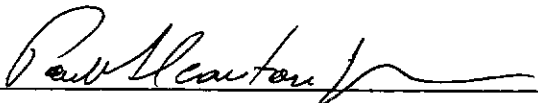


DINÂMICA DE ESTRUTURAS RETICULADAS SOB CARGAS
MÓVEIS PELO MÉTODO DAS MATRIZES DE TRANSFERÊNCIA

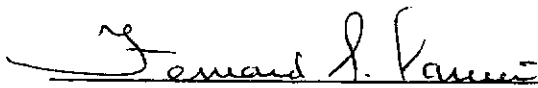
MARSÍLIO DE ALENCAR SÁ LEITÃO

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDE-
RAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PA-
RA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS M.Sc.


Aprovada por:




PAULO ALCÂNTARA GOMES
Presidente



FERNANDO LUIZ LOBO B. CARNEIRO



SERGIO FERNANDES VILLAÇA



CARLOS HENRIQUE HOLCK

Rio de Janeiro - Brasil

AGOSTO - 1979

LEITÃO, Marsílio de Alencar Sá

Dinâmica de Estruturas Reticuladas sob cargas Móveis pelo Método das Matrizes de Transfêrência. [Rio de Janeiro] 1979.

VII, 162 p., 29,7cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 1979).

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE/UFRJ

1. *Dinâmica de Estruturas.* I. COPPE/UFRJ .
II. *Título (Série)*

Dedicação

À minha mãe

À minha esposa

AGRADECIMENTOS

Ao professor Paulo Alcântara Gomes pela sugestão e orientação do tema.

Ao professor Fernando Luiz Lobo Barbosa Carneiro pela orientação acadêmica durante o curso.

A todo o corpo docente da COPPE pelos ensinamentos recebidos.

À direção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco por toda ajuda e incentivo que nos concedeu para que concluíssemos nosso curso e o trabalho de tese.

SINOPSE

O objetivo deste trabalho é obter coeficientes de impacto para estruturas reticuladas submetidas a cargas móveis, tomando como base o método das matrizes de transferência.

São apresentados os conceitos do método utilizado, os processos de obtenção das matrizes requeridas pelo mesmo, um programa automático em linguagem Fortran desenvolvido para esta análise e o manual de utilização do mesmo.

O programa foi desenvolvido para o computador Burroughs 6700 do Núcleo de Computação Eletrônica da UFRJ.

ABSTRACT

The aim of this work is to compute impact coefficients for structures subjected to moving loads using the Method of Transfer Matrices.

This study presents the concepts of the method used, the process used to evaluate the required matrices, an automatic Fortran Program developed for this analyses and its user's manual. Are too presented some exemples of application.

The program was developed for Burroughs 6700 computer of the Eletronics Computational Center of UFRJ.

ÍNDICE

	Pág.
CAPÍTULO I - Introdução	1
CAPÍTULO II - O método das Matrizes de Transferência.....	5
II.1 - Vetor de Estado	5
II.2 - Matriz de Transferência	7
II.3 - Generalização da Matriz de Transferência..	7
II.4 - Matriz Fronteira.....	10
CAPÍTULO III - Desenvolvimento do Método.....	12
III.1 - Considerações Gerais.....	12
III.2 - Obtenção da Matriz de Transferência.....	13
III.2.1 - Processos Existentes.....	13
III.2.2 - Aplicação do Processo Escolhida..	14
III.3 - Obtenção da Matriz Fronteira.....	27
III.3.1 - Generalidades.....	27
III.3.2 - Ausência de Descontinuidades.....	30
III.3.3 - Cargas nas Juntas.....	31
III.3.4 - Deformações Impostas.....	32
III.3.5 - Apoios Elásticos.....	33
III.3.6 - Ramificações.....	35
III.3.7 - Liberações Generalizadas.....	39
III.3.8 - Massas Concentradas em Vibração..	44
III.4 - A Análise da Estrutura.....	46
III.4.1 - Generalidades.....	46
III.4.2 - O Sistema de Equações.....	48
III.4.3 - Análise Estática.....	50
III.4.4 - Análise das Vibrações Livres.....	51

	Pág.
III.4.5 - <i>Análise das Vibrações Forçadas</i>	54
III.4.6 - <i>Cálculo dos Coeficientes de Impacto</i>	63
CAPÍTULO IV - <i>O Programa Automático</i>	67
IV.1 - <i>Considerações Gerais</i>	67
IV.2 - <i>Fluxograma Geral e Subrotinas</i>	68
IV.2.1 - <i>Tratamento de Dados</i>	68
IV.2.2 - <i>Análise Estática</i>	70
IV.2.3 - <i>Vibrações Livres</i>	73
IV.2.4 - <i>Análise Dinâmica e Coeficientes de Impacto</i>	75
IV.2.5 - <i>Mensagens de Erro das Subrotinas</i>	78
IV.3 - <i>Estrutura dos Dados</i>	80
IV.3.1 - <i>Considerações Gerais</i>	80
IV.3.2 - <i>Fluxograma de Entrada de Dados</i>	82
IV.3.3 - <i>Cartões de Contrôlo</i>	84
IV.3.4 - <i>Cartões de Identificação</i>	85
IV.3.5 - <i>Cartões de Definição Geral</i>	86
IV.3.6 - <i>Cartões de Definição dos Elementos</i> ...	89
IV.4 - <i>Listagem do Programa</i>	91
CAPÍTULO V - <i>Exemplos e Conclusões</i>	131
ANEXOS:	152
A.1 - <i>Notações Utilizadas</i>	152
A.2 - <i>Bibliografia</i>	159

CAPÍTULO I - Introdução

O objetivo deste trabalho é o de apresentar um programa automático capaz de analisar uma estrutura reticulada a porticada, fornecendo-nos coeficientes de impacto para a mesma quando sobre ela se deslocar uma carga concentrada com velocidade constante. Trata-se assim de uma análise dinâmica com a consideração de cargas móveis.

Como a estrutura é constituída de barras as quais estão dispostas sequencialmente, procuramos utilizar no trabalho um método que aproveitasse essa característica. Optamos então pelo método das matrizes de transferência.

Desde há muito largamente utilizado na Física, êle foi introduzido no cálculo estrutural há aproximadamente três décadas e meia e hoje já começa a ter ampliado o seu campo de aplicação. Os primeiros trabalhos apresentados devem-se a Falk (1) e (2) e Fuhrke (3); logo a seguir aparecem trabalhos de Pestel ou deste em colaboração com Falk, dos quais foi gerado o livro "Matrix Algebra in Elastomechanics" que consta de nossa bibliografia. Mais recentemente então começaram a aparecer trabalhos de pesquisa com a aplicação do método a problemas específicos.

Desses apresentamos alguns: (4), (5), (6), (7), (8), (9) e (10).

Em têrmos nacionais temos o trabalho de Eldon Londe Mello "Análise de Estruturas Reticuladas pelo Método das Ma

trizes de Transferência", o qual também consta de nossa bibliografia.

A vantagem principal do método é trabalhar com matrizes de pequenas dimensões e, através de produtos das mesmas, reduzir o problema ao estudo de uma única "barra representativa da estrutura"

Estabelecendo-se as condições de equilíbrio e compatibilidade nos apoios extremos chega-se a um sistema de equações de pequenas dimensões e fácil solução. Uma vez resolvido o sistema, percorre-se toda a estrutura barra por barra sequencialmente a partir de um extremo, obtendo-se uma análise detalhada da mesma.

Um resumo teórico do método é apresentado no capítulo II, e no capítulo III fazemos um estudo detalhado da aplicação do método ao nosso caso específico. Mostramos aí como obter as matrizes de transferência e fronteira usadas pelo mesmo e a maneira pela qual é abordada a estrutura nas várias fases da análise.

No capítulo IV fazemos a apresentação do programa automático e do manual de utilização do mesmo. Exemplos e conclusões são apresentados no capítulo V, seguindo-se os anexos com a lista de símbolos utilizados e a bibliografia consultada.

(1) Falk, S.

"Die Berechnung des beliebig gestützten Durchlaufträgers nach dem Reduktionsverfahren" - Ingenieur Archiv, v. 24, pp 216/232, Berlin, 1956.

(2) Falk, S.

"Die Berechnung Öffener Rahmentragwerke nach dem Reduktionsverfahren" - *Ingenieur Archiv*, v. 26, pp 61/80, 1958.

(3) Fuhrke

"Bestimmung von Rahmenschwingungen mit Hilfe des Matrizenkalküls" - *Ingenieur Archiv*, v. 24, pp 27/42, Berlin, 1956.

(4) Munshi, R.K.

"Vibration Analysis of Planar Frames" - *Dissertation Abstracts*, v. 30: 3(B), Ph. D. Thesis, Oklahoma State Univ., 1968.

(5) "Beams on Discrete, Nonlinear Elastic Supports" - *Journal of the Structure Division, ASCE*, v. 95, n^o ST11, Nov, 1969, pp 2335/2351.

(6) Tuma, J.J. and Alberti, G.

"Static Parameters of Beam on Elastic Foundations" - *Publ's, Int'l Assoc. for Bridge & Struct. Engrg.*, v. 30-1, 1970, pp 247/264.

(7) Pultar, M.

"Solution of Simple Canonical Folded Plates by Transfer Matrices" - *Bull. Int. Assoc. for Shell Structures*, n^o44,

Dec. 1970, pp 39/42.

(8) *Yoshida, H. and Imoto, Y.*

"Inelastic Lateral Buckling of Restrained Beams" - J. Engrg. Mech. Div., ASCE, v. 99 n^o ST2, April 1973, pp 343/366.

(9) *Lianw, T.C. and Leung, K.W. (Univ. of Hong Kong)*

"Torsion Analysis of Core Wall Structures by Transfer Matrix Method" - The Structural Engineer, v. 53, n^o 4, April 1975, pp 184/194.

(10) *Yoshida, H; Nethercot, D.A. & Trahair, N.S. (Kanazawa Univ. Japan)*

"Analysis of Lateral Buckling of Continuous Beams" - IABSE Periodicals 2/1977, May 1977, IABSE Proceedings p- 3/77 pp 14 .

CAPÍTULO II - O Método das Matrizes de Transferência

No método das matrizes de transferência os três elementos básicos são o vetor de estado, a matriz de transferência e a matriz fronteira.

II.1 - Vetor de Estado

Numa estrutura tem-se em uma junta ou numa secção qualquer de uma barra, um igual número de ações e deslocamentos associados. Se a estrutura é considerada no espaço tem-se pois seis ações (A) e seis deslocamentos (D). Ver figura 2.1.

Se dispusermos esses doze elementos num vetor, teremos o vetor de estado do ponto.

$$\{V\} = \{D, A\}$$

$$\{V\} = \{D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6\}$$

O vetor será referido ao sistema local de eixos (X_M, Y_M, Z_M) quando se tratar de uma secção de uma barra (fig. 2.1) e ao sistema global (X_S, Y_S, Z_S) quando se tratar de uma junta (fig. 2.2).

As notações $\{V\}_j$ e $\{V\}_{j,i}$ representam respectivamente o vetor de estado da junta "j" e o vetor de estado da secção "j" da barra "i"

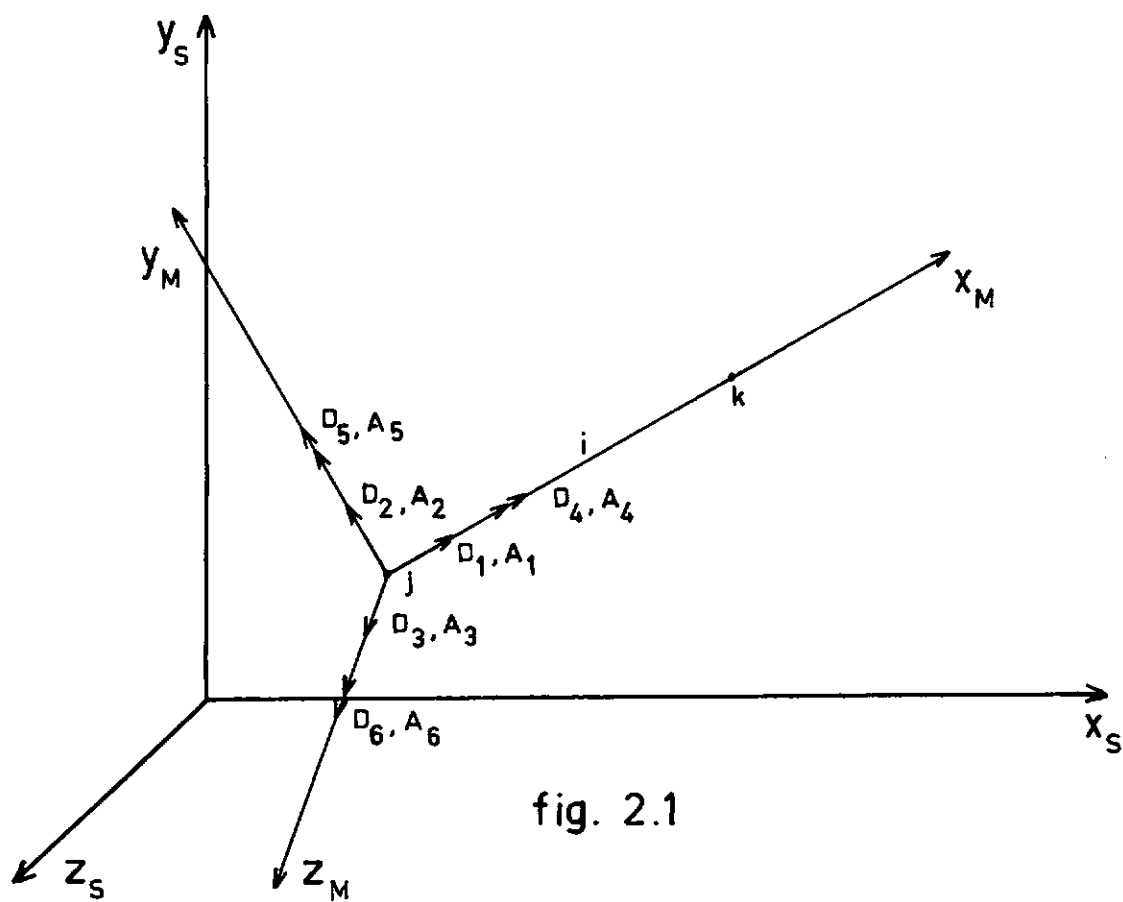


fig. 2.1

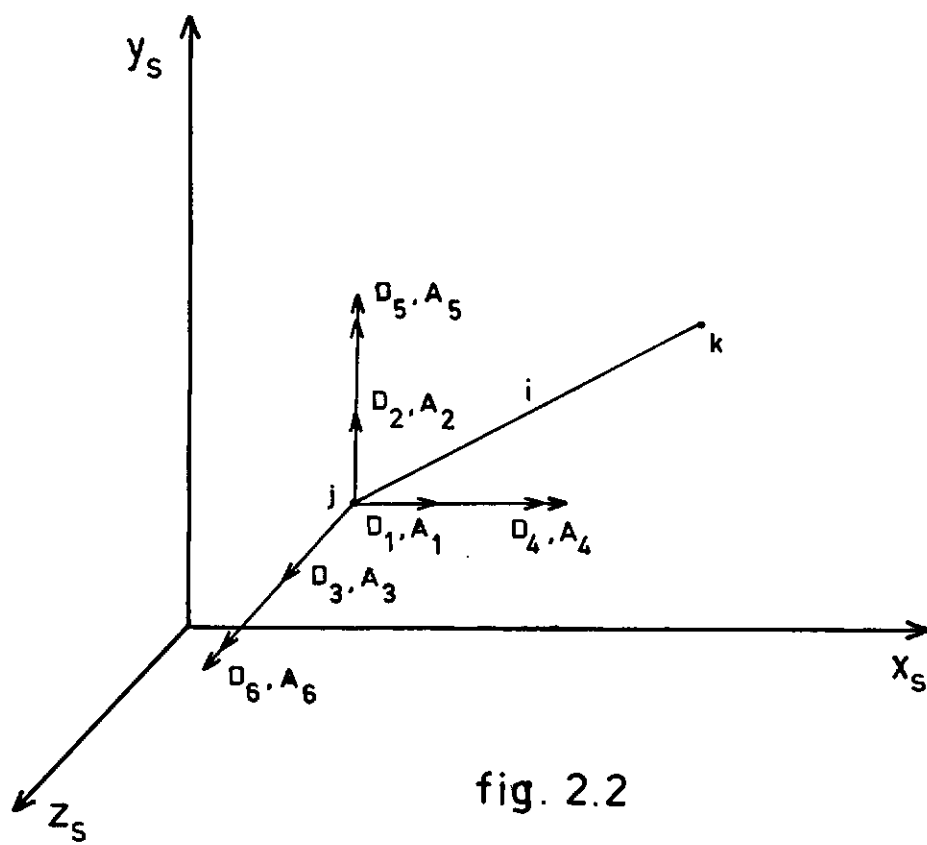


fig. 2.2

II.2 - Matriz de Transferência

A matriz de transferência é o operador que nos permite determinar o vetor de estado em uma seção "k" de uma barra "i" em função do vetor de estado conhecido em uma seção "j" da mesma barra.

Denominamos $[T]_i$ este operador e temos:

$$\{V\}_{k,i} = [T]_i \{V\}_{j,i} \quad (2.1)$$

onde $[T]_i$ é uma matriz quadrada, denominada matriz de transferência da barra "i", cuja ordem é igual ao número de elementos no vetor de estado.

Os elementos de $[T]_i$ são funções das características geométricas e mecânicas da barra como veremos adiante, no capítulo III.

II.3 - Generalização da Matriz de Transferência

Na figura 2.3 mostramos uma sucessão de "n" barras sem descontinuidades na passagem de cada uma para a seguinte. Nestas condições podemos garantir que:

$$\{V\}_{j,2} = \{V\}_{k,1} \quad (2.2)$$

$$\{V\}_{j,3} = \{V\}_{k,2} \quad (2.3)$$

.....

$$\{ V \}_{j,n} = \{ V \}_{k,n-1} \quad (2.4)$$

mas a eq. 2.1 permite escrever:

$$\{ V \}_{k,1} = [T]_1 \{ V \}_{j,1} \quad (2.5)$$

$$\{ V \}_{k,2} = [T]_2 \{ V \}_{j,2} \quad (2.6)$$

.....

$$\{ V \}_{k,n-1} = [T]_{n-1} \{ V \}_{j,n-1} \quad (2.7)$$

$$\{ V \}_{k,n} = [T]_n \{ V \}_{j,n} \quad (2.8)$$

Tendo-se em conta as equações (2.2) a (2.4) e fazendo-se as substituições sucessivas das equações (2.5) a (2.8), cada uma da posterior, chega-se ao resultado:

$$\{ V \}_{k,n} = [T]_n [T]_{n-1} \dots [T]_2 [T]_1 \{ V \}_{j,1}$$

Se supusermos agora estas "n" barras formando uma parte "i" de uma estrutura delimitada pelos nós extremos "j" e "k" poderemos escrever (fig. 2.3):

$$\{ V \}_{j,1} = \{ V \}_{j,i}$$

$$\{ V \}_{k,n} = \{ V \}_{k,i} \quad , \quad \text{e conseqüentemente}$$

$$\{ V \}_{k,i} = [T]_i \{ V \}_{j,i} \quad (2.9)$$

onde

$$[T]_i = [T]_n [T]_{n-1} \cdots [T]_2 [T]_1 \quad (2.10)$$

Conclui-se pois que a matriz de transferência do trecho "i" da estrutura será obtida pelo produto das matrizes de transferência das barras que a compoem.

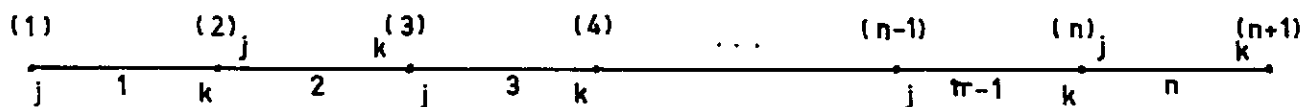


fig. 2.3

II.4 - Matriz Fronteira

Num caso mais geral a hipótese inicial do item anterior não será válida; pode-se ter vários tipos de descontínuidades entre cada barra e a seguinte. Com isso as equações (2.2) a (2.4) perdem sua validade e devem ser substituídas por equações de compatibilidade as quais podem ser expressas de duas maneiras:

$$1) \{V\}_{j,l} = \{VF\}_l + \{V\}_{k,l-1} \quad (2.11)$$

onde $\{VF\}_l$ é denominado vetor fronteira da seção "l"

$$2) \{V\}_{j,l} = [F]_l \{V\}_{k,l-1} \quad (2.12)$$

onde $[F]_l$ é denominada matriz fronteira da seção "l", e é uma matriz quadrada de ordem igual ao número de elementos dos vetores de estado.

Adotamos neste trabalho a forma (2) porque envolve apenas produtos de matrizes da mesma ordem.

Suponhamos um trecho "i" de uma estrutura composto de "n" barras. Substituindo as equações do tipo (2.12) nas equações (2.5) a (2.8) e relacionando-as entre si, chegamos ao resultado:

$$\{V\}_{k,n} = [T]_n [F]_n [T]_{n-1} [F]_{n-1} \cdots [T]_2 [F]_2 [T]_1 [F]_1 \{V\}_{j,1}$$

mas, lembrando que:

$$\{V\}_{j,1} = \{V\}_{j,i} \quad e$$

$$\{V\}_{k,\tilde{n}} = \{V\}_{k,i} \quad \text{temos}$$

$$\{V\}_{k,i} = [\overline{T}]_i \{V\}_{j,i} \quad (2.13)$$

onde

$$[\overline{T}]_i = [\overline{T}]_n [\overline{F}]_n [\overline{T}]_{n-1} [\overline{F}]_{n-1} \cdots [\overline{T}]_2 [\overline{F}]_2 [\overline{T}]_1 [\overline{F}]_1 \quad (2.14)$$

CAPÍTULO III - Desenvolvimento do Método

III.1 - Considerações Gerais

A aplicação do método das matrizes de transferência a uma estrutura requer que partamos de um extremo da mesma, seguindo um caminho preestabelecido, até um outro extremo também fixado.

Esse caminho é denominado caminho principal, sendo as demais partes da estrutura consideradas ramificações do mesmo, aparecendo como descontinuidades nos nós onde com ele se conectam.

Nosso trabalho estuda estruturas reticuladas planas como por exemplo a da fig. 3.1. Nesta estrutura tomaríamos como caminho principal o percurso A B C D E F, sendo as partes CG e DH consideradas ramificações

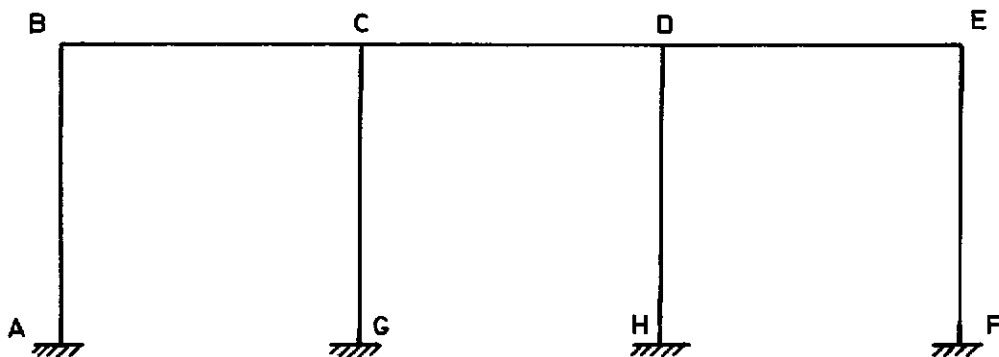


fig. 3.1

O carregamento aplicado à estrutura consiste em uma carga concentrada vertical se deslocando com velocidade constante ao longo do trecho horizontal do caminho principal.

O estudo do comportamento dinâmico de uma estrutura pelo método das matrizes de transferência, visando a obtenção de coeficientes de impacto, requer inevitavelmente a sua resolução inúmeras vezes, resultando na repetição desnecessária de muitos passos. Para melhorar o desempenho do método, dividimos então o caminho principal em três partes, que denominamos respectivamente de caminho principal inicial, caminho principal intermediário e caminho principal final.

Essas partes correspondem, na mesma ordem aos trechos AB, BE e EF do caminho principal, se tomarmos o exemplo da figura 3.1. As matrizes de transferência dessas partes são obtidas separadamente e armazenadas, evitando a repetição dos cálculos a cada passagem pelas mesmas. Além disso podemos subdividir o caminho principal intermediário em partes e tratá-las também separadamente. No exemplo dado essas partes seriam os trechos BC, CD e DE.

III.2 - Obtenção da Matriz de Transferência

III.2.1 - Processos Existentes

Podemos obter as matrizes de transferência das barras de três maneiras diferentes:

- a) Pela integração da equação diferencial do elemento estrutural
- b) Com a aplicação das equações da Resistência dos Materiais
- c) A partir da matriz de rigidez do elemento.

Vamos aplicar em nosso desenvolvimento as equações da Resistência dos Materiais, por serem mais simples e objetivas.

III.2.2 - Aplicação do Processo Escolhido

O vetor de estado numa seção qualquer de uma barra de pórtico no espaço é dado por:

$$\{V\} = \{X, Y, Z, \phi, \theta_y, \theta_z, N, Q_y, Q_z, M_t, M_y, M_z, 1\} \quad \text{ou}$$

$$\{V\} = \{D, A, 1\} \quad (\text{fig. 3.2})$$

O décimo-terceiro elemento, unitário, é usado para compatibilizar o vetor de estado com as matrizes fronteira e de transferência, nas quais aparecerão uma linha e coluna adicionais, devidas respectivamente aos carregamentos aplicados nos nós e nos vãos da estrutura.

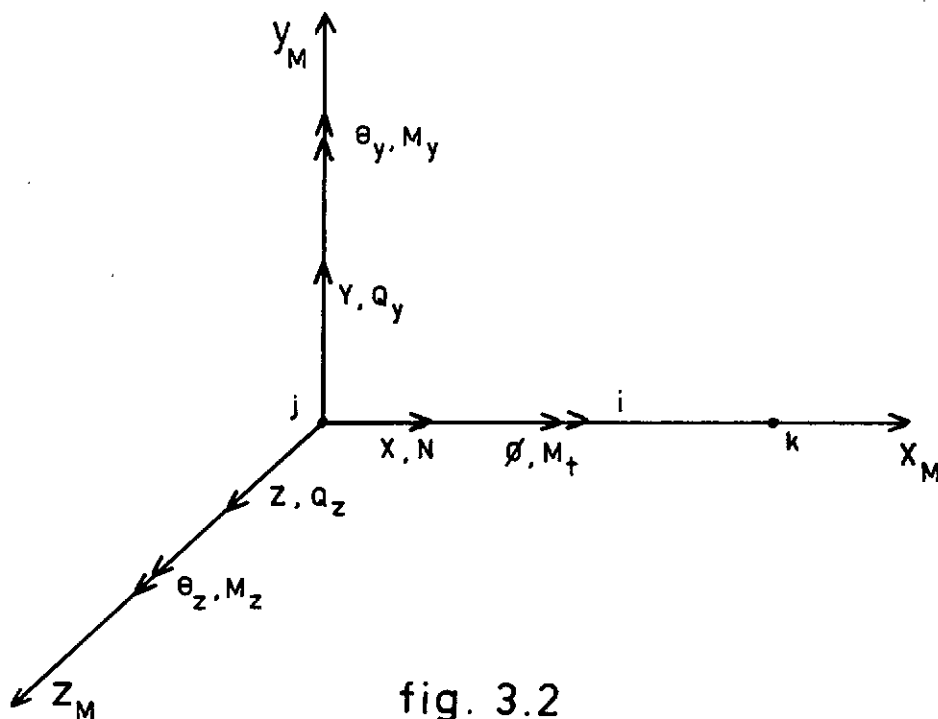


fig. 3.2

A seguir apresentamos o desenvolvimento geral para obtenção dos elementos do vetor de estado do nó "k" de uma barra em função dos elementos do vetor do nó "j" da mesma. Isto acarreta naturalmente a geração da matriz de transferência da barra.

Suponhamos inicialmente a barra sujeita ao carregamento da fig. 3.3 .

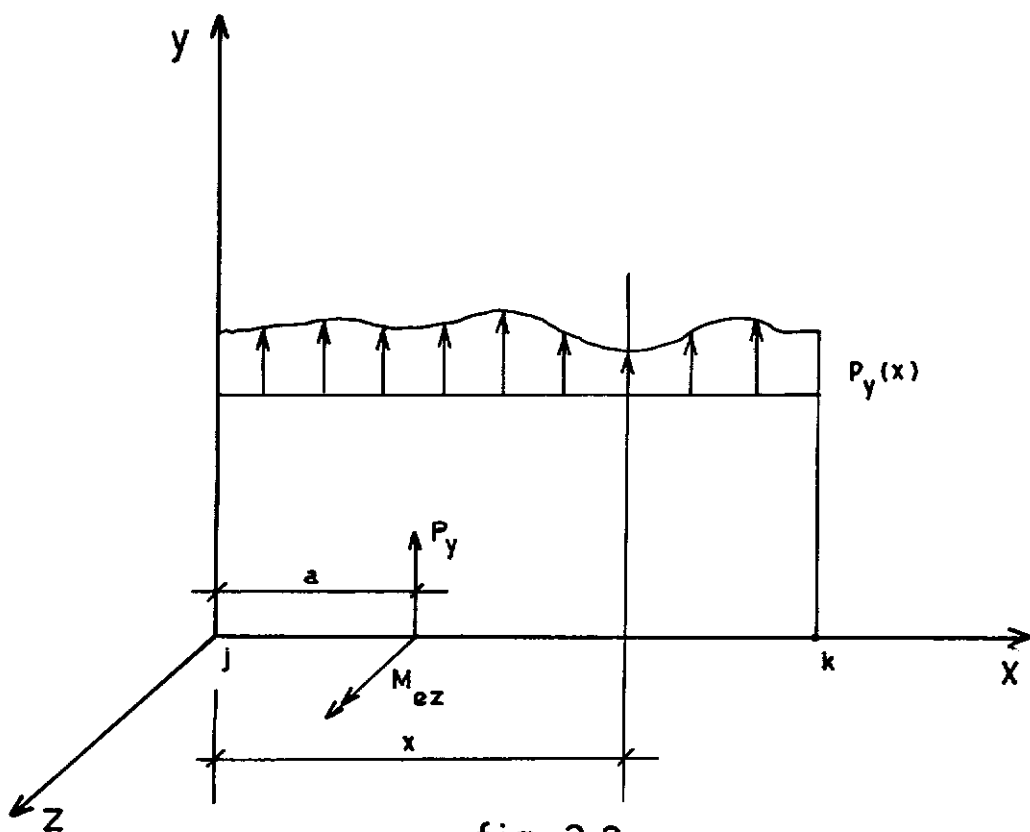


fig. 3.3

As condições de equilíbrio da estática nos dão:

$$a) \quad Q_{sy} + Q_{jy} + P_y + \int_0^x p_y(x) dx = 0 \quad \text{ou}$$

$$Q_{sy} = - Q_{jy} - P_y - \int_0^x p_y(x) dx \quad (3.1)$$

$$b) \quad M_{sz} + M_{jz} - Q_{jy} \cdot x - P_y(x-a) + M_{ez} - \int_0^x p_y(x) \cdot x \cdot dx = 0 \quad \text{ou}$$

$$M_{sz} = - M_{jz} + Q_{jy} x + P_y(x-a) - M_{ez} + \int_0^x p_y(x)x dx \quad (3.2)$$

Os deslocamentos associados são:

$$c) \quad d\theta_z = \frac{M_{sz}}{EJ_z} dx$$

$$\int_0^x d\theta_z = \theta_{sz} - \theta_{jz} = \frac{1}{EJ_z} \int_0^x \left[- M_{jz} + Q_{jy} x + P_y(x-a) + \right.$$

$$\left. - M_{ez} + \int_0^x p_y(x)x dx \right] dx \quad , \text{ donde:}$$

$$\theta_{sz} = \theta_{jz} - \frac{x}{EJ_z} M_{jz} + \frac{x^2}{2EJ_z} Q_{jy} + \frac{P_y(x-a)^2}{2EJ_z} - M_{ez} \frac{(x-a)}{EJ_z} +$$

$$+ \frac{1}{EJ_z} \int_0^x \int_0^x p_y(x) x dx^2 \quad (3.3)$$

$$d) dy = \theta_{sz} dx$$

$$\int_0^x dy = Y_s - Y_j = \int_0^x \left[\theta_{jz} - \frac{x}{EJ_z} M_{jz} + \frac{x^2}{2EJ_z} Q_{jy} + P_y \frac{(x-a)^2}{2EJ_z} + \right.$$

$$\left. - M_{ez} \frac{(x-a)}{EJ_z} + \frac{1}{EJ_z} \int_0^x \int_0^x p_y(x) x dx^2 \right] dx \quad \text{ou}$$

$$Y_s = Y_j + \theta_{jz} x - \frac{x^2}{2EJ_z} M_{jz} + \frac{x^3}{6EJ_z} Q_{jy} + P_y \frac{(x-a)^3}{6EJ_z} +$$

$$- M_{ez} \frac{(x-a)^2}{2EJ_z} + \frac{1}{EJ_z} \int_0^x \int_0^x \int_0^x p_y(x) x dx^3 \quad (3.4)$$

Considerando agora o esforço normal e a deformação axial associada, de acordo com a fig. 3.4, vem:

Equação de equilíbrio

$$e) N_s + N_j + N_e + \int_0^x n(x) dx = 0 \quad \text{ou}$$

$$N_s = - N_j - N_e - \int_0^x n(x) dx \quad (3.5)$$

Pela lei de Hooke, a deformação axial vale:

$$d\Delta = \epsilon dx = \frac{\sigma}{E} dx = \frac{N_s}{EA_x} dx$$

Daí podemos escrever:

$$f) \int_0^x d\Delta = X_s - X_j = \int_0^x \frac{N_s}{EA_x} dx + \alpha \Delta T x \quad \text{ou,}$$

$$X_s = X_j - \frac{N_j}{EA_x} x - \frac{N_e (x-a)}{EA_x} + \alpha \Delta T x +$$

$$- \frac{1}{EA_x} \int_0^x \int_0^x n(x) dx^2 \quad (3.6)$$

Para o esforço Q_z e sua deformação associada Z , podemos obter de imediato as expressões, através de permutação cíclica dos eixos y e z , como se segue, de acordo com a fig. 3.5

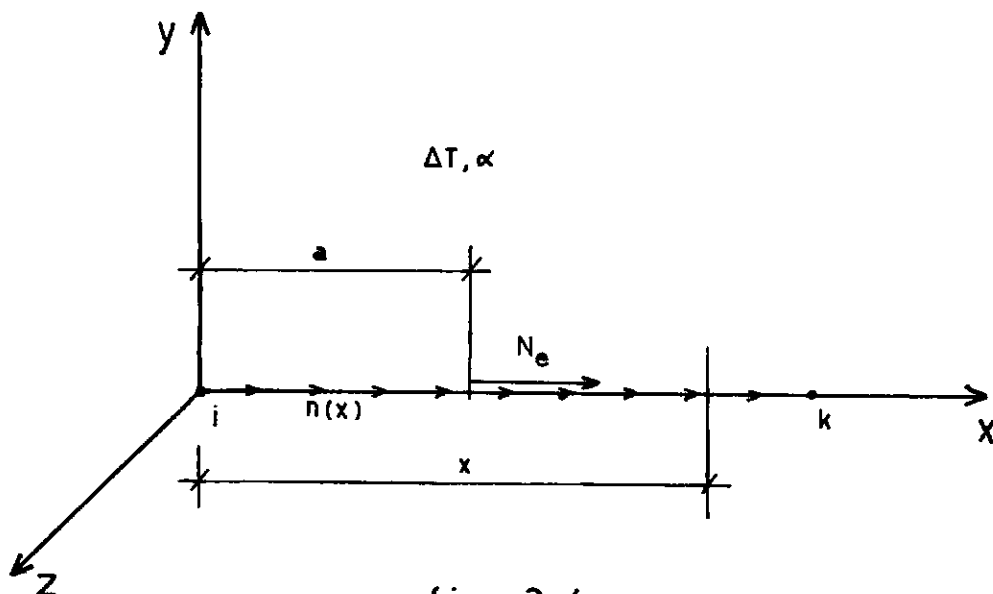


fig. 3.4

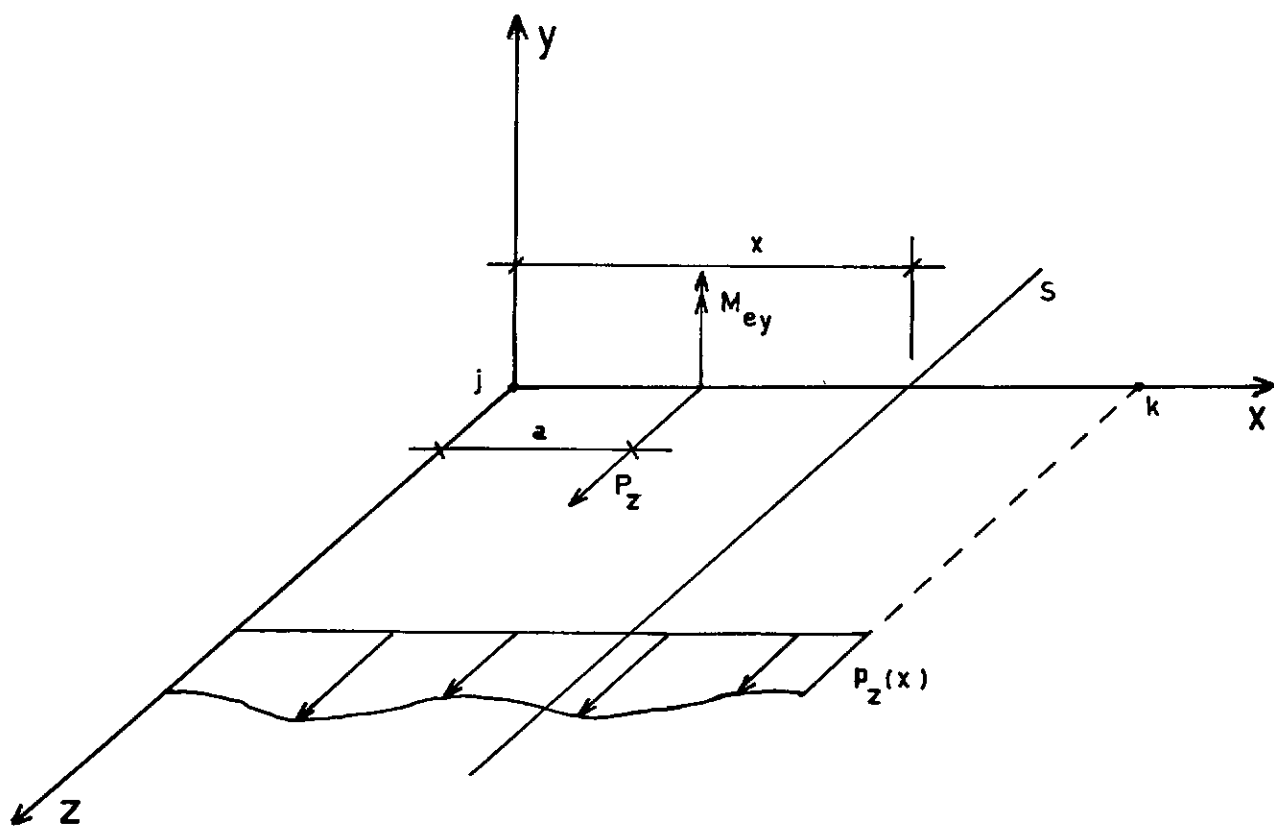


fig. 3.5

$$g) \quad Q_{sz} = - Q_{jz} - P_z - \int_0^x p_z(x) dx \quad (3.7)$$

$$h) \quad M_{sz} = M_{jy} + Q_{jz} x + P_z(x-a) - M_{ey} + \int_0^x p_z(x) x dx \quad (3.8)$$

$$i) \quad \theta_{sy} = \theta_{jy} - \frac{x}{EJ_y} M_{jy} + \frac{x^2}{2EJ_y} Q_{jz} + P_z \frac{(x-a)^2}{2EJ_y} +$$

$$- M_{ey} \frac{(x-a)}{EJ_y} + \frac{1}{EJ_y} \int_0^x \int_0^x p_z(x) x dx^2 \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned}
 j) \quad Z_s = Z_j + \theta_{jy} x - \frac{x^2}{2EJ_y} M_{jy} + \frac{x^3}{6EJ_y} Q_{jz} + \\
 + P_z \frac{(x-a)^3}{6EJ_y} - \frac{M_{ey}(x-a)^2}{2EJ_y} + \frac{1}{EJ_y} \int_0^x \int_0^x \int_0^x p_z(x)x dx^3 \quad (3.10)
 \end{aligned}$$

Para a consideração do momento torsor e sua rotação associada, temos pela fig. 3.6:

$$k) \quad M_{ts} + M_{tj} + M_{te} + \int_0^x m dx = 0 \quad \text{ou}$$

$$M_{ts} = -M_{tj} - M_{te} - mx \quad (3.11)$$

Sabemos entretanto que:

$$d\phi = \frac{M_{ts}}{GJ_x} dx, \quad \text{donde:}$$

$$l) \quad \int_0^x d\phi = \phi_s - \phi_j = \int_0^x \frac{1}{GJ_x} (-M_{tj} - M_{te} - mx) dx \quad \text{ou}$$

$$\phi_s = \phi_j - \frac{x}{GJ_x} M_{tj} - \frac{(x-a)}{GJ_x} M_{te} - \frac{mx^2}{2GJ_x} \quad (3.12)$$

De posse dessas doze equações, seis de deslocamentos e seis de esforços, podemos obter a matriz de transferência das barras, relacionando o vetor de estado na abscissa "x" com o vetor de estado no extremo "j". Entretanto nos interessa particularmente relacionar os vetores de estado dos extremos da barra. Fazendo então $x=l$ nas expressões (3.1) a (3.12) e re-

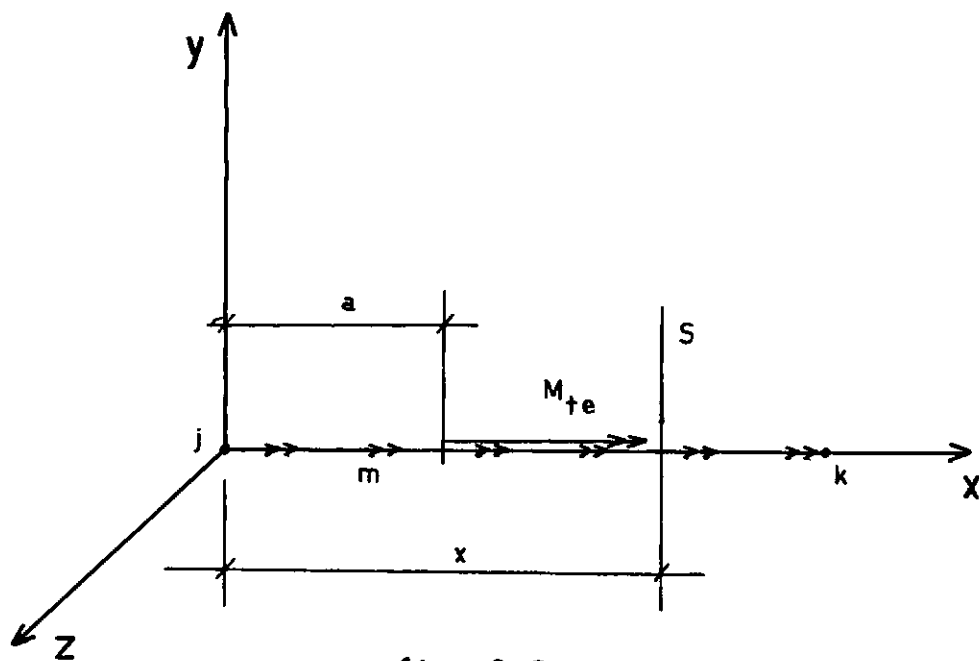


fig. 3.6

escrevendo-as sob forma matricial, vamos obter o sistema de e quações:

$$\begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{k,i} = \begin{bmatrix} T_{DD} & T_{DA} & T_{DC} \\ T_{AD} & T_{AA} & T_{AC} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{j,i} \quad (3.13)$$

onde as submatrizes destacadas terão as composições abaixo:

$$\left[T_{DD} \right] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.13-A)$$

$$\left[T_{AD} \right] = \left[0 \right] \quad (3.13-B)$$

$$\left[T_{DA} \right] = \begin{bmatrix} \frac{-l}{EA_x} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{l^3}{6EJ_z} & 0 & 0 & 0 & \frac{-l^2}{2EJ_z} \\ 0 & 0 & \frac{l^3}{6EJ_y} & 0 & \frac{l^2}{2EJ_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-l}{GJ_x} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-l^2}{2EJ_y} & 0 & \frac{-l}{EJ_y} & 0 \\ 0 & \frac{l^2}{2EJ_z} & 0 & 0 & 0 & \frac{-l}{EJ_z} \end{bmatrix} \quad (3.13-C)$$

$$\begin{bmatrix} T_{AA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -l & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.13-D)$$

$$\{T_{DC}\} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{-N_e(l-a)}{EA_x} + \alpha \Delta T l - \frac{1}{EA_x} \int_0^l n(x) dx^2 \\ P_y \frac{(l-a)^3}{6EJ_z} - M_{ez} \frac{(l-a)^2}{2EJ_z} + \frac{1}{EJ_z} \int_0^l \int_0^l p_y(x) x dx^3 \\ P_z \frac{(l-a)^3}{6EJ_y} - M_{ey} \frac{(l-a)^2}{2EJ_y} + \frac{1}{EJ_y} \int_0^l \int_0^l p_z(x) x dx^3 \\ M_{te} \frac{(l-a)}{GJ_x} - \frac{ml^2}{2EJ_x} \\ P_z \frac{(l-a)^2}{2EJ_y} - M_{ey} \frac{(l-a)}{EJ_y} + \frac{1}{EJ_y} \int_0^l p_z(x) x dx^2 \\ P_y \frac{(l-a)^2}{2EJ_z} - M_{ez} \frac{(l-a)}{EJ_z} + \frac{1}{EJ_z} \int_0^l p_y(x) x dx^2 \end{array} \right\} \quad (3.13-E)$$

$$\{T_{AC}\} = \left\{ \begin{array}{l} - N_e - \int_0^l n(x) dx \\ - P_y - \int_0^l p_y(x) dx \\ - P_z - \int_0^l p_z(x) dx \\ - M_{te} - ml \\ - M_{ey} + P_z(l-a) + \int_0^l p_z(x) dx \\ - M_{ez} + P_y(l-a) + \int_0^l p_y(x) dx \end{array} \right\} \quad (3.13-F)$$

Entretanto esta matriz foi gerada no sistema local de eixos coordenados e precisamos obtê-la com relação aos eixos globais da estrutura.

Primeiramente obtem-se a matriz três por três de rotação para o caso tridimensional. No caso mais geral, temos:

$$[R] = \begin{bmatrix} C_x & C_y & C_z \\ \frac{-C_x C_y \cos\beta - C_z \sin\beta}{\sqrt{C_x^2 + C_z^2}} & \sqrt{C_x^2 + C_z^2} \cos\beta & \frac{-C_y C_z \cos\beta + C_x \sin\beta}{\sqrt{C_x^2 + C_z^2}} \\ \frac{C_x C_y \sin\beta - C_z \cos\beta}{\sqrt{C_x^2 + C_z^2}} & -\sqrt{C_x^2 + C_z^2} \sin\beta & \frac{C_y C_z \sin\beta + C_x \cos\beta}{\sqrt{C_x^2 + C_z^2}} \end{bmatrix}$$

onde:

C_x , C_y e C_z são os cossenos diretores do eixo local x_M em relação aos eixos globais (fig. 3.7).

β é o ângulo entre o eixo \bar{y}_M e o plano vertical que contém os eixos x_M e y_S , ou seja: define a orientação dos eixos principais da barra.

Quando devido a orientação da barra no espaço, o ângulo β for de difícil determinação, usa-se obtê-lo através das coordenadas (x_{AS}, y_{AS}, z_{AS}) , em relação ao sistema global, de um ponto A contido no plano $x_M y_M$

Neste caso tem-se:

$$\sin \beta = \frac{z_{AS}}{\sqrt{x_{AS}^2 + z_{AS}^2}} \quad \text{e} \quad \cos \beta = \frac{-C_y x_{AS}}{\sqrt{x_{AS}^2 + z_{AS}^2}}$$

A matriz total de rotação tem a forma:

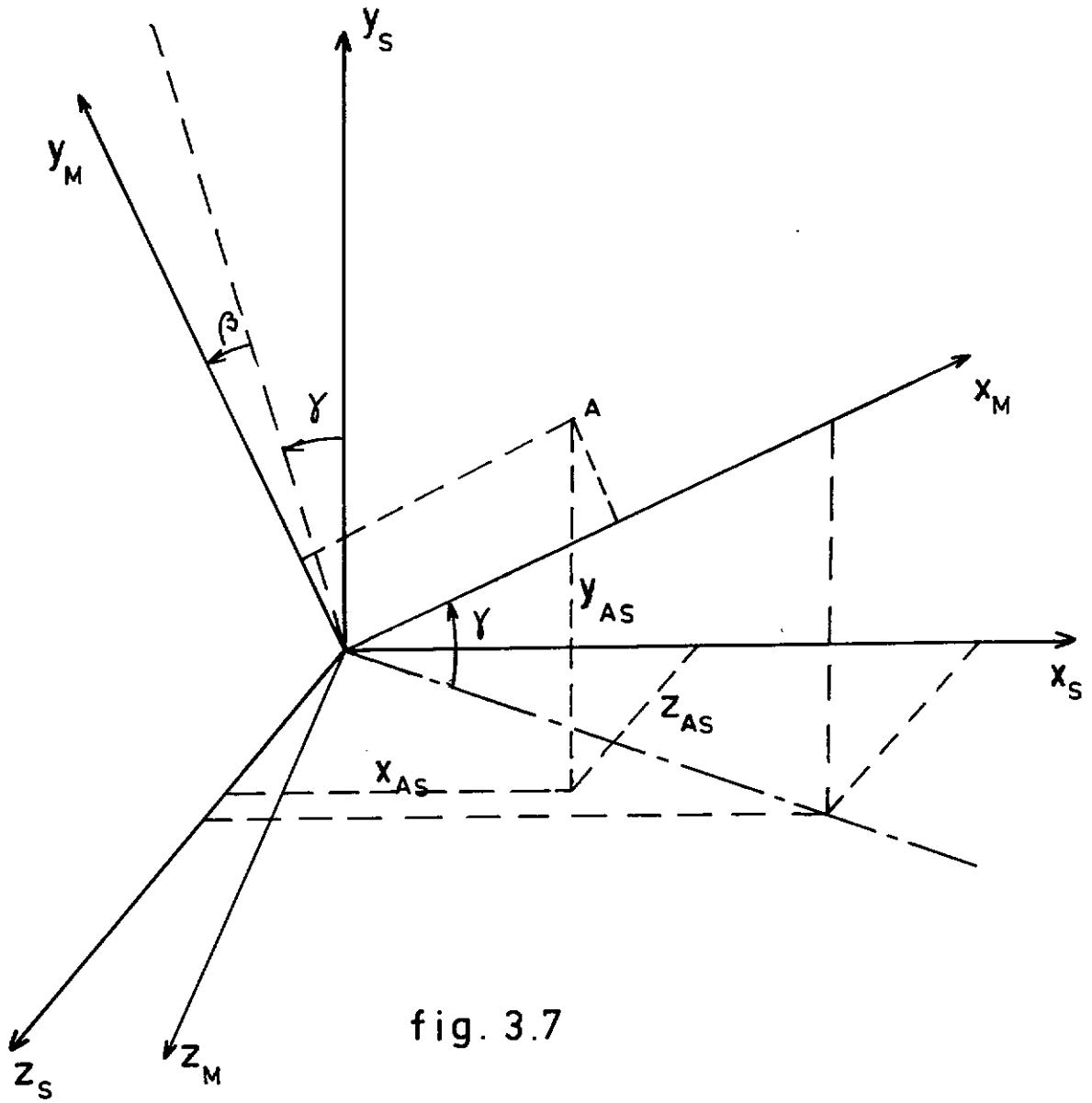


fig. 3.7

$$\begin{bmatrix} \bar{R}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [R] & 0 & 0 & 0 \\ 0 & [R] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & [R] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & [R] \end{bmatrix}$$

A matriz de transferência rotacionada será obtida então pela expressão:

$$\begin{bmatrix} T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{R}_T \end{bmatrix}^t \begin{bmatrix} T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{R}_T \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

III.3 - Obtenção da Matriz Fronteira

III.3.1 - Generalidades

A matriz fronteira é definida diretamente em relação ao sistema global e tem a finalidade de relacionar os vetores de estado das extremidades das barras que se conectam em um nó. Deverá portanto levar em consideração todas as possíveis descontinuidades que existam nos esforços ou deslocamentos, quando se ultrapassar o nó. Na figura 3.8, duas barras se conectam em um nó, e podemos escrever:

$$\{V\}_{j,i+1} = \begin{bmatrix} F \end{bmatrix}_{i+1} \{V\}_{k,i} \quad , \text{ ou particionando as matrizes:}$$

$$\begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{j,i+1} = \begin{bmatrix} F_{DD} & F_{DA} & F_{DC} \\ F_{AD} & F_{AA} & F_{AC} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{k,i}$$

Os vetores $\{F_{DC}\}$ e $\{F_{AC}\}$ constituem o que denominamos de vetor de cargas da matriz fronteira.

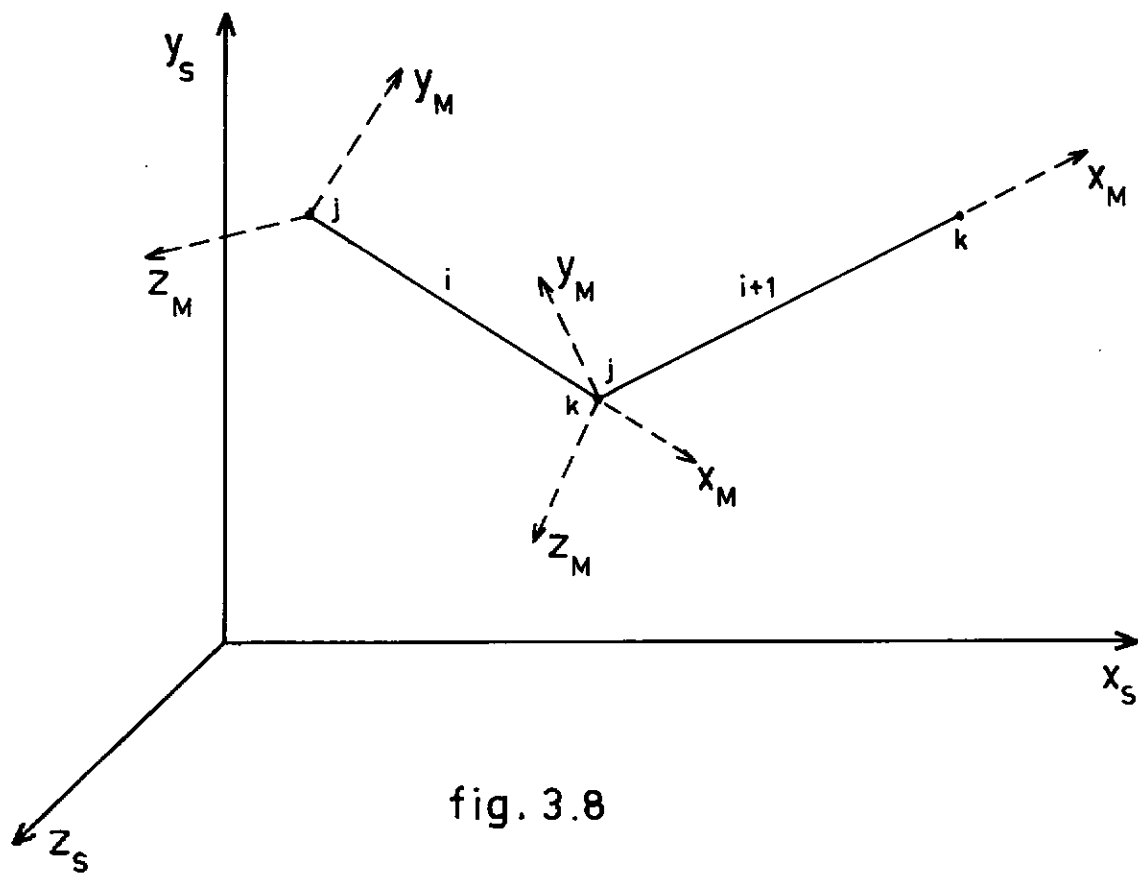


fig. 3.8

Desenvolvendo (3.15), chegamos a:

$$\{D\}_{j,i+1} = [F_{DD}] \{D\}_{k,i} + [F_{DA}] \{A\}_{k,i} + \{F_{DC}\} \quad (3.16)$$

$$\{A\}_{j,i+1} = [F_{AD}] \{D\}_{k,i} + [F_{AA}] \{A\}_{k,i} + \{F_{AC}\} \quad (3.17)$$

Essas serão as equações básicas para o estudo dos casos que se seguirão.

Como os dois vetores de estado envolvidos em (3.15) referem-se às extremidades das barras, conseqüentemente os vetores das ações atuantes na junta serão

$$-\{A\}_{j,i+1} \quad e \quad -\{A\}_{k,i}$$

Se denominarmos simplesmente de $\{A\}$, qualquer outro vetor de ações atuantes na junta, poderemos escrever a equação geral de equilíbrio na mesma.

$$-\{A\}_{j,i+1} - \{A\}_{k,i} + \{A\} = \{0\} \quad , \text{ ou}$$

$$\{A\}_{j,i+1} + \{A\}_{k,i} = \{A\}$$

Daí obtem-se o vetor de ações procurado, $\{A\}_{j,i+1}$. Todas as equações de equilíbrio dos casos seguintes já serão escritas na forma obtida acima.

III.3.2 - Ausência de Descontinuidades

Neste caso escrevemos:

$$\{D\}_{j,i+1} = \{D\}_{k,i} \quad (3.18)$$

$$\{A\}_{j,i+1} + \{A\}_{k,i} = \{0\} \quad (3.19)$$

Comparando (3.16) e (3.18) concluímos de imediato:

$$[F_{DD}] = [I]$$

$$[F_{DA}] = [0]$$

$$\{F_{DC}\} = \{0\}$$

Comparando (3.17) e (3.19) concluímos também:

$$[F_{AD}] = [0]$$

$$[F_{AA}] = -[I]$$

$$\{F_{AC}\} = \{0\}$$

Consequentemente a equação (3.15) toma a forma:

$$\begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{j,i+1} = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ 0 & -I & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{k,i}$$

III.3.3 - Cargas nas Juntas

Suponhamos que na junta $i+1$ esteja aplicado um vetor de cargas $\{P\}_{i+1}$ (fig. 3.9)

$$\{P\}_{i+1} = \{P_x, P_y, P_z, P_{xx}, P_{yy}, P_{zz}\}_{i+1}$$

A equação de equilíbrio neste caso é:

$$\{A\}_{j,i+1} + \{A\}_{k,i} = \{P\}_{i+1}$$

$$\{A\}_{j,i+1} = -\{A\}_{k,i} + \{P\}_{i+1} \quad (3.20)$$

Comparando as equações (3.17) e (3.20), concluímos:

$$\{F_{AC}\} = \{P\}_{i+1}$$

A equação (3.15) toma a forma:

$$\begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{j,i+1} = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ 0 & -I & P \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{k,i}$$

III.3.4 - Deformações Impostas

Se impusermos à junta $i+1$ um vetor de deformações

$$\{\Delta\}_{i+1}, \text{ (fig. 3.10), } \{\Delta\}_{i+1} = \{\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z, \Delta_{xx}, \Delta_{yy}, \Delta_{zz}\}_{i+1}$$

e escrevermos a equação de compatibilidade:

$$\{D\}_{j,i+1} = \{D\}_{k,i} + \{\Delta\}_{i+1} \quad (3.21)$$

poderemos concluir por comparação entre (3.16) e (3.21), que

$$\{F_{DC}\} = \{\Delta\}_{i+1}$$

A equação (3.15) será então escrita:

$$\begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{j,i+1} = \begin{bmatrix} I & 0 & \Delta \\ 0 & -I & P \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{k,i}$$

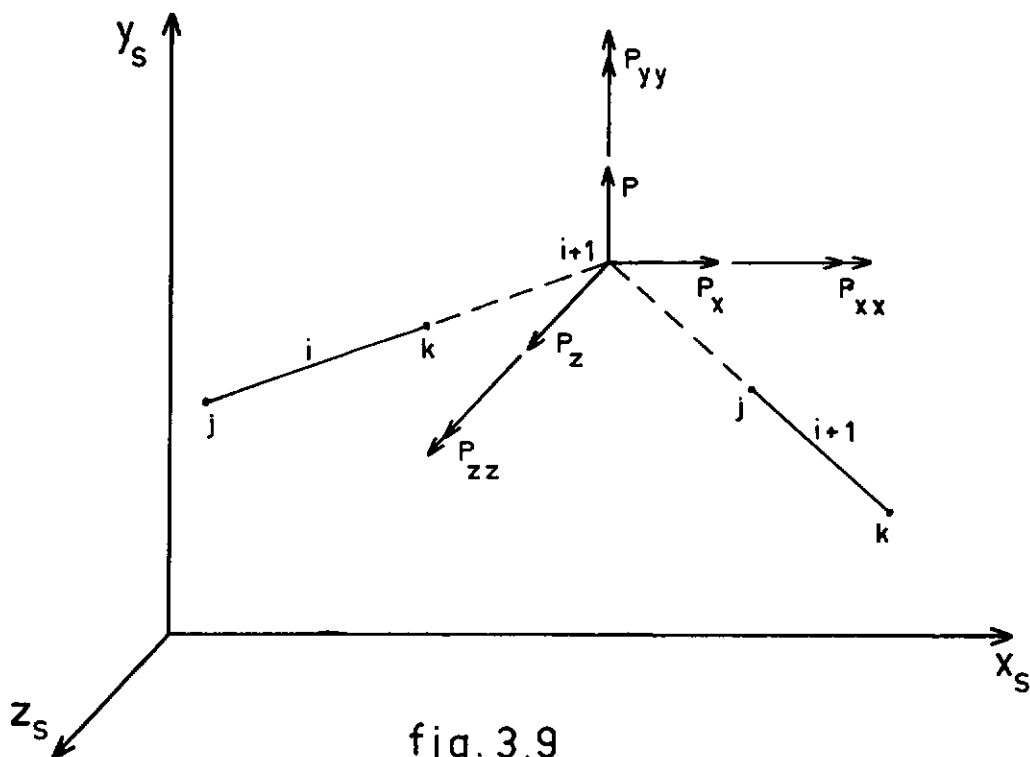


fig. 3.9

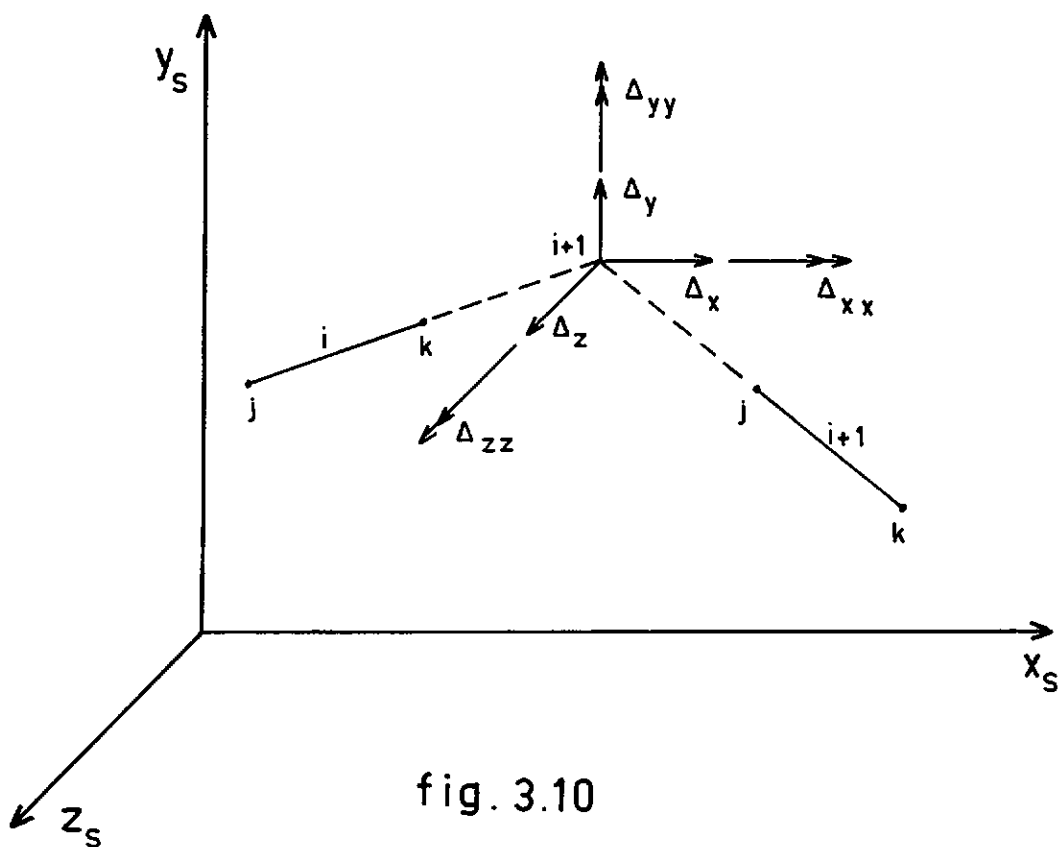


fig. 3.10

III.3.5 - Apoios Elásticos

Em uma junta provida de apoios elásticos (fig.3.11), as reações

$\{R\} = \{D_x, D_y, D_z, R_{xx}, R_{yy}, R_{zz}\}$ são proporcionais aos deslocamentos

$$\{D\} = \{D_x, D_y, D_z, D_{xx}, D_{yy}, D_{zz}\}.$$

Se denominarmos de $K_x, K_y, K_z, K_{xx}, K_{yy}$ e K_{zz} as constantes de mola dos apoios, poderemos escrever a equação:

$$\{R\} = - [K] \{D\}, \text{ onde } [K] \text{ é uma matriz diagonal.}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} K_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_{zz} \end{bmatrix}$$

A equação de equilíbrio neste caso é:

$$\{A\}_{j,i+1} + \{A\}_{k,i} = \{R\}, \text{ ou}$$

$$\{A\}_{j,i+1} = \{R\} - \{A\}_{k,i}, \text{ ou ainda}$$

$$\{A\}_{j,i+1} = - [K] \{D\}_{k,i} - \{A\}_{k,i} \quad (3.22)$$

Comparando (3.17) e (3.22) concluímos que

$$[F_{AD}] = - [K] \text{ e podemos escrever a equação (3.15) na forma}$$

$$\begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{j,i+1} = \begin{bmatrix} I & 0 & \Delta \\ -K & -I & P \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{k,i}$$

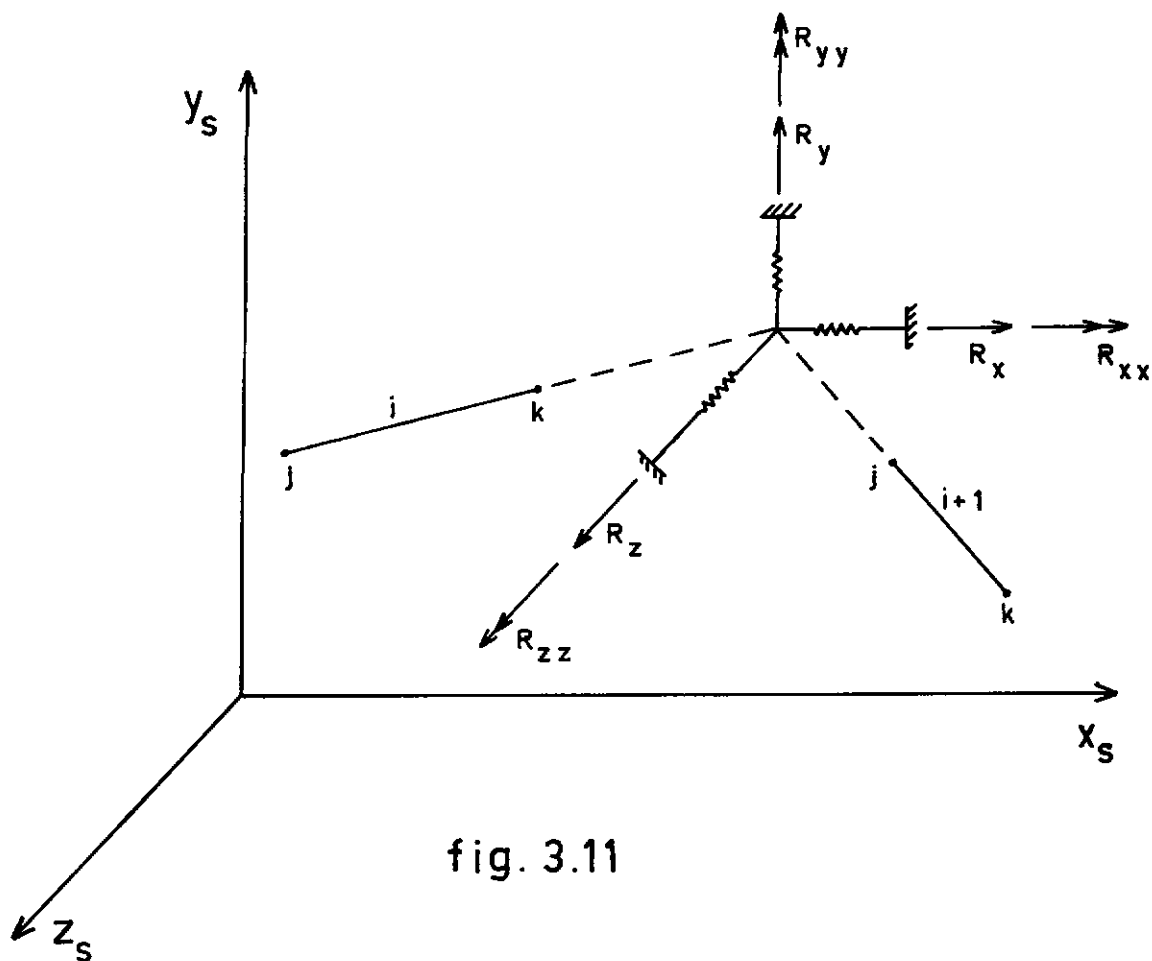


fig. 3.11

III.3.6 - Ramificações

Nossas ramificações são trechos da estrutura que poderão ser constituídos de várias barras e cuja ligação de apoio poderá ser de qualquer tipo.

Ela será abordada segundo a sequência normal do método das matrizes de transferência, partindo do nó de apoio (que chamaremos ponto C) até encontrar o nó de conexão com o caminho principal (que chamaremos ponto B). Usando as matrizes de transferência das barras já rotacionadas para o sistema global teremos um sistema de equações na forma:

$$\{V\}_B = [T_R] \{V\}_C, \text{ ou particionando}$$

$$\begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_B = \begin{bmatrix} T_{R1} & T_{R2} & T_{RD} \\ T_{R3} & T_{R4} & T_{RA} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_C$$

Mas num apoio de p3rtico no espaço h3 sempre seis componentes que, ou s3o nul3s, ou podem ser relacionadas a outras.

Deste modo podemos reduzir em seis unidades o n3mero de colunas da matriz $[T_R]$ e o n3mero de elementos do vetor de estado em C.

Tomando o exemplo da figura 3.12, vamos ent3o desprezar as submatrizes $[T_{R1}]$ $[T_{R3}]$ da matriz $[T_R]$ e os deslocamentos $\{D\}$ do vetor de estado em C.

Ficaremos com:

$$\begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_B = \begin{bmatrix} T_{R2} & T_{RD} \\ T_{R4} & T_{RA} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A \\ 1 \end{Bmatrix}_C$$

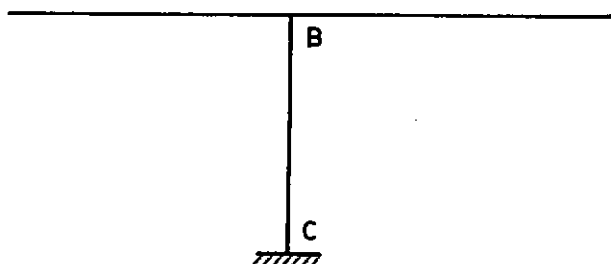


fig. 3.12

Desenvolvendo o sistema, vem:

$$\{D\}_B = \begin{bmatrix} T \\ R2 \end{bmatrix} \{A\}_C + \{T_{RD}\}$$

$$\{A\}_B = \begin{bmatrix} T \\ R4 \end{bmatrix} \{A\}_C + \{T_{RA}\}$$

Como não estamos considerando carregamentos atuando nas ramificações, temos:

$$\{T_{RD}\} = \{T_{RA}\} = \{0\}$$

Eliminando $\{A\}_C$ entre as equações acima chegamos à expressão:

$$\{A\}_B = \begin{bmatrix} T \\ R4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T \\ R2 \end{bmatrix}^{-1} \{D\}_B$$

ou

$$\{A\}_B = \begin{bmatrix} S \end{bmatrix} \cdot \{D\}_B, \text{ com } \begin{bmatrix} S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T \\ R4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T \\ R2 \end{bmatrix}^{-1} \quad (3.24)$$

Esse procedimento sempre é possível desde que grupemos de modo conveniente respectivamente as colunas da matriz de transferência e os elementos do vetor de estado não eliminados.

Tomando a fig. 3.13 podemos escrever a equação de equilíbrio no nó $i+1$:

$$\{A\}_{j,i+1} + \{A\}_{k,i} = - \{A\}_B, \text{ ou}$$

$$\{A\}_{j,i+1} + \{A\}_{k,i} = - \begin{bmatrix} S \end{bmatrix} \cdot \{D\}_B$$

Mas a equação de compatibilidade no nó $i+1$ nos diz que:

$\{D\}_{j,i+1} = \{D\}_{k,i} = \{D\}_B$, donde podemos escrever:

$$\{A\}_{j,i+1} + \{A\}_{k,i} = - [S] \{D\}_{k,i} , \text{ ou}$$

$$\{A\}_{j,i+1} = - \{A\}_{k,i} - [S] \{D\}_{k,i} \quad (3.25)$$

Comparando (3.17) e (3.25) vem:

$$[F_{AD}] = - [S]$$

Com isto a equação (3.15) toma a forma:

$$\begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{j,i+1} = \begin{bmatrix} I & 0 & \Delta \\ -K-S & -I & P \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{k,i}$$

Poderíamos inclusive ter mais de uma ramificação por nó, bastando para isto aplicarmos o processo repetidamente para cada ramificação. Superpondo os resultados teríamos

$$\{A\}_{j,i+1} + \{A\}_{k,i} = - \left[[S_1] + [S_2] + \dots + [S_l] \right] \{D\}_{k,i} , \text{ ou}$$

$$\{A\}_{j,i+1} + \{A\}_{k,i} = - [S] \{D\}_{k,i} , \text{ com}$$

$$[S] = \sum_{i=1}^l [S_i]$$

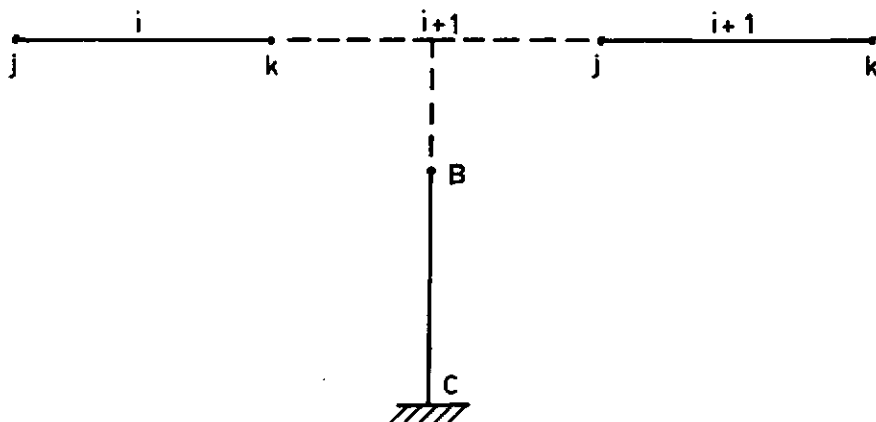


fig. 3.13

III.3.7 - Liberações Generalizadas

No método das matrizes de transferência, a introdução de liberações não é um problema simples; isto se deve ao fato de essas liberações serem introduzidas relativamente ao sistema global e não ao local como em outros casos.

Basicamente podemos abordar o problema de dois modos diferentes:

a) Pelo processo da eliminação

Com este processo trabalha-se com as matrizes de transferência e os vetores de estado respectivamente com sua ordem e seu número de componentes inalterados. Entretanto é necessário, sempre que se encontrar uma liberação, fazer um rearranjo total na matriz de transferência e no vetor de estado, para levá-la em consideração. Isto naturalmente acarreta uma sofisticação de programação e um trabalho computacional adicional excessivos.

b) *Pela redução de ordem das matrizes*

Este processo só é aplicável quando ao longo de toda a estrutura, todas as juntas com liberações contenham sempre um número constante destas.

Supondo que esse número seja "K" e que a ordem das matrizes de transfeência e o número de componentes dos vetores de estado seja "n", pode-se passar a trabalhar em toda a estrutura com vetores de $(n-2K)$ componentes e matrizes de ordem $(n-2K) \times (n-2K)$. É bom entretanto lembrar que a exigência inicial retira do processo a generalidade.

Pelos motivos anteriormente citados, resolvemos então utilizar um processo aproximado, mas que é geral, simples de aplicar em matrizes de transferência e que dá resultados bem aproximados.

O processo consiste em substituir a junta por uma barra (fig. 3.14), impondo-lhe duas condições:

- 1) Ter comprimento infinitamente pequeno
- 2) Ter inércia infinitamente pequena

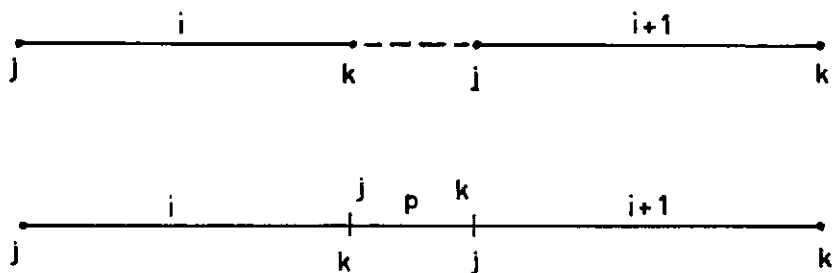


fig. 3.14

Se escrevermos o sistema que relaciona os vetores de estado dos extremos "j" e "k" da barra "p", teremos:

$$\begin{Bmatrix} D \\ A \end{Bmatrix}_{k,p} = \begin{bmatrix} T_{DD} & T_{DA} \\ T_{AD} & T_{AA} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D \\ A \end{Bmatrix}_{j,p}$$

onde as submatrizes são definidas do mesmo modo que em (3.13-A) a (3.13-D).

Assumindo a primeira condição, com o comprimento de "p" tendendo para zero, teríamos anulados todos os elementos não unitários das submatrizes, ficando com o sistema:

$$\begin{Bmatrix} D \\ A \end{Bmatrix}_{k,p} = \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & -I \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D \\ A \end{Bmatrix}_{j,p}$$

cuja matriz pode ser interpretada como uma matriz fronteira no caso de não haverem descontinuidades.

Entretanto é preciso anular os esforços correspondentes às liberações feitas. Usando a segunda condição vemos que, para cada liberação efetuada um elemento da diagonal de $[T_{DA}]$ não se anula, mas cresce infinitamente. Por exemplo, se liberarmos a rotação em relação ao eixo "y", θ_y , precisaremos anular o momento correspondente M_y nos vetores de estado.

Recorrendo às matrizes (3.13-A) e (3.13-C), podemos escrever:

$$\theta_{ky} = \theta_{jy} - \frac{l^2}{2EJ_y} Q_z - \frac{l}{EJ_y} M_y \quad , \text{ ou}$$

desprezando o termo quadrático ,

$$\theta_{kj} = \theta_{jy} = - \frac{l}{EJ_y} M_y \quad \text{Daí vem:}$$

$$M_y = \frac{-(\theta_{ky} - \theta_{jy})}{\frac{l}{EJ_y}} = 0 \quad \frac{l}{EJ_y} = \infty = \gamma_{yy}$$

Naturalmente infinito significa um número muito grande e zero um número muito pequeno. Para um computador que trabalha com 12 algarismos significativos, zero seria 10^{-13} e infinito seria 10^{13}

Com isto nossa matriz $[T_{DA}]$ fica com a forma:

$$[T_{DA}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Procedendo análogamente em relação a outras liberações, novos elementos deste tipo apareceriam na diagonal.

Encarando agora a nossa matriz como uma matriz fronteira na forma da equação (3.15), teremos o sistema:

$$\begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{j,i+1} = \begin{bmatrix} F_{DD} & F_{DA} & F_{DC} \\ F_{AD} & F_{AA} & F_{AC} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{k,i} \quad , \text{ visto que}$$

$$\begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{k,p} = \begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{j,i+1} \quad e \quad \begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{j,p} = \begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{k,i} \quad e \quad \text{onde ,}$$

no caso mais geral:

$$\begin{bmatrix} F_{DA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \gamma_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \gamma_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \infty \end{bmatrix}$$

Agora a equação (3.15) toma a forma:

$$\begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{j,i+1} = \begin{bmatrix} I & \gamma & \Delta \\ -K-S & -I & P \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{k,i}$$

III.3.8 - Massas Concentradas em Vibração

Na fase da análise dinâmica, mais uma descontinuidade aparece, quando consideramos as massas discretas em vibração. Surgem então esforços dinâmicos em função do quadrado da frequência de vibração (fig. 3.15)

$$\{A_W\} = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6\} \quad , \quad \text{onde}$$

$$A_1 = M W^2 D_1$$

$$A_2 = M W^2 D_2$$

$$A_3 = M W^2 D_3$$

$$A_4 = I_x W^2 D_4$$

$$A_5 = I_y W^2 D_5$$

$$A_6 = I_z W^2 D_6$$

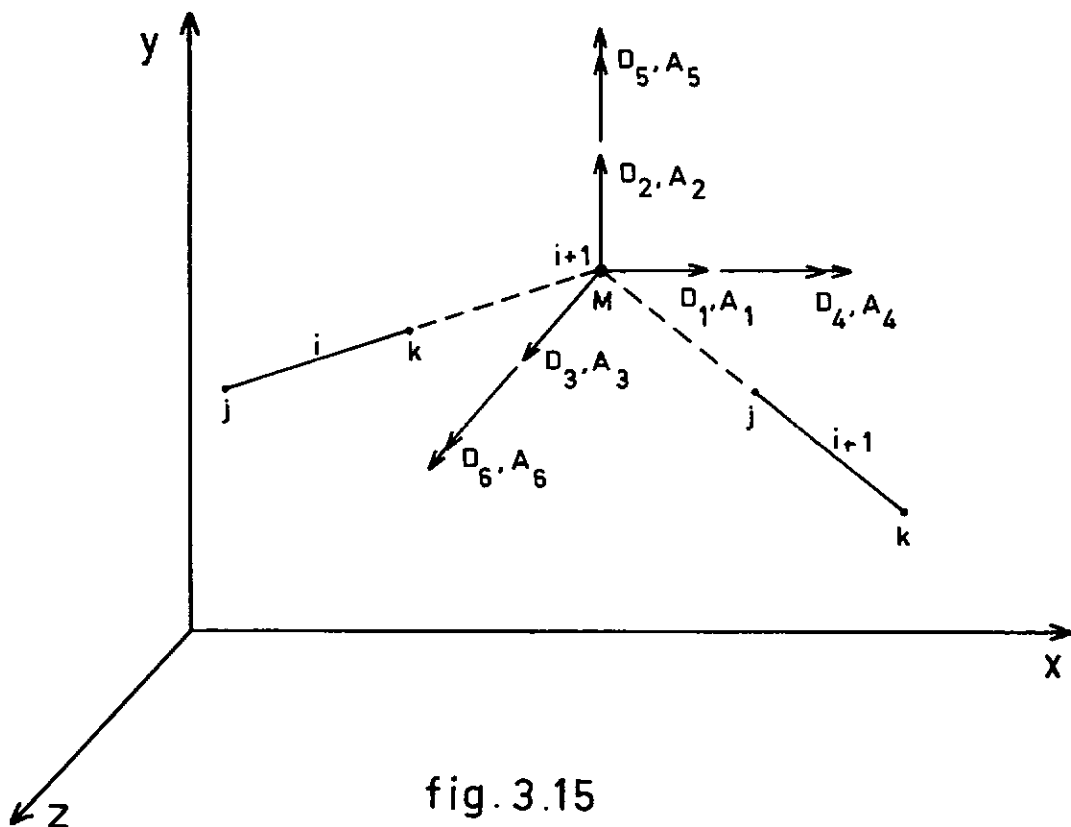


fig. 3.15

Sob forma matricial temos:

$$\{A_w\} = [V] \{D\} \quad \text{com}$$

$$[V] = \begin{bmatrix} MW^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & MW^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & MW^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_x W^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_y W^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_z W^2 \end{bmatrix}$$

As equações de compatibilidade e equilíbrio na junta $i+1$ são respectivamente:

$$\{D\}_{j,i+1} = \{D\}_{k,i}$$

$$-\{A\}_{j,i+1} - \{A\}_{k,i} = \{A_w\}, \quad \text{ou}$$

$$\{A\}_{j,i+1} = -\{A\}_{k,i} - [V] \{D\}_{k,i} \quad (3.26)$$

Comparando (3.17) e (3.26), concluímos que:

$$[F_{AD}] = -[V] \quad \text{e pode-se escrever a equação (3.15) na forma:}$$

$$\begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{j,i+1} = \begin{bmatrix} I & \gamma & \Delta \\ -K-S & -V & -I & P \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D \\ A \\ 1 \end{Bmatrix}_{k,i}$$

III.4 - A Análise da Estrutura

III.4.1 - Generalidades

A nossa análise visando o cálculo de coeficientes de impacto, se compoe de quatro partes como veremos adiante.

Todas as partes fundamentalmente se baseiam em percorrer a estrutura, conforme descrevemos em II.1.

Uma vez subdividido o caminho principal em trechos faz-se uso da equação 2.14 para obter as matrizes de transferência dos mesmos.

As matrizes são obtidas levando desde já em conta o fato de que, na análise dinâmica os elementos das mesmas são funções da frequência de vibração. Com isto, para cada elemento são obtidos e armazenados todos os coeficientes dos termos que o comporão em função das potências da frequência.

Do mesmo modo são obtidas e armazenadas as matrizes fronteira dos nós que conectam os trechos considerados.

Pode-se então relacionar os vetores de estado dos extremos do caminho principal através de uma equação do tipo da equação 2.13. Se tomarmos o exemplo da figura 3.1 teremos:

$$\{V\}_F = [T] \{V\}_A$$

onde:

$$[T] = [T_F] \cdot [F_{MF}] \cdot [T_{M3}] \cdot [F_{R2}] \cdot [T_{M2}] \cdot [F_{R1}] \cdot [T_{M1}] \cdot [F_{IM}] \cdot [T_I] \quad (3.28)$$

As matrizes acima são:

a) Matrizes de transferência

$[^T]$ - Do caminho principal

$[^T_F]$ - Do caminho principal final

$[^T_M]$ - Do caminho principal intermediário

$[^T_I]$ - Do caminho principal inicial

b) Matrizes fronteira

$[^F_{IM}]$ - Do nó que conecta os caminhos principais inicial e intermediário.

$[^F_{MF}]$ - Do nó que conecta os caminhos principais intermediário e final.

$[^F_{R1}]$ - Do nó onde se conecta a primeira ramificação.

$[^F_{R2}]$ - Do nó onde se conecta a segunda ramificação.

A equação matricial (3.27) representa um sistema de equações algébricas que uma vez resolvido fornece os vetores de estado dos extremos da estrutura. Uma vez estes conhecidos percorre-se novamente a estrutura, agora barra por barra, obtendo-se os vetores de estado em todos os nós.

III.4.2 - O Sistema de Equações

O sistema de equações obtido, na forma da equação (3.27) pode ser facilmente resolvido para as condições de contorno dos apoios extremos.

Nossos vetores de estado têm treze componentes, sendo a décima-terceira unitária; mas em se tratando de juntas de extremidade existem seis componentes nulas ou conhecidas entre as doze primeiras. Com isto a matriz do nosso sistema se reduz à ordem 7×7 , sendo as sete colunas selecionadas a partir da lista de restrições do apoio inicial do caminho principal e as sete linhas selecionadas a partir da lista de restrições do apoio final do mesmo.

O sistema então encontrado pode ser escrito:

$$\begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} & t_{15} & t_{16} & t_{1c} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} & t_{25} & t_{26} & t_{2c} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} & t_{35} & t_{36} & t_{3c} \\ t_{41} & t_{42} & t_{43} & t_{44} & t_{45} & t_{46} & t_{4c} \\ t_{51} & t_{52} & t_{53} & t_{54} & t_{55} & t_{56} & t_{5c} \\ t_{61} & t_{62} & t_{63} & t_{64} & t_{65} & t_{66} & t_{6c} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

e podemos reduzir sua ordem para 6×6 , fazendo:

$$\begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} & t_{15} & t_{16} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} & t_{25} & t_{26} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} & t_{35} & t_{36} \\ t_{41} & t_{42} & t_{43} & t_{44} & t_{45} & t_{46} \\ t_{51} & t_{52} & t_{53} & t_{54} & t_{55} & t_{56} \\ t_{61} & t_{62} & t_{63} & t_{64} & t_{65} & t_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} t_{1c} \\ t_{2c} \\ t_{3c} \\ t_{4c} \\ t_{5c} \\ t_{6c} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \text{ou}$$

$$[T] \{V\}_1 + \{T_c\} = \{0\} \quad \text{donde:}$$

$$\{V\}_1 = - [T]^{-1} \{T_c\}$$

Com isto se obtém o vetor de estado do apoio inicial (nó 1) e, retornando ao sistema de equações inicial podemos determinar o do nó final.

Os vetores de estado dos demais nós são obtidos percorrendo-se a estrutura barra a barra.

III.4.3 - Análise Estática

O objetivo nesta parte é obter os valores dos máximos estáticos na estrutura e determinar os pontos em que eles ocorrem. O procedimento é simples e consiste em colocar o carregamento sucessivamente em cada junta do trecho a ser percorrido, resolvendo toda a estrutura para cada uma dessas posições

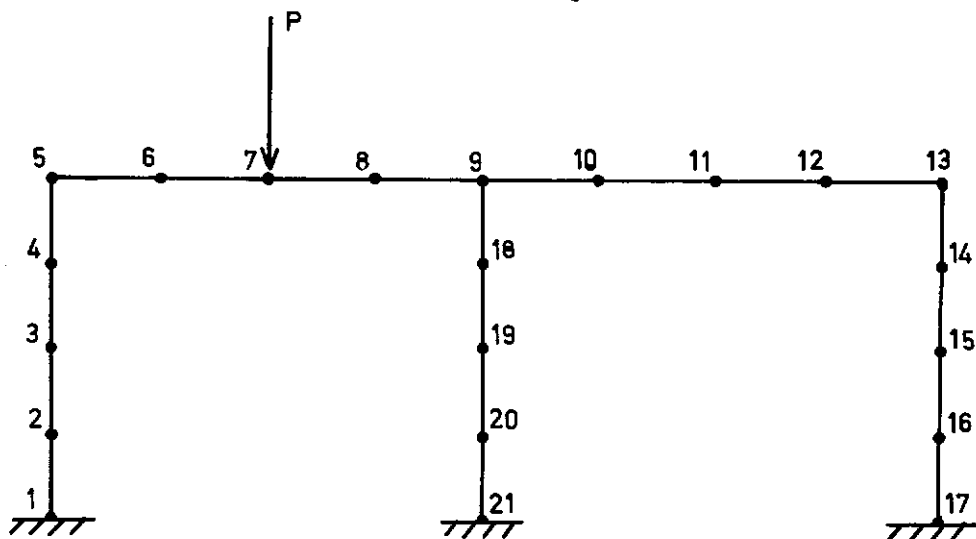


fig. 3.16

Na figura acima, no caso mais geral, resolveríamos a estrutura nove vezes com a carga localizada respectivamente nas juntas de número 5 a 13. Localizada diretamente sobre a junta a carga aparece no método como uma descontinuidade, e é utilizada na geração da matriz fronteira da mesma junta.

A sequência de operações necessárias na análise estática compreende exatamente os tópicos já analisados anteriormente neste Capítulo e no anterior.

Podemos então passo a passo ir selecionando os valores máximos procurados. Naturalmente será tanto melhor o resultado final, quanto maior for a discretização utilizada para a estrutura.

III.4.4 - Análise das Vibrações Livres

Nesta parte o objetivo é obter as frequências naturais de vibração da estrutura. Visando a uniformidade do trabalho, procuramos utilizar apenas os recursos do método das matrizes de transferência.

A solução do problema de autovalores resulta sempre em se procurar valores da frequência que anulam um determinante obtido do sistema de equações da estrutura com a aplicação das condições de apoio da mesma.

Utilizando a estrutura discretizada em massas pontuais sempre localizadas nas juntas, fazemos com que os efeitos dessas massas em vibração atuem como descontinuidades nas mesmas, participando da geração das matrizes fronteira.

Para estruturas simples as frequências podem ser encontradas com certa facilidade, notando-se porém que o aumento da complexidade traz dificuldades analíticas proibitivas.

No exemplo abaixo, com a aplicação da equação (2.13) temos:

$$\{V\}_2^R = [F_2] \cdot [T_2] \cdot [F_1] \cdot [T_1] \{V\}_0^R$$

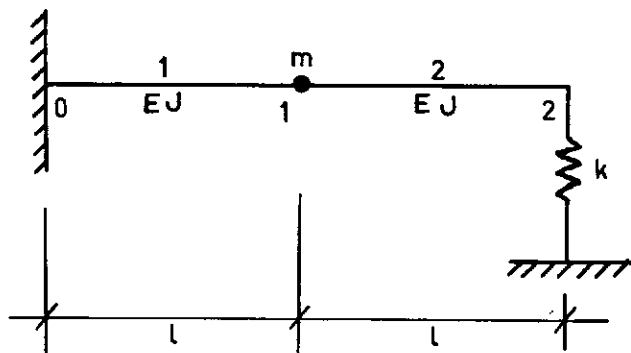


fig. 3.17

Considerando apenas os esforços M e V e suas deformações associadas, todas as matrizes serão 4×4 . Montando-as e efetuando as operações matriciais chega-se ao sistema de equações que, com as condições de contorno referentes aos apoios extremos, fornece finalmente o determinante.

$$\left[\begin{array}{c|c} 1 + \frac{p^2}{2} & l \left(2 + \frac{p^2}{6} \right) \\ \hline \frac{1}{l} \left[\frac{p^2}{2} - \frac{k l^3}{EJ} \left(2 + \frac{p^2}{12} \right) \right] & 1 + \frac{p^2}{6} - \frac{k l^3}{EJ} \left(\frac{4}{3} + \frac{p^2}{36} \right) \end{array} \right] = 0$$

onde $p^2 = \frac{m \bar{W}^2 l^3}{EJ}$

Daí obtém-se:

$$W^2 = \frac{EJ}{m\bar{l}^3} \frac{3 + 8KL^3/EJ}{1 + 7KL^3/12EJ}$$

Com o crescimento do número de massas discretas haverá uma tendência dos elementos da matriz do sistema a se tornarem polinômios de grau $2n$, onde "n" é o número de massas pontuais. Levando-se isto em conta e também o fato de no caso mais geral o determinante ser de ordem maior que a do exemplo, tem-se uma idéia da complexidade do problema.

Em vista disso é frequentemente mais aconselhável adotar um processo numérico para resolução do problema.

O processo consiste em dar valores numéricos à frequência incrementando-a passo a passo e, seguindo a sequência normal do método das matrizes de transferência, montar o sistema e obter o determinante já em forma numérica a cada passo.

Uma mudança no sinal do mesmo significa a vizinhança de uma frequência natural. Voltando ao passo anterior, diminuindo o incremento e repetindo-se o processo consegue-se restringir a amplitude do intervalo. Finalmente uma interpolação nos dá uma boa aproximação da frequência procurada.

Lógicamente o processo nos fornece os autovalores em ordem crescente a partir do fundamental. No nosso trabalho utilizamos sempre no máximo cinco autovalores.

III.4.5 - Análise das Vibrações Forçadas

Nesta parte, a análise dinâmica propriamente dita, usamos uma variante do método da superposição modal, visando uma melhor adaptação ao método das matrizes de transferência.

Procuramos trabalhar com os autovalores encontrados na parte anterior, sem que seja preciso obter os correspondentes autovetores. Para isto analisamos a estrutura separadamente para cada autovalor, e superpomos os resultados.

Esta análise visa obter os valores dinâmicos máximos que ocorrem nos mesmos pontos e direções em que ocorreram os máximos estáticos.

O carregamento vai se deslocar sobre a estrutura com uma velocidade constante mas que pode assumir quatro valores diferentes calculados em função do período fundamental.

$$v = \frac{l}{PF} \frac{I}{2} \quad \text{onde as letras significam:}$$

v - velocidade

l - comprimento de uma barra pré-escolhida

PF - período fundamntal

I - parâmetro que pode variar de 1 a 4

O efeito dinâmico do movimento é introduzido através dos vetores de carga das matrizes fronteira dos nós extremos da barra que estiver sendo percorrida.

A carga ao se movimentar faz variar as ações equivau

lentes de extremo da barra (fig. 3.18).

As equações que regem essa variação são obtidas da maneira abaixo:

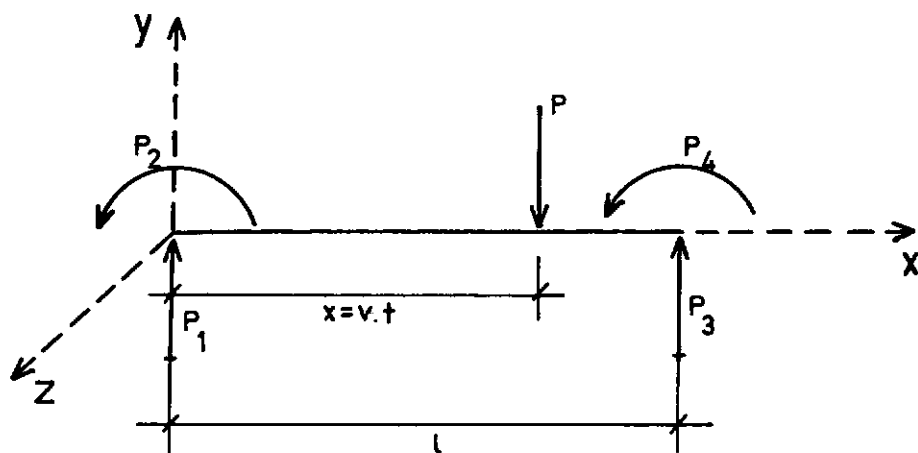


fig. 3.18

Supondo deslocamentos virtuais nodais $\{\bar{u}\}_i$, no interior da barra "i" vão surgir deslocamentos $\{\bar{u}_I\}_i$, tais que

$$\{\bar{u}_I\}_i = [a] \{\bar{u}\}_i \quad (3.29)$$

onde:

$$[a] = \begin{bmatrix} a_{11}(x) & a_{12}(x) & a_{13}(x) & a_{14}(x) \\ a_{21}(x) & a_{22}(x) & a_{23}(x) & a_{24}(x) \end{bmatrix}, \text{ sendo:}$$

$$a_{11}(x) = 1 - \frac{3x^2}{l^2} + \frac{2x^3}{l^3}$$

$$a_{12}(x) = x - \frac{2x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}$$

$$a_{13}(x) = \frac{3x^2}{l^2} - \frac{2x^3}{l^3}$$

$$a_{14}(x) = -\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}$$

$$a_{21}(x) = -\frac{6x}{l^2} + \frac{6x^2}{l^3}$$

$$a_{22}(x) = 1 - \frac{4x}{l} + \frac{3x^2}{l^2}$$

$$a_{23}(x) = \frac{6x}{l^2} - \frac{6x^2}{l^3}$$

$$a_{24}(x) = -\frac{2x}{l} + \frac{3x^2}{l^2}$$

O vetor das cargas externas é $\begin{Bmatrix} P \\ 0 \end{Bmatrix}$, e deve haver equivalência dos trabalhos virtuais deste com o das forças nodais equivalentes $\{P_i\}$.

$$\{\bar{u}\}_i^T \{P_i\} = \{\bar{u}_I\}_i^T \begin{Bmatrix} P \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.30)$$

Usando (3.29) e (3.30) chegamos a:

$$\{\bar{u}\}_i^T \{P_i\} = \{\bar{u}\}_i^T [a]^T \begin{Bmatrix} P \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\{P_i\} = [a]^T \begin{Bmatrix} P \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.31)$$

Efetuada o produto e usando as expressões dos elementos de $[a]$ já conhecidas, temos:

$$\{P_i\} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{Bmatrix} = P \begin{Bmatrix} 1 - \frac{3x^2}{l^2} + \frac{2x^3}{l^3} \\ x - \frac{2x^2}{l} + \frac{3x^3}{l^2} \\ \frac{3x^2}{l^2} - \frac{2x^3}{l^3} \\ \frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2} \end{Bmatrix}$$

Como a velocidade é constante, temos $x = v.t$, donde finalmente:

$$\begin{Bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ P_3(t) \\ P_4(t) \end{Bmatrix} = P \begin{Bmatrix} 1 - \frac{3v^2 t^2}{l^2} + \frac{2v^3 t^3}{l^3} \\ vt - \frac{2v^2 t^2}{l} + \frac{v^3 t^3}{l^2} \\ \frac{3v^2 t^2}{l^2} - \frac{2v^3 t^3}{l^3} \\ - \frac{v^2 t^2}{l} + \frac{v^3 t^3}{l^2} \end{Bmatrix} \quad (3.32)$$

Para obter as expressões dos deslocamentos associados correspondentes, usamos então as integrais de Duhamel. A obtenção dessas integrais parte da suposição de que um esforço qualquer $P(t)$ de variação geral, (fig. 3.19), atuando sobre uma estrutura, pode ser analisado como uma série de impulsos. O incremento de deslocamento Δx para um tempo $t (t > \tau)$, devido ao impulso $I = P(\tau)\Delta\tau$ aplicado no tempo τ , é dado por

$$\Delta x = \frac{P(\tau)\Delta\tau}{MW} \text{ sen } W(t-\tau) ,$$

de modo que para a série de impulsos resulta:

$$x = \frac{1}{MW} \int_0^t P(\tau) \text{ sen } W(t-\tau) d\tau , \quad (3.33)$$

que é a expressão da integral de Duhamel.

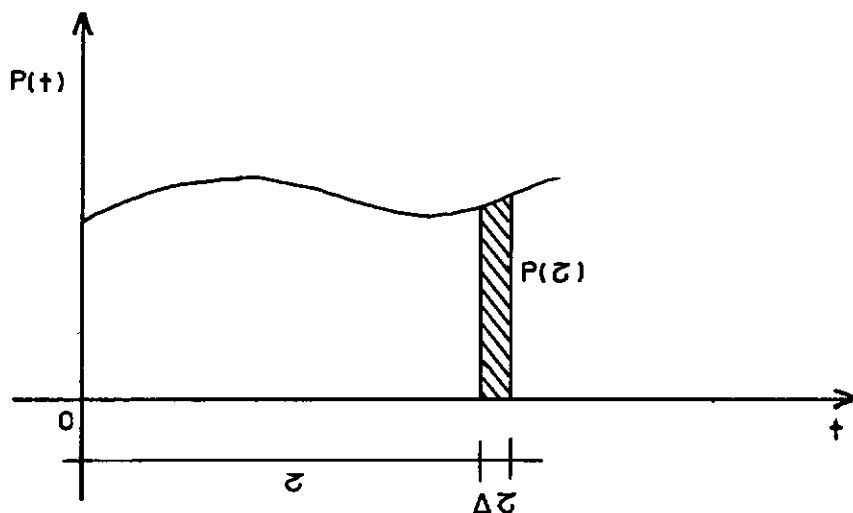


fig. 3.19

Como as equações dos esforços no nosso caso são polinomiais, as integrais (3.33) se subdividem em parcelas de fácil resolução, que são os casos abaixo:

a) Função constante

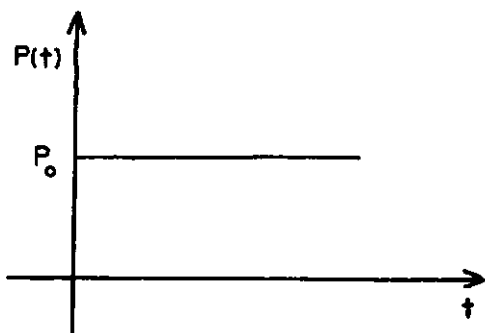


fig. 3.20

$$D(t) = \frac{1}{MW} \cdot \frac{P_0}{W} (1 - \cos Wt) \quad (3.34)$$

b) Função linear do tempo

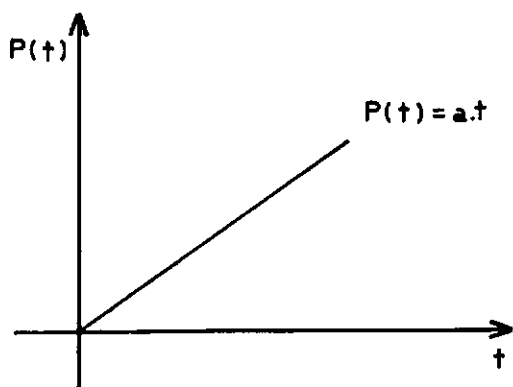


fig. 3.21

$$D(t) = \frac{1}{MW} \cdot \frac{a}{W} \left(t - \frac{\text{sen } Wt}{W} \right) \quad (3.35)$$

c) Função quadrática do tempo:

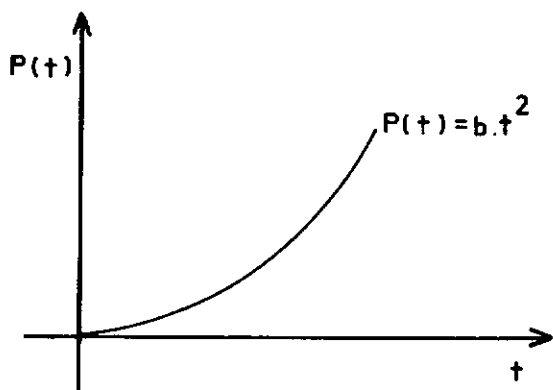


fig. 3.22

$$D(t) = \frac{1}{MW} - \frac{b}{W} \left(t^2 + \frac{2 \cos Wt}{W^2} - \frac{2}{W^2} \right) \quad (3.36)$$

d) Função cúbica do tempo:

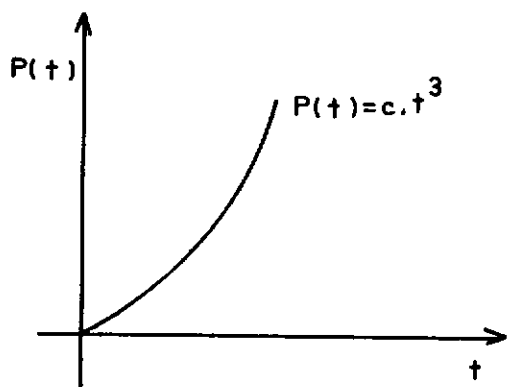


fig. 3.23

$$D(t) = \frac{1}{MW} \cdot \frac{c}{W} \left(t^3 + \frac{6 \sin Wt}{W^3} - \frac{6t}{W^2} \right) \quad (3.37)$$

Assim os deslocamentos $D_i(t)$ associados a $P_i(t)$ têm as expressões:

$$D_1(t) = \frac{1}{MW} \left[\frac{1}{W} (1 - \cos Wt) - \frac{3v^2}{WL^2} (t^2 + \frac{2\cos Wt}{W^2} - \frac{2}{W^2}) + \frac{2v^3}{WL^3} (t^3 + \frac{6\sin Wt}{W^3} - \frac{6t}{W^2}) \right] \quad (3.38)$$

$$D_2(t) = \frac{1}{MW} \left[\frac{v}{W} (t - \frac{\sin Wt}{W}) - \frac{2v^2}{WL} (t^2 + \frac{2\cos Wt}{W^2} - \frac{2}{W^2}) + \frac{v^3}{WL^2} (t^3 + \frac{6\sin Wt}{W^3} - \frac{6t}{W^2}) \right] \quad (3.39)$$

$$D_3(t) = \frac{1}{MW} \left[\frac{3v^2}{WL^2} (t^2 + \frac{2\cos Wt}{W^2} - \frac{2}{W^2}) + \frac{2v^3}{WL^3} (t^3 + \frac{6\sin Wt}{W^3} - \frac{6t}{W^2}) \right] \quad (3.40)$$

$$D_4(t) = \frac{1}{MW} \left[\frac{-v^2}{WL} (t^2 + \frac{2\cos Wt}{W^2} - \frac{2}{W^2}) + \frac{v^3}{WL} (t^3 + \frac{6\sin Wt}{W^3} - \frac{6t}{W^2}) \right] \quad (3.41)$$

A variação do tempo é feita através de incrementos constantes constituídos por uma fração do período fundamental.

Com o tempo atual, obtém-se os valores numéricos dos esforços e dos deslocamentos que, convenientemente dispostos, vão constituir os vetores de carga instantâneos das matrizes

fronteira do elemento considerado.

A cada incremento de tempo t \acute{o} da a estrutura \acute{e} resolvida, sendo encontrados e armazenados os valores din \acute{a} micos desejados. Sempre que o carregamento transp \acute{o} e um n \acute{o} situando-se sobre a barra seguinte, a contagem dos tempos \acute{e} reiniciada tomando-se como valores iniciais para os esfor \acute{c} os e deslocamentos, os resultados obtidos pela resolu \acute{c} o da estrutura no exato instante em que o carregamento transp \acute{o} e o n \acute{o} . Isto significa que o referencial dos tempos \acute{e} sempre fixado em rela \acute{c} o ao in \acute{i} cio da barra sobre a qual se encontra o carregamento.

Para uma mesma velocidade adotada, todo o processo \acute{e} repetido em separado para cada um dos autovalores, sendo ent \acute{a} o superpostos os resultados. Com isto se obtem linhas de influ \hat{e} ncia din \acute{a} micas para os pontos analisados com as quais se pode calcular os coeficientes de impacto correspondentes \grave{a} velocidade adotada.

O mesmo procedimento \acute{e} seguido para as demais velocidades, de maneira que se tem tamb \acute{e} m uma id \acute{e} ia da varia \acute{c} o dos coeficientes de impacto com este par \acute{a} metro.

III.4.6 - Cálculo dos Coeficientes de Impacto

Pela análise já descrita, conhecemos os valores dos máximos estáticos bem como os pontos e direções em que ocorrem. Conhecemos também os máximos valores dinâmicos que ocorrem nos mesmos pontos e direções quando o carregamento se desloca a velocidade constante.

Podemos então, para cada velocidade, calcular os valores dos coeficientes de impacto correspondentes.

Várias associações e instituições apresentam fórmulas para cálculo de coeficientes de impacto em estruturas sujeitas a cargas móveis. Apresentamos a seguir algumas das mais importantes:

a) RILEM - The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures.

$$Q = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2l} + \frac{0,6}{1 + 4(G_T/P)} \quad , \quad \text{onde:}$$

Q - coeficiente de impacto

l - comprimento do vão considerado, em metros.

G_T - Carga permanente total no vão considerado.

P - Carga móvel total no vão

b) AREA - American Railway Engineering Association.

$$Q = \frac{100}{s} + 40 - \frac{3l^2}{1.600} \quad \text{para } l < 80 \text{ ft}$$

$$Q = \frac{100}{s} + 16 + \frac{600}{l-30} \quad \text{para } l > 80 \text{ ft}$$

onde:

Q - percentagem aditiva para as cargas

l - comprimento do vão em pés

s - distância em pés entre as vigas longitudinais.

Como no nosso caso só há uma viga, a distância s é infinita e a primeira parcela das expressões desaparece.

c) AASHO - American Association of State Highway Officials

$$Q = \frac{50}{l + 125} < 0.30$$

onde:

Q - percentagem aditiva para as tensões estáticas

l - comprimento do vão considerado, em pés. A expressão foi desenvolvida baseando-se em um valor máximo de 400 pés para l .

d) DIN-1072 , Norma Alemã

$$Q = 1,4 - 0,008 l > 1,0, \quad \text{onde}$$

Q - Coeficiente de impacto

l - comprimento do vão em metros. Vale notar que o comprimento máximo admitido pela expressão é $l = 50m$

e) ABNT - NB2/1961 - Cálculo e Execução de Pontes de Concreto Armado

e.1) Em elementos de pontes rodoviárias

$$Q = 1,4 - 0,007 l > 1,0$$

e.2) Em elementos de pontes ferroviárias

$$Q = 0,001(1600 - 60 \sqrt{l} + 2,25l) > 1,20$$

onde:

Q - coeficiente de impacto

l - comprimento do vão em metros.

De um modo geral podemos entretanto dizer que os coeficientes de impacto variam numa faixa de 1,10 a 1,75, quando aplicamos essas expressões.

Uma observação importante é que em nenhuma das expressões apresentadas aparece a velocidade de deslocamento do carregamento; é de se supor que tenha sido adotada uma faixa normal de velocidades, entre 60 e 80 Km/h.

No capítulo de Exemplos e Conclusões procuraremos fazer um relacionamento entre nossos resultados e os que ob-

temos das expressões acima, embora a maioria delas nos dê valores do coeficientes de impacto para as cargas, enquanto que nós calculamos coeficientes para esforços e deslocamentos. Em estruturas lineares, isto é possível, embora de maneira aproximada.

CAPÍTULO IV - O Programa Automático

IV.1 - Considerações Gerais

Segundo o que foi descrito nos capítulos II e III , procuramos desenvolver um programa automático para a análise de nosso tipo de problema.

O programa foi implementado em linguagem Fortran no computador Burroughs B6700, podendo entretanto ser facilmente adaptado a outra máquina através de pequenas modificações.

IV.2 - Fluxograma Geral e Subrotinas Utilizadas.

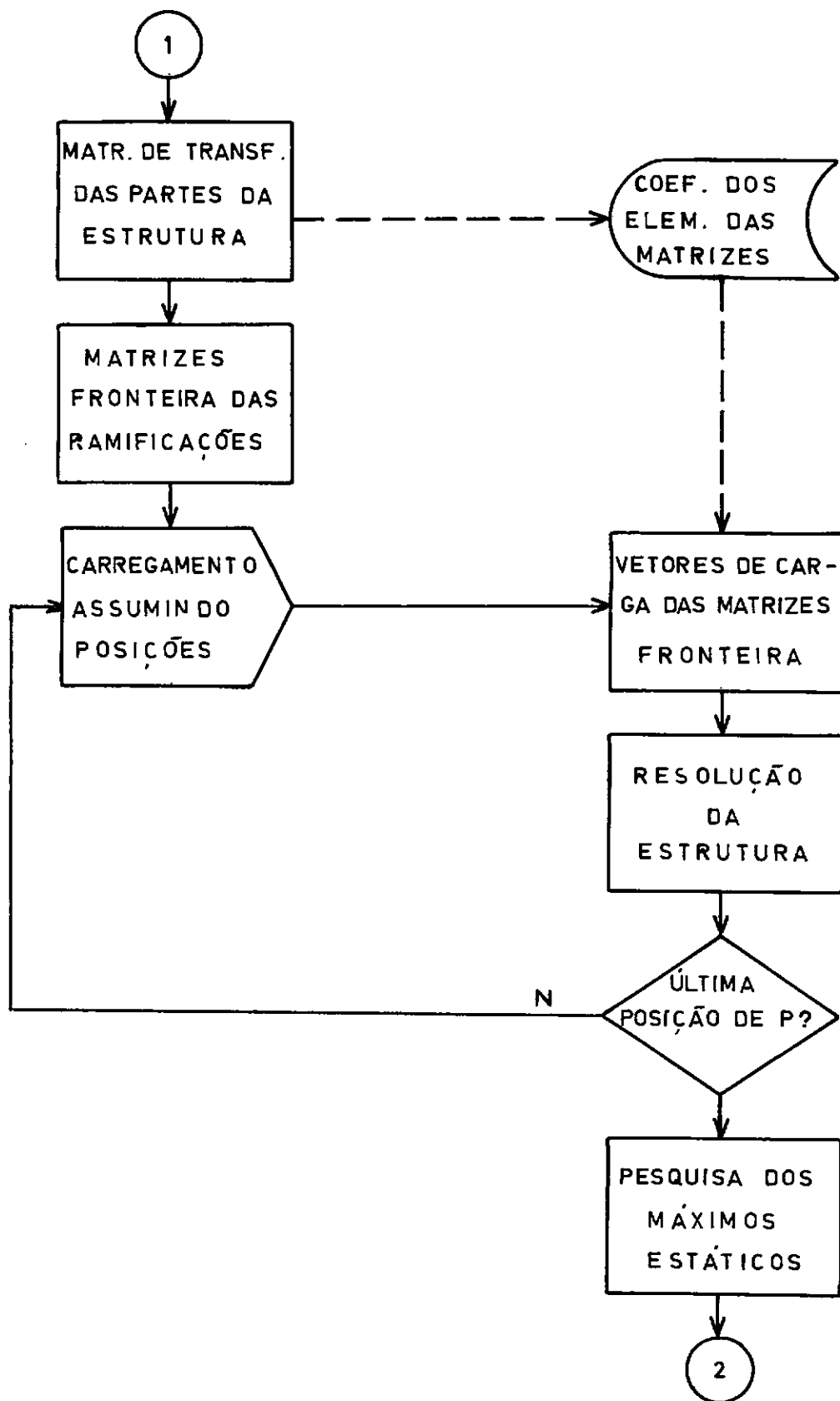
IV.2.1 - Tratamento de dados



Subrotinas Utilizadas

- 1 - *ITEST* : *verifica a validade dos códigos dos cartões de dados.*
- 2 - *CABP* : *imprime os cabeçalhos nas listagens*
- 3 - *CONCA* : *testa consistência de dados gerais da estrutura e emite mensagens de erro, conforme relação anexa.*
- 4 - *CONCB* : *testa consistência de dados dos elementos e emite mensagens de erro conforme relação anexa.*
- 5 - *PEDB* : *gera os arquivos de barras.*
- 6 - *PEDJ* : *gera os arquivos de juntas.*
- 7 - *PEJR* : *assinala juntas com ramificações.*
- 8 - *PEJL* : *assinala juntas com liberações.*
- 9 - *PEVR* : *monta os vetores de rotação das barras.*
- 10 - *COMPR* : *calcula comprimentos das barras e grava vetores de rotação.*

IV.2.2 - Análise Estática



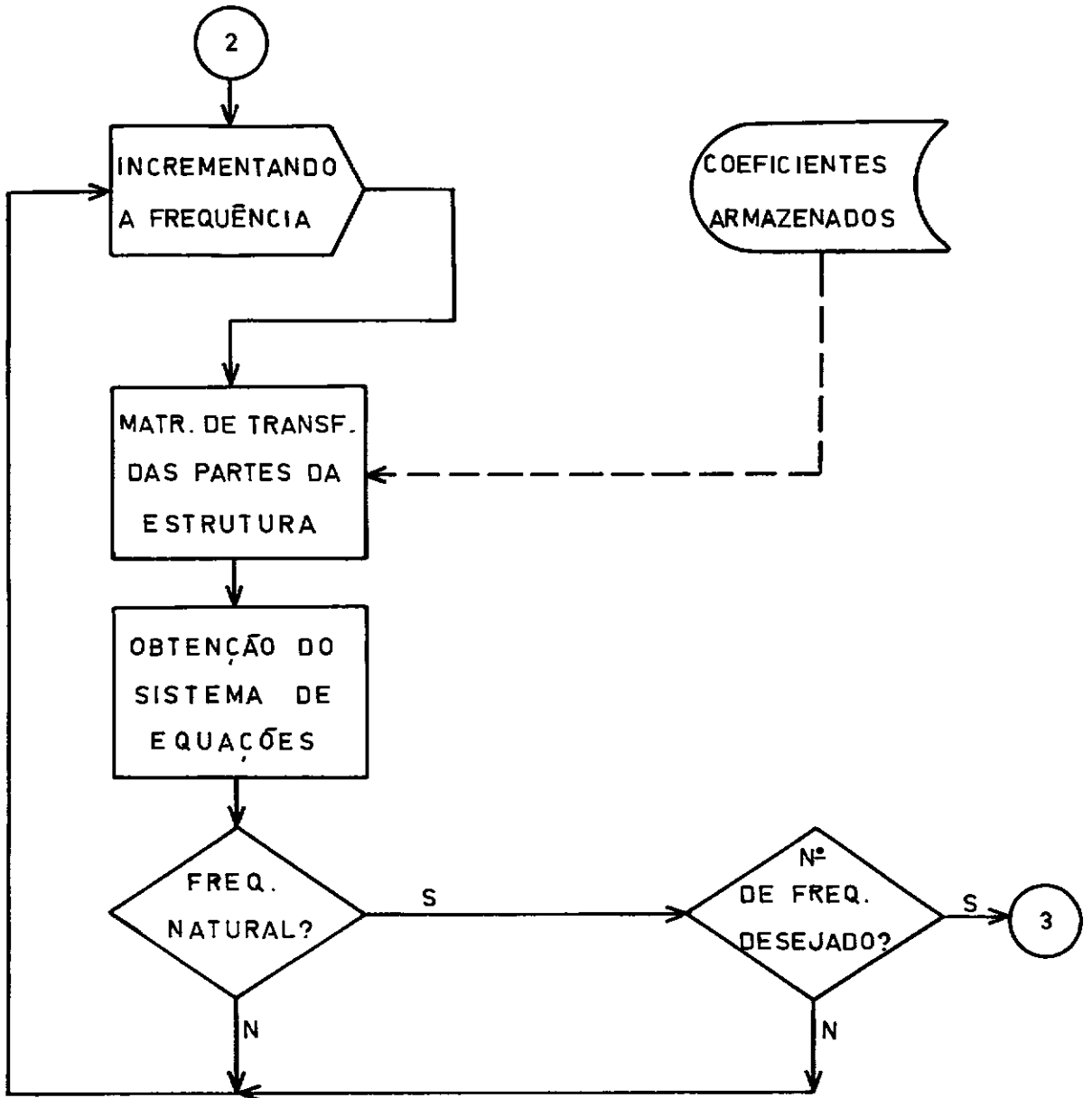
Subrotinas Utilizadas

- 1 - *TRANS* : monta matriz de transferência das barras no sistema global.
- 2 - *FRONT* : gera matriz fronteira das juntas para qualquer descontinuidade.
- 3 - *MLTP* : efetua multiplicação de matrizes.
- 4 - *INERC* : verifica se a inércia é constante ou variável no trecho de estrutura considerado.
- 5 - *LEDIS* : retira do disco os coeficientes dos elementos das matrizes de transferência armazenados.
- 6 - *GEMAT* : com os coeficientes lidos por *LEDIS*, gera as matrizes de transferência de acordo com a frequência atual.
- 7 - *IGUAL* : faz a matriz do segundo parâmetro igual à do primeiro.
- 8 - *INVER* : inverte matrizes de qualquer ordem bem como qualquer sub-matriz das mesmas, utilizando o método da partição.

9 - CONAP : aplica condições de contorno da estrutura às ma
trizes da mesma.

10 - CPARA : pesquisa vetor de máximos estáticos da estrutura.

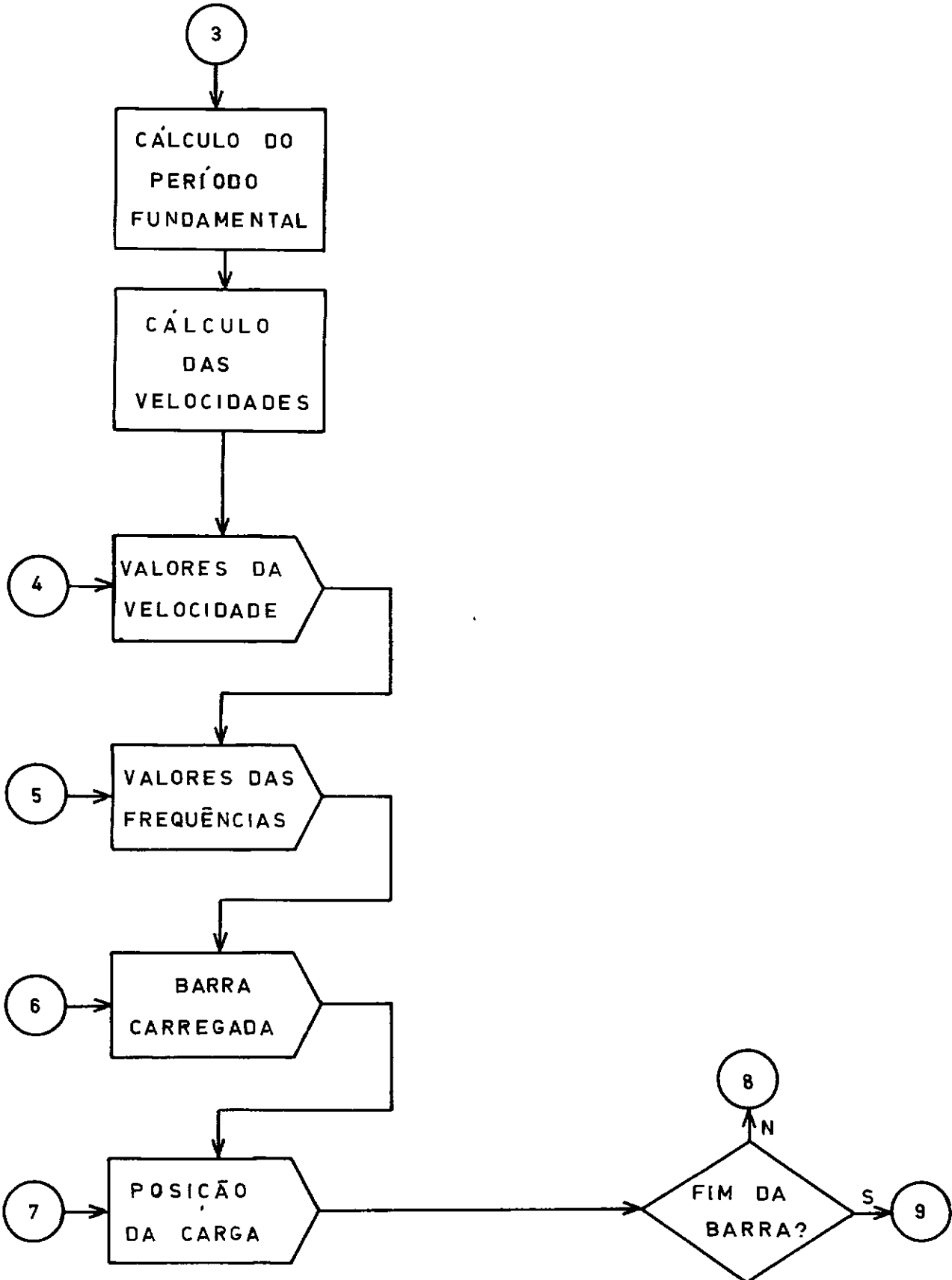
IV.2.3 - Vibrações Livres

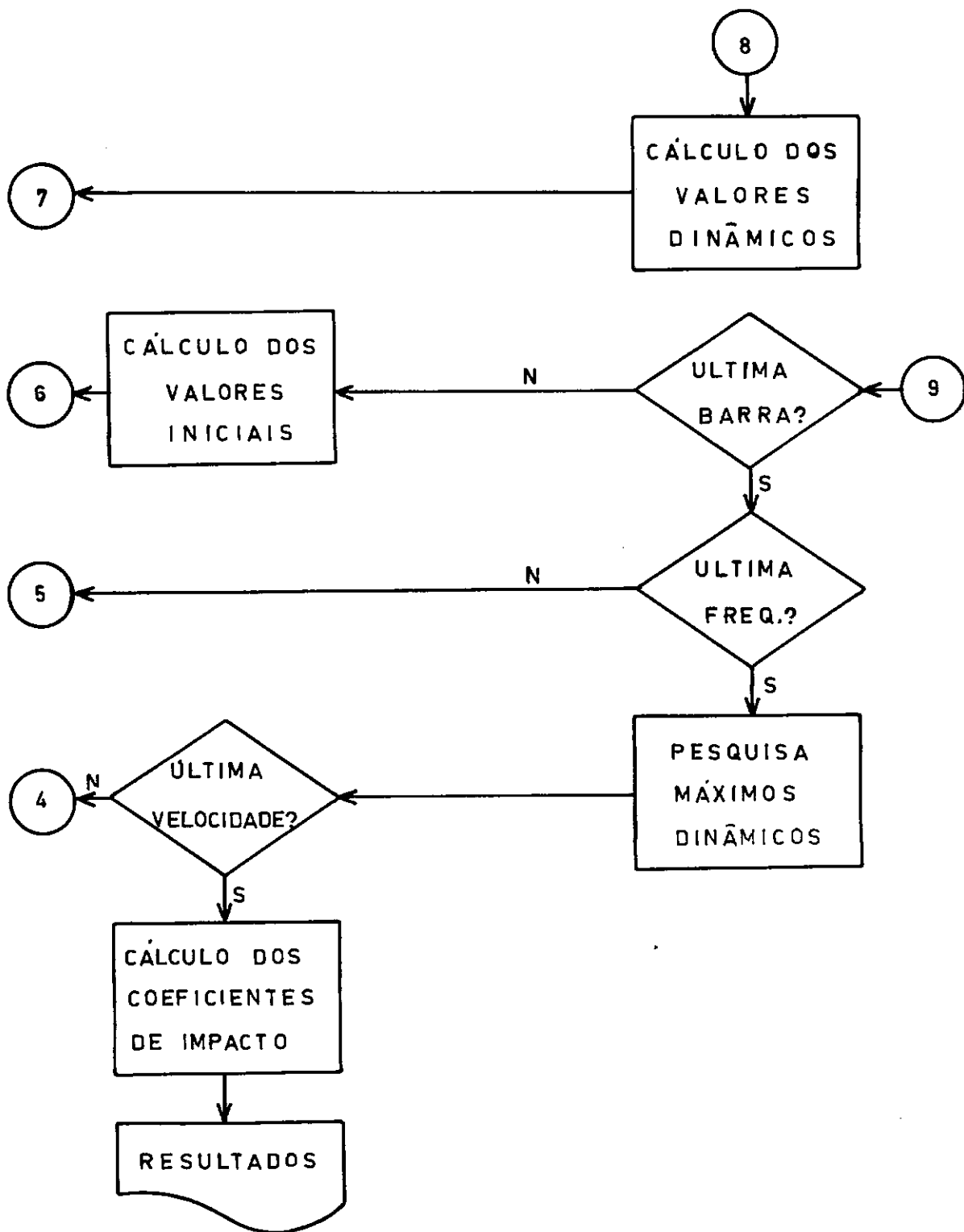


Subrotinas Utilizadas

- 1 - *MLTP* : já mencionada
- 2 - *IGUAL* : *idem*
- 3 - *LEDIS* : *idem*
- 4 - *GEMAT* : *idem*
- 5 - *CONAP* : *idem*
- 6 - *DETER* : calcula determinantes pelo Método do Pivot.

IV.2.4 - Análise Dinâmica e Cálculo dos Coeficientes de Impacto





Subrotinas Utilizadas

- 1 - *MLTP* : já mencionada
- 2 - *FRONT* : *idem*
- 3 - *TRANS* : *idem*
- 4 - *INERC* : *idem*
- 5 - *LEDIS* : *idem*
- 6 - *GEMAT* : *idem*
- 7 - *IGUAL* : *idem*
- 8 - *INVER* : *idem*
- 9 - *CONAP* : *idem*
- 10 - *CPARA* : *idem*
- 11 - *VECAR*: gera vetores de carga dinâmicos para as matrizes
fronteira.
- 12 - *DINAM*: gera linhas de influência dinâmicas para os pontos estudados.

IV.2.5 - Mensagens de Erro das Subrotinas CONCA e CONCB

Sempre que essas subrotinas detectam um erro nos dados em um cartão, o mesmo é impresso e é dada uma das mensagens que se seguem:

- 1 - Conteúdo de campo excedendo limite máximo.
- 2 - Número de barras omissa, inválido ou excedendo limite.
- 3 - Número de ramificações omissa ou inválido.
- 4 - Número de campos nos cartões /NBR, /NRI ou /NRF não corresponde ao cartão //NR, ou algum campo nesses cartões é inválido ou excede limites.
- 5 - Código de inércia omissa, inválido ou fora de especificação.
- 6 - Numeração de junta omissa, inválida ou excedendo limite.
- 7 - Campo no cartão /PIN omissa, inválido ou excedendo limite.
- 8 - Campo no cartão /PME omissa, inválido ou excedendo limite.
- 9 - Campo no cartão /PFI omissa, inválido ou excedendo limite.

- 10 - Coordenada de junta ou rigidez de apoio elástico omissa, inválida ou excedendo limites.
- 11 - Áreas de secção, momentos de inércia ou módulo de elasticidade omissos, inválidos ou excedendo limites.
- 12 - Intervalo de numeração dado em cartão de definição de e lemento excede o valor 6.

IV.3 - Estrutura dos Dados

IV.3.1 - Considerações Gerais

A entrada de dados para o programa é feita com a utilização de cartões de controle, além de três outros tipos de cartões, que constituem os blocos a seguir:

- 1 - Cartões de Identificação
- 2 - Cartões de Definição Geral
- 3 - Cartões de Definição dos Elementos

A leitura dos cartões deve obedecer a esta ordem geral, embora para cada bloco eles possam estar em ordem qualquer, omitidos ou repetidos conforme o caso.

Cada cartão é identificado por um código mnemônico de quatro caracteres a começar da primeira coluna. A quinta coluna é utilizada para complementar o código com o caracter "=", quando necessário.

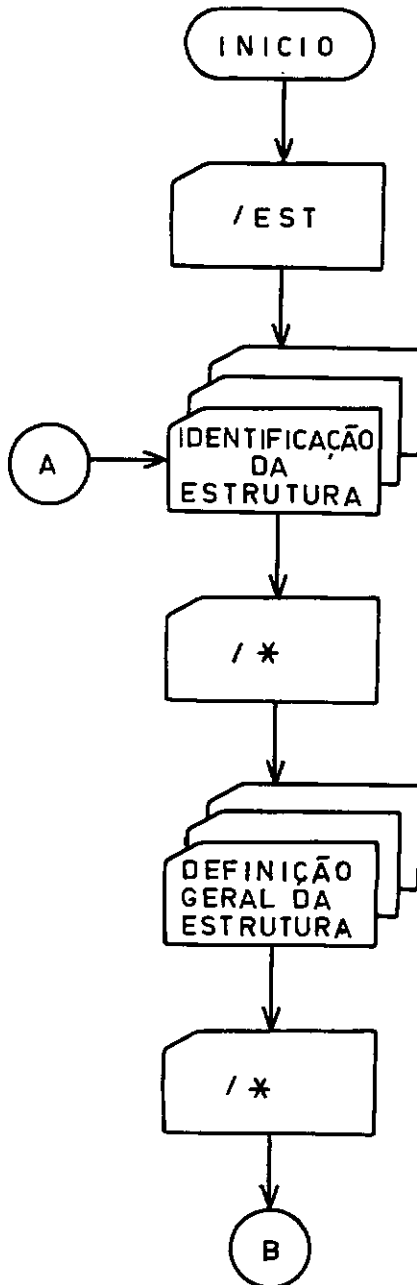
Nos Lay-outs dos cartões convencionamos denominar por I e R respectivamente, as variáveis inteiras e reais.

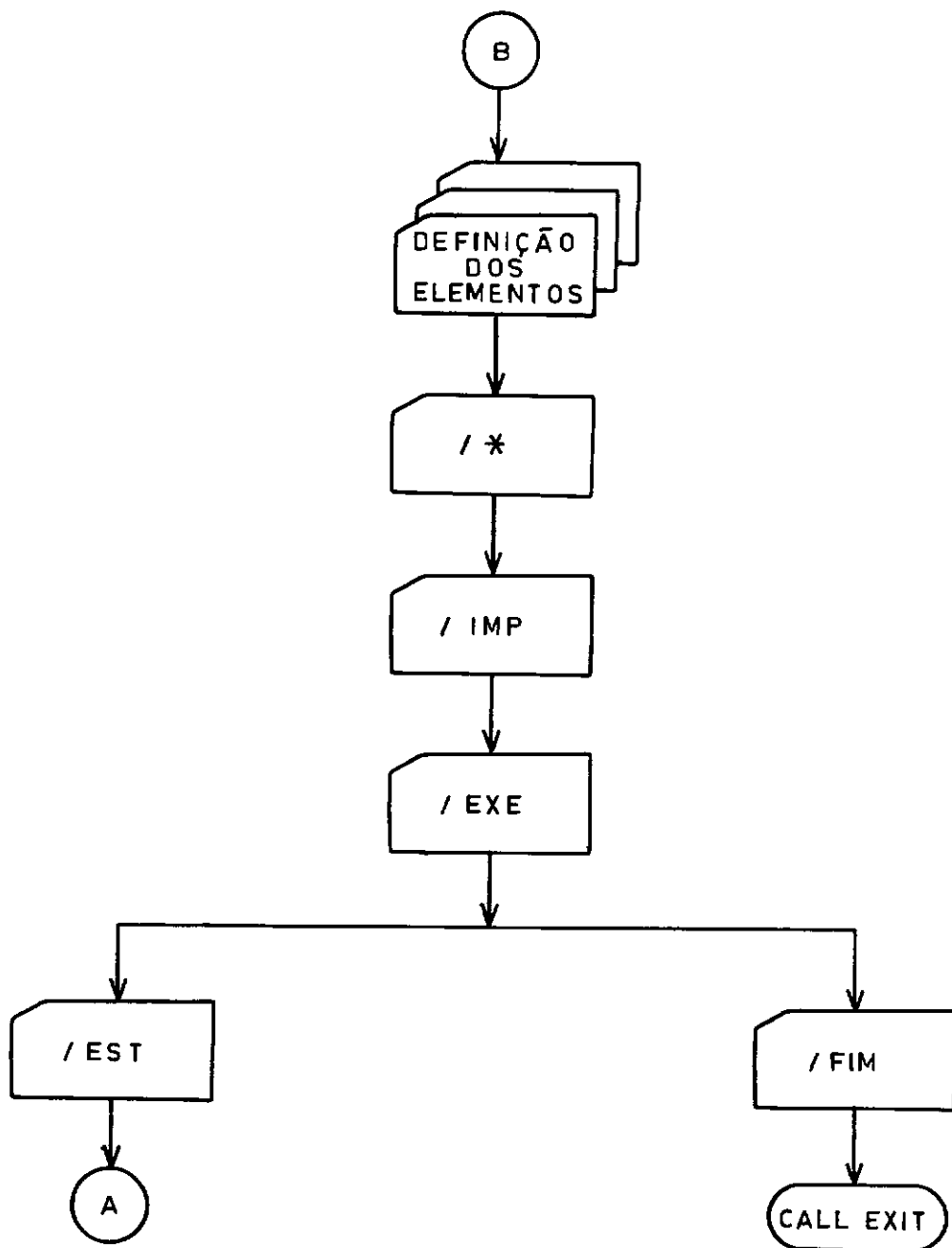
Alguns códigos usam as variáveis I1, I2 e I3, que terão aí o mesmo significado das três variáveis da declaração DO da linguagem FORTRAN, ou seja: os valores dos campos que se seguem no cartão, deverão ser usados para todas as barras ou juntas cuja numeração variar entre I1 e I2, a inter-

valos I_3 . Entretanto, no nosso trabalho sempre consideraremos $I_3 = 1$, ou seja: sãõ utilizaremos os recursos deste cartão para elementos de numeração sequencial.

À exceção dos cartões de contrõle, todos os que se iniciam com "*", se referem às juntas.

IV.3.2 - Fluxograma de Entrada de Dados





IV.3.3 - Cartões de Contrôlo

(1)	/EST	
(2)	/*	
(3)	/EXE	
(4)	/IMP	
(5)	/FIM	

(1) - Início da leitura de dados da estrutura, ou de uma nova estrutura.

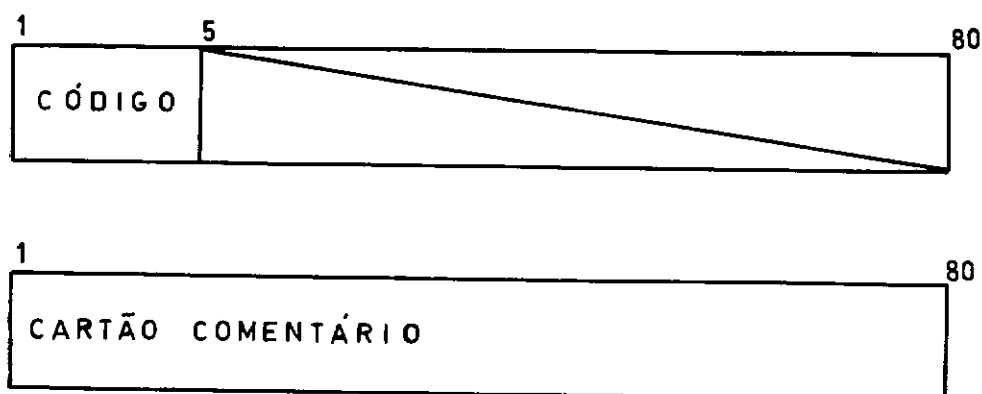
(2) - Final de um bloco de cartões.

(3) - Início da análise da estrutura

(4) - Comando para impressão dos vetores de rotação das barras (opcional).

(5) - Final da análise.

IV.3.4 - Cartões de Identificação



Os cartões de identificação são opcionais e se usados devem ser seguidos de um cartão comentário.

Os códigos usados podem ser //C1, //C2 e //C3, podendo ser usados simultaneamente, porém sem repetições. O conteúdo dos cartões comentário será impresso no cabeçalho.

- (1) - *Número de barras na estrutura*
- (2) - *Dados da estrutura principal inicial.*
 - *Número de barras*
 - *Nó inicial*
 - *Barra inicial*
- (3) - *Dados da estrutura principal intermediária*
 - *Número de barras*
 - *Nó inicial*
 - *Barra inicial*
- (4) - *Dados da estrutura principal final*
 - *Número de barras*
 - *Nó inicial*
 - *Barra inicial*
 - *Nó final*
 - *Barra final*
- (5) - *Número de ramificações*
- (6) - *Número de barras nas ramificações*
- (7) - *Dados das ramificações*
 - *Nó inicial*
 - *Barra inicial*
- (8) - *Dados das ramificações*
 - *Nó final*
 - *Barra final*

(9) - Define a variação da inércia na estrutura

$I = 11$ - Toda ela com inércia constante

$I = 21$ - Estrutura principal intermediária com inércia variável

$I = 22$ - Toda ela com inércia variável

(10)- Lista de restrições do apoio da ramificação

$I = 1$ - Direção fixa

$I = 0$ - Direção livre

(11)- Lista de restrições do apoio da esquerda da estrutura

(Idem, item 10)

(12)- Lista de restrições do apoio da direita da estrutura

(Idem, item 10)

(13)- Juntas com liberação na direção 1

(14)- Idem, direção 2

(15)- Idem, direção 3

(16)- Idem, direção 4

(17)- Idem, direção 5

(18)- Idem, direção 6

IV.3.6 - Cartões de Definição dos Elementos

(1)	***X		I1	I2	R	R	...	R
	***Y		I1	I2	R	R	...	R
	***Z		I1	I2	R	R	...	R
(E)	Idem	=	I1	I2	R			
(2)	**KX		I1	I2	R	R	...	R
	**KY		I1	I2	R	R	...	R
	**KZ		I1	I2	R	R	...	R
	*KXX		I1	I2	R	R	...	R
	*KYY		I1	I2	R	R	...	R
	*KZZ		I1	I2	R	R	...	R
(E)	Idem	=	I1	I2	R			
(3)	//AX		I1	I2	R	R	...	R
(E)	//AX	=	I1	I2	R		...	R
(4)	//IX		I1	I2	R	R	...	R
	//IY		I1	I2	R	R	...	R
	//IZ		I1	I2	R	R	...	R
(E)	Idem	=	I1	I2	R			
(5)	///E		I1	I2	R	R	...	R
	///G		I1	I2	R	R	...	R
(E)	Idem	=	I1	I2	R			
(6)	//XP		I1	I2	R	R	...	R
	//YP		I1	I2	R	R	...	R
	//ZP		I1	I2	R	R	...	R
(E)	Idem	=	I1	I2	R			

- (1) - Coordenadas das juntas
- (2) - Rigidezes de mola dos apoios elásticos
- (3) - Área da secção transversal das barras
- (4) - Momentos de inércia da secção transversal das barras
- (5) - Módulos de elasticidade do material
- (6) - Coordenadas de um ponto P para o cálculo do ângulo α , na geração dos vetores de rotação das barras

Os números $I1$ e $I2$ limitam o intervalo de numeração dos elementos, barras ou juntas, a que se refere cada cartão. A diferença $I2 - I1$ não pode ultrapassar o valor 6, de modo que cada cartão contém dados referentes, no máximo, a seis elementos. Como a variável $I3$ é sempre subentendida igual a 1, esses seis elementos terão que ser de numeração sequencial.

Quando os dados forem iguais para uma certa sequência de elementos, podem-se usar as formas especiais (E) dos cartões.

IV.4 - Listagem do Programa

PROGRAMA PARA ANALISE DINAMICA DE PORTICOS PLANOS SUJEITOS A
CARGA MOVEL PELO METODO DAS MATRIZES DE TRANSFERENCIA

MARSILIO DE ALENCAR SA LEITAO

TESE MSC - COPPE/UFRJ - E. CIVIL ESTRUTURAS - 1979

====SUBROTINAS UTILIZADAS

```

FUNCTION ITEST(JCARD,J,JLAST,KCARD,K)
DIMENSION JCARD(100),KCARD(4)
ITEST=0
DO 2 JNOW=J,JLAST
KNOW=K+JNOW-J
IF(KCARD(KNOW).EQ.JCARD(JNOW))GOTO 2
ITEST=1
CONTINUE
RETURN
END

```

SUBROUTINE DINAM(JI,IR,II,JJ,NVI)

====SUBROTINA PARA GERAR LINHAS DE INFLUENCIA DINAMICAS NOS
====PUNTOS DE MAXIMOS ESTATICOS

```

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
DIMENSION CPW(169,22),DD(15),DI(2),DT(6),DM(3),DMF(27),DMT(20),DIR(12),ESQ(12),INER(2),LCAB(4),MF(5),MAXD(400,12)
DIMENSION MASSA(201),OBS1(20),OBS2(20),OBS3(20),R(9),T(13,13),VEE(400,13),VE(13,3),VVDI(12),RAMIF(6)
REAL*8 MAXD,MASSA
INTEGER RAMIF
COMMON CP,DD,DI,DT,DM,DMF,DMT,DIR,ESQ,MAXD,MASSA,OBS1,OBS2,OBS3
COMMON R,I,VEE,VE,VVDI
COMMON INER,LCAB,MF,RAMIF
I=(II-1)*IR+JJ
J=VE(JI,3)
IF(JJ-IR-1)50,100,50
50 MAXD(I,J)=MAXD(I,J)+VVDI(J)+VEE(J)
IF(NVI)100,110,100
100 VVDI(J)=VVDI(J)+VEE(J)
110 RETURN
END

```

C
C
C
SUBROUTINE CABP

C====SUBROTINA QUE IMPRIME OS CABECALHOS

```

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
DIMENSION CPW1(169,22),DD(15),DI(2),DT(6),DM(3),DMF(27),DMT(20),DIR
  *R(12),ESQ(12),INER(2),LCAB(4),MF(5),MAXO(400,12)
DIMENSION MASSA(201),OBS1(20),OBS2(20),OBS3(20),R(9),T(13,13),VEE(
  *13),VE(13,3),VVDI(12),RAMIF(6)
REAL*8 MAXO,MASSA
INTEGER RAMIF
COMMON CPW1,DD,DI,DT,DM,DMF,DMT,DIR,ESQ,MAXO,MASSA,OBS1,OBS2,OBS3
COMMON R,T,VEE,VE,VVDI
COMMON INER,LCAB,MF,RAMIF
WRITE(5,10)
10 FORMAT('1', //5X,'DINAMICA DE ESTRUTURAS RETICULADAS SOB CARGA
  * MLVEL PELO', //5X,'METODO DAS MATRIZES DE TRANSFERENCIA')
DO 70 I=1,4
IF(LCAB(I)=1)20,20,70
20 GOTU(30,40,50,60),I
30 WRITE(5,35)
35 FORMAT(5X,' COPPE/UFRJ - ENGENHARIA CIVIL - ESTRUTURAS - 1979')
GOTO 70
40 WRITE(5,45)OBS1
GOTO 70
45 FORMAT(5X,20A4)
50 WRITE(5,45)OBS2
GOTO 70
60 WRITE(5,45)OBS3
70 CONTINUE
WRITE(5,80)
80 FORMAT(1X,40('='*))
RETURN
END

```

C
C
C
SUBROUTINE CONCA(NCAMP,MAX,IER,ICOD,N)

C====SUBROTINA PARA TESTAR CONSISTENCIA DE DADOS GERAIS

```

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
ABS(X)=DAES(X)
DIMENSION CPW1(169,22),DD(15),DI(2),DT(6),DM(3),DMF(27),DMT(20),DIR
  *R(12),ESQ(12),INER(2),LCAB(4),MF(5),MAXO(400,12)
DIMENSION MASSA(201),OBS1(20),OBS2(20),OBS3(20),R(9),T(13,13),VEE(
  *13),VE(13,3),VVDI(12),RAMIF(6)
INTEGER RAMIF
REAL*8 MAXO,MASSA
COMMON CPW1,DD,DI,DT,DM,DMF,DMT,DIR,ESQ,MAXO,MASSA,OBS1,OBS2,OBS3
COMMON R,T,VEE,VE,VVDI
COMMON INER,LCAB,MF,RAMIF
IER=0
N=0
DO 100 K=1,NCAMP
IF(ABS(DD(K))-10000.)101,102,102
101 J=DD(K)
IF(J)103,104,106
106 IF(J=MAX)107,107,103
107 N=N+1
100 CONTINUE
104 IF(N)103,103,103
103 IER=ICOD
RETURN
102 IER=1
103 RETURN
END

```

```

C
C
C      SUBROUTINE PEVR(IND,CX,CY,CZ,DXP,DYP,DZP,R,DM)
C=====SUBROTINA QUE FAZ A MONTAGEM DO VETOR DE ROTACAO
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      SQRT(X)=DSQRT(X)
      ATAN(X)=DATAN(X)
      DIMENSION R(9),DM(3)
      DM(2)=0.
      DO 100 I=1,9
100    R(I)=0.
      DM(1)=SQRT(CX*CX+CY*CY+CZ*CZ)
      CX=CX/DM(1)
      CY=CY/DM(1)
      CZ=CZ/DM(1)
      Q=SQRT(CX*CX+CZ*CZ)
101    IF(Q=0.001)101,101,102
      R(2)=CY
      R(4)=-CY
      R(9)=1.
103    IF(IND)105,105,103
      SQ=SQRT(DXF*DXP+DZF*DZP)
      COSA=-DXP*CY/SQ
      SINA=DZP/SQ
      R(4)=-CY*COSA
      R(6)=SINA
      R(7)=CY*SINA
      R(9)=COSA
102    GOTO 106
      R(1)=CX
      R(2)=CY
      R(3)=CZ
      R(4)=-CX*CY/Q
      R(5)=Q
      R(6)=-CY*CZ/Q
      R(7)=-CZ/Q
      R(9)=CX/Q
104    IF(IND)105,105,104
      YPG=R(4)*DXP+R(5)*DYP+R(6)*DZP
      ZPG=R(7)*DXP+R(8)*DYP+R(9)*DZP
      SQ=SQRT(YPG*YPG+ZPG*ZPG)
      COSA=YPG/SQ
      SINA=ZPG/SQ
      R(4)=(-CX*CY*COSA-CZ*SINA)/Q
      R(5)=Q*COSA
      R(6)=(-CY*CZ*COSA+CX*SINA)/Q
      R(7)=(CX*CY*SINA-CZ*COSA)/Q
      R(8)=-Q*SINA
      R(9)=(CY*CZ*SINA+CX*COSA)/Q
106    DM(2)=ATAN(SINA/COSA)=57.2957795
105    RETURN
      END

```

```

C
C
SUBROUTINE COMPR(CPEVR, NUMB, IJUN, IEAR, ICP, DX, DY, DZ, DXP, DYP, DZP, N, MT
*)
C====SUBROTINA QUE LE ORDENADAS E GRAVA COMPRIMENTOS
C====E VETORES DE ROTACAO
C
DOUBLE PRECISION CPW1, DD, DI, DT, DM, DMF, DMT, DIR, ESQ, OBS1, OBS2, OBS3, R
*, T, VEE, VE, VVDI, DX, DY, DZ, DXP, DYP, DZP, X, Y, Z, XJ, YJ, ZJ
DIMENSION CPW1(169, 22), DD(15), DI(2), DT(6), DM(3), DMF(27), DMT(20), DI
*, R(12), ESQ(12), INER(2), LCAB(4), MF(5), MAXD(400, 12)
DIMENSION MASSA(20), OBS1(20), OBS2(20), OBS3(20), R(9), T(13, 13), VEE(
*, 13), VE(13, 3), VVDI(12), RAMIF(6), MT(5)
REAL=8 MAXD, MASSA
INTEGER RAMIF
COMMON CP, 1, DD, DI, DT, DM, DMF, DMT, DIR, ESQ, MAXD, MASSA, OBS1, OBS2, OBS3
COMMON R, T, VEE, VE, VVDI
COMMON INER, LCAB, MF, RAMIF
IF (N=4) 3, 6, 6
6 X=DMF(1)
Y=DMF(2)
Z=DMF(3)
GOTO 5
5 IC=-1
GOTO 8
3 READ(12, IJUN) MF, X, Y, Z
MF(1)=N
MF(2)=1
WRITE(12, IJUN) MF, X, Y, Z
IC=0
8 ICT=NUMB+IEAR-1
DO 40 I=IEAR, ICT
K=I+1
XJ=X
YJ=Y
ZJ=Z
READ(11, I) MT, DMT, R, DM
MT(1)=N
MT(2)=I-IEAR+1
READ(12, K) MF, X, Y, Z
MF(1)=N
MF(2)=K-IEAR+1+IC
WRITE(12, K) MF, X, Y, Z
DX=X-XJ
DY=Y-YJ
DZ=Z-ZJ
IF (MT(5)) 10, 20, 10
C
C
- FUI DADO PONTO PARA CALCULO
- DA ROTACAO
10 ICP=1
DXP=DMT(9)-XJ
DYP=DMT(10)-YJ
DZP=DMT(11)-ZJ
GOTO 30
20 ICP=0
30 CALL PEVR(ICP, DX, DY, DZ, DXP, DYP, DZP, R, DM)
WRITE(11, I) MT, DMT, R, DM
40 CONTINUE
RETURN
END

```

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C

SUBROUTINE INVER(A,N,NL,NC,NP)

SUBROTINA GERAL PARA INVERTER MATRIZES PELO METODO DA PARTICAO

N = ORDEM DA MATRIZ TOTAL
 NP = ORDEM DA SUBMATRIZ A INVERTER
 NL = LINHA ONDE COMECA A SUBMATRIZ
 NC = COLUNA ONDE COMECA A SUBMATRIZ

```

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
ABS(X)=DABS(X)
DIMENSION A(N,N),G(13),H(13),V(13)
INTEGER DIF,R,V
PEQ=1.0E-08
DO 25 I=1,N
25 V(I)=I
   NN=NP-1
   IJ=0
23 IF(ABS(A(NL+IJ,NC))-PEQ)20,20,26
20 IJ=IJ+1
   GOTO 23
26 IF(IJ)30,30,27
27 KCP=NC+NN
   DO 28 I=NC,KCP
     NLL=NL+IJ
     TRANS=A(NL,I)
     A(NL,I)=A(NLL,I)
28 A(NLL,I)=TRANS
     KRANS=V(NL)
     V(NL)=V(NLL)
     V(NLL)=KRANS
30 A(NL,NC)=1.0/A(NL,NC)
   DO 110 M=1,NN
     DIF=NL-NC
     KC=NC+M
     KL=NL+M
     NL1=NL+M-1
     NC1=NC+M-1
     DO 60 I=NL,NL1
       G(I)=0.0
     DO 60 J=NC,NC1
       L=J+DIF
60 G(I)=G(I)+A(I,J)*A(L,KC)
     KLL=KL
65 D=0.0
     DO 70 J=NC,NC1
       L=J+DIF
70 D=D+A(KL,J)*G(L)
73 E=A(KL,NC)=D
     WRITE(5,/)E
     IF(ABS(E)-PEQ)75,75,80
75 KLL=KLL+1
     WRITE(5,/)KLL
77 DO 78 R=NC,KCP
     TRANS=A(KL,R)
     A(KL,R)=A(KLL,R)
78 A(KLL,R)=TRANS
     KRANS=V(KL)
     V(KL)=V(KLL)
     V(KLL)=KRANS
     GOTO 65
80 A(KL,NC)=1.0/E
     DO 85 I=NL,NL1
78 A(I,NC)=-G(I)*A(KL,NC)
     DO 90 J=NC,NC1
       H(J)=0.0
     DO 90 I=NL,NL1
       L=I-DIF
90 H(J)=H(J)+A(KL,L)*A(I,J)
     DO 100 J=NC,NC1
100 A(KL,J)=-H(J)*A(KL,NC)
     DO 110 I=NL,NL1
     DO 110 J=NC,NC1
110 A(I,J)=A(I,J)-G(I)*A(KL,J)
111 DO 130 I=1,N
     J=I+1
     IF(J=N)113,113,130
113 IF(V(I)-V(J))130,115,115
115 DO 120 R=NL,KL

```

```

TRANS=A(R,I)
A(R,I)=A(R,J)
120 A(R,J)=TRANS
    KRANS=V(I)
    V(I)=V(J)
    V(J)=KRANS
KTR=1
130 CONTINUE
    IF(KTR)135,140,135
135 KTR=0
    GOTO 111
140 RETURN
END

```

```

C
C
C SUBROUTINE INERC(K,L)

```

```

C====SUBROTINA QUE VERIFICA E ASSINALA SE A INERCIA E CONSTANTE
C====OU VARIAVEL NO TRECHO CONSIDERADO
C

```

```

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
DIMENSION CPW1(169,22),DD(15),DI(2),DT(6),DM(3),DMF(27),DMT(20),DI
R(12),ESQ(12),INER(2),LCAB(4),MF(5),MAXD(400,12),KEY(2)
DIMENSION MASSA(201),OBS1(20),OBS2(20),OBS3(20),R(9),T(13,13),VEE(
*13),VE(13,3),VVDI(12),RAMIF(6)
INTEGER RAMIF
REAL*8 MAXD,MASSA
COMMON CPW1,DD,DI,DT,DM,DMF,DMT,DIR,ESQ,MAXD,MASSA,OBS1,OBS2,OBS3
COMMON R,T,VEE,VE,VVDI
COMMON INER,LCAB,MF,RAMIF
DO 5 I=1,2
5 KEY(I)=0
IF(INER(1)=1)50,10,50
10 IF(INER(1)+INER(2)=2)20,80,20
20 KEY(2)=1
GOTO 80
50 IF(INER(1)+INER(2)=3)80,70,80
70 KEY(1)=1
GOTO 80
80 GOTO(100,200,300)K
100 L=0
GOTO 330
200 IF(KEY(1)=1)320,210,320
210 L=1
GOTO 330
300 IF(KEY(2)=1)320,310,320
310 GOTO 210
320 L=0
330 RETURN
END

```

SUBROUTINE FRONT(TT,MT,W,INF,IND,INVER,M)

====SUBROTINA PARA MONTAGEM DA MATRIZ FRONTEIRA NOS VARIOS CASOS

INF=1 - MATRIZ POLINOMIAL CPW1 ESTATICA OU DINAMICA
 INF=2 - MATRIZ 13 X 13 NUMERICA EST. OU DIN. P/ JUNTAS COMUNS
 INF=3 - MATRIZ 13 X 13 NUMERICA ESTATICA P/ JUNTA C/ SECUNDARIA
 INF=4 - MESMO CASO ANTERIOR PUREM DINAMICO
 INF=5 - MATRIZ 13 X 13 NUMERICA ESTATICA P/ JUNTA C/ RAMIFICACAO
 INF=6 - MESMO CASO ANTERIOR PUREM DINAMICO

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
 DIMENSION CPW1(169,22),DD(15),DI(2),DT(6),DM(3),DMF(27),DMT(20),DI
 *R(12),ESQ(12),INER(2),LCAB(4),MF(5),MAXD(40,12)
 DIMENSION MASSA(201),OBS1(20),OBS2(20),OBS3(20),R(9),T(13,13),VEE(13),
 *VE(13,3),VVDI(12),RAMIF(6),TT(13,13),V(6)
 REAL*8 MT(13,13),MASSA,MAXD
 INTEGER RAMIF
 COMMON CPW1,DD,DI,DT,DM,DMF,DMT,DIR,ESQ,MAXD,MASSA,OBS1,OBS2,OBS3
 COMMON R,I,VEE,VE,VVDI
 COMMON INER,LCAB,MF,RAMIF

- PARTE COMUM A TODAS AS
 MATRIZES FRONTEIRA

DO 10 J=1,13
 DO 10 K=1,13
 TT(J,K)=0
 10 TT(J,J)=1
 DO 20 J=7,12
 20 TT(J,J)=1
 IF(MF(4))50,50,30

- APOIOS ELASTICOS

30 DO 40 J=1,6
 K=J+6
 40 TT(K,J)=DMF(J+3)
 50 IF(MF(5))80,80,60

- LIBERACOES

60 DO 70 J=1,6
 K=J+6
 70 TT(J,K)=DMF(J+9)
 80 DO 90 J=1,6
 K=J+15

- DEFORMACOES IMPOSTAS

90 TT(J,13)=DMF(K)
 IF(IND)110,110,100
 100 TT(8,13)=-1

- PARTES NAO COMUNS SEGUNDO INF

110 GOTO(120,140,150,150,220,220)INF

- GERA CPW1 SEGUNDO T POR LINHA

120 DO 130 I=1,13
 DO 130 J=1,13
 K=(I-1)*13+J
 130 CPW1(K,1)=TT(I,J)
 CPW1(79,2)=MASSA(M)
 CPW1(93,2)=MASSA(M)
 CPW1(107,2)=MASSA(M)
 CPW1(121,2)=0
 CPW1(135,2)=0
 CPW1(149,2)=0
 GOTO 250

- MATR. 13x13 NUMER. CASO COMUM

140 TT(7,1)=TT(7,1)+W*I*MASSA(M)
 TT(8,2)=TT(8,2)+W*I*MASSA(M)
 TT(9,3)=TT(9,3)+W*I*MASSA(M)
 TT(10,4)=TT(10,4)+0
 TT(11,5)=TT(11,5)+0
 TT(12,6)=TT(12,6)+0
 GOTO 250

- MATRIZ 13x13 NUMERICA ESTATICA
 OU DINAMICA C/ESTRUT. SECUND.

150 DO 160 I=1,6

- OBTENCAO DE (C1-I)

160 MT(I,I)=MF(I,I)=1
 CALL INVER(MT,13,1,7,6)
 DO 180 I=1,6
 DO 170 J=7,12

- MULT. DE C2 INV. POR (C1-I)

V(J=6)=MT(I,J)

- RESULTADO NO MULTIPLICANDO

170 MT(I,J)=0

```

      DO 180 J=1,6
      DO 180 K=1,6
C 180 MT(I,J+6)=MT(I,J+6)+V(K)*MT(K,J) - MULTIPLICACAO DE C4 PELO
C                                     RESULTADO ANTERIOR
      DO 200 I=7,12
      DO 190 J=7,12
      V(J-6)=MT(I,J)
C 190 MT(I,J)=0 - C4 X RESULT. ANTERIOR
C                                     - RESPOSTA EM C4
      DO 200 J=7,12
      DO 200 K=7,12
C 200 MT(I,J)=MT(I,J)+V(K-6)*MT(K-6,J) - C3 + RESULT. ANTER. ACRESCENT.
C                                     - A T(13X13)
      DO 210 I=7,12
      DO 210 J=1,6
C 210 TT(I,J)=TT(I,J)+MT(I,J)+MT(I,J+6)
      IF(INF=3)250,250,140
C                                     - MATRIZ 13X13 NUMERICA ESTATICA
C                                     - OU DINAMICA COM RAMIFICACAO
C 220 CALL INVER(MT,13,1,1,6)
      DO 230 I=1,6
      DO 230 J=1,6
      DO 230 K=1,6
C 230 MT(I,J+6)=MT(I,J+6)+MT(I+6,K)*MT(K,J) - RESULT. NA POS. CORRESP. A C2
C
      DO 240 I=7,12
      DO 240 J=1,6
C 240 TT(I,J)=TT(I,J)+MT(I-6,J+6) - RESULT. ACRESCENT. A T(13,13)
      IF(INF=5)250,250,140
C 250 RETURN
      END

```

```

C
C
C SUBROUTINE IGUAL(SMAT1,SMAT2)
C====SUBROTINA QUE FAZ A SEGUNDA MATRIZ IGUAL A PRIMEIRA
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION SMAT1(13,13),SMAT2(13,13)
      DO 50 I=1,13
      DO 50 J=1,13
C 50 SMAT2(I,J)=SMAT1(I,J)
      RETURN
      END

```

```

C
C
C     SUBROUTINE DETER(A,N,DA)
C
C     ESTA SUBROTINA CALCULA DETERMINANTES PELO METODO DO PIVOT
C
    IMPLICIT REAL*8 (A-H,D-Z)
    ABS(X)=DAES(X)
    DIMENSION A(N,N)
    DA=1.
    DO 105 K=1,N-1
    L=K
    PEQ=1.E-06
    IF (ABS(A(K,K))-PEQ)5,5,35
    5  L=L+1
    IF (ABS(A(L,K))-PEQ)10,10,25
    10 IF (L=N)5,15,15
    15 WRITE(5,20)
    20 FORMAT(10X,'MATRIZ SINGULAR - DA=0.')
```

RETURN

```

25  DA=-DA
    DO 30 J=K,N
    TRANS=A(K,J)
    A(K,J)=A(L,K)
    30 A(L,K)=TRANS
    DO 100 I=K+1,N
    DO 90 J=K+1,N
    90 A(I,J)=A(I,J)-A(K,J)*A(I,K)/A(K,K)
    100 CONTINUE
    105 DA=DA*A(K,K)
    DA=DA*A(N,N)
    WRITE(5,110)DA
    110 FORMAT(1H1,'DETERMINANTE DA MATRIZ -A= ',//,10X,'DA =',E10.2)
    RETURN
    END
```

```

C
C
C     SUBROUTINE CPARA(A,B,M)
C
C     =====SUBROTINA QUE ATUALIZA O VETOR D6S 41X140S (VE)
C
    IMPLICIT REAL*8 (A-H,D-Z)
    ABS(X)=DAES(X)
    DIMENSION A(13,3),B(13)
    DO 100 I=1,13
    IF (ABS(A(I,2))-ABS(B(I)))20,100,100
    20 A(I,2)=B(I)
    A(I,1)=M
    100 CONTINUE
    RETURN
    END
```

```

C
C
C      SUBROUTINE MLTP(CPW1,CPW2,T,F,R,V,INM)

```

```

C=====SUBROTINA PARA A MULTIPLICACAO DE MATRIZES NOS VARIOS CASOS

```

```

C      INM=1 - PRODUTO NUMERICO T*F      - RESULT. EM R
C      INM=2 - PRODUTO DE T OU F POR CPW2 - RESULT. EM CPW1
C      INM=3 - PRODUTO DE CPW1 POR CPW2  - RESULT. EM CPW1
C      INM=4 - PRODUTO DE CPW1 POR T     - RESULT. EM CPW1
C      INM=5 - PRODUTO DE T POR V       - RESULT. EM V

```

```

C      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

```

```

C      DIMENSION CPW1(169,22),CPW2(169,22),T(13,13),F(13,13),R(13,13),CP(
C      *13,2),V(13)
C      GOTO(100,200,300,400,450)INM

```

```

C      INM=1

```

```

C 100 DO 110 I=1,13
C     DO 110 J=1,13

```

```

C 110 R(I,J)=0

```

```

C     DO 120 I=1,13

```

```

C     DO 120 J=1,13

```

```

C     DO 120 K=1,13

```

```

C 120 R(I,J)=R(I,J)+T(I,K)*F(K,J)

```

```

C     GOTO 600

```

```

C      INM=2

```

```

C 200 DO 290 I=1,13

```

```

C     DO 290 J=1,13

```

```

C     DO 290 L=1,22

```

```

C     DO 290 K=1,13

```

```

C     M=(I-1)*13+J

```

```

C     N=(K-1)*13+J

```

```

C     IF(CPW2(N,L))280,290,280

```

```

C 280 CPW1(M,L)=CPW1(M,L)+T(I,K)*CPW2(N,L)

```

```

C 290 CONTINUE

```

```

C     GOTO 500

```

```

C      - INM=3

```

```

C 300 DO 390 LL=1,13

```

```

C     DO 310 JJ=1,13

```

```

C      - TRANSFERENCIA DOS BLOCOS

```

```

C     MM=(LL-1)*13+JJ

```

```

C     DO 310 KK=1,2

```

```

C     CP(JJ,KK)=CPW1(MM,KK)

```

```

C 310 CPW1(MM,KK)=0

```

```

C      - MULT. PROPRIAMENTE DITA

```

```

C     DO 390 I=1,13

```

```

C     DO 390 II=1,2

```

```

C     IL=I-II

```

```

C     LLL=22+IL

```

```

C     DO 390 L=1,LLL

```

```

C     LK=L+II-1

```

```

C     DO 390 K=1,13

```

```

C     M=(LL-1)*13+I

```

```

C     N=(K-1)*13+I

```

```

C     IF(CPW2(N,L))380,390,380

```

```

C 380 CPW1(M,LK)=CPW1(M,LK)+CP(K,II)*CPW2(N,L)

```

```

C 390 CONTINUE

```

```

C     GOTO 500

```

```

C      - INM=4

```

```

C 400 DO 420 I=1,13

```

```

C     DO 410 J=1,13

```

```

C     M=(I-1)*13+J

```

```

C     DO 410 K=1,2

```

```

C     CP(J,K)=CPW1(M,K)

```

```

C 410 CPW1(M,K)=0

```

```

C     DO 420 IJ=1,13

```

```

C     N=(I-1)*13+IJ

```

```

C     DO 420 L=1,2

```

```

C     DO 420 K=1,13

```

```

C 420 CPW1(N,L)=CPW1(N,L)+CP(K,L)*T(K,IJ)

```

```

C     GOTO 500

```

```

C      - INM=5

```

```

C 450 DO 460 I=1,13

```

```

C 460 CP(I,1)=0

```

```

C     DO 470 I=1,13

```

```

C     DO 470 J=1,13

```

```

C 470 CP(I,1)=CP(I,1)+T(I,J)*V(J)

```

```

C     DO 480 I=1,13

```

```

C 480 V(I)=CP(I,1)

```

```

C     GOTO 560

```

```

C 500 DO 550 I=1,169

```

```

C     DO 550 J=1,22

```

```

550 CPW2(I,J)=0
560 DO 570 I=1,13
    DO 570 J=1,2
570 CP(I,J)=0
600 RETURN
    END

```

```

C
C
C      SUBROUTINE CCNAF(M,LRR,L,KTI)

```

```

C=====SUBROTINA QUE APLICA CONDICIONES DE CONTURNO DO APOIO DA
C=====RAMIFICACAO A MATRIZ DA MESMA
C

```

```

    IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
    DIMENSION LRR(6),M(13,13),L(6)
    INTEGER P
    REAL*8 M
    DO 22 I=1,6

```

```

    IF(LRR(I)-1)10,20,10

```

- 1(FIXO)/0(LIVRE)

```

10 L(I)=I

```

- FORMACAO DO VETOR DOS NUMEROS

- DAS COLUNAS QUE PERMANECEM

```

    GOTO 22

```

- ORDENACAO DO VETOR

```

20 L(I)=I+6

```

```

22 CONTINUE

```

```

25 DO 50 I=1,5

```

```

    IF(L(I)-L(I+1))50,50,40

```

```

40 N=1

```

```

    TR=L(I)

```

```

    L(I)=L(I+1)

```

```

    L(I+1)=TR

```

```

50 CONTINUE

```

```

    IF(N)60,60,55

```

```

55 N=0

```

```

    GOTO 25

```

- REARRUMACAO DA MATR. A ESQUERDA

```

60 DO 80 I=1,6

```

```

    N=L(I)

```

```

    DO 70 K=1,13

```

```

70 M(K,I)=M(K,N)

```

```

80 CONTINUE

```

- REARRUM. DAS LINHAS ACIMA

```

    IF(KTI-1)84,89,84

```

```

84 DO 88 I=1,6

```

```

    N=L(I)

```

```

    DO 85 K=1,6

```

```

85 M(I,K)=M(N,K)

```

```

    M(I,13)=M(N,13)

```

```

88 CONTINUE

```

- ZERAGEM DA PARTE DIREITA

```

89 DO 90 I=7,12

```

```

    DO 90 J=1,13

```

```

90 M(J,I)=0

```

```

    RETURN

```

```

    END

```

```

C
C
C      SUBROUTINE GEHAT(M,N)
C=====SUBROTINA QUE MONTA MATRIZ 13X13 DE PARTES DA ESTRUTURA USANDO
C=====O CONTEUDO DE CPW1 E A FREQUENCIA
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION CPW1(169,22),DD(15),DI(2),DT(6),DM(3),DMF(27),DMT(20),DI
      *R(12),ESQ(12),INER(2),LCAB(4),MF(5),MAXD(400,12),M(13,13)
      DIMENSION MASSA(201),OBS1(20),OBS2(20),OBS3(20),R(9),T(13,13),VEE(
      *13),VE(13,3),VVDI(12),RAMIF(6)
      INTEGER RAMIF
      REAL*8 MAXD,M,MASSA
      COMMON CPW1,DD,DI,DT,DM,DMF,DMT,DIR,ESQ,MAXD,MASSA,OBS1,OBS2,OBS3
      COMMON R,T,VEE,VE,VVDI
      COMMON INER,LCAB,MF,RAMIF
      DO 20 I=1,13
      DO 20 J=1,13
      K=(I-1)*13+J
      AH=0
      IF(N)15,15,5
5      DO 10 L=2,22
      AH=AH+CPW1(K,L)*N**(2*(L-1))
10     CPW1(K,L)=0
15     M(I,J)=CPW1(K,1)+AH
20     CPW1(K,1)=0
      RETURN
      END

```

```

C
C
C      SUBROUTINE CONCB(ID,INC,IER,MAX,ICOD)
C=====SUBROTINA PARA TESTAR CONSISTENCIA DE DADOS DOS ELEMENTOS
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      ABS(X)=DABS(X)
      DIMENSION CPW1(169,22),DD(15),DI(2),DT(6),DM(3),DMF(27),DMT(20),DI
      *R(12),ESQ(12),INER(2),LCAB(4),MF(5),MAXD(400,12)
      DIMENSION MASSA(201),OBS1(20),OBS2(20),OBS3(20),R(9),T(13,13),VEE(
      *13),VE(13,3),VVDI(12),RAMIF(6)
      INTEGER RAMIF
      REAL*8 MAXD,MASSA
      COMMON CPW1,DD,DI,DT,DM,DMF,DMT,DIR,ESQ,MAXD,MASSA,OBS1,OBS2,OBS3
      COMMON R,T,VEE,VE,VVDI
      COMMON INER,LCAB,MF,RAMIF
      IER=0
      INC=0
      DO 100 K=1,2
      IF(ABS(DI(K))-1000.)101,102,102
101     J=DI(K)
      IF(J)103,103,104
104     IF(J=MAX)100,100,103
103     IER=ICOD
      RETURN
102     IER=1
      RETURN
100     CONTINUE
      J=DI(2)=DI(1)
      IF(ID.EQ.' ')GOTO 107
      ID='!'
      GOTO 106
107     INC=1
      IF(J=5)108,108,109
109     IER=15
108     RETURN
      END

```

```

C
C
C
C
SUBROUTINE VECAR(TEM,W,VEL,II,XL)

```

```

C====SUBROTINA QUE GERA OS VETORES DE CARGA DINAMICOS NOS EXTREMOS DA
C====BARRA CARREGADA PARA USO NAS MATRIZES FRONTEIRA

```

```

C
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
SIN(X)=DSIN(X)
COS(X)=DCOS(X)
DIMENSION CPW1(169,22),DD(15),DI(2),DT(6),DM(3),DMF(27),DMT(20),DI
*R(12),ESQ(12),INER(2),LCAB(4),MF(5),MAXD(400,12)
DIMENSION MASSA(201),OBS1(20),OBS2(20),OBS3(20),R(9),T(13,13),VEE(
*13),VE(13,3),VVDI(12),RAMIF(6)
REAL*8 MAXD,MASSA
REAL*8 HE,MD
INTEGER RAMIF
COMMON CPW1,DD,DI,DT,DM,DMF,DMT,DIR,ESQ,MAXD,MASSA,OBS1,OBS2,OBS3
COMMON R,T,VEE,VE,VVDI
COMMON INER,LCAB,MF,RAMIF
ESFOR(A,B,T)=A*T**2+B*T**3
DLDC1(F,XM,W,T)=F*(1-COS(W*T))/XM*W**2
DLDC2(A,XM,W,T)=A*(T-SIN(W*T))/W)/XM*W**2
DLDC3(B,XM,W,T)=B*(T**2+2*COS(W*T)/W**2-2/W**2)/XM*W**2
DLDC4(C,XM,W,T)=C*(T**3+6*SIN(W*T)/W**3-6*T/W**2)/XM*W**2

```

```

C====CALCULO DOS ESFORÇOS

```

```

C
F=1.
A=VEL
B1=-3*VEL**2/XL**2
B2=-2*VEL**2/XL
B3=-B1
B4=B2/2
C1=2*VEL**3/XL**3
C2=C1*XL/2
C3=-C1
C4=C2
P1=1+ESFOR(B1,C1,TEM)
P2=A*TEM+ESFOR(B2,C2,TEM)
P3=ESFOR(B3,C3,TEM)
P4=ESFOR(B4,C4,TEM)

```

```

C====CALCULO DOS DESLOCAMENTOS

```

```

C
ME=MASSA(II)
MD=MASSA(II+1)
D1=DLDC1(F,ME,W,TEM)+DLDC3(B1,ME,W,TEM)+DLDC4(C1,ME,W,TEM)
D2=DLDC2(A,ME,W,TEM)+DLDC3(B2,ME,W,TEM)+DLDC4(C2,ME,W,TEM)
D3=DLDC3(B3,MD,W,TEM)+DLDC4(C3,MD,W,TEM)
D4=DLDC3(B4,MD,W,TEM)+DLDC4(C4,MD,W,TEM)

```

```

C====MONTAGEM DOS VETORES DE SAIDA

```

```

C
ESQ(2)=D1
ESQ(6)=D2
ESQ(8)=P1
ESQ(12)=P2
DIR(2)=D3
DIR(6)=D4
DIR(8)=P3
DIR(12)=P4
RETURN
END

```

```

C
C
C      SUBROUTINE TRANS(XL)
C=====SUBROUTINA QUE MONTA A MATRIZ DE TRANSFERENCIA DE BARRA
C=====NO SISTEMA GLOBAL
C
  IMPLICIT REAL*8 (A-H,U-Z)
  DIMENSION CPWI(169,22),CD(15),DI(2),DT(6),DM(3),DMF(27),DMT(20),DI
  *R(12),ESQ(12),INER(2),LCAB(4),MF(5),MAXD(400,12)
  DIMENSION MASSA(201),OBS1(20),OBS2(20),OBS3(20),R(9),T(13,13),VEEC
  *13),VE(13,3),VVDI(12),RAMIF(6),A(10)
  REAL*8 MAXD,MASSA
  INTEGER RAMIF
  COMMON CPWI,DD,DI,DT,DM,DMF,DMT,DIR,ESQ,MAXD,MASSA,OBS1,OBS2,OBS3
  COMMON R,I,VEE,VE,VVDI
  COMMON INER,LCAB,MF,RAMIF
C-----MATRIZ TRANSFERENCIA SISTEMA LOCAL
  DO 10 J=1,13
  DO 10 K=1,13
10    T(J,K)=0.
      T(13,13)=1.
      A(1)=-XL/DMT(1)/DMT(5)
      A(3)=-XL/DMT(3)/DMT(5)
      A(4)=-XL/DMT(4)/DMT(5)
      A(2)=-XL/DMT(2)/DMT(6)
      A(5)=XL*A(4)/2.
      A(6)=-XL*A(5)/3.
      A(7)=XL*A(3)/2.
      A(9)=-XL*A(7)/3.
      A(8)=-A(7)
      A(10)=-A(5)
C-----SISTEMA GLOBAL
      T(1,5)=(R(4)*R(8)-R(5)*R(7))*XL
      T(1,6)=(R(4)*R(9)-R(6)*R(7))*XL
      T(2,6)=(R(5)*R(9)-R(6)*R(8))*XL
      T(2,4)=-T(1,5)
      T(3,4)=-T(1,6)
      T(3,5)=-T(2,6)
      T(10,8)=-T(1,5)
      T(10,9)=-T(1,6)
      T(11,7)=-T(10,8)
      T(11,9)=-T(2,6)
      T(12,7)=-T(10,9)
      T(12,8)=-T(11,9)
      DO 20 J=1,3
      JA=J+3
      JB=J+6
      JC=J+9
      DO 20 K=1,3
      KA=K+3
      KB=K+6
      KC=K+9
      T(J,K)=R(J)*R(K)+R(JA)*R(KA)+R(JB)*R(KB)
      T(J,KB)=R(J)*R(K)*A(1)+R(KA)*R(JA)*A(6)+R(JB)*R(KB)*A(9)
      T(J,KC)=R(JA)*R(KB)*A(5)+R(KA)*R(JB)*A(8)
      T(JA,KB)=R(JA)*R(KB)*A(7)+R(KA)*R(JB)*A(10)
      T(JA,KC)=R(J)*R(K)*A(2)+R(JA)*R(KA)*A(3)+R(JB)*R(KB)*A(4)
      T(JA,KA)=T(J,K)
      T(JB,KB)=-T(J,K)
      T(JC,KC)=-T(J,K)
20    RETURN
11  END

```

```

C
C
C      SUBROUTINE PEDJ(NV,INC)
C=====SUBROUTINA QUE GRAVA OS DADOS RELATIVOS AS JUNTAS
C
  IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
  DIMENSION CPW1(169,22),DD(15),DI(2),DT(6),DM(3),DMF(27),DMT(20),DI
  *R(12),ESQ(12),INER(2),LCAB(4),MF(5),MAXD(400,12)
  DIMENSION MASSA(201),OBS1(20),OBS2(20),OBS3(20),R(9),T(13,13),VEE(
  *13),VE(13,3),VVDI(12),RAMIF(6)
  INTEGER RAMIF
  REAL*8 MAXD,MASSA
  COMMON CPW1,DD,DI,DT,DM,DMF,DMT,DIR,ESQ,MAXD,MASSA,OBS1,OBS2,OBS3
  COMMON R,T,VEE,VE,VVDI
  COMMON INER,LCAB,MF,RAMIF
  N1=DI(1)
  N2=DI(2)
  K=0
  DO 100 I=N1,N2
  K=1+K*INC
  READ(12,'I')MF,DMF
  IF(NV=3)20,20,10
  MF(4)=1
10  DMF(NV)=DI(K)
20  WRITE(12,'I')MF,DMF
100  INC=K
      RETURN
      END

```

```

C
C
C      SUBROUTINE PEDS(I,INC,MT)
C=====SUBROUTINA QUE GRAVA OS DADOS RELATIVOS AS BARRAS
C
  IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
  DIMENSION CPW1(169,22),DD(15),DI(2),DT(6),DM(3),DMF(27),DMT(20),DI
  *R(12),ESQ(12),INER(2),LCAB(4),MF(5),MAXD(400,12),MT(5)
  DIMENSION MASSA(201),OBS1(20),OBS2(20),OBS3(20),R(9),T(13,13),VEE(
  *13),VE(13,3),VVDI(12),RAMIF(6)
  INTEGER RAMIF
  REAL*8 MAXD,MASSA
  COMMON CPW1,DD,DI,DT,DM,DMF,DMT,DIR,ESQ,MAXD,MASSA,OBS1,OBS2,OBS3
  COMMON R,T,VEE,VE,VVDI
  COMMON INER,LCAB,MF,RAMIF
  N1=DI(1)
  N2=DI(2)
  K=0
  NV=I-9
  DO 100 J=N1,N2
  K=1+K*INC
  READ(11,'JJ')MT,DMT
  IF(NV=6)10,10,20
10  MT(3)=1
  GO TO 30
20  MT(5)=1
30  DMT(NV)=DI(K)
100  WRITE(11,'J')MT,DMT
      CONTINUE
      INC=K
      RETURN
      END

```

```

C
C
C
SUBROUTINE PEJL(NV,N)

```

```

C====SUBROTINA PARA ASSINALAR JUNTAS COM LIBERACOES

```

```

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
DIMENSION CPW1(169,22),DD(15),DI(2),DT(6),DM(3),DMF(27),DMT(20),DI
R(12),ESQ(12),INER(2),LCAB(4),MF(5),MAXD(400,12)
DIMENSION MASSA(201),OBS1(20),OBS2(20),OBS3(20),R(9),T(13,13),VEE(
*13),VE(13,3),VVDI(12),RAMIF(6)
INTEGER RAMIF
REAL*8 MAXD,MASSA
COMMON CPW1,DD,DI,DT,DM,DMF,DMT,DIR,ESQ,MAXD,MASSA,OBS1,OBS2,OBS3
COMMON R,T,VEE,VE,VVDI
COMMON INER,LCAB,MF,RAMIF
DO 40 I=1,N
J=DD(I)
READ(12,J)MF,DMF
MF(5)=1
30 DMF(NV)=1.E+15
40 WRITE(12,J)MF,DMF
RETURN
END

```

```

C
C
C
SUBROUTINE PEJR(N)

```

```

C====SUBROTINA PARA ASSINALAR JUNTAS COM RAMIFICACOES

```

```

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
DIMENSION CPW1(169,22),DD(15),DI(2),DT(6),DM(3),DMF(27),DMT(20),DI
R(12),ESQ(12),INER(2),LCAB(4),MF(5),MAXD(400,12)
DIMENSION MASSA(201),OBS1(20),OBS2(20),OBS3(20),R(9),T(13,13),VEE(
*13),VE(13,3),VVDI(12),RAMIF(6)
REAL*8 MAXD,MASSA
INTEGER RAMIF
COMMON CPW1,DD,DI,DT,DM,DMF,DMT,DIR,ESQ,MAXD,MASSA,OBS1,OBS2,OBS3
COMMON R,T,VEE,VE,VVDI
COMMON INER,LCAB,MF,RAMIF
DO 10 I=1,N
J=I-1
K=3+J*5
L=RAMIF(K)
READ(12,L)MF
MF(3)=1
10 WRITE(12,L)MF
RETURN
END

```

```

C
C-----PROGRAMA PRINCIPAL
C
C-----DEFINICAO DE CONSTANTES E VARIAVEIS
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
ABS(X)=DAES(X)
SQRT(X)=DSQRT(X)
SIN(X)=DSIN(X)
COS(X)=DCOS(X)
ATAN(X)=DATAN(X)
SIGN(X,Y)=DSIGN(X,Y)
DIMENSION CPW1(169,22),CPW2(169,22),DD(15),DI(2),DT(6),DM(3),DIR(1
*2),ESQ(12),F(13,13),FS(13,13),FR(13,13),INER(2),INDIC(23),KDE(4),L
*RE(6),LRD(6),LRR(6),LCAB(4),LX(6),MF(5),MAG(13),MAG1(13),MAXD(400,
*12),OMEG(20),OBS1(20),OBS2(20),OBS3(20),PINIC(3),PMEDI(24),PFINA(5
*)PACT(8,4),R(9),RE(13,13),T(13,13),VEE(13),VE(13,3),VAR(13),VAS(1
*3),VVDI(12),DMF(27),MT(5),DMT(20),ZZ(6,6)
DIMENSION KDE1(24),KDE2(92),KDE3(75),KDE4(8),KDE5(8)
DIMENSION LRR1(6),LRR2(6),LRR3(6),LRR4(6),LRR5(6),LRR6(6),LRR7(6)
DIMENSION FR1(13,13),FR2(13,13),FR3(13,13),FR4(13,13),FR5(13,13),F
*R6(13,13)

INTEGER CNT,FINIC,PMEDI,PFINA,RAMIF(36),SECUN(6),CPW3(169,5)
INTEGER BSEC,BRAM

REAL*8 IPACT(12,2),MASSA(201),MAXD,M1(13,13),M2(13,13),M3(13,13),M
*4(13,13),M5(13,13),M6(13,13),M7(13,13),M8(13,13),M9(13,13),M10(13,
*13),M11(13,13),M12(13,13),M13(13,13),M14(13,13),M15(13,13),M16(13,
*13),M17(13,13),M18(13,13),M19(13,13),M20(13,13),M21(13,13),M22(13,
*13),M23(13,13),MASS

COMMON CPW1,DD,DI,DT,DM,DMF,DMT,DIR,ESQ,MAXD,MASSA,OBS1,OBS2,OBS3
COMMON R,T,VEL,VE,VVDI
COMMON INER,LCAB,MF,RAMIF
EXTERNAL FEVR,INVER

DATA KDE1/'','E','S','T',' ',' ',' ',' ','C','1',' ',' ',' ','C','2',' ',' ',' ','
*'C','3',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ','
DATA KDE2/' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ','P','I','N',' ',' ','P','M','E',' ',' ','P','S
*'F','I',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ','N','S',' ',' ','N','B','R',' ',' ','N','R','I',' ',' ','N','R','
*'F',' ','L','R','R',' ',' ','I','N','E',' ',' ','L','R','E',' ',' ','L','R','O
*' ','L','Y','X',' ',' ','L','Z','Y',' ',' ','L','Z','Y',' ',' ','L','X','X'
*' ','L','Y','Y',' ',' ','L','Z','Z',' ',' ','L','Z','Y',' ',' ','L','X','X'

DATA KDE3/' ',' ',' ','X',' ',' ','Y',' ',' ','Z',' ',' ','K','Y','X','X','K','Y
*'K','X',' ',' ','K','Z',' ',' ','K','Z',' ',' ','K','X','X','K','Y
*'Y',' ',' ','I','Z',' ',' ','E',' ',' ','G',' ',' ','X','P
*' ',' ','Y','P',' ',' ','Z','P',' ',' ','

DATA KDE4/' ',' ','I','M','P',' ',' ','E','X','E'/'

DATA KDE5/' ',' ','E','S','T',' ',' ','F','I','M'/'
MASS(X,Y)=X*Y*2.4/9.81*0.5

C
C-----ENTRADA DE DADOS - DEFINICAO ELASTICA E GEOMETRICA DA ESTRUTURA
C-----INICIALIZACAO DE VARIAVEIS
C
C
C      BARRAS
C      NBAR=0
C      RAMIFICACOES
C      NRAM=0
C      NSEC=0
C
C      JUNTAS
C      NJUN=0
C      DO 10 I=1,5
C      MF(I)=0
C      10 R(I)=0
C
C      RESTRICAOES DOS VETORES EXTREMOS
C      DO 20 I=1,6
C      LRE(I)=1
C      LIVRE = VALOR 0
C
C      LRD(I)=1
C      SECUN(I)=0
C      RAMIF(I)=0
C      20 R(I+3)=0
C
C      CONTROLE DE CABECALHO

```

```

DU 30 I=1,4
30 LCAB(I)=2
   LCAB(I)=1
   CALL CABP

```

C====IDENTIFICACAO DA ESTRUTURA

```

35 READ(8,40)KOD
40 FORMAT(4A1)
   WRITE(5,50)KOD
50 FORMAT(/1X,4A1)
   I=0
   DO 70 J=1,21,4
     K=J+3
     I=I+1
     IF(ITEST(KDE1,J,K,KOD,1))70,60,70
60 GOTO(35,80,90,100,110,113),I
70 CONTINUE
75 WRITE(5,76)KOD
76 FORMAT(/20X,'CODIGO (('4A1')) INVALIDO OU FALTA CARTAO /*',//)
   CALL EXIT
80 READ(8,83)CBS1
   WRITE(5,86)CBS1
83 FORMAT(20A4)
86 FORMAT(1X,20A4)
   LCAB(2)=1
   GOTO 35
90 READ(8,83)CBS2
   WRITE(5,86)CBS2
   LCAB(3)=1
   GOTO 35
100 READ(8,83)CBS3
   WRITE(5,86)CBS3
   LCAB(4)=1
110 GOTO 35
115 WRITE(5,116)KOD,IO,(DU(K),K=1,N)
116 FORMAT(1X,4A1,A1,15F5.0)
   GOTO 120

```

C====DEFINICAO GERAL DA ESTRUTURA

```

118 CALL CABP
   NLH=0
120 READ(8,130)KOD,IO,DD
130 FORMAT(4A1,A1,15F5.0)
   NLH=NLH+1
   IF(NLH=60)135,135,133
133 CALL CABP
   NLH=0
135 I=0
   DO 150 J=1,69,4
     K=J+3
     I=I+1
     IF(ITEST(KDE2,J,K,KOD,1))150,140,150
140 INDIC(I)=1
   GOTO(160,170,180,190,200,210,220,230,240,250,260,270,271,280,290,3
*00,310,310,310,310,310,310,320),I
150 CONTINUE
   GOTO 75

```

C - CARTAO ///N

```

160 CALL CONCA(1,200,IER,2,N)
   IF(IER)162,162,330
162 NBAR=DD(1)
   NJ=NBAR+1
   WRITE(5,164)KOD,DD(1)
164 FORMAT(1X,4A1,1X,2F5.0)
   DO 166 I=1,NJ
166 WRITE(12,I)MF,DMF
   DO 168 I=1,NBAR
168 WRITE(11,I)MT,DMT,R,DM
   GOTO 120

```

C - CARTAO /PIN

```

170 CALL CONCA(3,200,IER,10,N)
   IF(IER)172,172,330
172 IF(N=3)173,174,173
173 IER=10
   GOTO 75
174 DO 175 I=1,N
175 PINIC(I)=DD(I)
176 WRITE(5,218)KOD,(DD(I),I=1,N)
   GOTO 120

```

```

C
180 CALL CONCA(3,200,IER,11,N)
IF(IER)182,182,330
182 IF(N=3)183,184,183
183 IER=11
GOTO 75
184 KPME=KPME+1
NPM=KPME*3
IPM=NPM*2
DO 185 I=1,3
IZ=I+IPM*1
185 PMEDI(IZ)=DD(I)
NPMED=KPME
GOTO 176
- CARTAG /PME

C
190 CALL CONCA(5,200,IER,12,N)
IF(IER)192,192,330
192 IF(N=5)193,194,193
193 IER=12
GOTO 75
194 DO 195 I=1,N
195 PFINA(I)=DD(I)
GOTO 176
- CARTAG /PFI

C
200 CALL CONCA(1,200,IER,3,N)
IF(IER)202,202,330
202 SECUN(1)=DD(1)
WRITE(5,164)KGD,DD(1)
GOTO 120
- CARTAG //NS

C
210 NSEC=SECUN(1)
CALL CONCA(NSEC,50,IER,4,N)
IF(IER)212,212,330
212 IF(NSEC=N)214,216,214
214 IER=5
GOTO 330
216 DO 215 I=1,N
J=I-1
K=J*5+2
215 SECUN(K)=DD(I)
WRITE(5,218)KGD,(DD(I),I=1,N)
218 FORMAT(1X,4A1,1X,15F5.0)
GOTO 120
- CARTAG /NBS

C
220 BSEC=NSEC*2
L=3
221 CALL CONCA(BSEC,200,IER,5,N)
IF(IER)222,222,330
222 IF(BSEC=N)224,226,224
224 IER=5
GOTO 330
226 M=1
DO 227 I=1,N,2
J=I-M
K=J*5+L
SECUN(K)=DD(I)
SECUN(K+2)=DD(I+1)
227 M=M+1
WRITE(5,218)KGD,(DD(I),I=1,N)
GOTO 120
- CARTAG /BSE

C
230 L=4
GOTO 221
- CARTAG /BSD

C
240 CALL CONCA(1,50,IER,6,N)
IF(IER)242,244,242
242 GOTO 330
244 RAMIF(1)=DD(1)
WRITE(5,164)KGD,DD(1)
GOTO 120
- CARTAG //NR

C
250 NRAM=RAMIF(1)
CALL CONCA(NRAM,50,IER,7,N)
IF(IER)252,252,330
252 IF(NRAM=N)254,256,254
254 IER=7
GOTO 330
256 DO 258 I=1,N
J=I-1
K=J*5+2
258 RAMIF(K)=DD(I)
- CARTAG /NBR

```

```

WRITE(5,218)KDD,(DD(I),I=1,N)
GOTO 120
C
260 BRAM=NRAM*2
L=3
261 CALL CONCA(BRAM,200,IER,7,N)
IF(IER)262,262,330
262 IF(BRAM=N)264,266,264
264 IEN=7
GOTO 330
266 M=1
DO 267 I=1,N,2
J=I-M
K=J*5+L
RAMIF(K)=DD(I)
RAMIF(K+2)=DD(I+1)
267 M=M+1
WRITE(5,218)KDD,(DD(I),I=1,N)
IF(L=4)268,120,268
268 CALL PEJR(NRAM)
GOTO 120
C
270 L=4
GOTO 261
C
271 KLRR=KLRR+1
DO 279 I=1,6
GOTO(272,273,274,275,276,277,278)KLRR
272 LRR1(I)=DD(I)
GOTO 279
273 LRR2(I)=DD(I)
GOTO 279
274 LRR3(I)=DD(I)
GOTO 279
275 LRR4(I)=DD(I)
GOTO 279
276 LRR5(I)=DD(I)
GOTO 279
277 LRR6(I)=DD(I)
GOTO 279
278 LRR7(I)=DD(I)
279 CONTINUE
WRITE(5,218)KDD,(DD(I),I=1,6)
GOTO 120
C
280 CALL CONCA(1,22,IER,8,N)
IF(IER)282,282,330
282 WRITE(5,184)KDD,DD(1)
INER(1)=DD(1)/10
DD(1)=DD(1)-10
IF(DD(1)=10)286,286,284
284 INER(1)=DD(1)
GOTO 120
C
288 DO 292 I=1,6
289 INER(I)=DD(I)
290 WRITE(5,184)KDD,(DD(I),I=1,6)
GOTO 120
C
300 DO 302 I=1,6
302 LRD(I)=DD(I)
GOTO 294
C
310 CALL CONCA(15,200,IER,9,N)
IF(IER)312,312,330
312 K=I-7
CALL PEJL(K,N)
GOTO 115
C
320 WRITE(5,50)KDD
TOTAL=TOTAL+PINIC(I)
DO 321 I=1,24,3
321 TOTAL=TOTAL+PMEDI(I)
DO 322 I=1,NSEC
J=I-1
K=J*5+2
322 TOTAL=TOTAL+SECUN(K)
DO 323 I=1,NRAM
J=I-1
K=J*5+2

```

- CARTAG = /NRI

- CARTAG /NRF

- CARTAG *LRR

- CARTAG /INE

- CARTAG *LRE

- CARTAG *LRD

- CARTOES **LX ... *LZZ

- CARTAG /*

```

323 TOTAL=TOTAL+RAMIF(K)
    TOTAL=TOTAL+PFINA(1)
    IF(NBAR=TCIAL)324,326,324
324 WRITE(5,325)
325 FORMAT(/20X,'NUMERO TOTAL DE BARRAS DADO DIFERE DO CALCULADO',/)
    CALL EXIT
326 DO 329 I=1,23
    J=INDIC(I)
    IF(J)329,333,329
333 KODOM=KODOM+1
329 CONTINUE
    IF(KODOM)327,334,327
327 WRITE(5,328)KODOM
328 FORMAT(/20X,13,3X,'OU MAIS CARTOES NAO FORAM UTILIZADOS NESTA DEF
*INICAD',/)
    GOTO 334
330 WRITE(5,332)KOD,DD
332 FORMAT(/5X,4A1,15F5.0,/)
    GOTO 655

```

C====CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS

```

334 KODOM=0
351 CALL CABP
    NLH=0
    DO 350 I=1,18
350 INDIC(I)=0
340 READ(8,342)KOD, ID,DI,DT
342 FORMAT(4A1,A1,2F5.0,6F10.0)
    NLH=NLH+1
    IF(NLH=60)343,343,345
345 CALL CABP
    NLH=0
343 I=0
    DO 410 J=1,73,4
    K=J+3
    I=I+1
    IF(ITEST(KDE3,J,K,KOD,1))410,360,410
360 INDIC(I)=1
    IF(I=19)365,361,365
361 DO 362 I=1,19
    J=INDIC(I)
    IF(J)362,363,362
363 KODOM=KODOM+1
362 CONTINUE
    WRITE(5,50)KOD
    IF(KODOM)411,415,411
365 IF(I=9)370,370,390
370 CALL CONCB(ID,INC,IER,NJ,13)
    IF(IER)380,380,640
380 CALL PEDJ(I,INC)
    IF(I=3)660,660,680
390 CALL CONCB(ID,INC,IER,NBAR,14)
    IF(IER)400,400,640
400 CALL PEDB(I,INC,MT)
    IF(I=15)680,680,660
410 CONTINUE
    GOTO 75
411 WRITE(5,328)KODOM
    GOTO 415

```

C====FORMACAO E GRAVACAO DOS VETORES DE ROTACAO

```

415 NUMB=PINIC(1)
    IJUN=PINIC(2)
    IBAR=PINIC(3)
    CALL COMPR(PEVR,NUMB,IJUN,IBAR,ICP,DX,DY,DZ,DXP,DYP,DZP,1,MT)
    -ESTR. PRINCIPAL INICIAL
    -ESTR. PRINCIPAL MEDIA
    DO 416 I=1,NPMED
    I1=(I*3)
    I2=I1-1
    I3=I1-2
    NUMB=PMEDI(I3)
    IJUN=PMEDI(I2)
    IBAR=PMEDI(I1)
416 CALL COMPR(PEVR,NUMB,IJUN,IBAR,ICP,DX,DY,DZ,DXP,DYP,DZP,2,MT)
    -ESTR. PRINCIPAL FINAL
    NUMB=PFINA(1)

```

```

IJUN=PFINA(2)
IBAR=PFINA(3)
CALL COMPB(PEVR,NUMB,IJUN,IBAR,ICP,DX,DY,DZ,DXP,DYP,DZP,3,MT)

```

```

C
GOTO 421
IJUN=PMEDI(2)
READ(12,IJUN)MF,DMF
DO 420 I=1,NS&C
J=I-1
K=J+2
NUMB=SECUN(K)
IJUN=SECUN(K+1)
IBAR=SECUN(K+3)
CALL COMPB(PEVR,NUMB,IJUN,IBAR,ICP,DX,DY,DZ,DXP,DYP,DZP,4,MT)
420 CONTINUE

```

- RAMIFICAC&ES

```

C
421 IF(NRAM)422,432,422
422 DO 430 I=1,NRAM
IF(NPMEU=1)428,424,428
424 IF(I=1)425,425,426
425 IJUN=PMEDI(2)
GOTO 429
426 IJUN=PFINA(2)
GOTO 429
428 I1=2+(I*3)
IJUN=PMEDI(I1)
429 READ(12,IJUN)MF,DMF
J=I-1
K=J+2
NUMB=RAMIF(K)
IJUN=RAMIF(K+1)
IBAR=RAMIF(K+3)
CALL COMPB(PEVR,NUMB,IJUN,IBAR,ICP,DX,DY,DZ,DXP,DYP,DZP,5,MT)
430 CONTINUE
432 READ(8,40)KDD

```

C
G
C = * * * IMPRESS&O DE VALORES E PASS&GEM A F&SE SEGUINTE

```

435 I=0
DO 450 J=1,5,4
K=J+3
I=I+1
IF(ITE&T(KDE4,J,K,KDD,1))450,440,450
440 GOTO(470,460),I
450 CONTINUE
GOTO 75
460 GOTO 700
470 CALL CABP
WRITE(5,480)
490 FORMAT(///1X,'ESTRUTURA PRINCIPAL INICIAL - LISTAGEM PARA CONFER
*ENCIA',//)
WRITE(5,480)
480 FORMAT(///1X,'BARRA',2X,'COMP&R.',4X,'BETA',32X,'R((1 A 5))',//)
IBAR=PINIC(1)
DO 510 K=1,IBAR
READ(11,K)MT,DMT,R,DM
WRITE(5,500)K,DM(1),DM(2),R
500 FORMAT(1X,I5,11F&.3)
510 CONTINUE
DO 540 I=1,NPMEU
CALL CABP
WRITE(5,520)I
520 FORMAT(///1X,'ESTRUTURA PRINCIPAL MEDIA - PARTE',I1,' - LISTAGEM
* PARA CONFERENCIA',//)
WRITE(5,480)
I=(I+3)+2
IBAR=IBAR+PMEDI(I1)
DO 530 J=1,IBAR
READ(11,J)MT,DMT,R,DM
WRITE(5,500)J,DM(1),DM(2),R
530 CONTINUE
K=J
540 CONTINUE
CALL CABP
WRITE(5,550)
550 FORMAT(///1X,'ESTRUTURA PRINCIPAL FINAL - LISTAGEM PARA CONFEREN
* CIA',//)
WRITE(5,480)
IBAR=IBAR+PFINA(1)
DO 570 K=1,IBAR

```

```

READ(11,'K)MT,DMT,R,DM
WRITE(5,500)K,DM(1),DM(2),R
570 CONTINUE
J=NK
GOTO 605
CALL CABP
WRITE(5,480)
IBAR=IBAR+SECUN(2)
DO 600 J=NK,IBAR
READ(11,'J)MT,DMT,R,DM
WRITE(5,500)J,DM(1),DM(2),R
600 CONTINUE
605 IF(NRAM)606,635,606
606 DO 630 I=1,NRAM
CALL CABP
WRITE(5,610)I
FORMAT(//1X,'RAMIFICACAO',I3,' - LISTAGEM PARA CONFERENCIA',//)
WRITE(5,480)
I1=(I*5)-3
IBAR=IBAR+RAMIF(I1)
DO 620 K=J,IBAR
READ(11,'K)MT,DMT,R,DM
WRITE(5,500)K,DM(1),DM(2),R
620 CONTINUE
J=NK
630 CONTINUE
635 READ(3,40)KCD
GOTO 435
640 WRITE(5,650)KCD,IO,OI
650 FORMAT(//5X,4A1,A1,2F5.0,///)
655 GOTO(656,658,661,663,665,667,669,672,674,676,678,681,683,685,687)I
*ER
660 WRITE(5,670)KOD,IO,OI,(OT(J),J=1,INC)
670 FORMAT(1X,4A1,A1,2F5.0,6F10.2)
GOTO 340
680 WRITE(5,690)KOD,IO,OI,(OT(J),J=1,INC)
690 FORMAT(1X,4A1,A1,2F5.0,6E15.8)
GOTO 340
656 WRITE(5,657)
657 FORMAT(//20X,'CONTEUDO DE CAMPO EXCEDENDO LIMITE MAXIMO',//)
GOTO 639
658 WRITE(5,659)
659 FORMAT(//20X,'NUMERO DE BARRAS OMISSO INVALIDO OU EXCEDENDO LIMITE
*,//)
GOTO 639
661 WRITE(5,662)
662 FORMAT(//20X,'NUMERO DE ESTRUTURAS SECUNDARIAS OMISSO OU INVALIDO'
*,//)
GOTO 639
663 WRITE(5,664)
664 FORMAT(//20X,'NUMERO DE BARRAS NA ESTRUTURA SECUNDARIA OMISSO INVA
*LIDOU EXCEDENDO LIMITES',//)
GOTO 639
665 WRITE(5,666)
666 FORMAT(//20X,'NUMERO DE CAMPOS NOS CARTOES //NES //BSE OU //BSD NA
*O CORRESPONDE AO NUMERO DADO EM ///NS',//,20X,'-- OU --',//,20X,'
*ALGUM CAMPO NESTES CARTOES E INVALIDO OU EXCEDE LIMITES',//)
GOTO 639
667 WRITE(5,668)
668 FORMAT(//20X,'NUMERO DE RAMIFICACOES OMISSO OU INVALIDO',//)
GOTO 639
669 WRITE(5,671)
671 FORMAT(//20X,'NUMERO DE CAMPOS NOS CARTOES //NBR //NRI OU //NRF NA
*O CORRESPONDE AO NUMERO DADO EM ///NR',//,20X,'-- OU --',//,20X,'
*ALGUM CAMPO NESTES CARTOES E INVALIDO OU EXCEDE LIMITES',//)
GOTO 639
672 WRITE(5,673)
673 FORMAT(//20X,'CODIGO DE INERCIA OMISSO INVALIDO OU FORA DE ESPECIF
*ICACAO',//)
GOTO 639
674 WRITE(5,675)
675 FORMAT(//20X,'NUMERACAO DE JUNTA OMISSA INVALIDA OU EXCEDENDO LIMI
*TE',//)
GOTO 639
676 WRITE(5,677)
677 FORMAT(//20X,'CAMPO NO CARTAO //PIN OMISSO INVALIDO OU EXCEDENDO
*LIMITES',//)
678 WRITE(5,679)
679 FORMAT(//20X,'CAMPO NO CARTAO //PME OMISSO INVALIDO OU EXCEDENDO
*LIMITES',//)
GOTO 639

```

```

681 WRITE(5,682)
682 FORMAT(//20X,'CAMPO NO CARTAO //PFI OMISSO INVALIDO OU EXCEDENDO
  *LIMITES',//)
  GOTU 689
683 WRITE(5,684)
684 FORMAT(//20X,'COORDENADA DE JUNTA OU RIGIDEZ DE APOIO ELASTICO OMI
  *SSA INVALIDA OU EXCEDENDO LIMITES',//)
  GOTU 689
685 WRITE(5,686)
686 FORMAT(//20X,'AREAS DE SECCAO MOMENTOS DE INERCIA OU MODULOS DE EL
  *ASTICIDADE OMISSOS INVALIDOS OU EXCEDENDO LIMITES',//)
  GOTU 689
687 WRITE(5,688)
688 FORMAT(//20X,'INTERVALO DE NUMERACAO DEFINIDO EM CARTAO DE CARACTE
  *RISTICAS DE ELEMENTOS EXCEDE O VALOR 5',//)
689 CALL EXIT

```

```

C=====ANALISE ESTATICA DA ESTRUTURA DEFINIDA
C=====MONTAGEM DE MATRIZES DE TRANSFERENCIA GLOBAIS DE PARTES DA
C=====ESTRUTURA EM FUNCAO DAS PLTENCIAS DA FREQUENCIA
C
C=====CALCULO DAS MASSAS DISCRETAS CONCENTRADAS NOS NUS
C=====CONSIDERANDO A ESTRUTURA CONSTRUIDA EM CONCRETG
C=====MASSA EM (T*S**2/M)

```

```

= PERCORRENDO A ESTRUTURA
= PRINCIPAL

```

```

700 CALL CABP
  ACUM=0
  MASSA(1)=0
  REAC(11'I)MT,DMT,R,XL
  ACUM=2+MASS(DMT(1),XL)
  NBF=NBAR-1-AMIF(2)-SECUN(2)
  DO 710 I=2,NBF
  REAC(11'I)MT,DMT,R,XL
  MASSA(I)=ACUM+MASS(DMT(1),XL)
710 ACUM=MASS(DMT(1),XL)
  L=PMEDI(2)
  N=SECUN(5)
  REAC(11'N)MT,DMT,R,XL
  MASSA(L)=MASSA(L)+MASS(DMT(1),XL)
  ACUM=MASS(DMT(1),XL)
  IF(SECUN(2)-1)720,740,720
720 N=SECUN(6)
  N=N+1
  DO 730 I=N,NN
  REAC(11'I)MT,DMT,R,XL
  MASSA(I)=ACUM+MASS(DMT(1),XL)
730 ACUM=MASS(DMT(1),XL)
740 L=PFINA(3)
  N=RAMIF(5)
  REAC(11'N)MT,DMT,R,XL
  MASSA(L)=MASSA(L)+MASS(DMT(1),XL)
  ACUM=MASS(DMT(1),XL)
  IF(RAMIF(2)-1)750,770,750
750 N=RAMIF(6)
  N=N+1
  DO 760 I=N,NN
  REAC(11'I)MT,DMT,R,XL
  MASSA(I)=ACUM+MASS(DMT(1),XL)
760 ACUM=MASS(DMT(1),XL)
770 MASSA(I-1)=MASSA(I-1)+ACUM

```

```

= PERCORRENDO A RAMIFICACAO

```

```

C=====MATRIZ DA PARTE PRINCIPAL VERTICAL

```

```

DO 780 I=1,169
  DO 780 J=1,22
780 CPW1(I,J)=0
  N=PINIC(3)
  M=PINIC(2)+1
  K=PINIC(1)
  REAC(11'N)MT,DMT,R,XL
  CALL TRANS(XL)
  INM=4
790 REAC(12'M)MF,DMF
  INF=1
  CALL FRONT(F,RE,W,INF,IND,INVER,M)
  CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,F,RE,VEE,INM)
  N=N+1

```



```

930 INM=2
CALL MLTP(CPW2,CPW1,T,F,RE,VEE,INM)
IF(MT(2)=N)940,950,940
940 M=M+1
INM=3
GOTO 910

```

- GRAVA MATRIZ E ZERA CAMFCS

```

950 DO 960 I=1,169
DO 960 J=1,22
M=(I-1)*22+J
IF(CPW2(I,J))955,956,955
955 WRITE(17,'M')CPW2(I,J)
GOTO 960
956 IF(J=1)957,955,957
957 IF(CPW2(I,J-1))958,960,958
958 CPW3(I,2)=J-1
960 CONTINUE
DO 965 I=1,169
DO 963 J=1,2
963 CPW1(I,J)=0
DO 965 J=1,22
965 CPW2(I,J)=0

```

C====MATRIZ DA PARTE PRINCIPAL FINAL

```

N=PFINA(3)
M=PFINA(2)+1
K=PFINA(1)
READ(11,'N')MT,UMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
INM=4
KIK=3
CALL INERC(KIK,L)
970 READ(12,'M')MF,DMF
INF=1
CALL FRONT(F,RE,W,INF,IND,INVER,M)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,F,RE,VEE,INM)
M=M+1
READ(11,'N')MT,UMT,R,XL
IF(L)1000,1010,1000
1000 CALL TRANS(XL)
1010 INM=2
CALL MLTP(CPW2,CPW1,T,F,RE,VEE,INM)
IF(MT(2)=N)1020,1030,1020
1020 M=M+1
INM=3
GOTO 970
1030 DO 1040 I=1,169
DO 1040 J=1,22
M=(I-1)*22+J
IF(CPW2(I,J))1035,1036,1035
1035 WRITE(18,'M')CPW2(I,J)
GOTO 1040
1036 IF(J=1)1037,1035,1037
1037 IF(CPW2(I,J-1))1038,1040,1038
1038 CPW3(I,3)=J-1
1040 CONTINUE
DO 1045 I=1,169
DO 1043 J=1,2
1043 CPW1(I,J)=0
DO 1045 J=1,22
1045 CPW2(I,J)=0

```

C====MATRIZ DA RAMIFICACAO

```

N=RAMIF(6)
M=RAMIF(4)+1
READ(11,'N')MT,UMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
INM=4
1050 READ(12,'M')MF,DMF
INF=1
CALL FRONT(F,RE,W,INF,IND,INVER,M)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,F,RE,VEE,INM)
INM=2
CALL MLTP(CPW2,CPW1,T,F,RE,VEE,INM)
IF(MF(2)=1)1060,1070,1060
1060 M=M+1
INM=3
GOTO 1050
1070 DO 1080 I=1,169

```

```

DO 1080 J=1,22
M=(I-1)*22+J
1075 IF(CPW2(I,J))1075,1076,1075
WRITE(19,*)CPW2(I,J)
GOTO 1080
1076 IF(J-1)1077,1075,1077
1077 IF(CPW2(I,J-1))1078,1080,1078
1078 CPW3(I,5)=J-1
1080 CONTINUE
DO 1085 I=1,16)
DOJ 1083 J=1,2
1083 CPW1(I,J)=0
DO 1085 J=1,22
1085 CPW2(I,J)=0
C
C====ROTIVA GERAL PARA O CALCULO DOS MAXIMOS ESTATICOS
C====GERACAO DE M1 M2 M3 M4 E M5
C
C                                     -PRINCIPAL VERTICAL
W=0
CALL LEDIS(15,CPW3,1)
CALL GEMAT(M1,W)
C
C                                     - PRINCIPAL FINAL
CALL LEDIS(18,CPW3,3)
CALL GEMAT(M3,W)
CALL LEDIS(16,CPW3,4)
CALL GEMAT(M4,W)
C
C                                     - RAMIFICACAO
CALL LEDIS(19,CPW3,5)
CALL GEMAT(M5,W)
C
C                                     - OBTENCAO DO SISTEMA
M=PMEDI(2)
N=PFINA(2)
IND=0
INF=3
READ(12,M)MF,DMF
CALL FRONT(FS,M4,W,INF,IND,INVER,M)
CALL CGRAF(M5,LRR,LX,1)
READ(12,N)NF,DMF
INF=5
CALL FRONT(FR,M5,W,INF,IND,INVER,M)
INM=1
INF=2
J=N+1
K=PFINA(3)-1
DO 1091 IJ=1,13
C
C                                     - NUMERO DO NO COM MAXIMO
VE(IJ,1)=0
C
C                                     - VALOR DO MAXIMO
VE(IJ,2)=0
C
C                                     - DIRECAO EM QUE OCORRE O MAX.
1091 VE(IJ,3)=IJ
C
C                                     - DO PRINCIPAL DA ANALISE ESTAT.
DO 1530 I=1,J
DO 1092 IJ=1,13
VEE(IJ)=0
DO 1092 JJ=1,13
1092 M5(IJ,JJ)=0
C
C                                     - TESTA SE CARGA NA ULT. POS.
IF(I=J)1093,1170,1093
1093 FS(d,13)=0
L=PMEDI(3)+I-1
LL=L
READ(11,L)MT,DMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
C
C                                     - TESTA SE CARGA NA PRIM. POSIC.
IF(I=1)1095,1100,1095
1095 READ(12,LL)MF,DMF
CALL FRONT(F,M5,W,INF,IND,INVER,LL)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,M2,M4,VEE,INM)
FS(d,13)=1
GOTO 1120
1100 FS(d,13)=1
DO 1110 IJ=1,13
DO 1005 JJ=1,13
M2(IJ,JJ)=0
1005 M4(IJ,JJ)=0
M2(IJ,IJ)=1
1110 M4(IJ,IJ)=1
1120 CALL MLTP(CPW1,CPW2,FS,M1,RE,VEE,INM)

```

```

CALL MLTP(CPW1,CPW2,M2,RE,M5,VEE,INM)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,M4,M2,VEE,INM)
C
IF (I=1)1123,1125,1123
1123 CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,M5,RE,VEE,INM)
1125 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,RE,M5,VEE,INM)
IF (LL=N)1130,1150,1130
1130 LL=LL+1
READ(12,LL)MF,DMF
CALL FRNT(F,M5,W,INF,IND,INVER,LL)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,M5,RE,VEE,INM)
NKR*2
CALL INERC(NIK,K8)
IF (N6)1140,1125,1140
1140 READ(11,LL)MT,DMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
GOTO 1125
1150 CALL MLTP(CPW1,CPW2,FR,M5,RE,VEE,INM)
1160 CALL IGUAL(RE,M6)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,M3,RE,M5,VEE,INM)
C
GOTO 1180
C
1170 FR(6,13)=-1
CALL MLTP(CPW1,CPW2,FS,M1,RE,VEE,INM)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,M2,RE,M5,VEE,INM)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,FR,M5,RE,VEE,INM)
GOTO 1160
C
1180 DO 1185 IJ=1,13
DO 1185 JJ=1,13
1185 M5(IJ,JJ)=M5(IJ,JJ)+M6(IJ,JJ)
C
CALL CONAF(M5,LRD,LX,1)
CALL INVER(M5,13,1,1,6)
DO 1190 IJ=1,6
DO 1190 JJ=1,6
1190 VEE(IJ)=VEE(IJ)+M5(IJ,JJ)*M5(JJ,13)
C
DO 1210 IJ=1,6
JI=6-IJ+1
JJ=LX(JI)
IF (JJ=JI)1200,1210,1200
1200 VEE(JJ)=VEE(JI)
VEE(JI)=0
1210 CONTINUE
C
C====PERCORRE A ESTRUTURA PARA ACHAR VETORES DOS DEMAIS PONTOS E
C====LISTER OS MAXIMOS ESTATICOS
C
INM*5
INF=2
C
M=PINIC(3)
M=PINIC(2)+1
KK=PINIC(1)
READ(11,N)MT,DMT,F,XL
CALL TRANS(XL)
1220 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,F,RE,VEE,INM)
IF (MT(2)=KK)1230,1240,1230
1230 READ(12,M)MF,DMF
CALL FRNT(F,RE,W,INF,IND,INVER,M)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,T,RE,VEE,INM)
CALL CPARA(VE,VEE,M)
N=N+1
M=M+1
READ(11,N)MT
GOTO 1220
1240 DO 1250 IJ=1,13
1250 VAS(IJ)=VEE(IJ)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,FS,T,RE,VEE,INM)
DO 1260 IL=7,12
1260 VAS(IL)=VAS(IL)+VEE(IL)
CALL LPARA(VE,VEE,PMEDI(2))
C
N=PMEDI(3)
M=PMEDI(2)+1
KK=PMEDI(1)
1265 READ(11,N)MT,DMT,R,XL
CALL TRANS(XL)

```

```

1270 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,F,RE,VEE,INM)
IF(MT(2)-KK)1230,1300,1230
1280 READ(12,M)MF,DMF
CALL FRONT(F,RE,W,INF,IND,INVER,M)
IF(MF(2)-1)1267,1285,1267
1285 F(8,13)=*1
1287 CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,T,RE,VEE,INM)
CALL CPARA(VE,VEE,M)
N=N+1
M=M+1
KIK=2
CALL INERC(KIN,K8)
IF(K8)1265,1290,1265
1290 READ(11,N)MT
GOTO 1270
C
C - TRANSPORTE DO DA RAMIFICACAO
1300 DO 1310 IJ=1,13
1310 VAR(IJ)=VEE(IJ)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,FR,T,RE,VEE,INM)
DO 1320 IC=7,12
C
C - VETOR AUXILIAR P/ RAMIFICACAO
1320 VAR(IJ)=VAR(IJ)+VLE(IC)
CALL CPARA(VE,VEE,PFINA(2))
C
C - PERCORRE PRINCIPAL FINAL
N=PFINA(3)
M=PFINA(2)+1
KK=PFINA(1)
1330 READ(11,N)MT,DMT,F,XL
CALL TRANS(XL)
1340 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,F,RE,VEE,INM)
IF(MT(2)-KK)1350,1400,1350
1350 READ(12,M)MF,DMF
CALL FRONT(F,RE,W,INF,IND,INVER,M)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,T,RE,VEE,INM)
CALL CPARA(VE,VEE,M)
N=N+1
M=M+1
KIK=3
CALL INERC(KIN,K8)
IF(K8)1380,1390,1380
1380 GOTO 1330
1390 READ(11,N)MT
GOTO 1340
C
1400 DO 1410 IJ=1,6
JI=IJ+6
VEE(IJ)=VAS(IJ)
1410 VEE(JI)=-VAS(JI)
CALL CPARA(VE,VEE,PMEDI(2))
N=SECUN(5)
M=SECUN(3)
KK=SECUN(2)
1415 READ(11,N)MT,DMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
1417 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,F,RE,VEE,INM)
IF(MT(2)-KK)1420,1470,1420
1420 READ(12,M)MF,DMF
CALL FRONT(F,RE,W,INF,IND,INVER,M)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,T,RE,VEE,INM)
CALL CPARA(VE,VEE,M)
N=N+1
M=M+1
KIK=3
CALL INERC(KIN,K8)
IF(K8)1450,1460,1450
1450 GOTO 1415
1460 READ(11,N)MT
GOTO 1417
C
C - GERA VETOR INICIAL O/RAMIFICAO
1470 DO 1480 IJ=1,6
JI=IJ+6
VEE(IJ)=VAR(IJ)
1480 VEE(JI)=-VAR(JI)
CALL CPARA(VE,VEE,PFINA(2))
C
C - PERCORRE A RAMIFICACAO
N=RAMIF(5)
M=RAMIF(3)
KK=RAMIF(2)

```

```

1490 READ(11,N)MT,DMT,K,XL
    CALL TRANS(XL)
1500 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,F,RE,VEE,INM)
    IF(MT(2)≠K)1510,1520,1510
1510 READ(12,M)MF,DMF
    CALL FRON(CF,RE,W,INF,IND,INVER,M)
    CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,T,RE,VEE,INM)
    CALL CPARA(VE,VEE,M)
    N=N+1
    M=M+1
    READ(11,N)MT
    GOTL 1500
1520 CALL CPARA(VE,VEE,RAMIF(4))
    INM=1
1530 CONTINUE

```

```

C=====ANALISE DINAMICA DA ESTRUTURA DEFINIDA
C=====CALCULO DAS FREQUENCIAS NATURAIS DA ESTRUTURA DEFINIDA
C

```

```

M=PMEDI(2)
N=PFINA(2)
IND=0
K=1

```

```

C                                     - INCR. NORMAL DA FREQUENCIA
C   WVA=0.5
C   WNV=1/WVA                                     - INCREMENTO REFINADO
C   WME=0.1                                       - VALOR INICIAL DA FREQUENCIA
C   WINIC=0.1
C   W=WINIC
C   WW=W                                           - CONTADOR DE FREQUENCIAS
C   CONT=0
C   DETI=0
C                                     - GERA MATRIZES DAS PARTES
C 1570 CALL LEDIS(15,CPW3,1)
C                                     - PRINCIPAL VERTICAL
C   CALL GEMAT(M1,W)
C   CALL LEDIS(17,CPW3,2)
C                                     -PRINCIPAL INTERMEDIARIA
C   CALL GEMAT(M2,W)
C   CALL LEDIS(18,CPW3,3)
C                                     - PRINCIPAL FINAL
C   CALL GEMAT(M3,W)
C   CALL LEDIS(16,CPW3,4)
C   CALL GEMAT(M4,W)
C   CALL LEDIS(19,CPW3,5)
C                                     - RAMIFICACAO
C   CALL GEMAT(M5,W)
C                                     - GERA FRONTEIRAS ENTRE PARTES
C   READ(12,M)MF,DMF
C   INF=4
C   CALL FRON(FS,M4,W,INF,IND,INVER,M)
C   READ(12,N)MF,DMF
C   INF=5
C   CALL CONAP(M5,LRR,LX,1)
C   CALL FRON(FR,M5,W,INF,IND,INVER,N)

```

```

C=====GERACAO DO SISTEMA
C

```

```

INM=1
CALL MLTP(CPW1,CPW2,FS,M1,RE,VEE,INM)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,M2,RE,M5,VEE,INM)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,FR,M5,RE,VEE,INM)
DO 1580 I=1,13
DO 1580 J=1,13

```

```

1580 M6(I,J)=RE(I,J)
    CALL MLTP(CPW1,CPW2,M3,RE,M5,VEE,INM)
C                                     - MATRIZ GLOBAL

```

```

DO 1590 I=1,13
DO 1590 J=1,13
1590 M5(I,J)=M5(I,J)+M6(I,J)
C                                     - CONDICAOES DE CONTORNO
C   CALL CONAF(M5,LRD,LX,1)
C                                     - CALCULO DAS FREQUENCIAS

```

```

DO 1592 I=1,6
DO 1592 J=1,6
1592 ZZ(I,J)=M5(I,J)
C                                     - CALCULA DETERMINANTE
C   CALL DETER(ZZ,6,DET)

```

```

C                                     - W=WINIC
1593 IF(K=1)1594,1593,1594
      K=0
      GOTO 1600
C                                     - FREQUENCIA SENDO CERCADA
1594 IF(K=2)1596,1620,1596
1596 IF(DET-SIGN(DET,DET1))1610,1600,1610
C                                     - ROTINA P/DETECTAR FREQUENCIA
C                                     - SINAIS IGUAIS
1600 W=W
1605 W=W+WVA
      DET1=DET
      GOTO 1570
C                                     - SINAIS DIFERENTES
1610 DET2=DET
      CONT=CONT+1
      WVA=W*HEN
      W=WH
1615 W=W+WVA
      K=2
      GOTO 1570
C                                     - CALCULO DA FREQUENCIA
1620 IF(DET-SIGN(DET,DET1))1630,1605,1630
C                                     - INTERPOLACAO LINEAR
1630 W=(W*WMEN)-WMEN*DET1/(DET-DET1)
      OMEG(CONT)=W
      IF(CONT=5)1640,1650,1640
1640 WVA=W*WVA
      W=W+WVA
      W=WH+WVA
      DET1=DET2
      K=0
      GOTO 1570
C
C====ANALISE DINAMICA PROPRIAMENTE DITA
C
C====ORDENACAO EM CRESCENTE DOS NUS COM MAXIMO ESTATICO
C
1650 TEV=0
      MI=0
      MS=0
      MR=0
      DO 1660 I=1,11
          IJ=I+1
          IF(VE(I,1)-VE(IJ,1))1680,1680,1660
1660 JJ=1670 J=1,3
          VEI=VE(I,J)
          VE(I,J)=VE(IJ,J)
1670 VE(IJ,J)=VEI
          TEV=1
1680 CONTINUE
          IF(TEV=1)1700,1690,1700
1690 TEV=0
          GOTO 1650
1700 VE(13,1)=PFINA(5)
1705 DO 1720 I=1,12
          IF(VE(I,1)-PFINA(5))1710,1710,1712
1710 MI=MI+1
          GOTO 1720
1712 IF(VE(I,1)-SECUN(4))1714,1714,1716
1714 MS=MS+1
          GOTO 1720
1716 MR=MR+1
1720 CONTINUE
C
C====CALCULO DO PERIODO E VALORES AUXILIARES
C
1730 NUS=PMEDI(2)
      NJR=PFINA(2)
      NK=0
      LB=PMEDI(1)
      N=PMEDI(3)
      PF=2*3.1416/OMEG(1)
      PEG=0.01
      VARI=PF/10
      READ(11,N)PT,DMT,R,XL
      V=XL/PF
C
C====PRIMEIRA CC (DAS VELOCIDADES)
C
      DO 4020 I=1,4

```

```

C
DO 1740 II=1,400
DO 1740 IJ=1,12
1740 MAXO(II,IJ)=0
RR=1/2
C
VEL=V*RR
C
TEMPO=PF/RR
C====SEGUNDO DE (DAS FREQUENCIAS)
C
DO 3910 J=1,5
KA=0
W=OMEG(J)
DO 1745 IJ=1,12
1745 MAG(IJ)=0
VVOI(IJ)=0
MAG(13)=0
CALL LEDIS(16,CPW3,4)
CALL GEMAT(M4,W)
CALL LEDIS(19,CPW3,5)
C
CALL GEMAT(M5,W)
READ(12,'NCR')MF,DMF
INF=3
CALL FRONI(FS,M4,W,INF,IND,INVER,NDS)
INF=4
C
CALL GEMAT(M5,LRR,LX,1)
READ(12,'NCR')MF,DMF
CALL FRONI(FR,M5,W,INF,IND,INVER,NOR)
DO 1770 II=1,13
C
DO 1770 IJ=1,13
IF(II=IJ)1750,1760,1750
1750 M1(II,IJ)=0
M2(II,IJ)=0
M3(II,IJ)=0
M4(II,IJ)=0
M5(II,IJ)=0
M6(II,IJ)=0
M7(II,IJ)=0
M8(II,IJ)=0
M9(II,IJ)=0
M10(II,IJ)=0
M11(II,IJ)=0
M12(II,IJ)=0
M13(II,IJ)=0
1760 M1(II,IJ)=1
M2(II,IJ)=1
M3(II,IJ)=1
M4(II,IJ)=1
M5(II,IJ)=1
M6(II,IJ)=1
M7(II,IJ)=1
M8(II,IJ)=1
M9(II,IJ)=1
M10(II,IJ)=1
M11(II,IJ)=1
M12(II,IJ)=1
M13(II,IJ)=1
1770 CONTINUE
C====GERACAO DAS MATRIZES ENTRE MAXIMOS ESTATICOS DA ESTR. PRINCIPAL
C
1780 INM=1
INF=2
DO 2300 NN=1,M1
DO 1800 II=1,13
1790 M21(II,IJ)=0
M21(II,II)=1
1800 CONTINUE
IF(NN=1)1820,1810,1820
1810 IF(VE(NN,1)-1)1855,2300,1855
1820 MM=NN-1
IF(VE(NN,1)-VE(MM,1))1830,2300,1830
C
1830 IF(VE(MM,1)-PMEDI(3))1860,1910,1840
1840 IF(VE(MM,1)-PFINA(3))1910,1850,1850
1850 KK=5
- PESQ. ULT. NO DA SUBSTR. ANT.

```

- ZERA LINHAS DE INFL. DINAMIC.

- VELOC. P/ OUHAMEL

- TEMPO P/ PERCORRER UMA BARRA

- MONTA MATRIZ DA RAMIFICACAO

- GERA FRONTEIRA DA RAMIFICACAO

- FAZ AS MATRIZES IDENTIDADES

GOTO 1940

- PESQUISA NE DA SUBSTR. ATUAL

```

C
1855 MM=13
    VE(MM,1)=1
1860 IF(VE(MM,1)-PMEDI(3))1870,1880,1890
1870 KK=1
    GOTO 1940
1880 KK=2
    GOTO 1940
1890 IF(VE(MM,1)-PFINA(3))1820,1900,1900
1900 KK=6
    GOTO 1940
1910 IF(VE(MM,1)-PFINA(3))1920,1930,1930
1920 KK=3
    GOTO 1940
1930 KK=4
    INF=2
1940 GOTO(1950,2150,1960,2160,1970,2170)KK
1950 K=1
    L=0
    GOTO 1980
1960 K=2
    CALL INERC(K,L)
    GOTO 1980
1970 K=3
    CALL INERC(K,L)
1980 N=VE(MM,1)
    M=VE(MM,1)
1990 READ(11,N)MT,DMT,R,XL
    CALL TRANS(XL)
2000 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,M21,RE,VEE,INM)
    M=M+1
    READ(12,M)MF,DMF
    CALL FRONT(F,M5,W,INF,IND,INVER,M)
    CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,RE,M21,VEE,INM)
    IF(M=N)2010,2020,2010
2010 IF(L)1990,2000,1990
2020 GOTO(2030,2040,2050,2060,2070,2080,2090,2100,2110,2120,2130,2140)N
    *N
2030 CALL IGUAL(M21,M1)
    GOTO 2145
2040 CALL IGUAL(M21,M2)
    GOTO 2145
2050 CALL IGUAL(M21,M3)
    GOTO 2145
2060 CALL IGUAL(M21,M4)
    GOTO 2145
2070 CALL IGUAL(M21,M5)
    GOTO 2145
2080 CALL IGUAL(M21,M6)
    GOTO 2145
2090 CALL IGUAL(M21,M7)
    GOTO 2145
2100 CALL IGUAL(M21,M8)
    GOTO 2145
2110 CALL IGUAL(M21,M9)
    GOTO 2145
2120 CALL IGUAL(M21,M10)
    GOTO 2145
2130 CALL IGUAL(M21,M11)
    GOTO 2145
2140 CALL IGUAL(M21,M12)
    GOTO 2100
2150 M=VE(MM,1)
    L1=0
    K=2
    CALL INERC(K,L)
    GOTO 2180
2160 N=VE(MM,1)
    M=VE(MM,1)
    K=2
    CALL INERC(K,L2)
    K=3
    CALL INERC(K,L3)
    GOTO 2220
2170 N=VE(MM,1)
    M=VE(MM,1)
    L1=0
    CALL INERC(2,L2)

```

```

CALL INERC(3,L3)
2180 READ(11,M)MT,DMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
2190 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,M21,RE,VEE,INM)
M=M+1
IF(M-PMEDI(2))2200,2210,2200
2200 READ(12,M)MF,DMF
CALL FRONT(F,M5,W,INF,IND,INVER,M)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,RE,M21,VEE,INM)
IF(L1)2180,2190,2180
2210 CALL IGUAL(RE,M22)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,FS,RE,M21,VEE,INM)
IF(M-N)2220,2020,2220
2220 READ(11,M)MT,DMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
2230 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,M21,RE,VEE,INM)
M=M+1
IF(M-PFINA(2))2240,2260,2240
2240 READ(12,M)MF,DMF
CALL FRONT(F,M5,W,INF,IND,INVER,M)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,RE,M21,VEE,INM)
IF(M-N)2250,2020,2250
2250 IF(L2)2220,2230,2220
C
2260 CALL IGUAL(RE,M23)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,FR,RE,M21,VEE,INM)
IF(M-N)2270,2020,2270
2270 READ(11,M)MT,DMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
2280 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,M21,RE,VEE,INM)
M=M+1
READ(12,M)MF,DMF
CALL FRONT(F,M5,W,INF,IND,INVER,M)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,RE,M21,VEE,INM)
IF(M-N)2290,2020,2290
2290 IF(L3)2270,2280,2270
2300 CONTINUE
C
C=====GERA MATRIZ DEPCIS DO ULTIMO MAXIMO
C
2310 DO 2330 II=1,13
DO 2320 IJ=1,13
2320 M21(II,IJ)=0
2330 M21(II,II)=1
IF(M-PFINA(2))2332,2334,2334
2332 K=2
CALL INERC(K,L2)
2334 K=3
CALL INERC(K,L3)
GOTO 2350
2340 READ(11,M)MT,DMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
2350 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,M21,RE,VEE,INM)
IF(M-PFINA(3)-1)2360,2370,2360
2360 M=M+1
READ(12,M)MF,DMF
CALL FRONT(F,M5,W,INF,IND,INVER,M)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,RE,M21,VEE,INM)
IF(L2)2340,2350,2340
2370 M=M+1
CALL IGUAL(RE,M23)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,FR,RE,M21,VEE,INM)
2380 READ(11,M)MT,DMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
2382 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,M21,RE,VEE,INM)
IF(M-PFINA(5))2384,2390,2384
2384 M=M+1
READ(12,M)MF,DMF
CALL FRONT(F,M5,W,INF,IND,INVER,M)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,RE,M21,VEE,INM)
IF(L3)2380,2382,2380
2390 CALL IGUAL(RE,M13)
MAG(13)=1
C
C=====TERCEIRO DO (DEFINE QUAL A BARRA CARREGADA)
C
DO 3900 II=1,LB
K=0
KK=0
KK1=0
IJ=0

```

```

DU 2395 KK=1,13
2395 MAG1(K8)=FAG(K8)
TEM=0
DU 2410 MM=1,13
DU 2400 NN=1,13
M17(MM,NN)=0
M21(MM,NN)=0
RE(MM,NN)=0
2400 M18(MM,NN)=0
M17(MM,MM)=1
M21(MM,MM)=1
RE(MM,MM)=1
2410 M18(MM,MM)=1
IR=1/RR=10

```

C====QUARTO CO (DEFINE A POSICAO DA CARGA SOBRE A BARRA)

```

DU 3370 JJ=1,IR
AS=0
KR=0
TEM=TEM+VARI
NN=PMEDI(3)+II-2
MM=AN+1
IF(JJ-IR)2416,2414,2416
2414 IF(IR=6)2415,2416,2415
2415 RVI=1
2416 IF(JJ=1)2735,2420,2735
2420 IF(II=2)2430,2460,2440
2430 KK=1
GOTO 2460
2440 IF(II=PMEDI(3)+1)2460,2450,2460
2450 KK=2
2460 DU 2470 IJ=1,MI
IF(MM=VE(IJ,1))2480,2480,2470
2470 CONTINUE
JI=IJ-1
MAG1(13)=2
GOTO 2485
2480 JI=IJ-1
MAG1(IJ)=2
IF(KK=1)2485,2565,2485
2485 IF(PMEDI(3)=VE(JI,1))2490,2510,2500
2490 NJ1=VE(JI,1)
GOTO 2520
2500 KK=1
2510 NJ1=PMEDI(3)

```

C====GERA MATRIZ ENTRE NO ESG. BARRA CARREG. E MAX. ANTERIOR

```

2520 READ(11,NL1)MT,DMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
2530 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,RE,M17,VEE,INM)
NL1=NLI+1
IF(NLI=AN)2540,2540,2550
2540 READ(12,NL1)MF,DMF
CALL FRONT(F,N5,W,INF,IND,IAVER,NJ1)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,M17,RE,VEE,INM)
K=2
CALL INERC(K,K8)
IF(K8)2520,2530,2520
2550 IF(KK=1)2575,2560,2575
2560 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M17,FS,M21,VEE,INM)
2565 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M21,M22,M17,VEE,INM)

```

C====GERA MATRIZ ENTRE NO DIR. BARRA CARREG. E PROXIMO MAXIMO

```

2575 IF(MM=VE(IJ,1))2590,2580,2605
2580 IJ=IJ+1
2590 MM=MM+1
IF(IJ=MI)2595,2595,2605
2595 DU 2600 JI=IJ,MI
IF(MM=VE(JI,1))2610,2600,2600
2600 CONTINUE
2605 JI=13
MAG1(13)=3
MM=MM+1
GOTO 2613
2610 MAG1(JI)=3
2613 READ(11,NL1)MT,DMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
2615 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,M18,M21,VEE,INM)

```

```

MM=MM+1
READ(12,'M+')MF,DMF
2620 IF(MM=VE(JI,1))2620,2690,2620
2630 IF(MM=PFINA(2))2630,2680,2670
2630 K=2
2640 CALL INERC(K,L)
2650 CALL FRONT(F,M5,W,INF,IND,INVER,MM)
2655 CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,M21,M16,VEE,INM)
IF(M=4)2660,2700,2660
2660 IF(L)2610,2615,2610
2670 K=3
GOTO 2640
2680 CALL IGUAL(M21,M23)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,FR,M21,M16,VEE,INM)
GOTO 2613
2690 IF(MM=PFINA(2))2695,2693,2695
2693 CALL IGUAL(M21,M23)
CALL IGUAL(FR,F)
K=4
GOTO 2655
2695 K=4
GOTO 2650
2700 K=0
IF(VE(JI,1)=PFINA(5))2709,2703,2703
2703 MM=PFINA(4)-1
READ(11,'MM')MT,DMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,M18,M21,VEE,INM)
CALL IGUAL(M21,M16)
C
C====GERA TRANSFERENCIA DA BARRA CARREGADA
C
2709 MM=MM+1
READ(11,'MM')MT,DMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
CALL IGUAL(T,M16)
C
C====GERACAO DAS FRONTEIRAS ESQUERDA E DIREITA
C
IF(MK=1)2720,2730,2720
2720 READ(12,'M+')MF,DMF
CALL FRONT(M14,M5,W,INF,IND,INVER,MM)
IF(MK=2)2730,2735,2730
2730 MM=MM+1
READ(12,'M+')MF,DMF
CALL FRONT(M15,M5,W,INF,IND,INVER,MM)
C
C====GERACAO DOS VETORES DE CARGA DAS FRONTEIRAS
C
2735 CALL VECAR(TEM,W,VEL,II,XL)
C
C====INCLUSAO DOS VETORES DE CARGA NAS FRONTEIRAS GERADAS
C
2740 IF(MK=1)2770,2750,2770
2750 DO 2760 IJ=1,12
2760 FS(IJ,13)=FS(IJ,13)+ESQ(IJ)
GOTO 2810
2770 DO 2780 IJ=1,12
2780 M14(IJ,13)=M14(IJ,13)+ESQ(IJ)
IF(MK=2)2810,2790,2810
2790 DO 2800 IJ=1,12
2800 FR(IJ,13)=FR(IJ,13)+DIR(IJ)
GOTO 2830
2810 DO 2820 IJ=1,12
2820 M15(IJ,13)=M15(IJ,13)+DIR(IJ)
C
C====OBTENCAO DO SISTEMA DE EQUACOES DA ESTRUTURA
C
DO 2840 IJ=1,13
DO 2830 JI=1,13
RE(IJ,JI)=0
2830 M21(IJ,JI)=0
RE(IJ,IJ)=1
2840 M21(IJ,IJ)=1
L1=0
L2=0
DO 3070 IJ=1,13
JI=IJ+L1
IF(MAG1(IJ)=L2)3070,2850,3000
2850 GOTO(2860,2870,2880,2890,2900,2910,2920,2930,2940,2950,2960,2970,2980,3070)JI

```

```

2860 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M1,M21,RE,VEE,INM)
      GOTO 2990
2870 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M2,M21,RE,VEE,INM)
      GOTO 2990
2880 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M3,M21,RE,VEE,INM)
      GOTO 2990
2890 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M4,M21,RE,VEE,INM)
      GOTO 2990
2900 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M5,M21,RE,VEE,INM)
      GOTO 2990
2910 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M6,M21,RE,VEE,INM)
      GOTO 2990
2920 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M7,M21,RE,VEE,INM)
      GOTO 2990
2930 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M8,M21,RE,VEE,INM)
      GOTO 2990
2940 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M9,M21,RE,VEE,INM)
      GOTO 2990
2950 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M10,M21,RE,VEE,INM)
      GOTO 2990
2960 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M11,M21,RE,VEE,INM)
      GOTO 2990
2970 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M12,M21,RE,VEE,INM)
      GOTO 2990
2980 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M13,M21,RE,VEE,INM)
2990 CALL IGUAL(RE,M21)
      IF(L2=3)2999,2995,2999
2995 L1=0
      L2=1
      IJ=IJ+1
2999 GOTO 3070
3000 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M17,M21,RE,VEE,INM)
      IF(NK=1)3020,3010,3020
3010 CALL MLTP(CPW1,CPW2,FS,RE,M21,VEE,INM)
      GOTO 3030
3020 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M14,RE,M21,VEE,INM)
3030 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M16,M21,RE,VEE,INM)
      IF(NK=2)3040,3050,3040
3040 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M15,RE,M21,VEE,INM)
      GOTO 3060
3050 CALL MLTP(CPW1,CPW2,FR,RE,M21,VEE,INM)
      CALL IGUAL(M21,M20)
      CALL MLTP(CPW1,CPW2,M18,M21,RE,VEE,INM)
3060 CALL IGUAL(RE,M21)
      L1=1
      L2=3
3070 CONTINUE
      CALL IGUAL(M21,M19)

```

C====RESOLUCAO DO SISTEMA

```

C
      DD 3080 IJ=1,13
      DU 3080 JI=1,13
3080 M19(IJ,JI)=M19(IJ,JI)+M20(IJ,JI) - CONDICAOES DE APOIO
C
      CALL CCNAP(M19,LRD,LX,1)
      CALL INVER(M19,13,7,1,6)
      JJ 3090 IJ=7,12
      DU 3090 JI=1,6
      L1=JI+6 - OBTEN VETOR D/ESTADA EXTREMO
C
3090 VEE(L1)=-M19(IJ,JI)*M19(L1,13)
      DD 3110 IJ=1,6
      JI=IJ+6
      LI=LX(IJ)
      IF(LI=JI)3100,3110,3100
3100 VEE(LI)=VEE(JI)
      VEE(JI)=0
3110 CONTINUE

```

C====GERACAO DAS LINHAS DE INFLUENCIA DINAMICAS NOS PONTOS DE MAX. EST.
C====INICIALMENTE SOBRE A ESTRUTURA PRINCIPAL

```

C
      INM=5
      L1=0
      L2=1
      JJ 3600 IJ=1,12
      JI=IJ+L1
      IF(MAG1(IJ)=L2)35,91,3120,3360
3120 IF(NS=1)3130,3160,3130
3130 IF(VE(JI,1)=PMEDI(2))3190,3140,3140

```

```

3140 DU 3145 IK=1,13
3145 VAS(IK)=VEE(IK)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,M22,F,RE,VEE,INM)
DU 3150 IK=1,13
VET=VAS(IK)
VAS(IK)=VEE(IK)
3150 VEE(IK)=VET
KS=1
GOTO 3190
3160 IF(KN=1)3165,3190,3165
3165 IF(VE(JI,1)-PFINA(2))3190,3167,3167
3167 DO 3170 IK=1,13
3170 VAR(IK)=VEE(IK)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,M23,F,RE,VEE,INM)
DU 3180 IK=1,13
VET=VAR(IK)
VAR(IK)=VEE(IK)
3180 VEE(IK)=VET
KR=1
3190 GOTO(3200,3210,3220,3230,3240,3250,3260,3270,3280,3290,3300,3310,3
*600)JI
3200 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M1,F,RE,VEE,INM)
GOTO 3330
3210 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M2,F,RE,VEE,INM)
GOTO 3330
3220 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M3,F,RE,VEE,INM)
GOTO 3330
3230 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M4,F,RE,VEE,INM)
GOTO 3330
3240 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M5,F,RE,VEE,INM)
GOTO 3330
3250 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M6,F,RE,VEE,INM)
GOTO 3330
3260 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M7,F,RE,VEE,INM)
GOTO 3330
3270 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M8,F,RE,VEE,INM)
GOTO 3330
3280 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M9,F,RE,VEE,INM)
GOTO 3330
3290 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M10,F,RE,VEE,INM)
GOTO 3330
3300 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M11,F,RE,VEE,INM)
GOTO 3330
3310 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M12,F,RE,VEE,INM)
3330 CALL DINAM(JI,IR,II,JJ,KVI)
IF(L2)3350,3340,3350
3340 L1=0
L2=1
IJ=IJ+1
3350 GOTO 3 600
3360 IF(KS=1)3370,3400,3370
3370 DO 3380 IK=1,13
3380 VAS(IK)=VEE(IK)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,M22,F,RE,VEE,INM)
DU 3390 IK=1,13
VET=VAS(IK)
VAS(IK)=VEE(IK)
3390 VEE(IK)=VET
KS=1
3400 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M17,F,RE,VEE,INM)
IF(KN=1)3420,3410,3420
3410 CALL MLTP(CPW1,CPW2,FS,F,RE,VEE,INM)
GOTO 3430
3420 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M14,F,RE,VEE,INM)
3430 NN=PMEDI(3)+II-1
IF(NN=VE(IJ,1))3450,3440,3450
3440 CALL DINAM(JI,IR,II,JJ,KVI)
3450 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M16,F,RE,VEE,INM)
IF(KK=2)3480,3460,3480
3460 DO 3470 IK=1,13
3470 VAR(IK)=VEE(IK)
RR=1
CALL MLTP(CPW1,CPW2,FR,F,RE,VEE,INM)
GOTO 3490
3480 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M15,F,RE,VEE,INM)
3490 NN=NN+1
IF(KN=VE(IJ,1))3520,3500,3580
3500 CALL DINAM(JI,IR,II,JJ,KVI)
GOTO 3580
3520 KI=IJ
3525 IF(VE(KI,1)-PFINA(2))3580,3530,3530

```

```

3530 IF (KK=2) 3535, 3580, 3535
3535 DO 3540 IJ=1,13
3540 VAR(IK)=VEE(IK)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,M23,F,RE,VEE,INM)
DO 3550 IJ=1,13
VET=VAR(IK)
VAR(IK)=VET
3550 VEE(IK)=VET
KR=1
GOTO 3580
3580 CALL MLTP(CPW1,CPW2,M18,F,RE,VEE,INM)
L1=1
L2=3
IF (MAG1(IJ)-3) 3600, 3590, 3600
3590 IJ=IJ-1
GOTO 3600
3591 IF (IJ=MI) 3592, 3592, 3600
3592 IF (L1=1) 3593, 3594, 3593
3593 K8=JI
GOTO 3595
3594 K8=JI-1
3595 CALL DINAM(K8,IR,II,JJ,KVI)
3600 CONTINUE
IF (MS) 3610, 3700, 3610
3610 DO 3620 IJ=1,13
3620 VEE(IJ)=VAS(IJ)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,FS,F,RE,VAS,INM)
DO 3630 IJ=7,12
3630 VAS(IJ)=VAS(IJ)+VEE(IJ)
DO 3640 IJ=1,6
IK=IJ+6
VEE(IJ)=VAS(IJ)
3640 VEE(IK)=-VAS(IK)
KIN=SECUN(S)
DO 3690 IJ=1,MS
KI=MI+IJ
IK=VE(KI,1)
3645 READ(11,KIN)MT,DMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
3648 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,F,RE,VEE,INM)
KIN=KIN+1
READ(12,KIN)MF,DMF
INF=2
CALL FRONT(F,M5,W,INF,IND,INVER,KIN)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,T,RE,VEE,INM)
IF (KIN=IK) 3660, 3650, 3660
3650 CALL DINAM(KI,IR,II,JJ,KVI)
GOTO 3690
3660 K=3
CALL INERC(K,L)
3670 IF (L) 3645, 3648, 3645
3690 CONTINUE

```

- RAMIFICACAO

```

3700 IF (MR) 3710, 3785, 3710
3710 DO 3720 IJ=1,13
3720 VEE(IJ)=VAR(IJ)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,FR,T,RE,VAR,INM)
DO 3730 IJ=7,12
3730 VAR(IJ)=VAR(IJ)+VEE(IJ)
DO 3740 IJ=1,6
IK=IJ+6
VEE(IJ)=VAR(IJ)
3740 VEE(IK)=-VAR(IK)
KIN=RAMIF(S)
DO 3780 IJ=1,MR
KI=MI+MS+IJ
IK=VE(KI,1)
3750 READ(11,KIN)MT,DMT,R,XL
CALL TRANS(XL)
3760 CALL MLTP(CPW1,CPW2,T,F,RE,VEE,INM)
KIN=KIN+1
READ(12,KIN)MF,DMF
INF=2
CALL FRONT(F,M5,K,INF,IND,INVER,KIN)
CALL MLTP(CPW1,CPW2,F,T,RE,VEE,INM)
IF (KIN=IK) 3760, 3770, 3760
3770 CALL DINAM(KI,IR,II,JJ,KVI)
3780 CONTINUE

```

```

3785 IF (K8=1) 3810, 3790, 3810

```

```

3790 DO 3800 IJ=1,12
3800 FS(IJ,13)=FS(IJ,13)-ESQ(IJ)
      GOTC 3850
3810 DO 3820 IJ=1,12
3820 M14(IJ,13)=M14(IJ,13)-ESQ(IJ)
      IF(KA=2)3850,3830,3850
3830 DO 3840 IJ=1,12
3840 FR(IJ,13)=FR(IJ,13)-DIR(IJ)
      GOTC 3690
3850 DO 3860 IJ=1,12
3860 M15(IJ,13)=M15(IJ,13)-DIR(IJ)
3870 CONTINUE
      KVI=0
      IF(TEMPD-TEM)3900,3900,3880
3880 IF(TEMPD-TEM-PEQ)3900,3900,3890
3890 TEM=TEMPG
      KVI=1
      GOTC 2735
3900 CONTINUE
3910 CONTINUE

```

C
C====CALCULO DOS COEFICIENTES DE IMPACTO PARA A VELOCIDADE USADA
C

```

      KI=LB*IR
      DO 3970 IJ=1,12
      JEV=0.
      IK=VE(IJ,3)
      EK=VE(IJ,2)
      IF(EK)3930,3920,3930
3920 IPACT(IK,1)=VE(IJ,1)
      IPACT(IK,2)=0
      GOTC 3970
3930 DO 3960 KIN=1,KI
      VET=MAXD(KIN,IK)
      IF(VET-SIGN(VET,EK))3960,3940,3960
3940 IF(ABS(VET)-ABS(TEV))3960,3960,3950
3950 JEV=VET
3960 CONTINUE
      IPACT(IK,2)=TEV/EK
      IPACT(IK,1)=VE(IJ,1)
3970 CONTINUE
      JEV=0.
      DO 3990 IJ=1,9,3
      JEV=JEV+1
      DO 3990 IK=1,3
      KI=IJ+IK-1
      IF(IPACT(KI,2)-VET)3990,3990,3980
3980 PACT(JEV,1)=IPACT(KI,1)
      PACT(JEV,2)=IPACT(KI,2)
      PACT(JEV,3)=KI
3990 CONTINUE

```

C
C====IMPRESSAO DOS RESULTADOS
C

```

3995 CALL CABP
      DO 4015 K=1,7,2
      WRITE(S,4000)PACT(K,4)
4000 FORMAT(//,5X,'COEFICIENTES DE IMPACTO MAXIMOS PARA A VELOCIDADE
      *1)
      DO 4015 I=M,K+1
      WRITE(S,4010)(PACT(I,J),J=1,3)
4010 FORMAT(//,16X,F3.0,4X,F6.3,5X,F3.0)
4015 CONTINUE
4020 CONTINUE
      CALL EXIT
      END

```

CAPÍTULO V - Exemplos e Conclusões

V.1 - Introdução

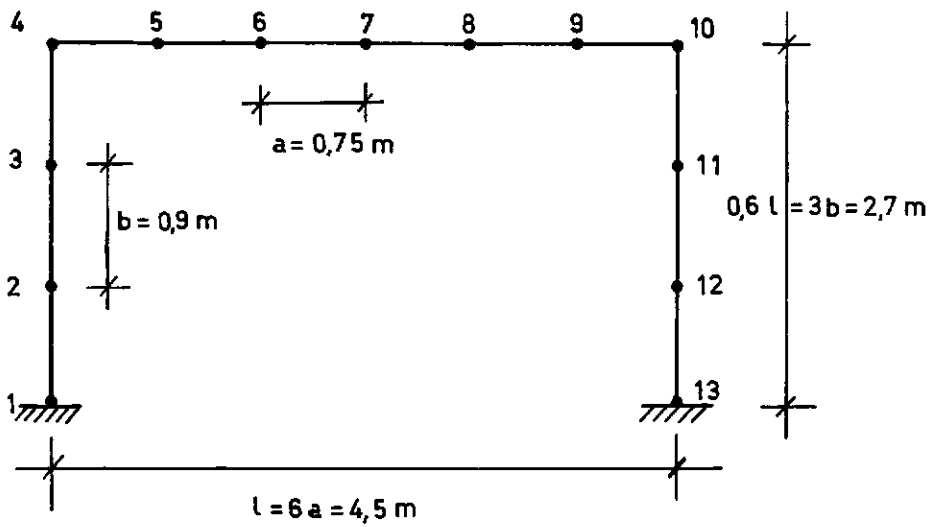
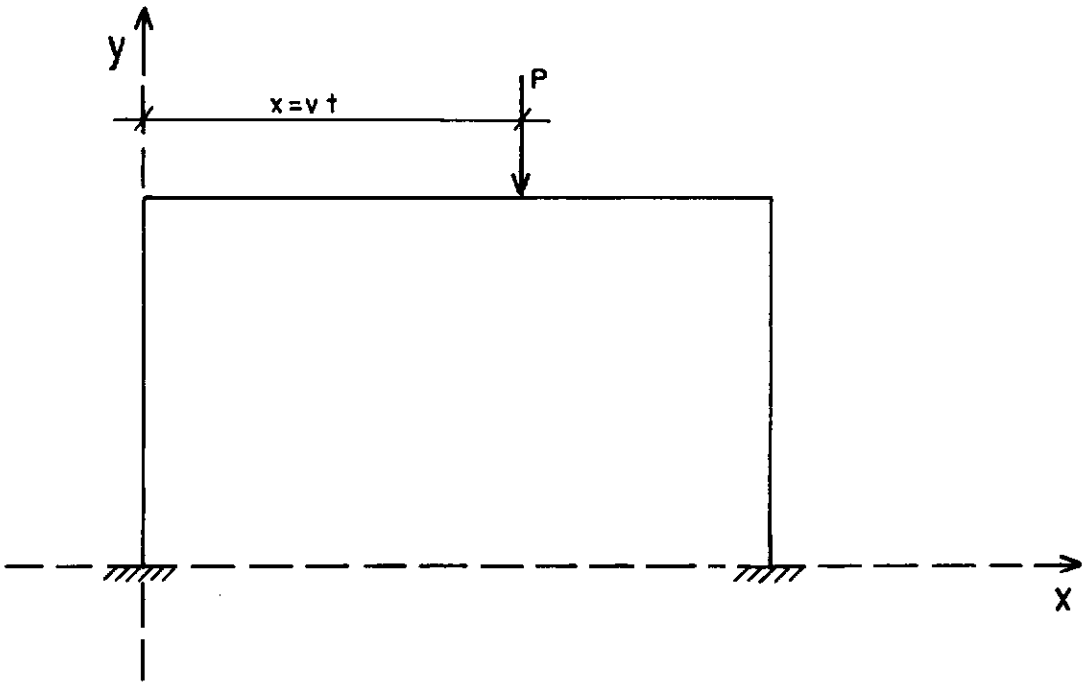
Utilizando o programa descrito no capítulo IV, apresentamos a seguir os exemplos estudados. Em cada um deles a estrutura é percorrida por uma carga concentrada com velocidade constante.

Esta velocidade é fixada indiretamente através da atribuição de valores à relação PF/τ , onde PF é o período fundamental e τ o tempo gasto pela carga para atravessar um trecho pré-fixado da estrutura.

Para uma determinada velocidade, a relação entre o máximo valor dinâmico e o máximo valor estático, para um determinado esforço ou deslocamento, fornece-nos o chamado coeficiente de impacto. Esses valores são apresentados para as várias velocidades adotadas, e constituem o resultado final de nosso estudo.

V.2 - Exemplos

V.2.1 - Exemplo 1



Do esquema anterior podemos escrever:

$$M_1 = M_{13} = \frac{1}{2} \cdot \frac{G_2}{g} \cdot 6$$

$$M_2 = M_3 = M_{11} = M_{12} = \frac{G_2}{g} \cdot b$$

$$M_4 = M_{10} = \frac{1}{2} \cdot \frac{G_1}{g} \cdot a + \frac{1}{2} \cdot \frac{G_2}{g} \cdot b = \frac{1}{2g} (G_1 b + G_2 a)$$

$$M_5 = M_6 = M_7 = M_8 = M_9 = \frac{G_1}{g} \cdot a.$$

onde:

M_i - massa concentrada no nó "i"

G_1 - peso por metro de peça horizontal

G_2 - peso por metro de peça vertical

Para este exemplo mostramos a seguir a "Listagem para consistência" que sempre é emitida pelo programa, e tam bém a listagem opcional dos vetores de rotação das barras.

DINAMICA DE ESTRUTURAS RETICULADAS SOB CARGA MOVEL PELO
 METODO DAS MATRIZES DE TRANSFERENCIA
 COPPE/UFRJ - ENGENHARIA CIVIL - ESTRUTURAS - 1979

/EST

//C1
 TESE DE MESTRADO - MARSILIO DE ALENCAR SA LEITAO

//C2
 PRIMEIRO EXEMPLO

/*

DINAMICA DE ESTRUTURAS RETICULADAS SOB CARGA MOVEL PELO
 METODO DAS MATRIZES DE TRANSFERENCIA
 COPPE/UFRJ - ENGENHARIA CIVIL - ESTRUTURAS - 1979
 TESE DE MESTRADO - MARSILIO DE ALENCAR SA LEITAO
 PRIMEIRO EXEMPLO

//N	12.					
//PIN	3.	1.	1.			
//PME	6.	4.	4.			
//PFI	3.	10.	10.	13.	12.	
//INE	11.					
*LRE	1.	1.	1.	0.	0.	0.
*LRD	1.	1.	1.	0.	0.	0.
*LXX	1.	13.				
*LYY	1.	13.				
*LZZ	1.	13.				

/*

12 OU MAIS CARTES NAO FORAM UTILIZADOS NESTA DEFINICAO

DINAMICA DE ESTRUTURAS RETICULADAS SOB CARGA MOVEL PELO
 METODO DAS MATRIZES DE TRANSFERENCIA
 COPPE/UFRJ - ENGENHARIA CIVIL - ESTRUTURAS - 1979
 TESE DE MESTRADO - MARSILIO DE AGENAR SA LEITAO
 PRIMEIRO EXEMPLO

```

*****
***X# 1. 4. 0.00
***A# 10. 13. 4.50
***X# 5. 9. 0.75 1.50 2.25 3.00 3.75
***Y# 1. 4. 0.00 0.90 1.80 2.70
***Y# 5. 9. 2.70
***Y# 10. 13. 2.70 1.80 0.90 0.00
***Z# 1. 5. 0.00
***Z# 6. 10. 0.00
***Z# 11. 13. 0.00
//AX# 1. 6. .700000000E+01
//AX# 7. 12. .700000000E+01
//E# 1. 6. .210000000E+07
//E# 7. 12. .210000000E+07
//G# 1. 6. .807000000E+06
//G# 7. 12. .807000000E+06
//I# 1. 6. .145830000E+02
//I# 7. 12. .145830000E+02
//Y# 1. 6. .114330000E+03
//Y# 7. 12. .114330000E+03
//IX# 1. 6. .157270000E+02
//IX# 7. 12. .157270000E+02

```

9 DU MAIS CARTES NAO FORAM UTILIZADOS NESTA DEFINICAO

DINAMICA DE ESTRUTURAS RETICULADAS SOB CARGA MOVEL PELO
 METODO DAS MATRIZES DE TRANSFERENCIA
 COPPE/UFRJ - ENGENHARIA CIVIL - ESTRUTURAS - 1979
 TESE DE MESTRADO - MARSILIO DE ALENCAR SA LEITAO
 PRIMEIRO EXEMPLO

ESTRUTURA PRINCIPAL INICIAL - LISTAGEM PARA CONFERENCIA

BARRA	COMP.	BETA		R(1 A 9)								
1	0.900	0.000	0.000	1.000	0.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
2	0.900	0.000	0.000	1.000	0.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
3	0.900	0.000	0.000	1.000	0.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

DINAMICA DE ESTRUTURAS RETICULADAS SOB CARGA MOVEL PELO
 METODO DAS MATRIZES DE TRANSFERENCIA
 COPPE/UFRJ - ENGENHARIA CIVIL - ESTRUTURAS - 1979
 TESE DE MESTRADO - MARSILIO DE ALENCAR SA LEITAO
 PRIMEIRO EXEMPLO

ESTRUTURA PRINCIPAL MEDIA - PARTE1 - LISTAGEM PARA CONFERENCIA

BARRA	CONPR.	BETA	R((1 A 9))								
4	0.750	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000
5	0.750	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000
6	0.750	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000
7	0.750	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000
8	0.750	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000
9	0.750	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000

DINAMICA DE ESTRUTURAS RETICULADAS SOB CARGA MOVEL PELO
 METODO DAS MATRIZES DE TRANSFERENCIA
 COPPE/UFRJ - ENGENHARIA CIVIL - ESTRUTURAS - 1979
 TESE DE MESTRADO - MARCILIO DE ALENCAR SA LEITAO
 PRIMEIRO EXEMPLO

ESTRUTURA PRINCIPAL FINAL - LISTAGEM PARA CONFERENCIA

BARRA	COMP.	BETA	R(01 A 9))								
10	0.900	0.000	0.000	-1.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
11	0.900	0.000	0.000	-1.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
12	0.900	0.000	0.000	-1.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

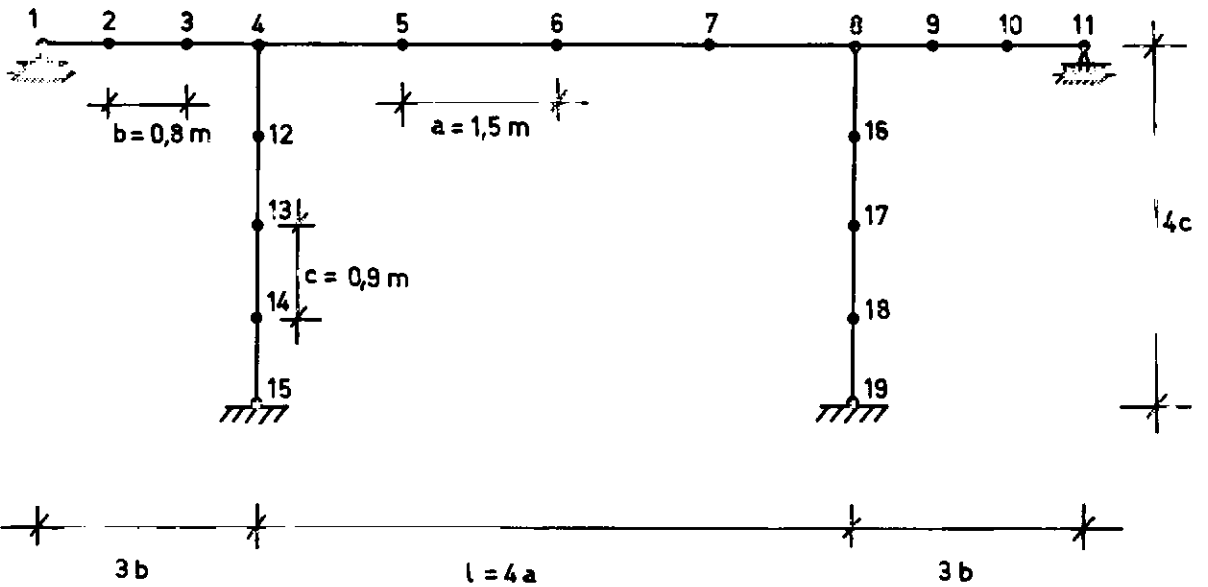
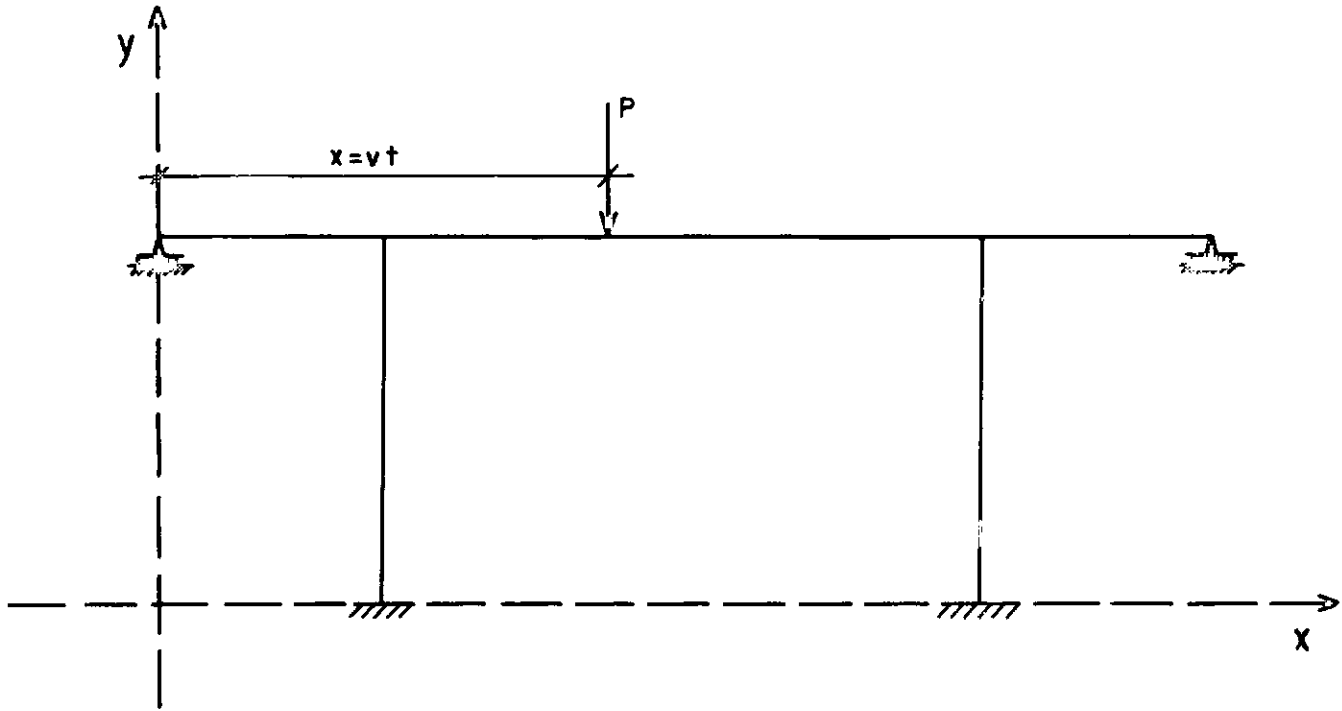
No exemplo obtivemos os coeficientes de impacto referentes ao deslocamento horizontal do ponto 4 e ao deslocamento vertical do ponto 7, conforme o quadro abaixo.

$\frac{PF}{\tau}$	DESLOCAMENTO VERTICAL DO PONTO. 7			DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO PONTO 4		
	F. VENANCIO FILHO	MARCOS JUNG	M. ALENCAR	F. VENANCIO FILHO	MARCOS JUNG	M. ALENCAR
2,0	1,44	1,51	1,49	1,30	1,14	1,17
1,5	-	1,74	1,70	2,00	1,89	1,93
1,0	1,61	1,71	1,68	2,99	3,00	2,98
0,5	1,17	1,22	1,19	1,72	1,86	1,78

Observações:

- 1) Para o cálculo dos deslocamentos verticais PF é o segundo período, correspondendo à frequência $W=124,84$ rad/seg, enquanto que para os deslocamentos horizontais é o primeiro período, correspondendo à frequência $W=53,1$ rad/seg.
- 2) τ é o tempo gasto pela carga para atravessar o vão l .
- 3) Foram considerados intervalos de tempo iguais a $\frac{PF}{20}$.
- 4) Os mesmos resultados são encontrados quando consideramos engastes nos pontos 1 e 13.

V.2.2 - Exemplo 2



Do mesmo modo que no caso anterior podemos definir:

$$M_1 = M_{11} = \frac{1}{2} \frac{G_1}{g} b$$

$$M_2 = M_{10} = M_3 = M_9 = \frac{G_1}{g} b$$

$$M_5 = M_6 = M_7 = \frac{G_1}{g} a$$

$$M_{15} = M_{19} = \frac{1}{2} \frac{G_2}{g} c$$

$$M_{12} = M_{13} = M_{14} = M_{16} = M_{17} = M_{18} = \frac{G_2}{g} c$$

$$M_4 = M_8 = \frac{1}{2g} \left[G_1 (a+b) + G_2 c \right]$$

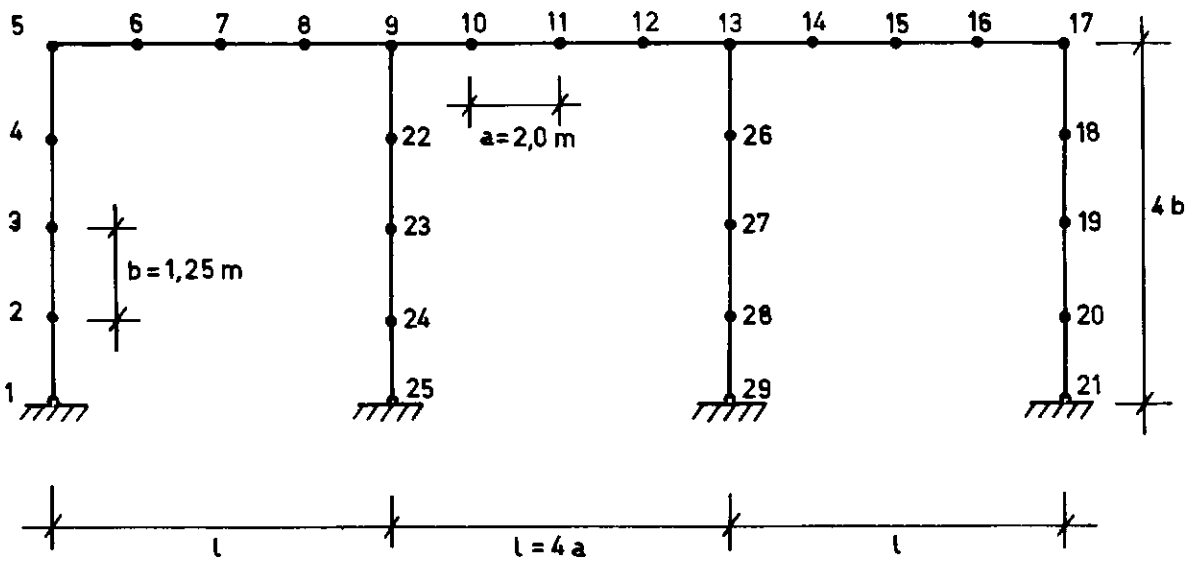
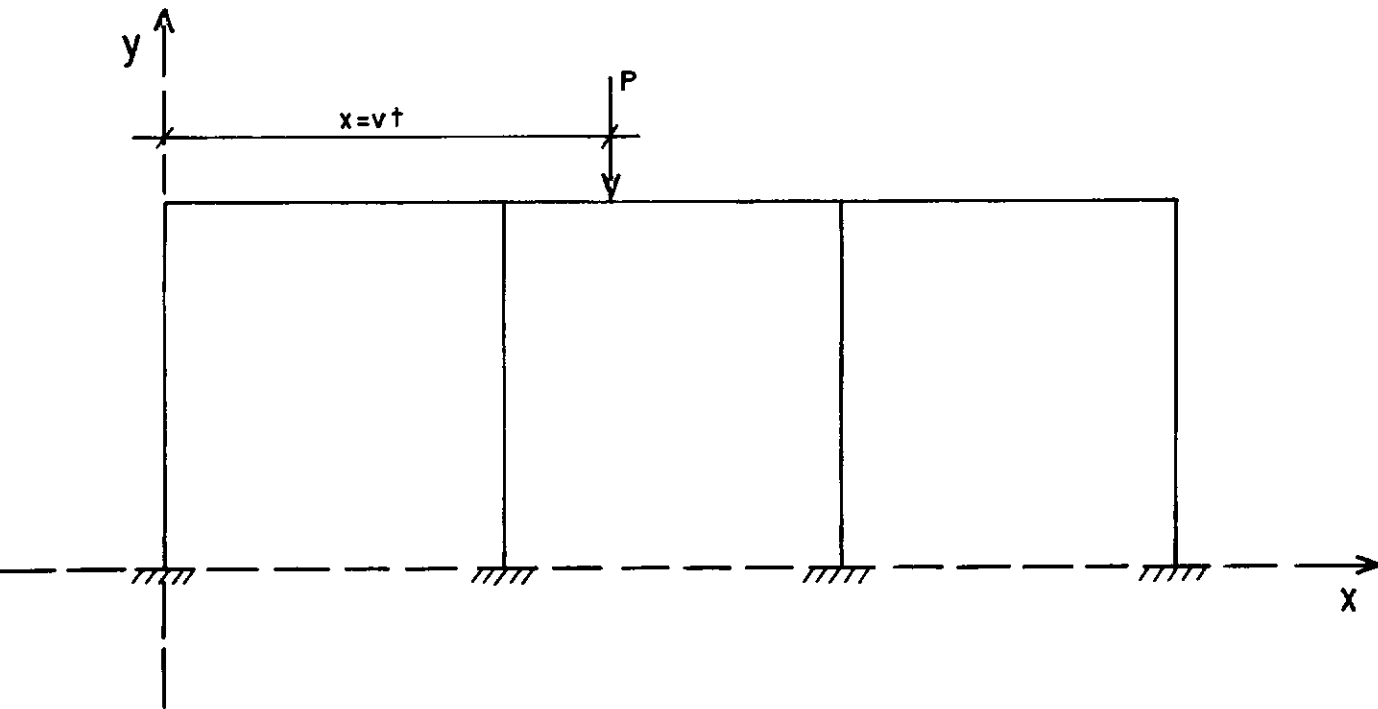
Estudamos aqui os coeficientes de impacto referentes ao deslocamento horizontal do ponto 11 e ao deslocamento vertical do ponto 6, conforme o quadro abaixo.

$\frac{PF}{\tau}$	DESLOCAMENTO VERTICAL DO PONTO 6		DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO PONTO 11	
	F. VENANCIO FILHO	M. ALENCAR	F. VENANCIO FILHO	M. ALENCAR
2,0	1,48	1,52	0,56	0,50
1,5	...	1,74	1,30	1,24
1,0	1,62	1,68	4,50	4,43
0,5	0,93	0,97	2,16	2,21

Observações:

- 1) *As características geométricas e elásticas da estrutura são as mesmas do problema anterior.*
- 2) *Para o cálculo dos deslocamentos verticais PF é o segundo período correspondendo à frequência $W=80,7$ rad/seg .
Para os deslocamentos horizontais PF é o primeiro período, correspondendo à frequência $W=37,4$ rad/seg .*
- 3) *τ é o tempo gasto pelo carregamento para percorrer o vão central.*
- 4) *Foram considerados intervalos de tempo iguais a $\frac{PF}{20}$.*
- 5) *Os mesmos resultados são encontrados quando consideramos engastes nos pontos 15 e 19 .*
- 6) *Naturalmente os coeficientes menores que a unidade são de validade apenas teórica.*

V.2.3 - Exemplo 3



Do mesmo modo que nos casos anteriores, podemos definir as massas pontuais nos vários nós da estrutura.

$$M_1 = M_{21} = M_{25} = M_{29} = \frac{1}{2} \frac{G_2}{g} b$$

$$M_2 = M_3 = M_4 = M_{18} = M_{19} = M_{20} =$$

$$M_{22} = M_{23} = M_{24} = M_{26} = M_{27} = M_{28} = \frac{G_2}{g} a$$

$$M_5 = M_{17} = \frac{1}{2g} (G_1 a + G_2 b)$$

$$M_6 = M_7 = M_8 = M_{10} =$$

$$M_{11} = M_{12} = M_{14} = M_{15} = M_{16} = \frac{G_1}{g} a$$

$$M_9 = M_{13} = \frac{1}{2g} (2G_1 a + G_2 b)$$

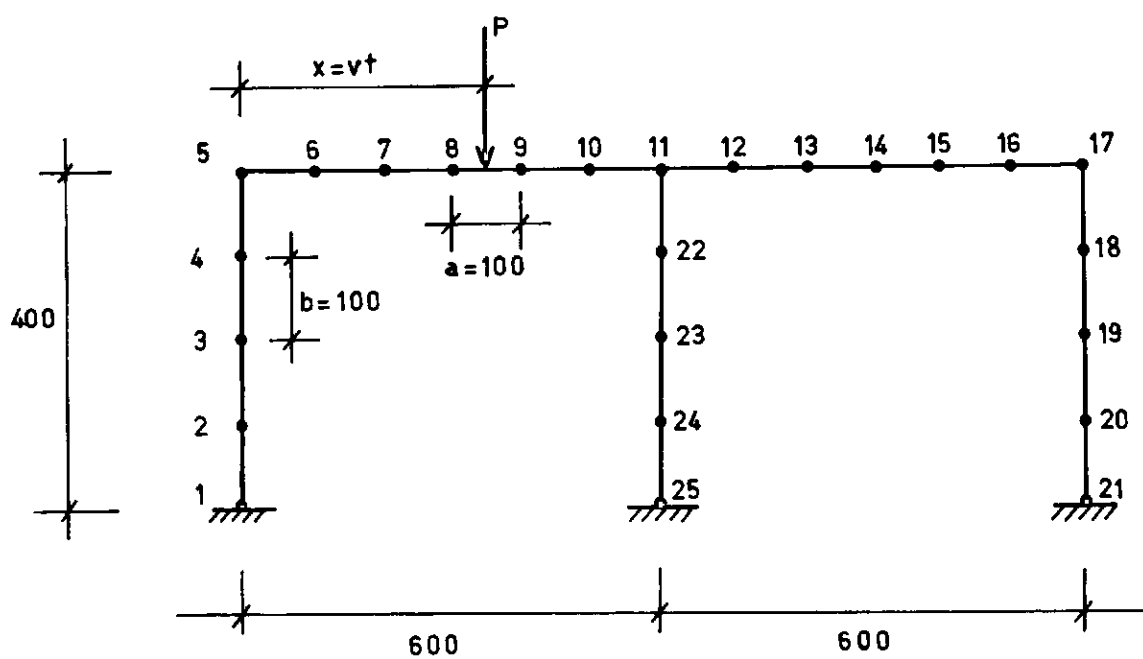
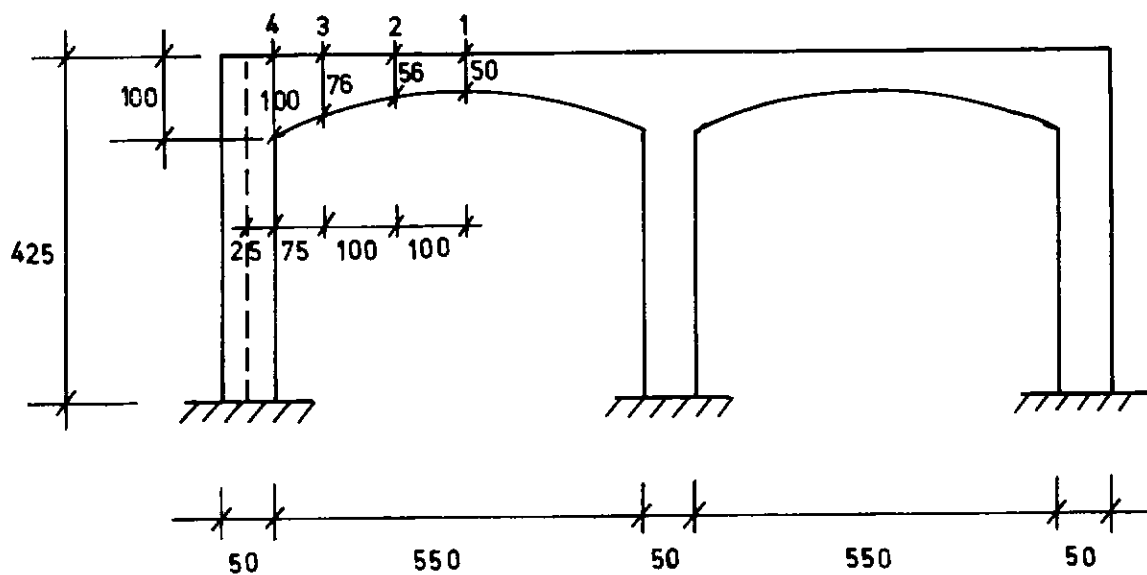
Neste exemplo obtivemos os coeficientes de impacto referentes ao deslocamento horizontal do ponto 5 e à reação horizontal no ponto 21, conforme quadro que se segue.

$\frac{PF}{\tau}$	DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO PONTO 5		REAÇÃO HORIZONTAL NO PONTO 21	
	MARCOS JUNG	M. ALENCAR	MARCOS JUNG	M. ALENCAR
2,0	0,81	0,88	1,99	1,80
1,5	1,43	1,52	3,37	3,31
1,0	5,24	5,30	3,09	3,02
0,5	2,10	2,06	-	1,45

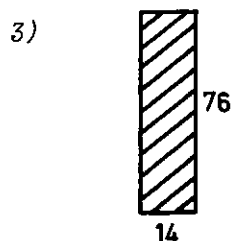
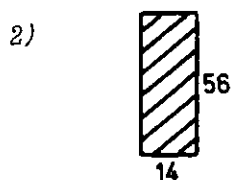
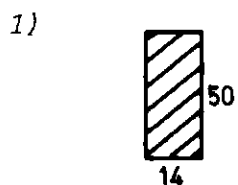
Observações:

- 1) PF é o período fundamental, correspondente à frequência $\omega=40,8$ rad/seg .
- 2) τ é o tempo gasto pela carga para atravessar o vão "1"
- 3) Foram considerados intervalos de tempo iguais a $\frac{PF}{20}$.
- 4) Naturalmente os coeficientes menores que a unidade são de validade apenas teórica.
- 5) As características geométricas e elásticas da estrutura são das mesmas dos problemas anteriores.

V.2.4 - Exemplo 4



Secções transversais



Trata-se de um pórtico plano com membros horizontais de inércia variável segundo lei parabólica,

Os membros verticais têm as mesmas dimensões transversais que os dos demais exemplos.

Para efeito de obtenção das massas discretas substituímos os arcos de parábola por segmentos retos horizontais passando por seus pontos médios.

Dessa maneira as massas são calculadas analogamente aos casos anteriores.

No exemplo obtivemos os coeficientes de impacto referentes ao deslocamento horizontal do ponto 17 e ao deslocamento vertical do ponto 8 .

$\frac{PF}{\tau}$	DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO PONTO 17	DESLOCAMENTO VERTICAL DO PONTO 8
2,0	1,13	1,36
1,5	2,01	1,69
1,0	3,60	1,81
0,5	1,66	1,05

Observações:

- 1) Para o cálculo dos deslocamentos verticais PF é o segundo período, correspondendo à frequência $W=112,5$ rad/seg., enquanto que para os deslocamentos horizontais ele é o primeiro período, correspondendo à frequência $W=48,6$ rad/seg.
- 2) τ é o tempo gasto pela carga para atravessar o vão l .
- 3) Foram considerados intervalos de tempo iguais a $\frac{PF}{20}$.

V.3 - Considerações sobre uso das expressões para cálculo de coeficientes de impacto.

Utilizando as expressões apresentadas em III.4.6, encontramos para os exemplos anteriores, os resultados abaixo:

EXEMPLO	COEFICIENTES DE IMPACTO				
	RILEM	ÁREA	AASHO	DIN	ABNT
1º	1,36	1,39	1,35	1,36	1,37
2º	1,30	1,39	1,35	1,35	1,36
3º	1,25	1,39	1,33	1,34	1,34
4º	1,27	1,39	1,35	1,35	1,36

Podemos verificar que, para nosso tipo de estrutura, encontraremos sempre, para qualquer das expressões, um coeficiente de impacto entre os valores 1,25 e 1,39, valor este bem inferior aos coeficientes máximos encontrados em todos os exemplos. Concluimos assim que, para nosso tipo estrutural, os valores dados por aquelas expressões não podem ser utilizados indiscriminadamente, mas apenas quando a velocidade das cargas móveis estiver dentro de uma determinada faixa.

Nos exemplos apresentados observamos que os valores maiores dos coeficientes de impacto se verificam para as relações $\frac{PF}{T} = 1,0$ e $\frac{PF}{T} = 1,5$, decrescendo para relações $\frac{PF}{T}$ anteriores a esse intervalo. Aí então é que se enquadrariam os

valores encontrados no quadro anterior, dado pelas expressões. Entretanto para relações $\frac{PF}{\tau}$ maiores que 1,5, o cálculo das velocidades correspondentes nos dá valores muito altos, muitas vezes maiores que 200 km/h, e portanto inteiramente fora de aplicação em nosso estudo.

A conclusão final, logicamente, é que apenas quando a relação $\frac{PF}{\tau}$ for menor que 0,5, os valores dados pelas expressões podem ser utilizados. O cálculo das velocidades correspondentes nos exemplos a esses valores, confirma a hipótese feita em III.4.6 com relação às velocidades adotadas nas experiências com as quais se obtiveram as expressões.

O quadro abaixo apresenta o cálculo das velocidades correspondentes aos casos dos exemplos:

EXEMPLO	$\frac{PF}{\tau} = 2,0$		$\frac{PF}{\tau} = 1,5$		$\frac{PF}{\tau} = 1,0$		$\frac{PF}{\tau} = 0,5$	
	v (m/s)	v (Km/h)	v (m/s)	v (Km/h)	v (m/s)	v (Km/h)	v (m/s)	v (Km/h)
1º	76,1	274,0	57,7	207,7	38,1	138,6	19,02	68,5
2º	71,4	257,0	53,6	193,0	35,7	128,5	17,9	64,4
3º	103,9	374,0	77,9	280,4	51,9	186,8	25,9	93,2
4º	93,0	334,8	69,7	251,1	46,5	167,4	23,2	83,5

V.4 - Conclusões finais

V.4.1 - Os máximos valores dos coeficientes de impacto ocorrem para valores da relação $\frac{PF}{T}$ entre 1,0 e 1,5.

V.4.2 - Considerando-se deslocamentos verticais e horizontais, os máximos valores dos coeficientes de impacto são correspondentes aos últimos. Consequentemente para os esforços os máximos coeficientes de impacto serão os correspondentes aos esforços associados aos deslocamentos horizontais.

V.4.3 - Coeficientes de impacto calculados por expressões obtidas de normas ou publicações de associações técnicas so deverão ser usados quando a velocidade de deslocamento das cargas não ultrapassar o valor máximo de aproximadamente 80 Km/h, a menos que a expressão usada venha acompanhada de índicações a respeito da velocidade adotada.

ANEXOS:

A.1 - Notações utilizadas

a - Abscissa onde atuam as cargas concentradas aplicadas sobre uma barra. Também significa coeficiente angular de uma reta ou trecho do comprimento de uma barra.

b - Coeficiente do termo quadrático em equação polinomial, ou trecho do comprimento de uma barra.

c - Coeficiente do termo cúbico em equação polinomial, ou trecho do comprimento de uma barra.

g - Aceleração da gravidade .

j e *k*

- Pontos extremos de uma barra.

l - Comprimento de barra.

m - Momento torsor distribuído aplicado,

n - Carga axial distribuída aplicada.

p - Carga distribuída aplicada .

p_y e p_z

- Cargas concentradas aplicadas nas direções *y* e *z* .

s - Distância em pés entre vigas longitudinais de pontes.

t - Variável tempo.

v - Velocidade de deslocamento do carregamento.

x, y e z

- Sistema de eixos coordenados.

x_s, y_s e z_s

- Sistema global de eixos coordenados.

x_{AS}, y_{AS} e z_{AS}

- Coordenadas no sistema global, de um ponto no plano $x_M y_M$

x_M, y_M e z_M

- Sistema local de eixos coordenados.

A - Ação generalizada.

A_x - Área da secção transversal de uma barra.

C_x, C_y e C_z

- Cossenos diretores do eixo x_M em relação ao sistema global.

D - Deslocamento generalizado.

E - Módulo de elasticidade longitudinal.

G - Módulo de elasticidade transversal ou peso das barras por metro linear.

G_t - Carga permanente total em um vão considerado.

I_x, I_y, I_z

- Momentos de inércia da secção transversal.

$K_x, K_y, K_z, K_{xx}, K_{yy}$ e K_{zz}

- Rigidezes de mola de apoios elásticos

L - Índice do vetor de estado, significando à esquerda.

M - Massa concentrada pontual.

M_{ey} - Momento concentrado aplicado na direcção y .

M_{ez} - Momento concentrado aplicado na direcção z .

M_{sy} - Momento fletor na secção "s" na direcção y .

M_{sz} - Momento fletor na secção "s" na direcção z .

M_t - Momento torsor

M_{te} - Momento torsor concentrado aplicado.

M_{ts} - Momento torsor na secção "s".

M_y - Momento fletor na direcção y .

M_z - Momento fletor na direcção z .

N - Esfôrço normal.

N_e - Carga axial aplicada.

P - Carga concentrada aplicada, fixa ou móvel.

PF - Período fundamental.

P_y e P_z

- Cargas concentradas aplicadas nas direções y e z .

Q_y - Esfôrço cortante na direção y ,

Q_{sy} - Esfôrço cortante atuante na secção " s " , na direção y .

Q_z - Esfôrço cortante na direção z .

Q_{sz} - Esfôrço cortante atuante na secção " s " , na direção z .

R - Índice do vetor de estado, significando à direita.

X, Y e Z

- Deslocamentos respectivamente nas direções x, y e z .

α - Coeficiente de dilatação térmica .

β - Ângulo entre y_M e o plano vertical de x_M e y_s , que define a posição dos eixos principais da peça.

γ - Valor muito grande (∞) introduzido na diagonal da matriz $[\gamma]$.

θ_{sy} - Rotação na secção " s ", em torno de y .

θ_{sz} - Rotação na secção " s ", em torno de z .

θ_y e θ_z

- Rotações em torno de y e z respectivamente.

ϕ - Rotação em torno de x .

Q - Coeficiente de impacto.

W - Frequência de vibração .

Δt - Variação de temperatura.

$\{ \}$ - Vetor

$\{A\}_A$ - Vetor das ações no ponto A .

$\{A\}_{j,i}$

- Vetor das ações no ponto " j " da barra " i "

$\{A_w\}$ - Vetor das ações geradas pelas massas pontuais em vibração .

$\{D\}_A$ - Vetor dos deslocamentos no ponto A .

$\{D\}_{j,i}$

- Vetor dos deslocamentos no ponto " j " da barra " i " .

$\{F_{AC}\}$ - Parte do vetor das cargas de $\{F\}$, devida às ações .

$\{F_{DC}\}$ - Parte do vetor das cargas de $\{F\}$, devida aos deslocamentos.

$\{P\}_i$ - Vetor das cargas externas aplicadas no nó " i " , ou vetor das cargas nodais equivalentes, para a barra " i " .

$\{R\}$ - Vetor de reações em um nó,

$\{T_{AC}\}$ - Parte do vetor das cargas de $[T]$, devida aos esforços.

$\{T_{DC}\}$ - Parte do vetor das cargas de $[T]$, devida aos deslocamentos.

$\{\bar{u}\}_i$ - Vetor de deslocamentos nodais virtuais na barra "i"

$\{\bar{u}_I\}_i$ - Vetor de deslocamentos no interior da barra "i", devidos a $\{\bar{u}\}_i$.

$\{\Delta_i\}$ - Vetor de deformações impostas no nó "i".

$[]$ - Matriz quadrada ou retangular.

$[F]$ - Matriz fronteira.

$[F]_j$ - Matriz fronteira do nó "j".

$[F_{AA}]$, $[F_{AD}]$, $[F_{DA}]$, $[F_{DD}]$

- Submatrizes quadradas 6×6 , componentes de $[F]$

$[F_R]$ - Matriz fronteira do nó em que se conecta a ramificação.

$[K]$ - Matriz diagonal das rigidezes de mola, introduzida em $[F]$ para considerar a existência de apoios elásticos.

$[R]$ - Matriz de rotação 3×3 ,

$[R_T]$ - Matriz de rotação 12×12 .

$[S]$ - Matriz 6×6 introduzida em $[F]$ para levar em consideração a existência de ramificação.

$[T]$ - Matriz de transferência.

$[T]_i$ - Matriz de transferência da barra "i" .

$[T_{DD}]$, $[T_{DA}]$, $[T_{AD}]$ e $[T_{AA}]$

- Submatrizes quadradas 6×6 , componentes de $[T]$.

$[T_R]$ - Matriz de transferência de ramificação.

$[V]$ - Matriz diagonal 6×6 , introduzida em $[F]$ para levar em consideração as descontinuidades geradas por $\{A_w\}$.

$[Y]$ - Matriz diagonal 6×6 , introduzida em $[F]$ para levar em consideração a existência de liberações generalizadas nos nós.

A.2 - Bibliografia

- 1 - American Concrete Institute Publication SP-23
"Concrete Bridge Design" - Detroit, 1969.
- 2 - American Concrete Institute Publication SP-26
"Concrete Bridge Design" - Detroit, 1971.
- 3 - Biggs, J.M. - "Introduction to Structural Dynamics"
- Mc Graw-Hill Book Co. New York, 1964.
- 4 - Bishop, R.E.D. and Johnson, D.C. - "The Mechanics of
Vibration" - Cambridge University Press, Cambridge,
1960.
- 5 - Bresley, B. Lin, T.Y. and Scalzi, J.B. - "Design of
Steel Structures" - John Wiley & Sons, Inc. - New
York, 1968.
- 6 - Courbon, J. - "Calcul des Structures" - Dunod - Pa-
ris, 1971.
- 7 - Fertis, D.G. - "Dynamics and Vibration of Structures"
- John Wiley & Sons, New York, 1973.
- 8 - Fleming, J.F. and Romualdi, J.P. - "Dynamic Responses
of Highway Bridges" - Journal of Structural Division,
ASCE, vol.87, n° ST7, Proc. paper 2955, october, 1961.

- 9 - Galgoczy, G. - "Bemessung von Stahl, Stahlbeton und Holzkonstruktionen" - Bauverlag GmbH - Wiesbaden und Berlin, Deutschland, 1972.
- 10- Gere, J.M. and Weaver, Jr. W. - "Analysis of Framed Structures" - D.Van Nostrand Company Inc. Princeton N.J., 1965.
- 11- Grover, L. and Rogers, Sc.D. - "Dynamics of Framed Structures" - John Wiley & Sons - New York, 1959.
- 12- Hartog, D.J.P. - "Mechanical Vibrations" - Mc Graw-Hill Book Co., New York, 1956.
- 13- Herrmann, G. and Perrone, M. - "Dynamic Response of Structures" - Pergamon Press Inc. - New York, 1972.
- 14- Hurty, W.C. and Rubinstein, M.F. - "Dynamics of Structures" - Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs N.J., 1964.
- 15- Igute, F. e Venâncio Filho, F. - "Análise Dinâmica de Pórticos Planos" - COBEM IIIº Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - Rio de Janeiro, 1975.
- 16- Jung, Marcos de Paula - "Dinâmica de Estruturas Reticuladas sob Cargas Móveis pelo Método dos Elementos Finitos" - Tese M.Sc., COPPE/UFRJ, 1973.

- 17 - Kersten, R. and Falk, S. - "Reduktionsverfahren der Baustatik" - Springer Verlag, Berlin, 1962.
- 18 - Mello, Eldon Londe - "Análise de Estruturas Reticuladas pelo Método das Matrizes de Transferência" - Tese M.Sc., COPPE/UFRJ, 1975.
- 19 - Merritt, F.S. - "Structur Steel Design Handbook" - Mc Graw Hill Book Co. - New York, 1972.
- 20 - Pestel, E.C. and Leckie, F.A. - "Matrix Methods in Elastomechanics" - Mc Graw Hill Book Co., Inc.-New York, 1963.
- 21 - Pipes, L.A. - "Matrix Methods for Engineering" - Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs N.J., 1963.
- 22 - Przemieniecki, J. - "Theory of Matrix Structural Analysis" - Mc Graw Hill Book Co., New York, 1968.
- 23 - Reynolds, C.E. and Steedman, J.C. - "Reinforced Concrete Designer's Handbook" - Viewpoint Publications - Cement and Concrete Association - Grosvenor Garden, London, 1976.
- 24 - Rubinstein, M.F. - "Matrix Computer Analysis of Structures" - Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs N.J., 1966.

- 25 - Thomson, W.T. - "Theory of Vibration" - Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs N.J., 1972.
- 26 - Venâncio Filho, F. - "Dynamic Influence Lines of Beams and Frames" - Journal of Structural Division, ASCE, vol. 92, nº ST2, April 1966.
- 27 - Venâncio Filho, F. - "Análise Dinâmica de Estruturas de Massas Discretas" - XIII^{as} Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, Montevideo, 1969.
- 28 - Warburton, G.B. - "The Dynamical Behavior of Structures" - Pergamon Press, New York, 1964.
- 29 - Weaver Jr, William - "Computer Program for Structural Analysis" - D. Van Nostrand Co, N.J., 1967.