009 FORMAT(I10,2F10.0)
1010 FORMAT(7X,I2,1X,2F7.2)
      IF(NNE-3)11,11,12
      11 WRITE(5,1152)
      GO TO 13
      12 WRITE(5,1011)
      13 DO 4 IC=1,NUMEL
      IF(NNE-3)8,8,9
      8 READ(8,1012)NU,(NUNO(NU,J),J=1,NNE),ESPE(NU),NEP(NU)
      WRITE(5,1033)NU,(NUNO(NU,J),J=1,3),ESPE(NU),NEP(NU)
      GO TO 4
      9 READ(8,1031)NU,(NUNO(NU,J),J=1,NNE),ESPE(NU),NEP(NU)
      WRITE(5,1013)NU,(NUNO(NU,J),J=1,4),ESPE(NU),NEP(NU)
      4 CONTINUE
1031 FORMAT(5I10,F10.0,I10)
1152 FORMAT(//7X,'INCIDENCIAS E PROPIEDADES DO ELEMENTO'/7X,'MEMBRO',6X
*,'NOI',5X,'NOJ',5X,'NOK',4X,'ESPE',5X,'MATERIAL'/)
1011 FORMAT(//7X,'INCIDENCIAS E PROPIEDADES DO ELEMENTO'/7X,'MEMBRO',6X
*,'NOI',5X,'NOJ',5X,'NOK',5X,'NOL',4X,'ESPE',5X,'MATERIAL'/)
1012 FORMAT(4I10,F10.0,I10)
1013 FORMAT(7X,I2,4X,4(6X,I2),F9.2,7X,I2)

```

```

1033 FORMAT(7X,I2,4X,3(6X,I2),F9.2,7X,I2)
      NPT=NDNO*NUMPN
      DO 15 I=1,NPT
        LR(I)=0
15    LCR(I)=0
        IF(NDNO-3)16,16,17
16    WRITE(5,1014)
        IF(NNE-3)27,27,28
27    DO 29 K=1,NRJ
        READ(8,1015)NU,LR(3*NU-2),LR(3*NU),LR(3*NU-1)
        WRITE(5,1016)NU,LR(3*NU-2),LR(3*NU),LR(3*NU-1)
29    CONTINUE
        GO TO 19
28    DO 18 K=1,NRJ
        READ(8,1015)NU,LR(3*NU-2),LR(3*NU-1),LR(3*NU)
18    WRITE(5,1016)NU,LR(3*NU-2),LR(3*NU-1),LR(3*NU)
        GO TO 19
17    WRITE(5,1151)
        DO 20 K=1,NRJ
        READ(8,1015)NU,LR(4*NU-3),LR(4*NU-2),LR(4*NU-1),
          *LR(4*NU)
20    WRITE(5,1150)NU,LR(4*NU-3),LR(4*NU-2),LR(4*NU-1),LR(4*NU)
1150 FORMAT(7X,I2,7X,I1,8X,I1,9X,I1,9X,I1)
1151 FORMAT(/7X,'RESTRICOES DE NO',/7X,'NO',5X,'RESW',5X,'RESWY',5X,
          *'RESWX',5X,'RESWXY'/)
1014 FORMAT(/7X,'RESTRICOES DE NO'/7X,'NO',5X,'RESW',5X,'RESWY',5X,'RE
          *SWX'/)
1015 FORMAT(5I10)
1016 FORMAT(7X,I2,7X,I1,8X,I1,9X,I1)
19    CONTINUE
        LCR(1)=LR(1)
        DO 24 I=2,NPT
          LCR(I)=LCR(I-1)+LR(I)
24    CONTINUE
        NG=NDNO*NUMPN-LCR(NPT)
        DO 23 I=1,NG
          DO 23 J=1,NG
            S(I,J)=0.
            M(I,J)=0.
23    CONTINUE
        DO 25 IC=1,NUMEL
          DO 30 JC=1,NNE
            JJ=NUNO(IC,JC)
            XE(JC)=X(JJ)
            YE(JC)=Y(JJ)
            ESP=ESPE(IC)
            JX=NEP(IC)
            HO=RO(JX)
            E1=EE1(JX)
            E2=EE2(JX)

```



```

      GO TO (31,32,70),ITIEL
31  CONTINUE
      CALL RIMAE(XE,YE,ESP,E1,E2,HO,SE,ME)
      IF(INRO)33,33,48
48  CALL INFRO(XE,YE,ME,HO,ESP)
      GO TO 33
32  CONTINUE
      CALL RIREC(XE,YE,E1,E2,ESP,SE)
      CALL MAREC(XE,YE,HO,ESP,ME)
      GO TO 33
70  CONTINUE
      CALL RIR16(XE,YE,E1,E2,ESP,SE)
      CALL MAR16(XE,YE,HO,ESP,ME)
33  CONTINUE
C  REARUMACAO E MONTAGEM DA MATRIZ DE RIGIDEZ E DE MASSA
      DO 35 I=1,NNE
      DO 35 J=1,NDNO
      IK=NDNO-J
      L(I,J)=NDNO*NUNO(IC,I)-IK
      JY=L(I,J)
      IF(LR(JY))40,40,41
40  L(I,J)=L(I,J)-LCR(JY)
      GO TO 35
41  L(I,J)=NG+LCR(JY)
35  CONTINUE
      DO 25 I=1,NNE
      DO 25 J=1,NDNO
      LJ=NDNO*(I-1)+J
      IK=NDNO-J
      JY=NDNO*NUNO(IC,I)-IK
      IF(LR(JY))50,50,25
50  DO 55 N=1,NNE
      DO 55 K=1,NDNO
      LI=NDNO*(N-1)+K
      KE=L(I,J)
      IF(KE-NG)300,300,55
300 KP=L(N,K)
      IF(KP-NG)310,310,55
310 M(KP,KE)=M(KP,KE)+ME(LI,LJ)
      S(KP,KE)=S(KP,KE)+SE(LI,LJ)
55  CONTINUE
25  CONTINUE
      DO 132 IP=1,NG
      DO 132 JP=1,NG
      WRITE(1,ID)M(IP,JP)
132 CONTINUE
      READ(8,1200)NMOD
      IF(LEMOD)500,500,501
500 CONTINUE
      CALL ARRAY(2,NG,NG,54,54,S,S)

```

```

      CALL ARRAY(2,NG,NG,54,54,M,M)
      CALL NROOT(NG,S,M,XL,XV)
      CALL ARRAY(1,NG,NG,54,54,XV,XV)
1200  FORMAT(I10)
      DO 85 KX=1,NG
      XL(KX)=SQRT(XL(KX))
      85  CONTINUE
      WRITE(5,1019)
      WRITE(5,1020)
1020  FORMAT(///7X,'FREQUENCIAS DO SISTEMA',/)
1019  FORMAT(1H1,6X,'PROPIEDADES VIBRATORIAS DO SISTEMA')
      I4=0
      NG1=NG+1
      DO 60 I=1,15
      I1=I4+1
      IF(I1-NMOD)63,63,62
      63  I2=I4+2
      I3=I4+3
      I4=I4+4
      WRITE(5,1021)I1,I2,I3,I4
1021  FORMAT(1X,4(12X,'W',I2))
      L1=NG1-I1
      L2=NG1-I2
      L3=NG1-I3
      L4=NG1-I4
      60  WRITE(5,1022)XL(L1),XL(L2),XL(L3),XL(L4)
1022  FORMAT(4X,4(2X,E13.6),/)
      62  WRITE(5,1023)
1023  FORMAT(///7X,'VETORES DOS MODOS DE VIBRACAO'//)
      DO 65 I=1,NMOD
      I1=NG1-I
      65  WRITE(5,1024)I,(XV(J,I1),J=1,NG)
1024  FORMAT(/7X,'W',I2,' - ',7(2X,E13.6),/,12X,7(2X,E13.6),/,
      *12X,7(2X,E13.6),/,12X,7(2X,E13.6),/,12X,7(2X,E13.6),/
      *,12X,7(2X,E13.6),/,12X,7(2X,E13.6),/,12X,7(2X,E13.6))
      GO TO 200
      501  CONTINUE
      WRITE(5,1057)
1057  FORMAT(///,7X,'FREQUENCIAS DO SISTEMA LIDAS',/)
      NG1=NG-NMOD+1
      READ(8,1052)(XL(I),I=NG1,NG)
      WRITE(5,1053)(XL(I),I=NG1,NG)
      WRITE(5,1056)
      DO 502 J=NG1,NG
      READ(8,1054)(XV(I,J),I=1,NG)
      WRITE(5,1055)(XV(I,J),I=1,NG)
      502  CONTINUE
1052  FORMAT(8F10.0)
1053  FORMAT(/7(2X,E13.6))
1054  FORMAT(8F10.0)

```

```

1055 FORMAT(/,7(2X,E13.6))
1056 FORMAT(/,7X,'MODOS DE VIBRACAO LIDOS',/)
200 CONTINUE
    IF(ITIPO)204,204,210
210 CONTINUE
    CALL DXDXS(ID)
    CALL LINK(YECI2)
204 CONTINUE
    IF(IULT)504,504,503
503 CONTINUE
    CALL EXIT
    END

// DUP
*DELETE      WS  UA  YECI3          OEC3
*STORE       WS  UA  YECI3          OEC3
// FOR
*IOCS(2501READER,1403PRINTER,DISK)
**PROGRAMA YECI2
*ONE WORD INTEGERS
*LIST SOURCE PROGRAM
    DIMENSION XV(54,54),WX(54),XM(54),LR(80),LCR(80),NUNO(40,4)
    *,X(30),Y(30)
    COMMON X,Y,NUNO,LR,LCR,NG,NMOD,NNE,NDNO,XM,WX,XV,NUNPN,LEMOD,
    *ITIPO,NPROB,IULT,LTEMP
    CALL START
    READ(8,1001)NUCAR
    DO 10 K=1,NUCAR
    WRITE(5,1000)
1000 FORMAT(1H1,6X,'V I B R A C O E S   F O R C A D A S ')
    WRITE(5,1008)NMOD
1008 FORMAT(/,7X,'NUMERO DE MODOS DE VIBRACAO PARA ANALISE =',I3)
1001 FORMAT(I10)
    READ(8,1002)ITIPO,LTEMP
1002 FORMAT(2I10)
    WRITE(5,1003)K
1003 FORMAT(/,7X,'-----',/,7X,'NUMERO DO CARRE
    *GAMENTO =',I3,/,7X,'-----')
    GO TO (55,60,65),ITIPO
55 WRITE(5,1004)
    CALL CXCXF
    GO TO 10
60 WRITE(5,1005)
    CALL CXCXM
    GO TO 10
65 WRITE(5,1006)
    CALL CXDXM
10 CONTINUE
1004 FORMAT(/,7X,'TIPO DO CARREGAMENTO      =',' CARGA FIXA VARIANDO COM O
    * TEMPO')
1005 FORMAT(/,7X,'TIPO DO CARREGAMENTO      =',' CARGA MOVEL CONCENTRADA')

```

```

1006 FORMAT(/,7X,'TIPO DO CARREGAMENTO   =',' CARGA MOVEL DISTRIBUIDA')
      CALL TIME(TI)
      TI=TI/60000.
      WRITE(5,1010)NPROB,TI
1010 FORMAT(///,7X,'TEMPO DE EXECUCAO NO CALCULO DA RESPOSTA DINAMICA D
      *O PROBLEMA',I2,' = ',F6.2,' MINUTOS ')
      IF(IULT)35,35,40
      35 CALL LINK(YECI1)
      40 CONTINUE
      CALL EXIT
      END

```

```
// DUP
```

```
*DELETE      WS  UA  YECI2          OEC3
```

```
*STORE       WS  UA  YECI2          OEC3
```

```
// XEQ YECI3  2
```

```
*LOCALYECI3,RIMAE,MAREC,RIREC,RIR16,MAR16,INFRO,NROOT
```

```
*FILES(1,XMAS,OEC3)
```