



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

Análise Elasto-Plástica de Pórticos Planos Retangulares

Eng.º CESAR BALLAROTTI

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

São Carlos, dezembro 1981

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

ANÁLISE ELASTO-PLÁSTICA DE
PÓRTICOS PLANOS RETANGULARES

ENG. CESAR BALLAROTTI

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas".

Orientador:

PROFA. DRA. HELENA M.C. CARMO ANTUNES

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Comissão Examinadora:

Profa. Dra. Helena M.C. Carmo Antunes
Prof. Dr. Ilio Montanari
Prof. Dr. Ronaldo Garcia de Figueiredo

São Carlos, Dezembro de 1981

À Wanda e ao Maurício.
Aos meus pais e irmãs.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Helena M.C. Carmo Antunes pela eficiente e constante orientação prestada.

Ao Reitor José C. Pinotti, da Fundação Universidade Estadual de Londrina, pelo apoio prestado para a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (PICD-CAPES-FUEL) pela concessão de Bolsa de Estudo.

Ao Centro de Processamento de Dados da Escola de Engenharia de São Carlos e ao Núcleo de Processamento de Dados da Fundação Universidade Estadual de Londrina, pela utilização de seus equipamentos.

Aos funcionários do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos, em particular à Sra. Wilma Provinciali Vall pela primorosa datilografia deste trabalho, ao Sr. João Paulo Moretti e Sylvia Helena Morette pelos desenhos.

A todos, que de uma forma ou de outra, têm colaborado para o desenvolvimento deste trabalho.

SINOPSE

Neste trabalho é feita a análise elasto-plástica de pórticos planos retangulares, constituídos sô de vigas e pilares considerando-se a não linearidade física do material e geométrica da estrutura.

O material é considerado elasto-plástico ideal, sendo utilizado o conceito de articulação plástica (rótula plástica).

Foi desenvolvida e programada uma técnica numérica através da qual é feita a análise de pórticos pelo Processo dos Deslocamentos.

Como resultados das análises pode-se ter: os esforços solicitantes nas barras, as relações carga-deslocamentos, a posição e ordem de formação das rótulas plásticas, a carga última e a causa da instabilidade da estrutura em cada caso.

São considerados na análise o efeito dos deslocamentos laterais dos nós do pórtico (efeito P-Delta), a redução do momento de plastificação, a alteração da rigidez devido aos esforços axiais nos pilares e a reversão de rotação de rótulas plásticas.

O carregamento pode ser inteiramente ou parcialmente proporcional.

Foram desenvolvidos dois programas para Computador (IBM 1130 e HP 2100) que denominamos PRGMI e PRGMII. O PRGMI faz a análise considerando a não linearidade física e o PRGMII a não linearidade física e geométrica.

São feitas comparações com exemplos da literatura de resultados teóricos e experimentais.

ABSTRACT

The aim of the present work is the elastic-plastic analysis of rectangular plane frames, made only of beams and columns, taking into account the geometrical non-linearity of the structure and physical non-linearity of the material.

The material is considered to be an ideal elasto-plastic one, using the concept of plastic hinge.

A numerical technique was developed and programmed, using the stiffness method, by which the analysis of frames is made.

As results from the analysis, it can be obtained, the internal forces in the members, load-displacement relations, position and sequence of appearing of plastic hinges, ultimate load and the cause of instability of the structure in each case.

The effect of the lateral nodal displacement (P-Delta effect), the reduction of moments in the plastification, the change of stiffness caused by axial forces in the columns and strain reversal of plastic hinges are taken into account in this analysis.

The loading can be fully or partially proportional.

Two computer programs were developed (IBM 1130 and HP 2100), which were designated by PRGMI and PRGMII. The PRGMI makes the analysis, considering the physical non-linearity and the PRGMII considering the physical and geometrical non-linearity.

The results were compared with examples found in the technical literature, both experimental and theoretical ones.

LISTA DE SÍMBOLOS

Esta seção contém uma lista de símbolos, os quais aparecem no texto. A menos de indicação em contrário, as unidades são indicadas em tonelada-centímetro. Os subscritos numéricos e os i, j, k e n indicam localização.

O prefixo Δ indica um incremento.

- A = área da seção transversal de uma barra;
- b = largura da "mesa" dos perfis - I;
- c = fator de propagação das funções de estabilidade⁽⁹⁾;
- D = deslocamento;
- D_f = deslocamento devido ao carregamento constante;
- D_v = deslocamento devido ao carregamento variável;
- $\{D\}$ = vetor deslocamento;
- D_u = deslocamento no colapso;
- d = altura dos perfis-I;
- E = módulo de elasticidade;
- E_f = esforço devido ao carregamento constante, em coordenadas locais;
- E_v = esforço devido ao carregamento variável, em coordenadas locais;
- $\{E\}$ = vetor de esforços;
- F = esforço axial numa barra;
- F_e = $\pi^2 EJ/L^2$ = carga crítica de Euler para uma barra bi-rotulada;
- F_y = esforço axial de escoamento de uma barra;
- h = altura de um andar do pórtico;
- i = extremidade esquerda ou superior de uma barra;

LISTA DE SÍMBOLOS (continuação)

J	= momento de inércia da seção transversal de uma barra;
j	= extremidade direita e inferior de uma barra;
k	= nó (conexão de barras) esquerdo ou superior, correspondente a uma barra;
$[K]$	= matriz de rigidez da estrutura;
$[K']$	= matriz de rigidez tangente da estrutura;
K_{ij}	= um elemento da matriz de rigidez de uma barra;
$[K_{ij}]^v$	= matriz de rigidez de uma viga;
$[K_{ij}]^p$	= matriz de rigidez de um pilar;
L	= comprimento da barra;
l	= vão entre prumadas de pilares;
M	= momento fletor;
M_p	= momento de plastificação de uma barra;
M_{pr}	= momento de plastificação de uma barra, reduzido pelo efeito do esforço axial;
M_y	= momento referente ao início de escoamento da seção;
m	= coeficiente de rigidez à translação, das funções de estabilidade ⁽⁹⁾ ;
n	= nó direito ou inferior, correspondente a uma barra;
N_{nos}	= número de nós do pórtico;
N_{tc}	= número total de coordenadas do sistema estrutural;
P	= carga;
P_f	= carga aplicada constante;
P_v	= carga aplicada variável;

LISTA DE SÍMBOLOS (continuação)

$\{P\}$	= vetor de carga;
$\{P_f\}$	= vetor de carga constante;
$\{P_v\}$	= vetor de carga variável;
P_u	= carga de colapso;
R	= rotação de rótula plástica;
r	= raio de giração;
S	= módulo de resistência;
S_p	= módulo plástico de resistência;
s	= coeficiente de rigidez à rotação, das funções de estabilidade ⁽⁹⁾ ;
T	= trabalho virtual;
t_f	= espessura da "mesa" dos perfis-I;
t_w	= espessura da "alma" dos perfis-I;
V	= esforço cortante;
v	= ordenada da linha elástica;
W_c	= fator de carga crítica elástica;
W_f	= fator estimado da carga última;
ΔW_i	= fator de carga da etapa "i";
ΔW_p	= fator de carga predito em cada iteração;
W_r	= fator de carga da análise rígido-plástica;
W_t	= fator de carga acumulado e total da análise;
X	= eixo de referência horizontal da estrutura no plano do pórtico;
x	= eixo de referência axial da barra, no plano do pórtico;
Y	= eixo de referência vertical da estrutura no plano do pórtico;

LISTA DE SÍMBOLOS (Continuação)

y	= eixo de referência da barra, perpendicular a seu eixo, no plano do pórtico;
Z, z	= eixos de referência da estrutura e das barras, normais ao plano do pórtico;
α	= fator de forma da seção transversal de barras, (S_p/S) ;
β	= $\pi/2 \sqrt{\rho}$;
γ	= $\pi/2 \sqrt{ -\rho }$;
δ	= deslocamento transversal relativo entre extremidades de uma barra $i-j$;
ϵ	= deformação (cm/cm);
ϵ_y	= deformação de escoamento (cm/cm);
θ	= deslocamento rotacional (radianos);
ϕ	= curvatura (radianos/cm);
ϕ_y	= curvatura correspondente ao escoamento (radianos/cm);
ρ	= F/F_e ;
σ	= tensão (tf/cm ²);
σ_y	= tensão de escoamento (tf/cm ²).

Í N D I C E

1. INTRODUÇÃO	1
2. CONSIDERAÇÕES GERAIS	5
2.1 - Hipóteses gerais	6
2.2 - Colapso plástico	8
2.3 - Carregamento	10
3. ANÁLISE ELASTO-PLÁSTICA EM PRIMEIRA ORDEM	12
3.1 - Hipóteses e delineação da análise	12
3.2 - Matriz de rigidez da estrutura	16
3.3 - Vetores de carga	21
3.4 - Rotações das rótulas plásticas	23
3.5 - Alteração da rigidez da estrutura	26
4. PROGRAMA PARA ANÁLISE AUTOMÁTICA - PRGMI	27
4.1 - Sistemas de numeração	27
4.2 - Plastificação precoce	29
4.3 - Determinação dos fatores de carga	30
4.4 - Formação de rótulas plásticas	31
4.5 - Reversão de rotação de rótulas plásticas	31
4.6 - Relações carga-deslocamento e carga última ..	32
4.7 - Verificação do PRGMI	33
4.8 - Exemplos de verificação	34
4.8.1 - Exemplo número 1	34
4.8.2 - Exemplo número 2	40
4.8.3 - Exemplo número 3	41
4.9 - Exemplos de Aplicação	43
5. ANÁLISE ELASTO-PLÁSTICA EM SEGUNDA ORDEM	48
5.1 - Preliminares	48
5.1.1 - Análise elástica	50
5.1.2 - Análise rígido-plástica	51

5.1.3 - Análise elasto-plástica em segunda ordem	52
5.2 - Formulação da análise	53
5.2.1 - Hipóteses e delineação da análise .	54
5.2.2 - Efeito do esforço axial na rigidez dos pilares	58
5.2.3 - Efeito do esforço axial no momento de plastificação	64
5.2.4 - Efeito P-Delta	66
6. PROGRAMA PARA ANÁLISE AUTOMÁTICA - PRGMII	68
6.1 - Alteração da rigidez dos pilares	69
6.2 - Cálculo dos deslocamentos pelo método de Cholesky	70
6.3 - Convergência	72
6.4 - Relações carga-deslocamento e carga última.	73
6.5 - Verificação do PRGMII	74
6.6 - Exemplos de verificação	76
6.6.1 - Exemplo número 1	76
6.6.2 - Exemplo número 2	77
6.6.3 - Exemplo número 3	78
6.6.4 - Exemplo número 4	79
6.6.5 - Exemplo número 5	80
6.6.6 - Exemplo número 6	81
6.6.7 - Exemplo número 7	82
6.7 - Exemplos de Aplicação	83
7. CONCLUSÕES	86
APÊNDICE I - PROGRAMA PRGMI	87
APÊNDICE II - PROGRAMA PRGMII	120
BIBLIOGRAFIA	185

1. INTRODUÇÃO

Com a difusão de computadores eletrônicos e o desenvolvimento de técnicas matriciais, tem-se tornado viável desenvolver a análise de estruturas levando em conta efeitos diversos, na tentativa de reproduzir o seu comportamento real em qualquer nível de solicitação.

Muito esforço tem sido despendido na obtenção de relações carga-deslocamento de pórticos planos de muitos andares, utilizados como painéis de contraventamento de estruturas tridimensionais de edifícios, considerando o comportamento não elástico do material. A maior dificuldade no tratamento desse tipo de estrutura, levando em conta um comportamento elasto-plástico para o material e efeitos de segunda ordem, se prende ao extensivo trabalho numérico só praticável em programas apropriados para computador.

Fazendo-se uma retrospectiva, ver-se-á como, de certa forma, têm-se desenvolvido as análises de pórticos. O pesquisador Merchant⁽¹⁸⁾ (1954) em suas primeiras investigações, formulou a carga de colapso de pórticos através do fator de carga W_f , sendo este uma função do fator de carga rígido-plástico W_r , do crítico elástico W_c e de um parâmetro corretivo. Horne⁽¹⁸⁾ (1963) expôs uma relação aproximada para a carga de colapso de pórticos, similar à usada por Rankine na determinação do colapso de pilares sob flexo-compressão. Moses⁽¹⁹⁾ (1964) comprovou que tais resultados são geralmente próximos dos obtidos experimentalmente.

Majid e Anderson⁽⁴⁾ (1968) propuseram uma análise elasto-plástica em segunda ordem, na qual é considerada a redução do momento de plastificação devido aos esforços axiais, e prevendo a formação progressiva de rótulas, simultâneas ou não. Ao ser iniciada essa análise, não são considerados os efeitos do esforço axial nas barras. Em cada etapa da análise são feitas iterações que visam ajustar os esforços axiais nas barras que, por sua vez, intervêm na rigidez e na redução do momento de plastificação das mesmas. O

determinante da matriz de rigidez é, então, calculado e a análise é finalizada quando o mesmo for negativo, indicando que a estrutura tornou-se instável. Este método, através dos exemplos analisados, demonstrou ser eficiente e viável para a análise de pórticos de muitos andares, os quais se encontram com frequência na prática.

Em 1972, McNamee e Lu⁽¹²⁾ salientaram que, para que se obtivesse uma solução mais exata do comportamento não elástico de pórticos, o procedimento teórico empregado deveria possibilitar a determinação precisa da ordem de formação e localização das rótulas plásticas. Com o propósito de avaliar a carga de flambagem não-elástica de pórticos sob cargas gravitacionais, apresentou-se uma técnica na qual são consideradas pequenas cargas horizontais que podem representar o efeito das excentricidades iniciais, devidas às imperfeições de fabricação e montagem de estrutura. Como hipóteses básicas utilizadas na formulação, o equilíbrio é baseado na estrutura deslocada, são consideradas deformações são devidas à flexão, é empregada a teoria de pequenas deformações, não sendo considerada a reversão de rotação das rótulas plásticas e sendo impedidas a flambagem lateral e local. Os resultados obtidos por esta análise mostraram-se muito bons comparados com os experimentais, no que se refere à carga de flambagem.

Liapunov⁽⁵⁾ (1973) desenvolveu uma técnica numérica para a análise elasto-plástica de pórticos planos, a qual aplicou para estudar as relações carga-deslocamento destes, projetados a partir de critérios práticos, como os de tensão admissível. Na formulação desta técnica, que é incremental-iterativa, são consideradas as seguintes hipóteses: o material é homogêneo e elasto-plástico ideal; as tensões residuais oriundas do processo de fabricação, através de um modelo idealizado; o espalhamento da plastificação ao longo das barras; os efeitos dos deslocamentos dos nós, dentre eles, o efeito P-delta através da aplicação adicional de cargas externas horizontais. Entretanto, não são considerados a reversão de rotação de rótulas plásticas e o encruamento

do material. São consideradas cargas ao longo de vigas, sendo estas subdivididas em trechos para considerar a plastificação ao longo de seus eixos. Dos estudos realizados pode-se verificar que os efeitos de segunda ordem e a plastificação são os principais causadores da diminuição da rigidez lateral e que a consideração das tensões residuais e a variação de módulo de elasticidade não influencia significativamente a capacidade última de carga. Os pórticos analisados tornaram-se instáveis antes da formação do mecanismo.

Tranberg, Swannell e Meek⁽¹⁾ (1976) apresentaram um trabalho com o qual é avaliado o comportamento carga-deslocamento de pórticos. É considerado o conceito de rigidez tangente, o espalhamento da plastificação ao longo das barras, uma relação momento-curvatura idealizada, o encruamento do material e efeitos de segunda ordem, numa análise incremental-iterativa. Os resultados demonstraram a viabilidade do tratamento dos problemas de instabilidade de pórticos, considerando a plastificação e o encruamento.

Em 1977, Cheong-Siat-Moy, Ozer e Lu⁽¹⁶⁾ procederam a determinação do comportamento de pórticos submetidos a cargas gravitacionais, com o propósito de investigar suas cargas últimas e seus modos de colapso. O comportamento não elástico de pórticos simétricos submetidos a cargas simétricas e, em particular, um fenômeno complexo. Excetuando o colapso parcial de pilares, o comportamento do pórtico é análogo ao da flambagem de uma coluna. Entretanto, através de pequenas forças fictícias laterais e análise elasto-plástica, é extrapolado o valor da carga de flambagem⁽¹²⁾. A presença do esforço axial nas vigas é ignorado. A formação de rótulas plásticas é regida pelas especificações do "AISC". Da análise de vários pórticos concluiu-se que o colapso de pórticos sob cargas gravitacionais se deve mais a um fenômeno localizado envolvendo a estabilidade de andares individuais; a flambagem global, caracterizada pela passagem de uma configuração deformada de equilíbrio simétrica para uma não simétrica, não ocorreu nos diversos pórticos analisados.

No mesmo ano, 1977, foi verificado⁽¹⁵⁾ que o com

portamento de pórticos submetidos simultaneamente a cargas gravitacionais e laterais é afetado significativamente pelo efeito P-delta. Em relação ao regime elástico, este efeito tende a aumentar as tensões e os deslocamentos laterais da estrutura. A plastificação das seções ocorre nas partes da estrutura onde as solicitações combinadas de momento fletor e esforço normal são mais intensas, reduzindo a rigidez global da estrutura para acréscimos de carga, resultando acréscimos cada vez maiores nos deslocamentos laterais. Com o aumento de seções plastificadas e dos deslocamentos laterais, a estrutura passa a ter, continuamente, sua rigidez diminuída até que atinja a instabilidade, ocasionada, geralmente, pela nulidade de sua rigidez lateral. Os principais resultados dessa análise, se comparados com os de uma análise plástica em primeira ordem, são: o aumento dos momentos fletores antecipando a plastificação das seções; a redução progressiva da rigidez global da estrutura; pode ser atingida a instabilidade sem a formação de um mecanismo.

O objetivo do trabalho ora apresentado é a formulação de um procedimento numérico e a elaboração de programas para computador para que se possa determinar as relações carga-deslocamento e analisar o fenômeno de instabilidade de pórticos planos, envolvendo a plastificação das seções e o efeito de segunda ordem. Visa-se com isso obter ferramentas que viabilizem a análise numérica e consequentemente a compreensão do comportamento de pórticos planos quando se considera a não linearidade do material e a influência de esforços axiais na flexão, nesse tipo de estrutura.

No capítulo 3 apresenta-se uma análise incremental das relações carga-deslocamento, onde é considerada a não linearidade física, i.e., do material. No capítulo 4, esta análise é automatizada através do programa de computador PRGMI, com o qual vários exemplos são processados.

No capítulo 5 apresenta-se uma análise incremental-iterativa, considerando-se a não linearidade física e geométrica. A automatização desta análise é feita através do programa de computador PRGMII, conforme o que se apresenta no capítulo 6, com o qual se processam vários exemplos.

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste trabalho, propõe-se a formulação de um processo numérico para a análise de pórticos planos, prevendo a formação de rótulas plásticas e efeitos de segunda ordem, que permita um rápido processamento sem, contudo, comprometer a precisão dos resultados.

Fundamentalmente, uma análise elasto-plástica consiste na determinação das relações não-lineares carga-deslocamento até que se verifique o colapso da estrutura. Essas relações decrevem a história do carregamento na estrutura associada aos deslocamentos por ela assumidos. Por outro lado verifica-se que relacionado ao colapso tem-se a carga última, que é aquela para a qual a estrutura deixa de ser estável em seu plano pois sua estabilidade transversal é suposta assegurada⁽¹⁴⁾.

O desenvolvimento deste trabalho foi feito basicamente em duas partes globais. Na primeira foram considerados os efeitos apenas da não linearidade física e na segunda, os efeitos da não linearidade física e geométrica.

Na formulação procurou-se estabelecer um procedimento que previsse a formação de rótulas plásticas e a possível reversão de rotação das mesmas. Se para esse procedimento fossem aplicados incrementos constantes de carga obter-se-iam resultados tão mais imprecisos quanto maiores fossem esses incrementos, pois, poderia haver mais que uma rótula se formando entre a aplicação de um e outro incremento de carga. Por outro lado, a aplicação de pequenos incrementos de carga exigiria que o sistema de equações fosse resolvido muitas vezes, o que consumiria muito tempo de processamento.

Com o procedimento numérico adotado neste trabalho, são aplicados incrementos de carga que coincidem exatamente com a formação das rótulas plásticas na análise em primeira ordem e, se aproximam satisfatoriamente na análise em segunda ordem. Para minimizar a número de iterações são previstos pontos simultâneos de plastificação (i.e., a for

mação de mais que uma rótula plástica com a aplicação de um único incremento de carga) e é utilizado um artifício para acelerar a convergência na determinação dos incrementos de carga quando se consideram os efeitos de segunda ordem.

Por outro lado, tem-se a salientar que a alteração da matriz de rigidez da estrutura devido à formação de rótulas plásticas e devido aos efeitos de segunda ordem nos pilares é feita por substituição das rigidezes de cada barra, sem que se necessite reconstruí-la totalmente.

2.1 - Hipóteses gerais

a) Assume-se para o material um comportamento elasto-plástico ideal, desprezando o encruamento, assumindo a tensão inicial de escoamento igual à final, assumindo uma reserva de deformação plástica infinita sem que haja ruptura, assumindo comportamento elástico na inversão de solicitação, e assumindo idêntico comportamento à tração e à compressão; com isso resulta o diagrama tensão-deformação esquematizado na fig. 2.1.

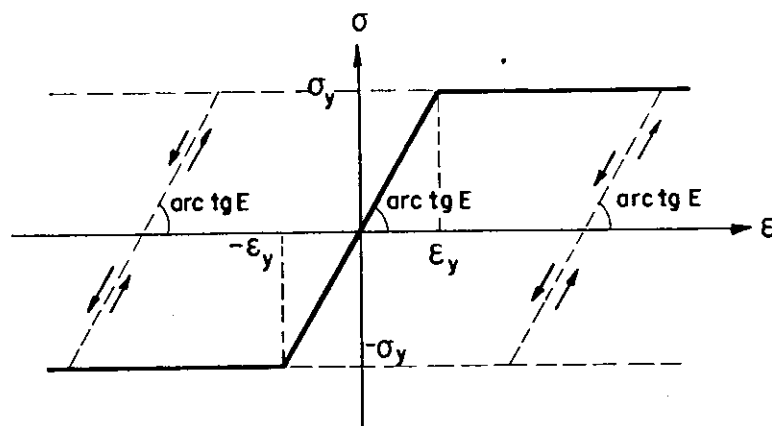


FIG. 2.1 - DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO; MATERIAL ELASTO-PLÁSTICO IDEAL COM INVERSÃO DE SOLICITAÇÃO.

b) As seções transversais planas permanecem planas na deformação, tanto em regime elástico como em regime plástico.

c) As seções transversais são supostas com dois eixos de simetria, um deles no plano do pórtico, de forma que o eixo que contém os centros de gravidade das seções coincida com o eixo de "igual área" das seções. Os momentos fletores serão referidos a esse eixo de simetria.

d) Será admitido que a formação de rótulas plásticas é à flexão, e também, que a formação dessas rótulas não se altera com a eventual existência de esforços axiais na seção.

Nessas condições, assumindo também que o momento fletor M_y correspondente ao início de plastificação na seção coincida com o momento fletor M_p de plastificação total da seção, o que equivaleria por exemplo, a trabalhar com o perfil I ideal da Fig. 2.2, desprezada a contribuição da alma do perfil, ter-se-ia para flexão pura o comportamento momento curvatura esquematizado na Fig. 2.3.

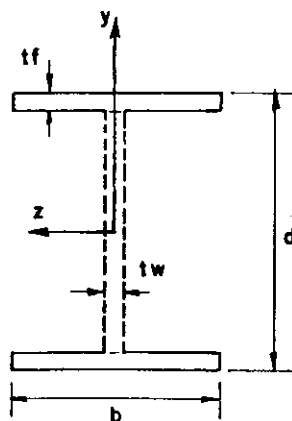


FIG. 2.2 - PERFIL I IDEAL

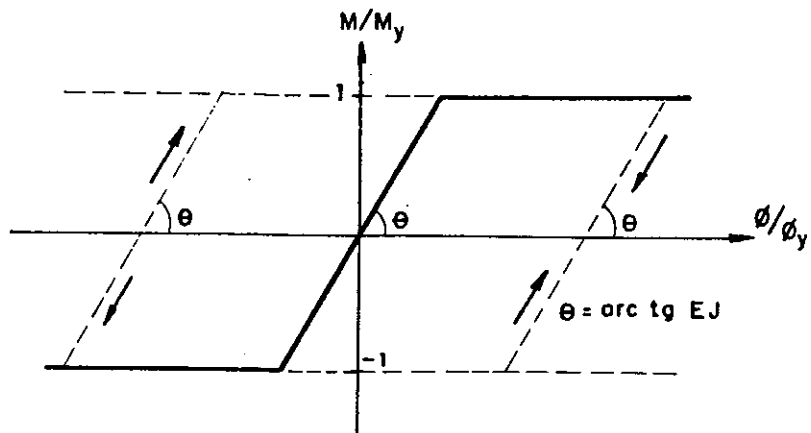


FIG. 2.3 - DIAGRAMA MOMENTO - CURVATURA COM INVERSÃO DE SOLICITAÇÃO.

e) Despreza-se a influência do esforços axial no momento fletor de plastificação da seção, na análise em primeira ordem.

f) Despreza-se o espalhamento da plastificação ao longo das barras; a plastificação será suposta restrita apenas a rótulas, tendo o resto das barras comportamento elástico.

g) É suposta assegurada a estabilidade fora do plano do pórtico.

2.2 - Colapso plástico

As estruturas a serem abordadas neste trabalho se constituem de pórticos planos retangulares compostos de vigas e pilares.

Uma análise elasto-plástica em primeira ordem, na qual é considerada a formação de rótulas plásticas de acordo com as hipóteses da seção 2.1, se resume na obtenção do mecanismo de colapso da estrutura. Assim, para um determinado pórtico com n graus de hiperstaticidade, cada rótula

plástica que se forma ao longo do carregamento vem a dimi
nuir um desses graus. Desta forma, quando tiver se formado,
no máximo, $n+1$ rótulas plásticas nas barras da estrutura,
esta terá se transformado em um mecanismo com um grau de li
berdade, no mínimo. Se houver, por exemplo, a formação de
rótulas plásticas nas extremidades de todos os pilares de
um mesmo andar, de um pórtico de muitos andares, ocorrerá
um mecanismo lateral com um número menor que $n+1$ rótulas.
Da mesma forma, se houver uma carga momento aplicada em um
determinado nó de um pórtico, no qual haja a formação de rô
tulas plásticas nas extremidades de todas as barras que con
corram a esse nó, ocorrerá um mecanismo de nó. Em casos as
sim, o colapso plástico da estrutura ocorre sem que venha a
se formar o número máximo de rótulas plásticas, de acordo
com o grau de hiperestaticidade da estrutura.

Assim, deve-se observar que o número de rótulas
plásticas que transformará a estrutura em um mecanismo não
depende apenas do grau de hiperestaticidade, mas também
das características elásticas, plásticas, geométricas e do
carregamento da estrutura.

Dentre os Processos Plásticos ^(2,3) para o cálculo
de estruturas, é citado o Processo de Combinação de Mecanis
mos. Com este processo, para um determinado carregamento de
uma estrutura, o mecanismo de colapso, dentre todos os pos
síveis mecanismos, será aquele que ocorrer com a menor in
tensidade possível deste carregamento. Entretanto, há uma
restrição importante que é o fato deste processo só ser vá
lido para carregamento proporcional, i.e., quando todos os
parâmetros de carga mantêm a mesma proporção entre si, ou se
ja, variam na mesma proporção. Neste trabalho não existirá
esta restrição quanto ao carregamento.

O processo de combinação de mecanismos será uti
lizado apenas para a verificação da carga última de alguns
exemplos de verificação de resultados das análises elasto-
plásticas em primeira ordem.

2.3 - Carregamento

Serão consideradas cargas gravitacionais e cargas devidas à ação do vento. De acordo com o procedimento numérico estabelecido os parâmetros de carga poderão ser parcialmente ou totalmente variáveis. Dessa forma, poderão se estabelecer carregamentos com vários tipos de variação e proporção entre os parâmetros de carga.

O carregamento é aplicado através de dois vetores de carga, que são utilizados em duas fases distintas da análise. Numa primeira fase a estrutura é carregada com os parâmetros do vetor de carga $\{P_f\}$ que, por sua vez, não deve provocar a plastificação de nenhuma seção das barras. Caso isso ocorra, o processo é reiniciado. Com esse carregamento são determinados os esforços pela resolução do sistema de equações $\{D_f\} = [K]^{-1} \cdot \{P_f\}$ e $\{E_f\} = [K] \cdot \{D_f\}$ através do Processo dos Deslocamentos.

Numa segunda fase, a estrutura passa a ser carregada com os parâmetros do vetor de carga $\{P_v\}$, com o qual são determinados os esforços $\{E_v\} = [K'] \cdot \{D_v\}$. Nesta fase o procedimento passa a ser iterativo, na qual se considera a formação de rótulas e efeitos de segunda ordem. Devido a esses efeitos a matriz de rigidez tangente $[K']$ irá se alterando ao longo das iterações. A cada iteração é associada a formação de pelo menos uma rótula plástica, que no caso compõe as "etapas" dessa segunda fase.

Os incrementos de carga, com relação aos quais se verifica a formação das rótulas plásticas em cada etapa, são obtidos a partir dos fatores de carga ΔW_i . Esses fatores de carga são obtidos através dos esforços $\{E\}, \{E_v\}$ e do momento de plastificação M_{pr} relativos a uma mesma seção, o que é feito para todas as seções das barras da estrutura nas quais esses esforços assumem valores extremos. Com os fatores ΔW_i , os incrementos de carga são calculados por $\Delta W_i \cdot \{P_v\}$.

O nível de carga, i.e., a carga acumulada a que fica submetida a estrutura, é obtida por

$$\{P\} = \{P_f\} + \sum_{i=1}^m \Delta W_i \cdot \{P_v\},$$

sendo m o número correspondente à etapa atual na qual se encontra o processo de análise. De forma similar são calculados os deslocamentos acumulados da estrutura. Assim, vão sendo estabelecidos os respectivos níveis de carga e deslocamentos ao longo da análise.

3. ANÁLISE ELASTO-PLÁSTICA EM PRIMEIRA ORDEM

Neste capítulo as relações carga-deslocamento assim como a carga última de pórticos serão determinadas por uma análise elasto-plástica em primeira ordem. Uma análise baseada numa determinação etapa-por-etapa das relações carga-deslocamento onde rótulas e mais rótulas plásticas se formam é chamada "análise elasto-plástica"⁽¹¹⁾. Ao ser iniciada a análise toda a estrutura comporta-se elasticamente até formarem-se as primeiras rótulas. A partir daí, as barras da estrutura continuam a se comportar elasticamente nos trechos entre rótulas, ou seja, nas seções onde o momento fletor é menor que o momento de plastificação da referida seção ($M < M_p$). Depois que determinadas rótulas plásticas se formaram a estrutura passa a reagir ao carregamento como se existissem rótulas reais naquelas seções, incapazes de resistirem a adicionais momentos fletores, sendo que o momento naquelas seções permanece constante e igual a M_p .

Neste capítulo se apresenta a formulação completa dessa análise.

3.1 - Hipóteses e delineação da análise

Dadas as características elásticas, plásticas, geométricas e o carregamento do pórtico é procedida a análise pelo Processo dos Deslocamentos, o que é feito pela resolução dos sistemas de equações apresentados no capítulo 2 (seção 2.3) segundo as coordenadas do sistema estrutural.

O procedimento numérico proposto baseia-se, além das hipóteses apresentadas no capítulo 2 (seção 2.1), nas seguintes:

- a) Todas as barras (vigas e pilares) são retas e prismáticas.

- b) O comprimento da barra é igual à distância entre os centros das conexões ou nós (i.e., ponto de convergência dos eixos das barras).
- c) Todas as cargas atuantes no pórtico são estáticas e contidas no plano do mesmo, sendo aplicadas nos nós da estrutura.
- d) A teoria de pequenas deformações é válida em cada "etapa".
- e) Todos os deslocamentos da estrutura são em seu próprio plano, sendo a mesma contraventada fora desse plano.
- f) As deformações devidas ao esforço cortante são desprezadas.
- g) As conexões (nós) das barras são rígidas.
- h) O surgimento das rótulas plásticas deve ocorrer apenas nas extremidades das barras, visto que serão carregados apenas os nós da estrutura.
- i) As vigas são consideradas axialmente indeformáveis.

Ao ser iniciada a análise a estrutura é inteiramente elástica e são obtidas, dessa forma, relações carga-deslocamento lineares. Assim, determina-se o primeiro fator de carga ΔW_i correspondente à(s) primeira(s) rótula(s) plástica(s). Com a formação de rótulas a matriz de rigidez $[K]$ é alterada, e na medida que mais e mais rótulas se formam menos e menos rígida torna-se a estrutura o que leva a relações carga-deslocamento conforme Fig. 3.1.

Entretanto, pode ocorrer que a partir da terceira etapa da análise determinada(s) rótula(s) se feche(m) o que implica em repetir-se essa etapa alternando convenientemente a matriz $[K']$ e os demais parâmetros envolvidos na análise, conforme se verá no capítulo 4. Sabe-se que uma determinada rótula formada na etapa "i" só poderá se fechar a partir da etapa "i+2", visto que na etapa que ela se forma sua rotação é nula. E dessa forma, só a partir da

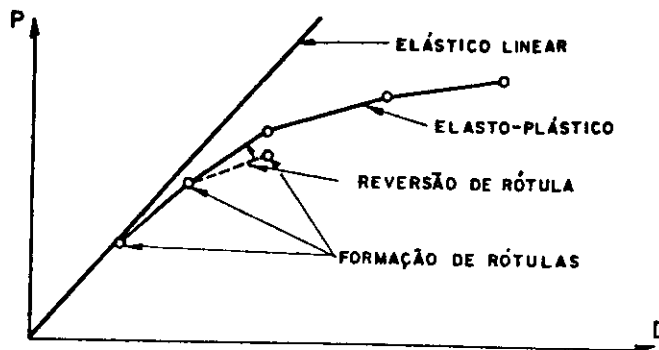


FIG. 3.1- RELAÇÃO CARGA-DESLOCAMENTO COM REVERSÃO DE RÓTULA

terceira etapa é que se tornará possível comparar as rotações, com o que se detectará a reversão das rótulas.

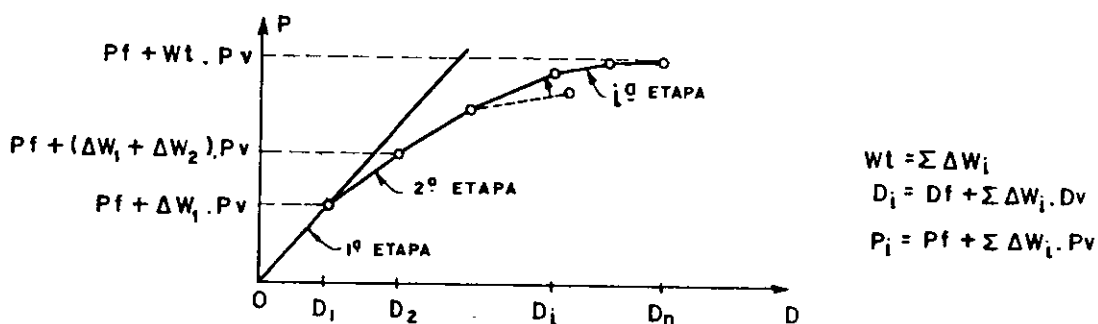


FIG. 3.2- RELAÇÃO CARGA-DESLOCAMENTO COM INDICAÇÃO DAS ETAPAS.

Na Fig. 3.2 são indicadas as sucessivas "etapas" correlacionadas com os parâmetros de carga e deslocamento. Dessa forma, as relações carga-deslocamento para um determinado ponto da estrutura, ao longo da análise, são obtidas a partir de ΔW_i , P_i e D_i .

Quando se formar a última rótula plástica a estrutura terá se transformado em um mecanismo, de acordo com o que foi apresentado no capítulo 2 (seção 2.2). Uma forma de se detectar a instabilidade será quando o fator de carga ΔW_i calculado na etapa atual tornar-se ínfimo e a estrutura assumir grandes deslocamentos. Além dessa, a detecção do mecanismo será feita através do cálculo do deter

minante da matriz de rigidez do pórtico⁽⁴⁾, quando este resultar em valor menor ou igual a zero.

O procedimento incremental adotado para computar os fatores de carga ΔW_i nas análises de pórtico são descritos através dos seguintes passos:

- 1) Montagem da matriz de rigidez $[K]$ a partir da rigidez das barras, usando as características elásticas e geométricas da estrutura.
- 2) Inversão da matriz de rigidez $[K]$ pelo método de Gauss-Jordan.
- 3) Cálculo dos deslocamentos pelo sistema simultâneo de equações $\{D\} = [K]^{-1} \cdot \{P_f\}$. Com esses deslocamentos, calculam-se os esforços $\{E_f\}$ nas seções extremas das barras do pórtico.
- 4) É verificado se, com os esforços $\{E_f\}$, ocorre plastificação nas seções das barras; em caso afirmativo, são reduzidos os parâmetros de carga do vetor $\{P_f\}$ e retorna-se ao passo 3.
- 5) Com a matriz $[K']$ da etapa atual, calculam-se os deslocamentos e, com estes, os esforços $\{E_v\}$ devidos ao vetor de carga variável $\{P_v\}$, definido na seção 3.3.
- 6) Com os momentos fletores dos parâmetros $\{E_v\}$ e $\{E_f\}$, e o momento de plastificação M_p calculam-se os fatores de carga ΔW_i , de acordo com o que se apresenta no capítulo 2 (seção 2.3).
- 7) Determina-se o menor fator de carga ΔW_i , dentre os calculados no passo 6, que por sua vez se refere à formação da i -ésima rótula plástica. A menos de um "erro" pré-fixado de acordo com a precisão desejada, são determinados os "outros" pontos de plastificação (rótulas simultâneas).
- 8) Calculam-se os esforços e deslocamentos acumulados que são atribuídos aos parâmetros $\{E_f\}$ e $\{D\}$.
- 9) Calculam-se as rotações das rótulas com os esforços e deslocamentos do passo 8.
- 10) A partir da terceira etapa verifica-se a reversão

de rótula(s) plástica(s). Caso haja reversão, altera-se a matriz de rigidez $[K]$, retorna-se ao passo 8, desacumulando-se os parâmetros $\{E\}$ e $\{D\}$ e, em seguida volta-se ao passo 5 e repete-se essa etapa.

- 11) Altera-se a matriz de rigidez $[K]$ devido a formação de rótula(s) plástica(s) dessa etapa, que passa a ser matriz de rigidez tangente $[K']$ a partir da primeira etapa.
- 12) É verificado se a estrutura atingiu a instabilidade, averiguando-se o determinante da matriz de rigidez; caso este assuma valor menor ou igual a zero, tem ocorrido o colapso plástico do pórtico, o que indica o fim da análise; caso o determinante seja maior que zero, retorna-se ao passo 5, dando prosseguimento à análise.

3.2 - Matriz de rigidez da estrutura

A matriz de rigidez da estrutura é obtida a partir da matriz de rigidez das barras (vigas e pilares) que constituem o pórtico. Ao se proceder a montagem da matriz de rigidez da estrutura, esta estará referida ao sistema de eixos coordenados que se apresenta na Fig. 3.3.

As matrizes de rigidez das barras são referidas a um sistema local de eixos de referência, designados por x ,

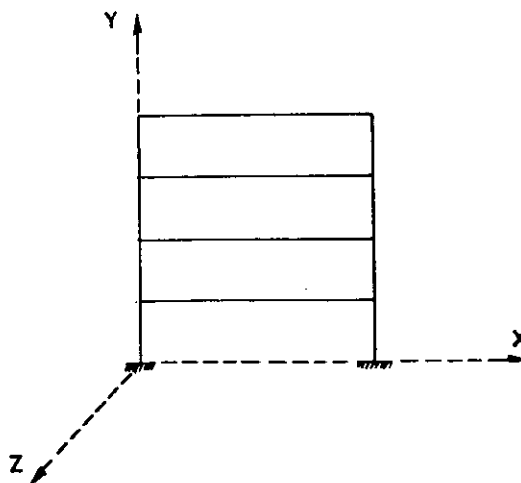


FIG. 33 - EIXOS DE REFERÊNCIA DA ESTRUTURA

y e z. A seguir são apresentadas essas matrizes que serão utilizadas ao longo da análise.

Ao matriz de rigidez de uma viga se constitui segundo as coordenadas da Fig. 3.4 e, apresenta-se da seguinte forma:

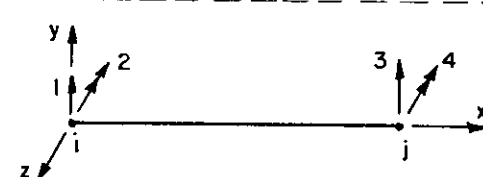
$$[K_{ij}]^v = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} +12EJ/L^3 & -6EJ/L^2 & -12EJ/L^3 & -6EJ/L^2 \\ -6EJ/L^2 & +4EJ/L & +6EJ/L^2 & +2EJ/L \\ -12EJ/L^3 & +6EJ/L^2 & +12EJ/L^3 & +6EJ/L^2 \\ -6EJ/L^2 & +2EJ/L & +6EJ/L^2 & +4EJ/L \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \dots \text{Eq. 3.1}$$


FIG. 3.4 - COORDENADAS E EIXOS DE REFERÊNCIAS DAS VIGAS

Caso tenha se formado uma rótula plástica na extremidade esquerda da viga, sua matriz de rigidez terá a seguinte configuração:

$$[K_{ij}]^v = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} +3EJ/L^3 & 0 & -3EJ/L^3 & -3EJ/L^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -3EJ/L^3 & 0 & +3EJ/L^3 & +3EJ/L^2 \\ -3EJ/L^2 & 0 & +3EJ/L^2 & +3EJ/L \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \dots \text{Eq. 3.2}$$

Caso tenha se formado rôtula plástica na extremidade direita da viga, sua matriz de rigidez terá a seguinte configuração:

$$[K_{ij}]^v = \begin{array}{c|cccc} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & +3EJ/L^3 & -3EJ/L^2 & -3EJ/L^3 & 0 \\ \hline 2 & -3EJ/L^2 & +3EJ/L & +3EJ/L^2 & 0 \\ \hline 3 & -3EJ/L^3 & +3EJ/L^2 & +3EJ/L^3 & 0 \\ \hline 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline \end{array}$$

.... Eq. 3.3

Caso tenha se formado rôtulas plásticas nas duas extremidades da viga, sua rigidez será nula; dessa forma a viga passa a funcionar apenas com um elemento de rigidez axial infinita, que faz a ligação entre duas prumadas de pilares.

A matriz de rigidez de um pilar i-j se constitui segundo as coordenadas da Fig. 3.5.

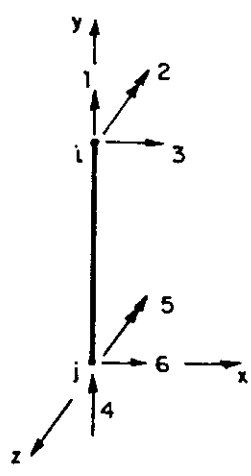


FIG.3.5- COORDENADAS E EIXOS DE REFERÊNCIA DOS PILARES

Para um pilar sem articulações (sem rótulas plásticas), sua matriz de rigidez se apresenta com a seguinte configuração:

$$[K_{ij}]^P = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline \frac{+EA}{L} & 0 & 0 & \frac{-EA}{L} & 0 & 0 \\ \hline 0 & \frac{+4EJ}{L} & \frac{-6EJ}{L^2} & 0 & \frac{+2EJ}{L} & \frac{+6EJ}{L^2} \\ \hline 0 & \frac{-6EJ}{L^2} & \frac{+12EJ}{L^3} & 0 & \frac{-6EJ}{L^2} & \frac{-12EJ}{L^3} \\ \hline \frac{-EA}{L} & 0 & 0 & \frac{+EA}{L} & 0 & 0 \\ \hline 0 & \frac{+2EJ}{L} & \frac{-6EJ}{L^2} & 0 & \frac{+4EJ}{L^2} & \frac{+6EJ}{L^2} \\ \hline 0 & \frac{+6EJ}{L^2} & \frac{-12EJ}{L^3} & 0 & \frac{+6EJ}{L^2} & \frac{+12EJ}{L^3} \\ \hline \end{array} \end{matrix}$$

....Eq. 3.4

Um pilar com rótula plástica na extremidade superior, terá sua matriz de rigidez com a seguinte configuração:

$$[K_{ij}]^P = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline \frac{+EA}{L} & 0 & 0 & \frac{-EA}{L} & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & \frac{+3EJ}{L^3} & 0 & \frac{-3EJ}{L^2} & \frac{-3EJ}{L^3} \\ \hline \frac{-EA}{L} & 0 & 0 & \frac{+EA}{L} & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & \frac{-3EJ}{L^2} & 0 & \frac{+3EJ}{L} & \frac{+3EJ}{L^2} \\ \hline 0 & 0 & \frac{-3EJ}{L^3} & 0 & \frac{+3EJ}{L^2} & \frac{+3EJ}{L^3} \\ \hline \end{array} \end{matrix}$$

.... Eq. 3.5

Um pilar com rótula plástica na extremidade inferior, terá sua matriz de rigidez com a seguinte configuração:

$$[K_{ij}]_{P=}$$

	1	2	3	4	5	6
1	$\frac{+EA}{L}$	0	0	$\frac{-EA}{L}$	0	0
2	0	$\frac{+3EJ}{L}$	$\frac{-3EJ}{L^2}$	0	0	$\frac{+3EJ}{L^2}$
3	0	$\frac{-3EJ}{L^2}$	$\frac{+3EJ}{L^3}$	0	0	$\frac{-3EJ}{L^3}$
4	$\frac{-EA}{L}$	0	0	$\frac{+EA}{L}$	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	$\frac{+3EJ}{L^2}$	$\frac{-3EJ}{L^3}$	0	0	$\frac{+3EJ}{L^3}$

.... Eq. 3.6

E, finalmente, um pilar com rótulas plásticas em ambas as extremidades, terá sua matriz de rigidez com a seguinte configuração:

$$[K_{ij}]_{P=}$$

	1	2	3	4	5	6
1	$\frac{+EA}{L}$	0	0	$\frac{-EA}{L}$	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	$\frac{-EA}{L}$	0	0	$\frac{+EA}{L}$	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0

.... Eq. 3.7

Mais precisamente, a montagem da matriz $[K]$ se fará pela "identificação" das coordenadas do sistema estrutural, conforme a Fig. 3.6, com as coordenadas das barras que concorrem em cada nó (por "coordenada" deve-se entender "coordenada deslocamento"). Maiores detalhes a esse respeito podem ser encontrados no Apêndice I.

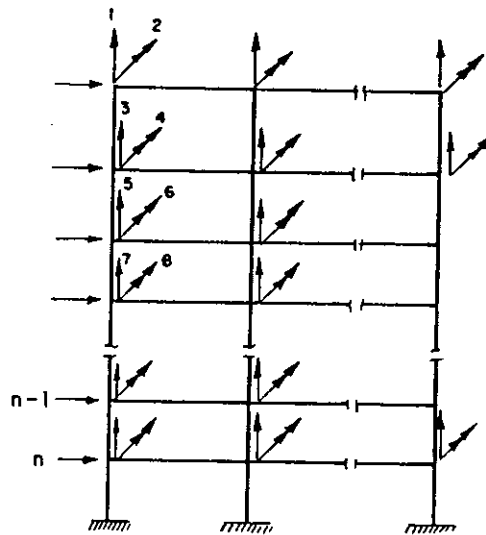


FIG. 3.6 - COORDENADAS DO SISTEMA ESTRUTURAL

3.3 - Vetores de carga

Os vetores de carga constante $\{P_f\}$ e carga variável $\{P_v\}$ representam as cargas aplicadas sobre a estrutura. Essas cargas se constituem de cargas gravitacionais e cargas devidas à força do vento. A dimensão dos vetores de carga é $N_{tc} \times 1$, sendo N_{tc} o número total de coordenadas da estrutura. A utilização de dois vetores de carga é de corrente, dentre outros, do tipo de análise empregada, de acordo com a seção 3.1. A intensidade dos parâmetros de carga que compõem o vetor $\{P_f\}$ deve ser tal que não provoque plastificação em nenhuma seção das barras do pórtico. Isso é verificado automaticamente pelo programa PRGMI.

A interpretação dos vetores de carga $\{P_f\}$ e $\{P_v\}$

é a seguinte: o vetor $\{P_f\}$ corresponde a cargas que permanecerão invariáveis ao longo da análise. Já o vetor $\{P_v\}$, corresponde a cargas que sofrerão variações ao longo da análise. Dessa forma, pode-se optar por vários tipos de carregamento, dentre os quais, destacamos os seguintes:

- a) Carregamento "proporcional"; neste, os parâmetros de carga do $\{P_f\}$ e $\{P_v\}$ mantêm relações constantes, como por exemplo: $\{P_f\} = (-5; 2; -5; -2; 0)^T$, $\{P_v\} = (-10; 4; -10; -4; 0)^T$ (v. Fig. 3.7).

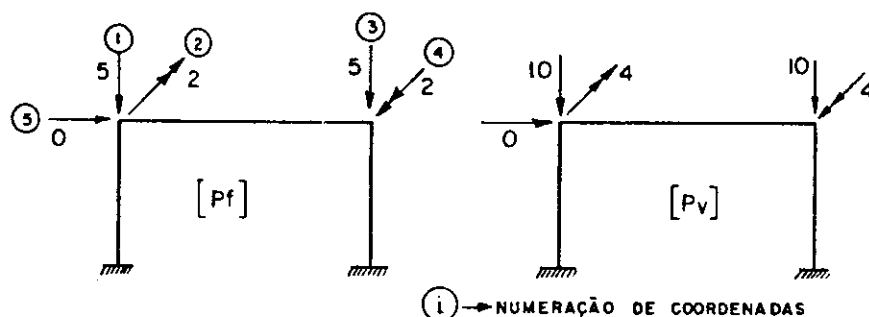


FIG. 3.7 - VETORES DE CARGA

- b) Carregamento "não-proporcional"; neste caso, pode-se considerar, basicamente, dois casos:

b.1) o carregamento gravitacional constante, sendo variável apenas o carregamento horizontal, como por exemplo: $\{P_f\} = (-5; 0; -5; 0; 1)^T$, $\{P_v\} = (0; 0; 0; 0; 2)^T$;

b.2) o carregamento gravitacional variável e, o horizontal constante, como por exemplo: $\{P_f\} = (-5; 0; -5; 0; 3)^T$ e $\{P_v\} = (-2; 0; -2; 0; 0)^T$.

Os vetores de carga exemplificados acima, se referem a um pórtico de um andar e duas prumadas.

Convém ainda observar que:

- a) dentre as possíveis combinações entre os vetores de carga, salienta-se o seguinte: onde houver um parâmetro de carga no vetor $\{P_v\}$, de

verã haver ùm correspondente no vetor $\{P_f\}$; entretanto, a recíproca não precisa, necessaramente, se verificar;

b) cada linha dos vetores de carga, e a correspondente linha da matriz de rigidez $[K]$, precisam estar associadas à mesma coordenada.

Os carregamentos a serem utilizados nas análises, serão de acordo com o que se apresenta nesta seção.

3.4 - Rotação das rótulas plásticas

O cálculo da rotação das rótulas plásticas é efetuado como se expõe a seguir. Considerando-se uma barra i - j , pertencente ao pórtico, com a extremidade i junto ao nũ k e, a extremidade j junto ao nũ n , tem-se o que se apresenta na Fig. 3.8.

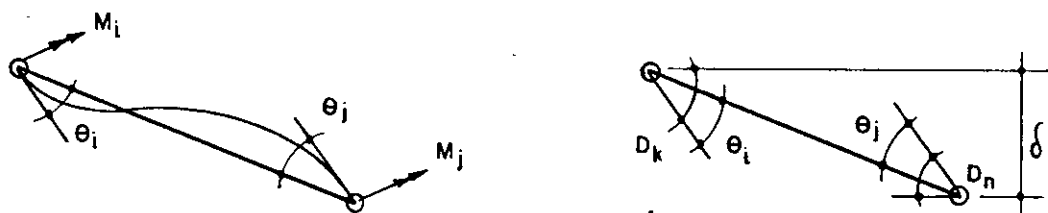


FIG. 3.8 - ROTAÇÕES

A relação entre os esforços M_i e M_j e as rotações θ_i e θ_j , desprezando-se as deformações devidas aos esforços cortantes, podem ser expressas pelas matrizes e expressão abaixo:

$$[K_{ij}] = \begin{bmatrix} K_{ii} & K_{ij} \\ K_{ji} & K_{jj} \end{bmatrix}; [K_{ij}]^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{K_{jj}}{H} & \frac{K_{ji}}{H} \\ \frac{K_{ij}}{H} & \frac{K_{ii}}{H} \end{bmatrix}; H = K_{ii} \cdot K_{jj} - K_{ij} \cdot K_{ji}$$

Em se tratando de barras prismáticas, temos:

$$K_{ii}/H = K_{jj}/H = +L/3EJ \quad \text{e} \quad K_{ij}/H = K_{ji}/H = -L/6EJ$$

Tendo-se os momentos M_i e M_j , determinam-se as rotações θ_i e θ_j por:

$$\begin{Bmatrix} \theta_i \\ \theta_j \end{Bmatrix} = [K_{ij}]^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} M_i \\ M_j \end{Bmatrix} \quad \dots \text{Eq. 3.8}$$

A relação entre as rotações dos nós "k" e "n", que são D_k e D_n e, o deslocamento transversal do nó "n", que é δ , e as rotações θ_i e θ_j é expressa por:

$$\begin{Bmatrix} \theta_i \\ \theta_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} +1 & 0 & -1/L \\ 0 & +1 & -1/L \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} D_k \\ D_n \\ \delta \end{Bmatrix} \quad \dots \text{Eq. 3.9}$$

Caso não haja(m) rótula(s) nas extremidades i-j da barra, deve haver "continuidade" nesses pontos. Para que haja "continuidade", as rotações das extremidades "i" e "j" causadas pelos momentos, devem ser iguais àquelas causadas pelos deslocamentos externos dos nós "k" e "n". Assim, tem-se:

$$[K_{ij}]^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} M_i \\ M_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} +1 & 0 & -1/L \\ 0 & +1 & -1/L \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} D_k \\ D_n \\ \delta \end{Bmatrix}$$

ou,

$$\begin{Bmatrix} M_i \\ M_j \end{Bmatrix} = [K_{ij}] \cdot \begin{bmatrix} +1 & 0 & -1/L \\ 0 & +1 & -1/L \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} D_k \\ D_n \\ \delta \end{Bmatrix}$$

sendo esta última equação, uma das equações utilizadas no Processo dos Deslocamentos para a análise de pórticos⁽⁶⁾.

Caso haja uma rótula em "i", o valor da "descon

tinuidade" ou, a rotação dessa rótula será dada pelas equações 3.8 e 3.9, sendo calculadas como segue:

$$\{R\} = [K_{ij}]^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} M_i \\ M_j \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} +1 & 0 & -1/L \\ 0 & +1 & -1/L \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} D_k \\ D_n \\ \delta \end{Bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{M_i \cdot L}{3EJ} - \frac{M_j \cdot L}{6EJ} \\ -\frac{M_i \cdot L}{6EJ} + \frac{M_j \cdot L}{3EJ} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} D_k - \frac{\delta}{L} \\ D_n - \frac{\delta}{L} \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} RR_i \\ 0 \end{Bmatrix}$$

.... Eq. 3.10

Assim, tem-se $R_i = M_i \cdot L/3EJ - M_j \cdot L/6EJ - D_k + \delta/L$, sendo $M_i = M_p$.

Caso hajam rótulas em ambas as extremidades da barra, as rotações das mesmas, de acordo com a eq. 3.10, serão:

$$R_i = M_i \cdot L/3EJ - M_j \cdot L/6EJ - D_k + \delta/L$$

e

$$R_j = M_j \cdot L/3EJ - M_i \cdot L/6EJ - D_n + \delta/L$$

.... Eq. 3.11

sendo $M_i = M_j = M_p$.

Os esforços e deslocamentos acima referidos, serão obtidos pelas equações 4.1 e 4.3. Eles se referem a etapa atual, i.e., primeiramente calculam-se os esforços e deslocamentos acumulados e com eles as rotações das rótulas plásticas existentes.

Observa-se ainda que, na etapa onde determinada rótula acaba de se formar, sua rotação deve ser nula, i.e., ainda há "continuidade".

As rotações das rótulas plásticas de vigas e π_i

lares serão calculadas neste trabalho, de acordo com a eq. 3.11.

3.5 - Alteração da rigidez da estrutura

Ao iniciar-se a análise, monta-se a matriz de rigidez $[K]$ conforme o que se apresenta na seção 3.2.

Ao longo da análise, com a formação ou o fechamento de rótulas plásticas (veja seção 3.1), a matriz de rigidez $[K]$ será alterada e não reconstruída, o que, por sua vez, torna a análise mais rápida.

Por exemplo: ao formar-se a primeira rótula de um pilar, em sua extremidade inferior, na passagem de uma etapa da análise para outra, é subtraída da matriz $[K]$ a rigidez correspondente à eq. 3.4 e, adicionada a rigidez correspondente à eq. 3.6.

Um outro exemplo, pode ser o caso de uma viga, na qual já haviam se formado duas rótulas em suas extremidades; ocorrendo a reversão de rotação da rótula esquerda, adiciona-se à matriz $[K]$ a rigidez correspondente à eq. 3.3. E assim se processam todos os casos de alterações de rigidez.

4. PROGRAMA PARA ANÁLISE AUTOMÁTICA - PRGMI

O programa para computador, PRGMI, executa a análise de pórticos baseado no que se apresentou no capítulo 3. Esse programa, escrito em linguagem FORTRAN, foi estruturado em um programa principal e vinte e duas subrotinas. Com esta concepção de programação pretendeu-se o seguinte:

- a) possibilitar maior flexibilidade na ideação e montagem do programa;
- b) facilitar as correções e alterações;
- c) eficiente aproveitamento da memória interna⁽¹⁰⁾;
- d) adaptação a outros tipos de análise.

O programa consta, basicamente, de duas fases. Na primeira fase é feita a análise da estrutura com o vetor de carga $\{P_f\}$ (veja seção 3.3) e, procede-se a verificação dita na seção 4.2. Na segunda fase faz-se a análise incremental alterando-se a matriz de rigidez $[K]$ com a formação de rótulas plásticas, que passa a ser a matriz de rigidez tangente $[K']$, e assim, obtendo-se as relações carga-deslocamento.

Os procedimentos essenciais do PRGMI são apresentados nas seções subsequentes e no Apêndice I.

4.1 - Sistemas de numeração

Esta seção, descreve os sistemas de numeração utilizados no PRGMI.

A extremidade esquerda de cada viga, e a extremidade superior de cada pilar é designada como extremidade "i" da barra. A extremidade direita de uma viga e a inferior de um pilar é designada como extremidade "j". Não há

nenhum n^o adicional ao longo do eixo de qualquer barra.

Os n^{os} na estrutura são numerados consecutivamente. A numeração começa no topo e prossegue para baixo, de tal forma que o n^o número 1 situa-se no canto superior esquerdo e o último n^o, na extremidade superior do pilar inferior e à direita.

A numeração das barras do pórtico é associada à numeração dos n^{os}. Dessa forma, o número de cada barra corresponde ao número do n^o no qual está ligada na extremidade "i". Há, entretanto, distinção entre a numeração das vigas e dos pilares.

Um exemplo dos sistemas de numeração descritos acima, apresenta-se na Fig. 4.1.

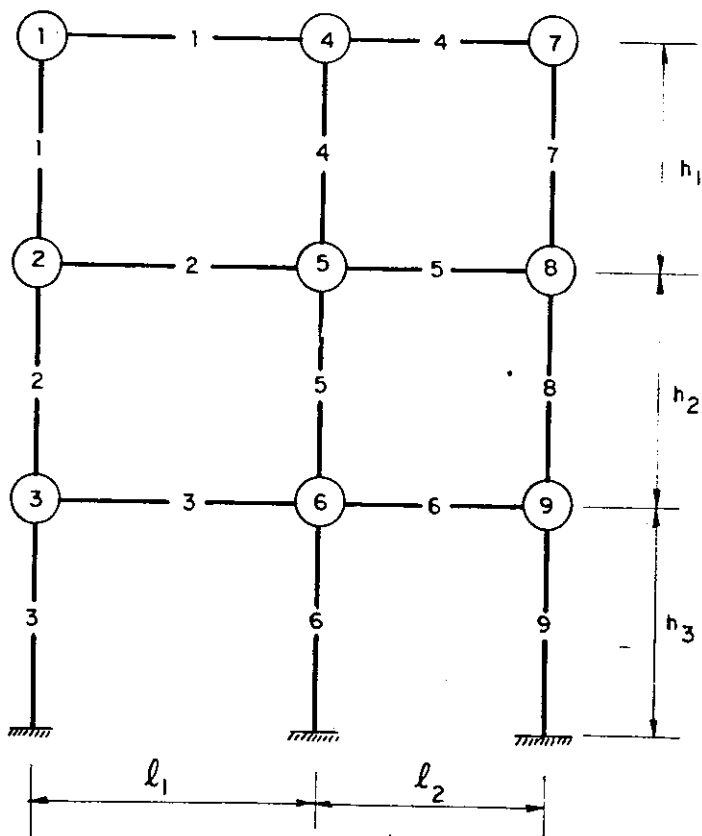


FIG. 4.1 - SISTEMA DE NUMERAÇÃO

Hã três tipos possíveis de cargas e deslocamentos em cada nó: horizontal, vertical e rotacional. É considerada, entretanto, a restrição de que os nós pertencentes a um mesmo andar têm a carga e deslocamento horizontal em comum. Isso está de acordo com a hipótese "i" da seção 3.1. Os possíveis deslocamentos ditos acima são também cognominados como graus de liberdade. Os graus de liberdade da estrutura são iguais a duas vezes o número de nós, adicionado do número de andares. As coordenadas "deslocamento" das barras e do sistema estrutural são as apresentadas na seção 3.2.

Contudo, observa-se que, caso seja prevista a utilização de métodos compactos de armazenamento de matrizes e resolução do sistema de equações na análise^(5,13), os sistemas de numeração devem, provavelmente, seguir outros encaminhamentos.

4.2 - Plastificação precoce

Ao iniciar-se a análise, a matriz $[K]$ corresponde à estrutura inteiramente elástica. Resolvendo-se o sistema de equações

$$\{P_f\} = [K] \{D_f\},$$

onde $\{P_f\}$ é o vetor de carga constante definido na seção 3.3, e $\{D_f\}$, o vetor de deslocamentos correspondentes segundo as coordenadas do sistema estrutural da Fig. 3.6. Com os deslocamentos dados por este vetor e as rigidezes de cada barra que compõe a estrutura, são calculados os esforços correspondentes, ditos esforços constantes E_f .

Tais esforços, mais especificamente, os momentos fletores máximos de cada barra não devem ultrapassar seu momento de plastificação M_p .

Por outro lado, os parâmetros do vetor $\{P_f\}$ po

dem ser tão pequenos quanto se deseje, visto que, em cada "fase" (veja seção 4), assim como, em cada "etapa" (Veja seção 3.1) as relações carga-deslocamento são lineares.

Caso o vetor {P_f} provoque a plastificação (dita precoce) nessa primeira fase da análise, deve-se diminuir sua intensidade e reiniciar-se a análise.

4.3 - Determinação dos fatores de carga

A determinação dos fatores de carga, e a escolha do menor deles em cada "etapa" (veja seção 3.1), é feita por uma subrotina do PRGMI.

Os parâmetros utilizados no cálculo dos fatores de carga, dentre os quais o menor deles cognomina-se ΔW_i, são os momentos fletores segundo as coordenadas "2" e "4" da Fig. 3.4, e o momento de plastificação da respectiva barra. Subtraindo-se do momento de plastificação M_p o momento fletor correspondente aos esforços{E} e dividindo-se este resultado pelo momento fletor correspondente aos esforços{E_v}, obtêm-se os fatores de carga que, por sua vez, correspondem aos pontos de máximo momento fletor da estrutura.

Os esforços {E_v} são decorrentes do vetor de carga {P_v} definido na seção 3.3.

Observa-se que os esforços {E}, a partir da segunda etapa, tornam-se esforços acumulados, sendo calculados por

$$\{E\} = \{E_f\} + W_t \cdot \{E_v\} \dots \dots \text{Eq. 4.1}$$

sendo que os esforços {E_v} são obtidos através da matriz [K'] alterada pelo surgimento de rótulas plásticas e

$$W_t = \sum \Delta W_i \dots \dots \text{Eq. 4.2}$$

O fator de carga ΔW_i está associado à formação de rótulas plásticas, ao longo da análise (seção 2.3).

Além do cálculo dos esforços acumulados (eq. 4.1), faz-se o dos deslocamentos acumulados pela expressão

$$\{ D \} = \{ D_f \} + W_t \cdot \{ D_v \} \quad \text{Eq. 4.3}$$

o que possibilita obter-se as relações carga-deslocamento ao longo da análise.

4.4 - Formação de rótulas plásticas

Calculado o fator ΔW_i referente à i -ésima etapa conforme seção 4.3, há a formação de mais uma rótula plástica ao longo da análise. Entretanto, ao analisar-se determinadas estruturas, observou-se que em determinadas etapas obtinham-se fatores de carga ΔW_i muito pequenos. Desta forma foram suprimidas tais etapas da análise, considerando-se rótulas simultâneas numa mesma etapa. Assim, a menos de um erro pré-fixado entre o menor fator de carga de cada etapa (ΔW_i) e os outros fatores de carga correspondentes aos pontos ainda não plastificados, determina(m)-se a(s) possíveis rótula(s) simultânea(s) da etapa considerada. Isso é feito por uma subrotina do PRGMI.

Quanto mais regular for a estrutura em termos elastoplástico-geométricos, mais rápida será a análise da mesma, com a consideração de rótulas simultâneas.

4.5 - Reversão de rotação de rótulas plásticas

A verificação da reversão de rótulas plásticas é feita comparando-se as rotações das mesmas, nas sucessivas etapas de análise.

A partir da etapa seguinte à formação de cada r

tula, sua rotação é calculada de acordo com a seção 3.4, por uma subrotina do PRGMI. Desta forma, se a rótula surgiu na etapa "i", sua rotação é calculada a partir da etapa "i+1", e, a partir da etapa "i+2" a rotação da etapa "i+1" (R_{i+1}) é comparada com a rotação dessa etapa (R_{i+2}), e assim consecutivamente. Para tanto, baseia-se na seguinte proposição:

se $R_{i+1} < R_{i+2}$ e, $R_{i+2} < R_{i+3}$

então $R_{i+1} < R_{i+3}$ e, sucessivamente.

Nessa sequência de verificações, considera-se que a rótula só se reverterá caso R_{i+n} seja menor que R_{i+n-1} . Caso isso ocorra, altera-se a matriz de rigidez $[K']$, conforme a seção 3.5 e, desacumulam-se os esforços e deslocamentos referentes às equações 4.1 e 4.3 da seção 4.3. Dessa forma, a etapa onde uma ou mais rótulas se revertem fica invalidada, sendo a mesma refeita, em seguida, com as alterações ditas acima.

Estes são os procedimentos adotados quando houver a reversão de rótula(s) plástica(s).

4.6 - Relações carga-deslocamento e carga última

Ao longo da análise de cada estrutura, são computados os esforços e deslocamentos, cognominados "acumulados", na segunda "fase" do PRGMI (veja seção 4). Em cada etapa os deslocamentos acumulados são calculados pela eq. 4.3 e o nível de carga correspondente, pela eq. 4.4, segundo o sistema de coordenadas da Fig. 3.6.

$$\{P\} = \{P_f\} + W_t \cdot \{P_v\} \quad \text{Eq. 4.4}$$

Dessa forma pode-se construir diagramas, como

por exemplo, pondo-se na abscissa os deslocamentos e na ordenada os níveis de carga, consecutivos, ao longo da análise, conforme a Fig. 3.2.

Ao finalizar-se cada "etapa" da análise, é calculado o determinante da matriz $[K']$. Quando o valor deste for menor ou igual a zero, a estrutura se transforma em um mecanismo. Desta feita, a análise é interrompida pelo PRGMI, obtendo-se os parâmetros últimos de carga e deslocamento pelas equações 4.4 e 4.3, respectivamente.

4.7 - Verificação do PRGMI

Foram efetuadas verificações de resultados obtidos pelo PRGMI através da análise de vários pórticos, com diferentes características elasto-plasto-geométricas.

Nos exemplos analisados, tem-se verificado o equilíbrio da estrutura sob os seguintes aspectos:

- a) equilíbrio de esforços nas extremidades das barras correspondentes aos nós do pórtico;
- b) equilíbrio do pórtico como corpo livre, considerando as cargas e os esforços;

A seguir, apresentam-se os principais exemplos analisados. Num deles ocorre a reversão de rótula plástica, o qual é julgado ter sido ocasionado pela irregularidade do pórtico, quanto às suas características elasto-plasto-geométricas. Para esse pórtico, fez-se a verificação da carga última pelo Processo Plástico de Combinação de Mecanismos⁽²⁾.

São apresentados, inclusive, as relações carga-deslocamento, até o colapso.

Em todos os exemplos analisados, a carga última coincide com a da análise rígido-plástica, como era de se prever⁽¹¹⁾.

A seguir são apresentados os exemplos de verificação.

4.8 - Exemplos de verificação

4.8.1 - O exemplo número 1 trata de um pórtico, cujas características elasto-plasto-geométricas são irregulares e hipotéticas.

Perfis I com $\sigma_y = 2,50 \text{ tf/cm}^2$;

Módulo de Elasticidade $E = 2100 \text{ tf/cm}^2$;

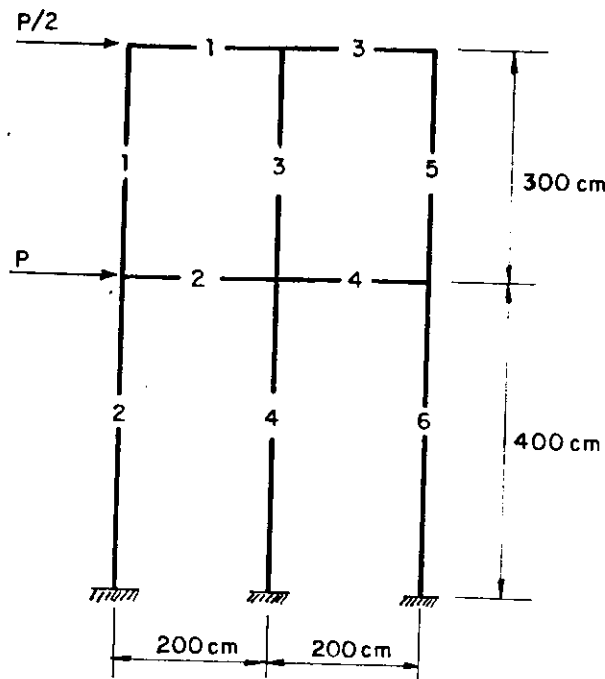


FIG. 4.2 - EXEMPLO DE VERIFICAÇÃO NÚMERO 1
PÓRTICO COM REVERSÃO DE RÓTULA.

TABELA 1

NÚMERO DA BARRA		CARACTERÍSTICA DOS PERFIS		
		A (cm ²)	J (cm ⁴)	M _p (tf · cm)
PILARES	1	500	10000	1000
	2	700	50000	10
	3	600	30000	100000
	4	800	70000	100
	5	500	10000	10
	6	700	50000	10000
VIGAS	1	-	20000	20
	2	-	100000	2000
	3	-	20000	20000
	4	-	100000	200

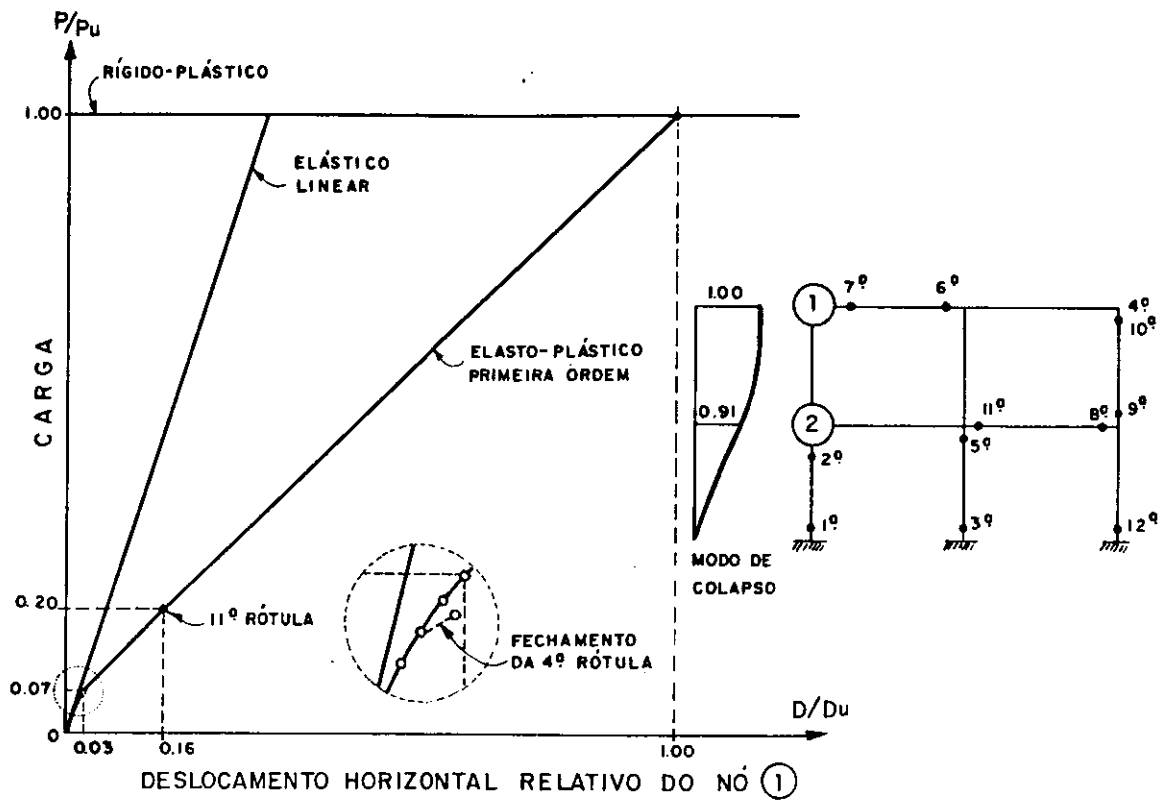


FIG. 4.3 - EXEMPLO DE VERIFICAÇÃO NÚMERO 1.

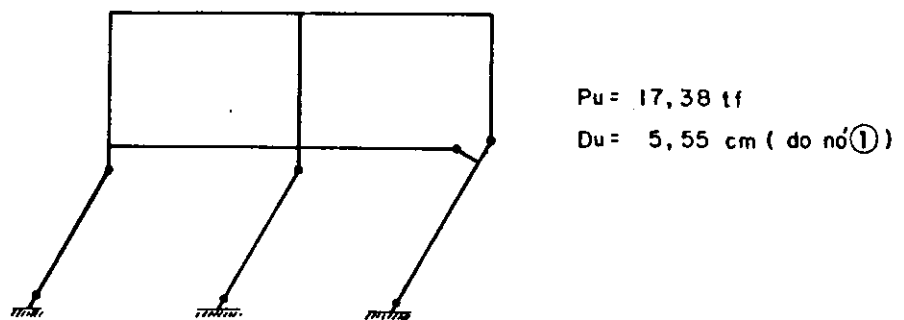


FIG. 4.4 - MECANISMO DE COLAPSO

Observações:

- a) como a décima primeira (11^a) rótula não participa do mecanismo de colapso (veja Fig. 4.4), o seu surgimento não altera significativamente a rigidez do pórtico, como se vê na Fig. 4.3;
- b) os deslocamentos horizontais dos nós 1 (5,55cm) e 2 (5,03cm) obtidos pelo PRGMI são bem próximos, caracterizando o tipo de mecanismo de colapso (Fig. 4.4);
- c) ocorreu a reversão da quarta (4^a) rótula plástica (veja Fig. 4.3).

TABELA 2PARÂMETROS ASSOCIADOS AO FECHAMENTO DA 4^a RÓTULA

ETAPA	ROTAÇÃO DA RÓTULA	MOMENTO FLETOR	OBSERVAÇÕES
3	-	-0,8898E-1	a rótula não surgiu, ainda;
4	-	-0,9580E-1	forma-se a rótula:
5	-0,1069E-4	-0,9580E-1	o esforço mantém-se constante, igual a M_p ;
6	-0,2959E-4	-0,9580E-1	a rotação aumenta em módulo e, o esforço mantém-se constante, igual a M_p ;
7	-0,3162E-4	-0,9580E-1	idem a etapa 6, acima;
8	-0,2704E-4	-0,9580E-1	o valor absoluto da rotação diminuiu, logo ocorreu a reversão;
8	-0,3162E-4	-0,8948E-1	o esforço diminuiu; a rótula recupera a rotação da etapa 7;
9	-0,3162E-4	-0,9580E-1	a rótula resurge, com uma rotação residual igual à da etapa 7;
10	-0,3412E-3	-0,9580E-1	a rotação aumenta e o esforço mantém-se constante e igual a M_p ;
11	-0,2315E-2	-0,9580E-1	idem a etapa 10, acima.

Verificação do Mecanismo de Colapso e da Carga Útima através do Processo Plástico de Combinação de Mecanismos (2,3):

Número total de rótulas possíveis = 18

Grau de hiperstaticidade total = 12

Número de mecanismos independentes = 6

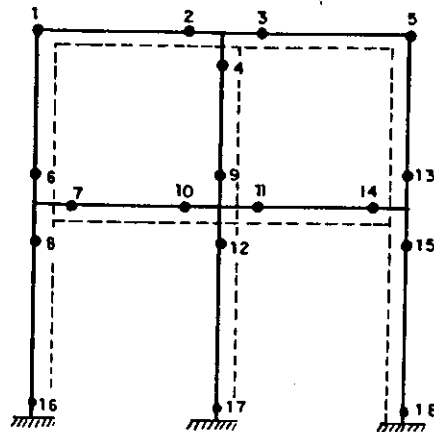
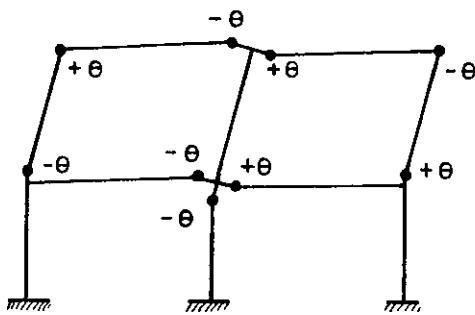
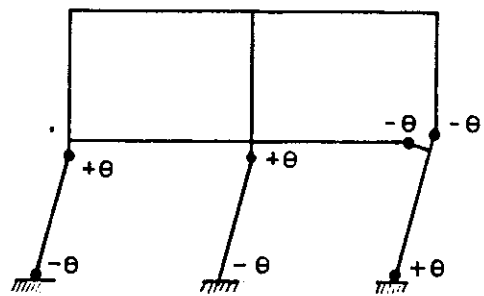


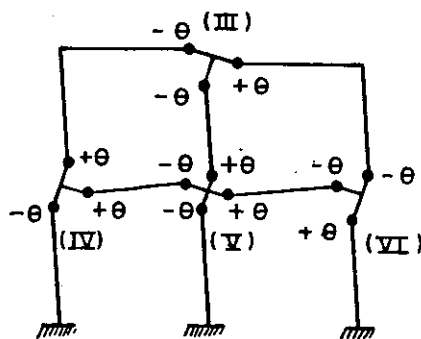
FIG. 4.5 - NUMERAÇÃO DE RÓTULAS PLÁSTICAS



mecanismo lateral superior (I)



mecanismo lateral inferior (II)



mecanismos de nº de (III) à (VI)

Do mecanismo (I), tem-se:

$$T_e = P/2 \cdot \theta \cdot 300$$

$$T_i = (2 \cdot 0,02 + 20 + 2 \cdot 0,01 + 0,2 + 0,1 + 2 + 1) M_p \cdot \theta ;$$

pelo P.T.V., vem:

$$P = 155,73 \text{ tf} \quad (\text{com } M_p = 1000 \text{ tf}\cdot\text{cm})$$

Do mecanismo (II), tem-se:

$$T_e = (P/2) \cdot \theta \cdot 400 + P \cdot \theta \cdot 400$$

$$T_i = (2 \cdot 0,01 + 2 \cdot 0,1 + 10 + 0,2 + 0,01) M_p \cdot \theta ;$$

pelo P.T.V., vem:

$$P = 17,38 \text{ tf}$$

Dos mecanismos (III, IV, V e VI), vem:

$$T_e = 0 \rightarrow P \rightarrow \infty$$

Relações de equilíbrio relativas aos mecanismos independentes:

$$(I) \quad M_1 - M_2 + M_3 - M_5 - M_6 - M_{10} + M_{11} - M_{12} + M_{13} = (P/2) \cdot 300$$

$$(II) \quad M_8 - M_{16} + M_{12} - M_{17} - M_{14} - M_{13} + M_{18} = P \cdot 600$$

$$(III) \quad -M_2 - M_4 + M_3 = 0$$

$$(IV) \quad M_6 + M_7 - M_8 = 0$$

$$(V) \quad M_9 + M_{11} - M_{10} - M_{12} = 0$$

$$(VI) \quad -M_{13} - M_{14} + M_{15} = 0$$

Admitindo que (II) seja o mecanismo de colapso,
vem:

$$M_8 = +10 ; M_{16} = -10 ; M_{12} = +100 ; M_{17} = -100 ;$$

$$M_{13} = -10 ; M_{14} = -200 ; M_{18} = +10000 ;$$

Pelo Teorema cinemático⁽²⁾, tem-se:

$$P = 17,38 \text{ tf} \geq P_u$$

Verificação estática: tentar-se-á encontrar uma distribuição de momentos fletores que seja segura e estaticamente possível.

Obs.: Os valores de momentos sublinhados são arbitrados.

Das relações de equilíbrio acima, vem:

$$(VI) \quad -M_{13} - M_{14} + M_{15} = 0 \rightarrow M_{15} = -210 ;$$

(II) é automaticamente verificada, por estar-se admitindo este mecanismo como o de colapso;

$$(IV) \quad M_6 + M_7 - M_8 = 0 \rightarrow M_6 + M_7 = 10 ; M_6 = \underline{1000} \rightarrow \\ \rightarrow M_7 = -980 ;$$

$$(V) \quad M_9 + M_{11} - M_{10} = 100 ; M_{10} = \underline{+2000} \text{ e } M_{11} = \underline{-200} \rightarrow \\ \rightarrow M_9 = 2300 ;$$

$$(III) \quad -M_2 - M_4 + M_3 = 0 \rightarrow M_3 = M_2 + M_4 ; M_3 = \underline{20000} \text{ e} \\ M_2 = \underline{-20} \rightarrow M_4 = 20020 ;$$

$$(I) \quad M_1 + 20 + 20000 - M_5 - 1000 - 2000 - 200 - 100 - 10 = 2607,6 \rightarrow \\ \rightarrow M_1 - M_5 = 0,16 ; M_5 = \underline{10} \rightarrow M_1 = 10,16$$

Logo, pelo Teorema Estático⁽²⁾, tem-se:

$$P = 17,38 \text{ tf} = P_u$$

Então, pelo Teorema da Unicidade⁽²⁾, vem:

$$P_u = 17,38 \text{ tf}$$

que é exatamente o valor encontrado pelo PRGMI.

4.8.2 - O exemplo nº 2 é constituído por um pórtico de um andar e três prumadas de pilares com as seguintes características elasto-geométricas:

Perfis W (tensão de escoamento $\sigma_y = 33 \text{ KSI}$);

Módulo de Elasticidade $E = 29000 \text{ KSI}$

Vigas: W10x49 ; Pilares: W8x31.

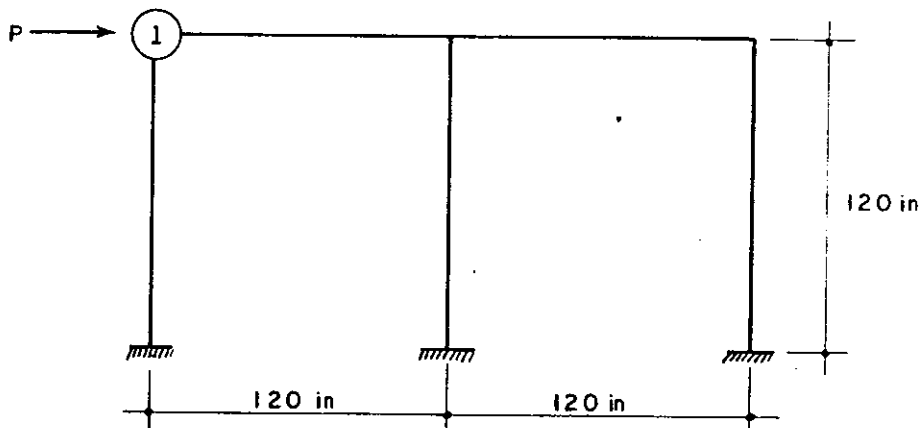


FIG. 4.6 - EXEMPLO DE VERIFICAÇÃO NÚMERO 2 - PÓRTICO EM 1 ANDAR E 3 PRUMADAS.

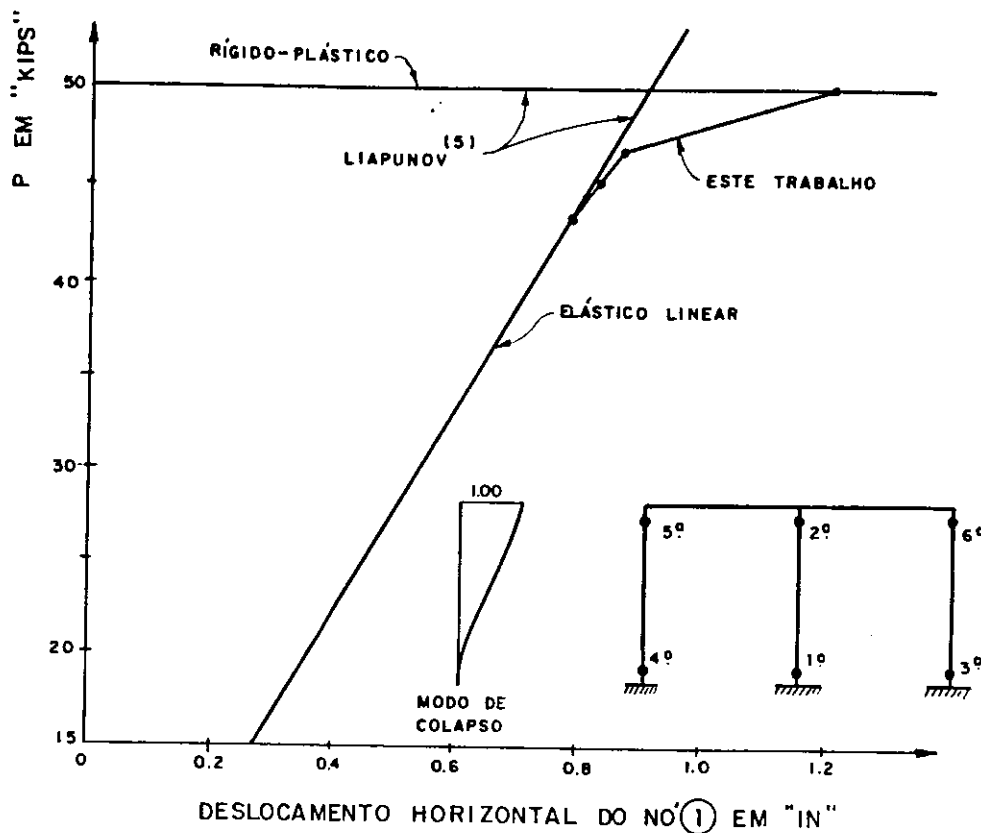


FIG. 4.7 - EXEMPLO DE VERIFICAÇÃO NÚMERO 2.

4.8.3 - O exemplo nº 3 é constituído por um pórtico em um andar e duas prumadas de pilares, com as seguintes características elasto-geométricas:

Perfis WF (tensão de escoamento $\sigma_y = 50$ KSI);

Módulo de Elasticidade $E = 30000$ KSI;

Viga: $J = 231$ in⁴; $M_p = 2678$ Kip·in;

Pilares: $A = 10,07$ in²; $J = 115,5$ in⁴;

$M_p = 1590$ Kip·in

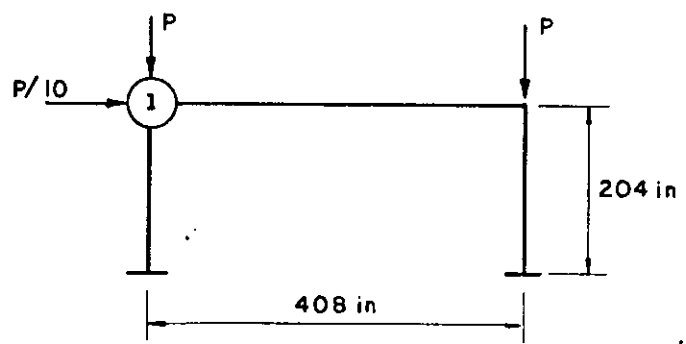


FIG. 4.8 - EXEMPLO DE VERIFICAÇÃO NÚMERO 3 - PÓRTICO EM 1 ANDAR E 2 PRUMADAS.

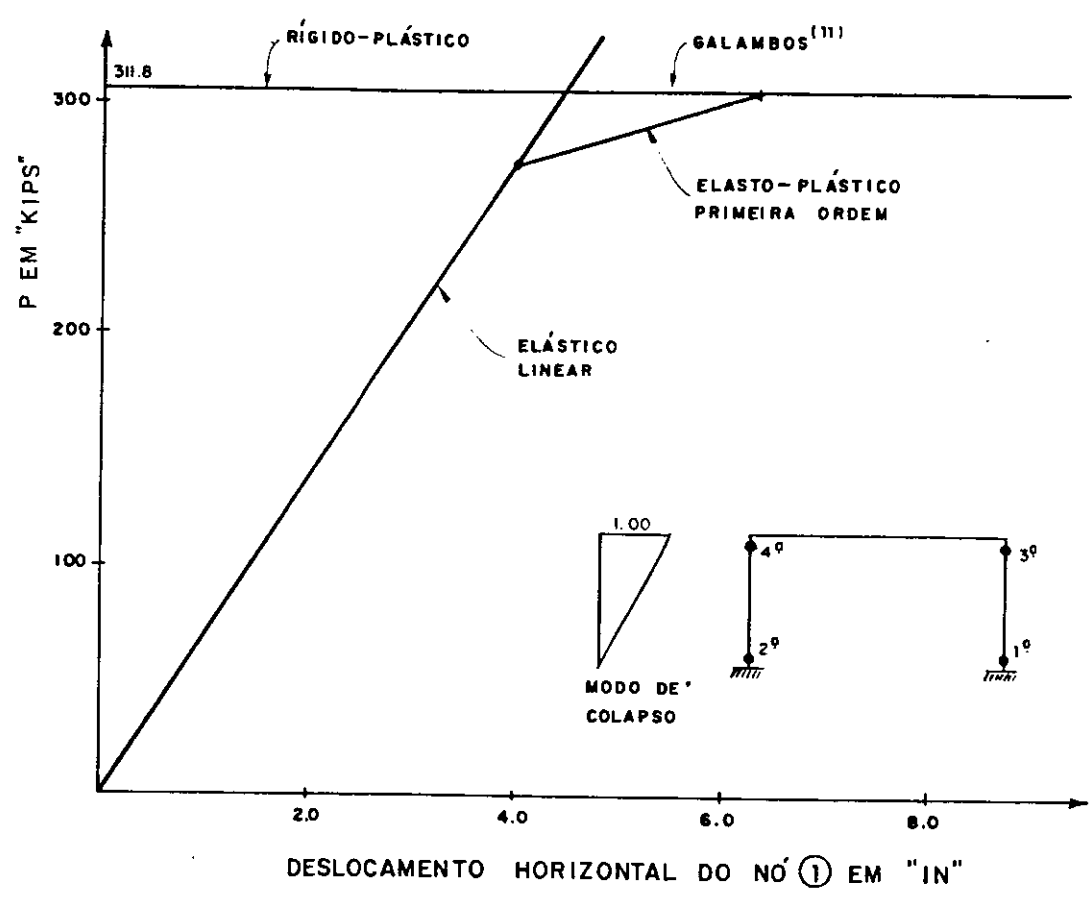


FIG. 4.9 - EXEMPLO DE VERIFICAÇÃO NÚMERO 3.

Observa-se que a carga última da análise rígido-plástica coincide com a da elasto-plástica, como se previa (11).

4.9 - Exemplos

Nesta seção propõem-se a análise de dois pórticos cujas características elasto-geométricas e o carregamento são próximos das usuais.

No primeiro exemplo (pórtico número 1), apresenta-se um pórtico de seis andares e duas prumadas de pilares, com uma relação altura/largura igual a 4,62.

No segundo exemplo (pórtico número 2) apresenta-se um pórtico de seis andares e três prumadas de pilares, com uma relação altura/largura igual a 2,06.

As barras dos pórticos, se constituem de perfis padrão americano, produzidos por Usina(s) Nacional(is).

Quanto ao carregamento que solicitará os pórticos, tem-se o seguinte: o carregamento gravitacional é considerado constante e o horizontal variando de um valor inicial até um valor último, ao longo da análise, sendo este detectado automaticamente pelo PRGMI. Observa-se que, em circunstâncias usuais a intensidade dos parâmetros de carga do carregamento horizontal é variável com a altura do pórtico; por outro lado, os parâmetros do carregamento gravitacional constituem-se de cargas "mortas" e "vivas", previstas de acordo com o tipo de construção e utilização da edificação.

As características elásticas, geométricas e o carregamento dos pórticos são as que se apresentam a seguir.

Assim, para esses pórticos considera-se um material com $E = 2100 \text{ tf/cm}^2$, sendo que as barras se constituem em perfis I(axe) (sendo "I" o tipo de seção transversal, "a" a altura total do perfil na direção da alma e "e" o peso do perfil em kgf/m) de aço carbono (ASTM A36) com $\sigma_y = 2,1 \text{ tf/cm}^2$.

Os dados geométricos dos pórticos número 1 e 2 são apresentados nas Figs. 4.10(a) e 4.11(a), respectivamente e, na tabela 3.

Os carregamentos dos pórticos número 1 e 2 são apresentados pelas Figs. 4.10(b) e 4.11(b), respectivamente.

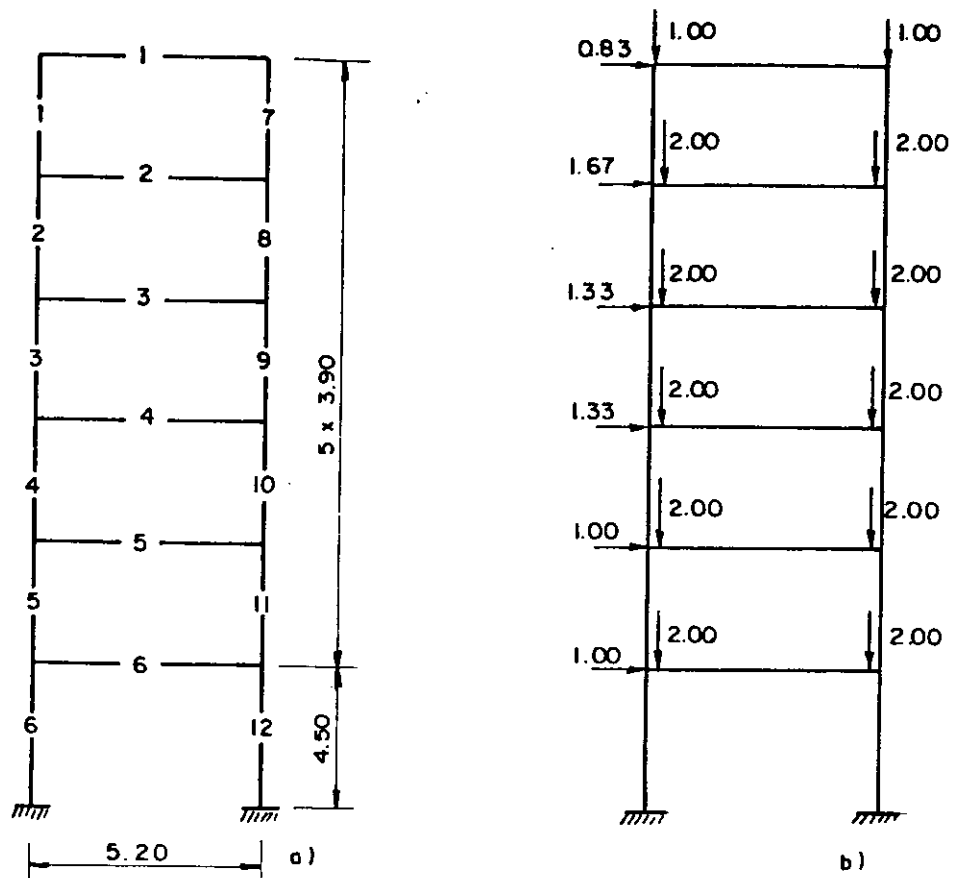


FIG. 4.10- PÓRICO NÚMERO 1.

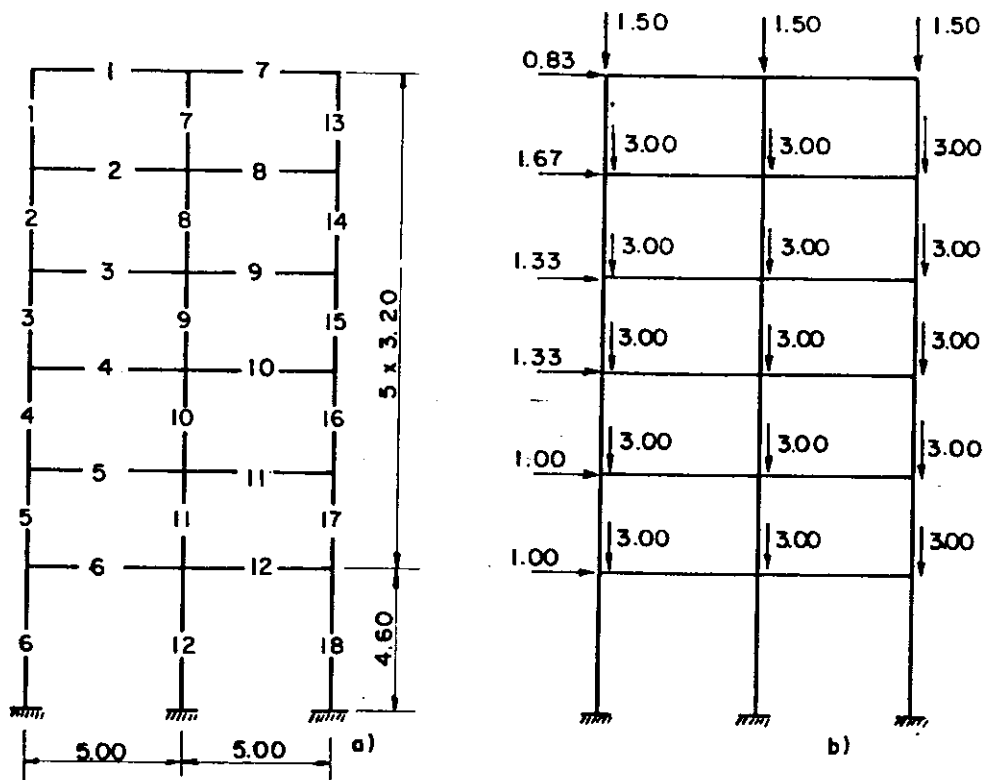


FIG. 4.11- PÓRICO NÚMERO 2.

TABELA 3

CARACTERÍSTICA DOS PERFIS

		PÓRTICOS			
NÚMERO DA BARRA		NÚMERO 1	NÚMERO DA BARRA		NÚMERO 2
PILARES	1	I 12x74,4	PILARES	1	I 12x74,4
	2	I 12x74,4		2	I 12x74,4
	3	I 15x63,3		3	I 12x81,8
	4	I 15x63,3		4	I 12x81,8
	5	I 15x66,5		5	I 15x63,3
	6	I 15x66,5		6	I 15x63,3
	7	I 12x74,4		7	I 12x74,4
	8	I 12x74,4		8	I 12x74,4
	9	I 15x63,3		9	I 15x63,3
	10	I 15x13,3		10	I 15x63,3
	11	I 15x66,5		11	I 15x66,5
	12	I 15x66,5		12	I 15x66,5
VIGAS	1	I 15x73,9		13	I 12x74,4
	2	I 15x73,9		14	I 12x74,4
	3	I 15x73,9		15	I 12x81,8
	4	I 15x73,9		16	I 15x81,8
	5	I 18x81,4		17	I 15x63,3
	6	I 18x81,4		18	I 15x63,3
		---	VIGAS	1	I 15x73,9
		---		2	I 15x73,9
		---		3	I 18x81,4
		---		4	I 15x81,4
		---		5	I 20x121,2
		---		6	I 20x126,6
		---		7	I 15x73,9
		---		8	I 15x73,9
		---		9	I 18x81,4
		---		10	I 15x81,4
		---		11	I 20x121,2
		---		12	I 20x126,6

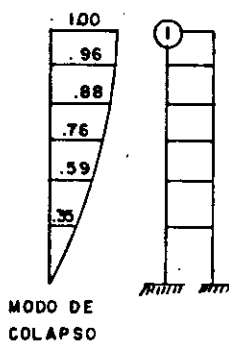
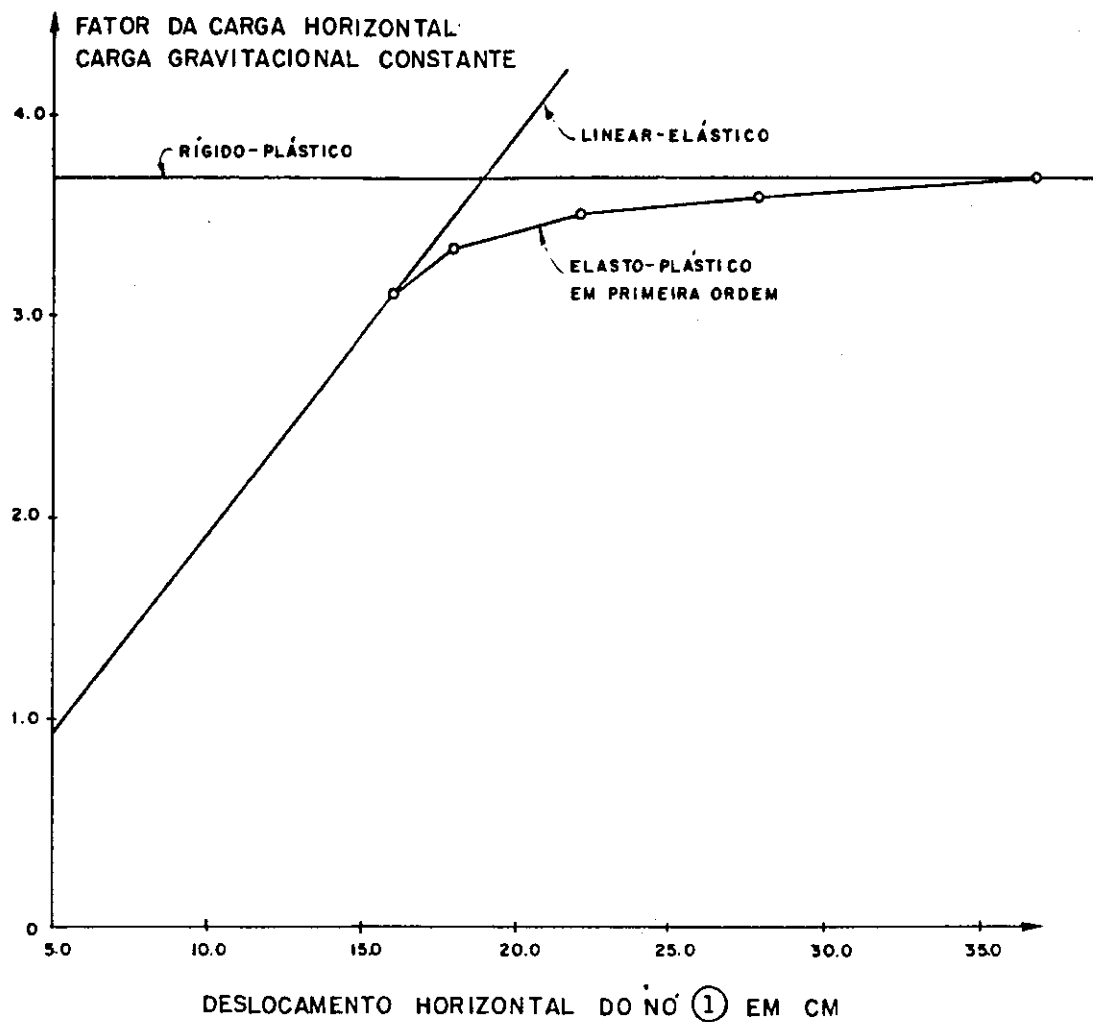


FIG. 4.12 - PÓRICO NÚMERO 1.

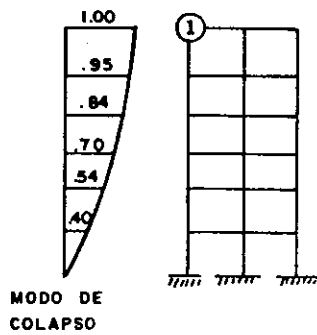
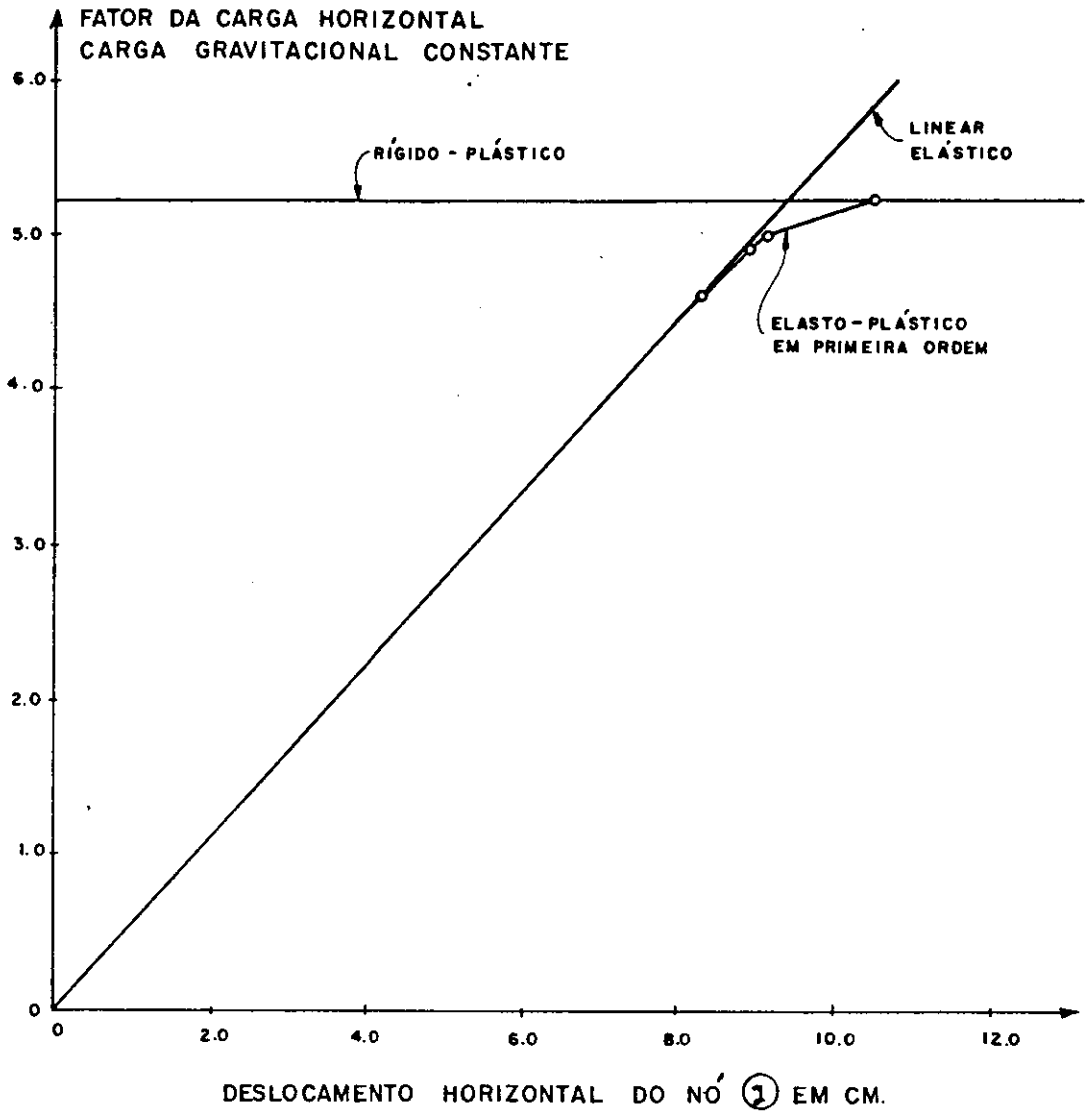


FIG. 4.13 - PÓRTICO NÚMERO 2.

5. ANÁLISE ELASTO-PLÁSTICA EM SEGUNDA ORDEM

Neste capítulo as relações carga-deslocamento e a carga última de pórticos serão determinadas por uma análise elasto-plástica em segunda ordem. Nesta análise é considerada a não-linearidade física e geométrica.

Diante das dificuldades que ocorrem neste tipo de análise, procurou-se uma formulação que agilizasse a sua solução sem comprometer a precisão dos resultados.

Neste capítulo se apresenta a formulação completa dessa análise. A automatização da técnica utilizada é feita pelo programa de computador PRGMII.

5.1 - Preliminares

De um modo geral, a capacidade última de carga de uma barra ou de um pórtico pode ser obtida, teoricamente, de três maneiras diferentes, as quais são citadas aqui como sendo:

- a) Análise elástica
- b) Análise rígido-plástica
- c) Análise elasto-plástica.

Dentre esses três tipos de análise, a elasto-plástica em segunda ordem é a que pode fornecer resultados mais próximos dos que se obtêm de ensaios experimentais, que por sua vez descrevem o comportamento mais real da estrutura⁽⁴⁾. O resultado de uma análise elasto-plástica é uma relação carga-deslocamento da estrutura, da qual a capacidade última de carga pode ser obtida de imediato.

De um modo geral, as análises elástica e rígido-plástica fornecem apenas a capacidade última de carga das estruturas⁽⁵⁾. Entretanto, uma análise elástica em segunda ordem pode fornecer uma relação carga-deslocamento, consti

tuindo-se em uma tentativa primeira de se aproximar do comportamento real das estruturas, fornecendo valores superestimados para a carga. Da mesma forma uma análise rígido-plástica pode fornecer uma relação carga-deslocamento, de limitando também um valor superior para a carga última.

Na Fig. 5.1 apresentam-se as relações carga-deslocamento para os diversos tipos de análise. Nas respectivas curvas pode-se observar a deterioração da estabilidade devida a efeitos de segunda ordem e à formação de rótulas plásticas.

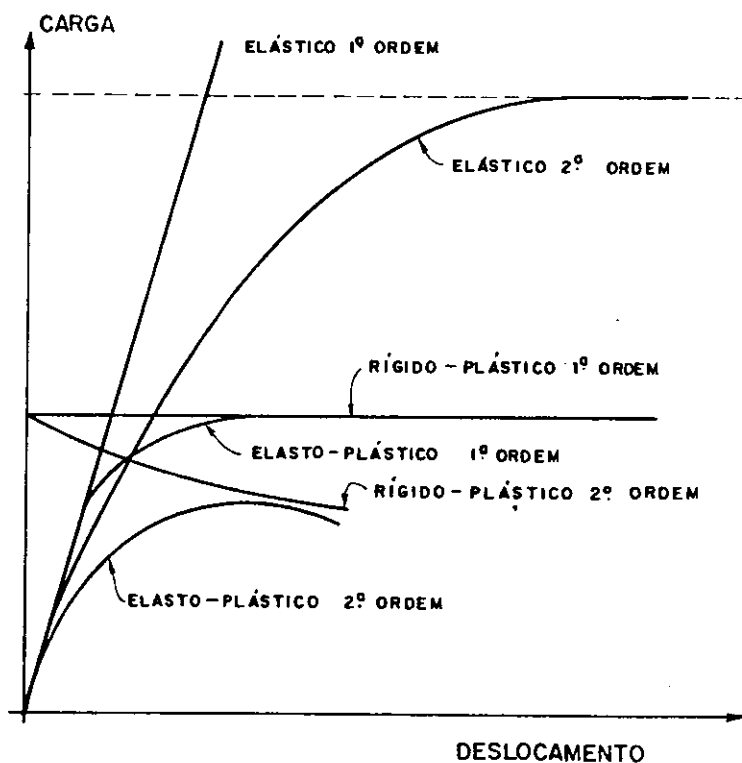


FIG. 5.1 - RELAÇÕES CARGA-DESLOCAMENTO



5.1.1 - Análise elástica

Uma análise elástica em segunda ordem é formulada considerando-se pequenas deformações ($\phi = v''$), tendo-se as equações de equilíbrio obtidas a partir da estrutura deformada e a rigidez das barras sendo alterada devido aos efeitos do esforço axial, o que é feito em geral, através das funções de estabilidade⁽⁹⁾. Dessa forma, os momentos fletores nas barras são ampliados pelos efeitos do carregamento na estrutura deformada (em geral, são consideradas as deformações devidas ao momento fletor, sendo desprezadas as deformações devidas ao esforço cortante). E, como resultado desses efeitos, os deslocamentos da estrutura, relativamente, aumentam mais rapidamente do que a carga que a solicita. Dessa forma, quando os deslocamentos tornam-se indeterminados, o que corresponde teoricamente a tenderem ao infinito, a estrutura atingiu a capacidade última de carga com o respectivo nível de carga se aproximando da carga de flambagem.

Ao ser iniciada a análise de uma estrutura, não se conhecem os esforços axiais em suas barras e com isso a determinação da matriz de rigidez da estrutura não pode ser feita diretamente⁽¹⁴⁾. No entanto, esse problema pode ser contornado, calculando-se os esforços axiais, inicialmente, a partir da matriz de rigidez obtida com esforços axiais nulos. E assim, num ciclo seguinte define-se a matriz de rigidez com os esforços axiais do ciclo anterior e, sucessivamente, obtendo-se um ajuste na matriz em função desses esforços, para o correspondente nível de carga na estrutura⁽¹¹⁾.

Os resultados de uma análise elástica em segunda ordem são: uma relação carga-deslocamento associada a não linearidade geométrica e um valor para a carga crítica elástica. Esta carga se constitui numa importante referência, podendo ser utilizada como uma estimativa superior da capacidade última de carga, visto que representa a mais alta carga teoricamente possível que pode ser suportada pela estrutura.

Nesta dissertação, não será realizada esta análise.

5.1.2 - Análise rígido-plástica

Na análise rígido-plástica em primeira ou segunda ordem é possível se estimar a capacidade de carga não-elástica de barras e pórticos. Nesta análise supõe-se que após a formação de um mecanismo, a estrutura é incapaz de absorver qualquer incremento de carga. Com isso, a carga correspondente à formação do mecanismo refere-se à carga de colapso rígido-plástico.

As hipóteses consideradas nesta análise são as seguintes:

- a) as barras da estrutura se constituem de um material rígido-plástico;
- b) utiliza-se a concepção de rótulas plásticas, de acordo com o que se apresenta na seção 2.1;
- c) a estrutura permanece indeslocável até que o momento fletor seja igual a M_{pr} em um número suficiente de seções, tal que a estrutura se transforme em um mecanismo⁽¹¹⁾;
- d) os segmentos de barra entre rótulas são rígidos.

Dessa forma a relação momento-curvatura é composta, de início, de uma linha vertical, até que surja o mecanismo na estrutura, seguida de uma linha horizontal (para análise em primeira ordem) ou de uma curva descendente com a concavidade para cima (para análise em segunda ordem).

Na análise em segunda ordem, após a formação do mecanismo, os deslocamentos da estrutura são computados considerando-se as deflexões de corpo rígido das barras nas equações de equilíbrio⁽¹¹⁾. A curva carga-deslocamento gerada desse modo pode, em certos casos, cruzar com a curva carga-deslocamento da análise elasto-plástica em segunda ordem, definindo a mesma carga última que esta.

A análise rígido-plástica em primeira ordem é de

grande importância porque a capacidade última de carga de pórticos de poucos andares, solicitados por esforços axiais de baixa intensidade é aproximadamente igual à carga de colapso rígido-plástica.

A primeira formulação completa da teoria da análise rígido-plástica se deve a Gvozdev⁽²⁰⁾ (1938).

5.1.3 - Análise elasto-plástica em segunda ordem

Uma estimativa mais precisa das relações carga-deslocamento, da capacidade última de carga e, também, do modo de colapso de pórticos é obtida por uma análise elasto-plástica em segunda ordem. De acordo com o comportamento real de barras e pórticos ocorre que a partir da aplicação dos primeiros incrementos de carga, já se manifestam deslocamentos na estrutura. Com isso, ao ser iniciada a análise, tem-se um comportamento elástico da estrutura, com esses deslocamentos gerando efeitos de segunda ordem como aqueles mencionados na seção 5.1.1. Devido a esses efeitos, as solicitações de flexão aumentam, antecipando a formação de rótulas plásticas que ocorre de forma similar à descrita na seção 3. Assim, será estabelecido um procedimento que intercala efeitos de segunda ordem com a formação de rótulas plásticas, até que ocorra a instabilidade da estrutura. Esses efeitos se constituem nas principais causas da deterioração da estabilidade da estrutura. Dessa forma, a relação carga-deslocamento é não-linear, sendo que os deslocamentos são cada vez maiores em relação ao nível de carga (i.e., ao aumento da carga).

Esse tipo de análise é, de certa forma, uma combinação de uma análise elasto-plástica em primeira ordem com uma análise elástica em segunda ordem.

A partir de um determinado nível de carga, para um pequeno incremento na carga, resultam grandes deslocamentos. Com isso, teoricamente, ao ser atingida a capacidade

última de carga, os deslocamentos tendem ao infinito com a estrutura tornando-se instável.

A primeira análise realizada, considerando a não linearidade física (rótulas plásticas) e geométricas (efeitos de segunda ordem) de pórticos foi, provavelmente, desenvolvida por Horne⁽²¹⁾ (1948). Posteriormente, outros pesquisadores desenvolveram outros trabalhos.

Neste trabalho faz-se a análise de pórticos considerando-se os efeitos da plastificação de seções (rótulas plásticas), do esforço axial na rigidez dos pilares e na redução do momento de plastificação, dos deslocamentos horizontais dos nós (efeito P-Delta) e da reversão de rótulas plásticas. Entretanto, não são considerados os efeitos da deformação axial no equilíbrio das barras, da tensão residual e do espalhamento da plastificação ao longo do eixo das barras. Neste capítulo apresenta-se uma formulação numérica para essa análise.

5.2 - Formulação da análise

Através da análise elasto-plástica em segunda ordem se obtêm as relações carga-deslocamento dos pórticos, até que seja atingida a instabilidade à qual se associa a carga última. Essas relações são obtidas através de determinados níveis de carga associados aos correspondentes deslocamentos ao longo da análise, que é incremental-iterativa. Dessa forma são obtidos pontos, pelos quais é traçada uma curva, que é ajustada da melhor forma possível a esses pontos. Cada ponto dessa curva representa uma posição de equilíbrio para os respectivos parâmetros de carga e deslocamento da estrutura.

Nas seções subsequentes se apresenta a formulação pormenorizada desta análise. A seção 5.2.1 apresenta as hipóteses e uma delimitação passo a passo do procedimento utilizado. As seções 5.2.2 a 5.2.5 contêm uma explanação detalhada do procedimento teórico utilizado.

O que foi considerado no capítulo 3 deste trabalho, quanto às matrizes de rigidez das vigas, à montagem da matriz de rigidez do sistema estrutural, aos vetores de carga, à rotação das rótulas plásticas e a alteração da rigidez do sistema estrutural devido à formação de rótulas plásticas, será mantido neste capítulo.

5.2.1 - Hipóteses e delimitação da análise

Esta análise de pórticos consiste na determinação das relações carga-deslocamento da estrutura sob a ação de um carregamento crescente. Dadas as características elásticas, plásticas, geométricas e o carregamento do pórtico é procedida a análise pelo Processo dos Deslocamentos, o que é feito pela resolução dos sistemas de equações apresentados na seção 2.3, segundo as coordenadas do sistema estrutural. Ao considerar-se a plastificação (rótulas plásticas) a análise deve ser incremental e, ao considerar-se os efeitos dos esforços axiais (segunda ordem) a análise deve ser, também, iterativa. Dessa forma a relação carga-deslocamento é obtida pela superposição de soluções incrementais-iterativas, sendo não-linear com os deslocamentos, relativamente, aumentando mais rapidamente do que a carga aplicada.

O procedimento numérico proposto baseia-se nas mesmas hipóteses apresentadas no capítulo 2 (seção 2.1) e no capítulo 3 (seção 3.1), deste trabalho.

Ao ser iniciada a análise, o que corresponde à primeira fase do processo, a estrutura é inteiramente elástica. Com a matriz de rigidez $[K]$, definida a partir de esforços axiais nulos nos pilares, determina-se o primeiro fator de carga (ΔW_i) e os primeiros esforços axiais nos pilares. Com esses esforços axiais, altera-se a matriz de rigidez e os momentos de plastificação, que é reduzido pela ação do esforço axial. Com essa matriz de rigidez tangente $[K']$ são recalculados os novos fatores de carga (ΔW_i) e es

forços axiais. E, assim, procede-se sucessivamente até que haja convergência entre os fatores de carga do ciclo interno atual com o do ciclo interno anterior.

Na segunda fase do processo, à qual corresponde a formação de rótulas plásticas na análise, tem-se que esse procedimento anterior, de ajustar-se a matriz de rigidez $[K']$ aos esforços axiais, é repetido em todas as etapas entre a formação de rótulas. E, assim, são determinados os fatores de carga (ΔW_i) de cada etapa, correspondentes à formação das rótulas plásticas. Na passagem de uma etapa para outra, nessa segunda fase da análise, a matriz de rigidez $[K']$ é alterada devido à formação de rótula(s) plástica(s). As relações carga-deslocamento se apresentam como a da Fig. 5.2.

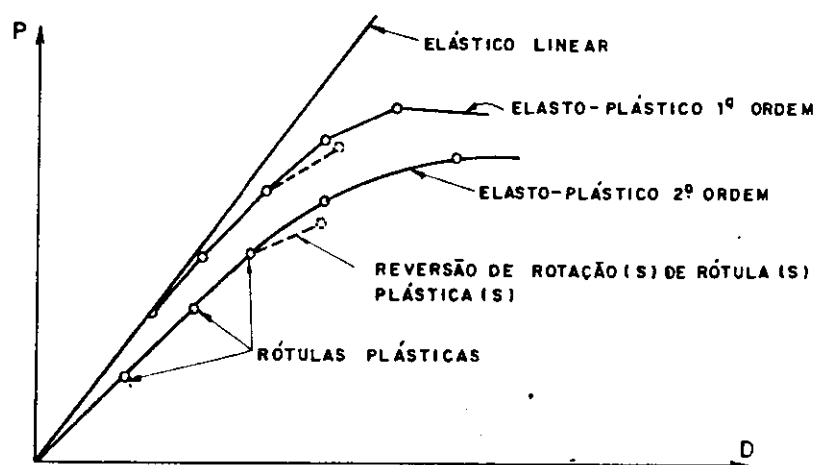


FIG. 5.2 - RELAÇÕES CARGA-DESLOCAMENTO

As considerações quanto à reversão de rótula(s) plástica(s) são as mesmas que aquelas apresentadas na seção 3.1.

O procedimento numérico incremental-iterativo adotado para computar os fatores de carga (ΔW_i) nas análises de pórticos é descrito pelos passos seguintes:

- 1) Montagem da matriz de rigidez $[K]$ a partir das matrizes de rigidez das barras, com as caracte

terísticas elásticas e geométricas da estrutura, considerada descarregada.

- 2) Resolução do sistema de equações pelo método de Cholesky com o vetor de carga $\{P_f\}$.
- 3) Com os deslocamentos calculados no passo 2, acima, determinam-se os esforços E_f com os quais é verificado se há plastificação nas seções das barras; e caso afirmativo, faz-se a redução dos parâmetros de carga do vetor $\{P_f\}$, retornando-se ao passo 2; em caso negativo, passa-se ao passo 4.
- 4) Resolve-se o sistema de equações pelo método de Cholesky com o vetor de carga $\{P_v\}$, e calcula-se os esforços E_v . Se a matriz de rigidez deixou de ser positiva definida ou houve indeterminação na resolução do sistema de equações, tem-se que a estrutura tem atingido a capacidade última de carga e a análise é finalizada.
- 5) Calcula-se o fator de carga ΔW_i referente à formação de rótula(s) plástica(s) com M_{pr} da etapa atual. Caso o esforço axial de algum pilar tenha atingido o valor da força de escoamento da seção ($F \geq F_y$), a análise é interrompida. Se o fator de carga ΔW_i for muito pequeno, a análise é finalizada sob a suposição de que a capacidade última de carga da estrutura tem sido atingida.
- 6) Altera-se a matriz de rigidez tangente $[K']$ devido aos esforços axiais estimados pelo fator de carga ΔW_p .
- 7) Sendo a primeira etapa, são recalculados os esforços E_v e E_f ; a partir da segunda etapa, são recalculados apenas os esforços E_v .

- 8) Recalcula-se o fator de carga ΔW_i e testa-se a convergência com o fator do passo 5; se há convergência, passa-se para o passo 9 e, em caso contrário, retorna-se ao passo 6.
- 9) Caso a convergência do passo 8 não seja alcançada com o número máximo de iterações pré-estabelecida, passa-se ao passo 10.
- 10) Determina-se a(s) rótula(s) plástica(s) simultânea(s), a menos de um "erro" pré-fixado de acordo com a precisão desejada na análise.
- 11) Calculam-se os esforços $\{E\}$ e os deslocamentos $\{D\}$ acumulados, através do fator ΔW_i da etapa atual.
- 12) Altera-se a matriz de rigidez tangente $[K']$ devido aos esforços axiais acumulados até a etapa atual. Caso algum pilar tenha atingido a carga crítica, a análise é interrompida.
- 13) Calculam-se as rotações das rótulas plásticas com os esforços $\{E\}$ e os deslocamentos $\{D\}$ do passo 11.
- 14) A partir da terceira etapa, verifica-se a reversão de rótula(s) plástica(s). Caso haja reversão, altera-se a matriz de rigidez tangente $[K']$, desacumula-se os parâmetros $\{E\}$ e $\{D\}$ e retorna-se ao passo 4, repetindo-se essa etapa.
- 15) Altera-se a matriz de rigidez tangente $[K']$ devido à formação de rótula(s) plástica(s) dessa etapa. Retorna-se ao passo 4, dando prosseguimento à análise.

Assim será procedida a análise elasto-plástica em segunda ordem deste trabalho.

5.2.2 - Efeito do esforço axial na rigidez dos pilares

A presença do esforço axial F numa barra altera sua rigidez e conseqüentemente os outros esforços. No caso de pórticos carregados predominantemente por cargas gravitacionais, o esforço axial nos pilares é preponderante, o que afeta significativamente a rigidez da estrutura.

O efeito do esforço axial na rigidez dos pilares será considerado através das funções de estabilidade⁽⁹⁾, que são definidas a seguir.

Considera-se que $\rho = F/F_e$, sendo $F_e = \pi^2 \cdot f/L$ e $f = E \cdot J/L$.

Seja a barra da Fig. 5.3, na qual o momento M_i provoca uma rotação θ_i e faz surgir o momento de engastamento M_j .

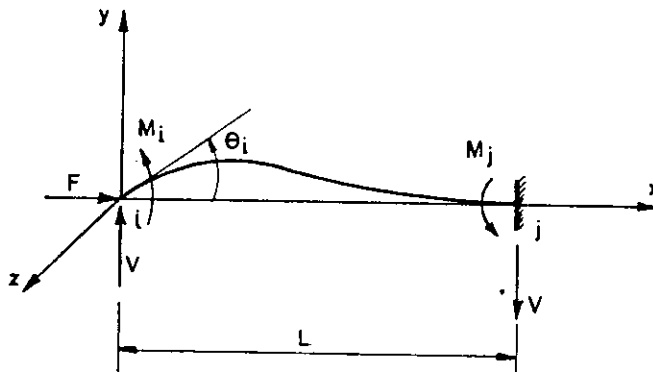


FIG. 5.3 - BARRA COM ESFORÇO AXIAL

Para a barra da Fig. 5.3 a equação da linha elástica, com v representando a deflexão de um ponto do eixo da barra distante x da extremidade "i" no plano xoy, pode ser expressa por:

$$v'' + \pi^2 \cdot \rho \cdot v/L^2 = ((M_i + M_j) \cdot x/L - M_i) / (f \cdot L)$$

.... Eq. (5.1)

A solução dessa equação diferencial, obtida a partir das condições de contorno $v = 0$ para $x = 0$ e para $x = L$, diferenciada em relação a x , é expressa por:

$$4 \cdot \beta^2 \cdot f \cdot v' = M_i (1 - 2\beta \operatorname{sen} 2\beta x/L - 2\beta \cot 2\beta \cos 2\beta x/L + \\ + M_j (1 - 2\beta \operatorname{cosec} 2\beta \cos 2\beta x/L) , \quad \beta = \pi/2 \cdot \sqrt{\rho} \quad \dots \text{Eq. (5.2)}$$

Com a condição de contorno $v' = 0$ para $x = L$ e, por definição⁽¹⁴⁾, tem-se o fator de propagação

$$c = M_j/M_i = (2\beta - \operatorname{sen} 2\beta) / (\operatorname{sen} 2\beta - 2\beta \cos 2\beta) \quad \text{Eq. (5.3)}$$

Visto que, por definição⁽¹⁴⁾, $M_i = s \cdot f \cdot \theta_i$ e $M_j = c \cdot s \cdot f \cdot \theta_j$, o valor de s pode ser obtido a partir da eq. 5.2, dando

$$s = \beta (\operatorname{sen} 2\beta - 2\beta \cos 2\beta) / (2 \operatorname{sen} \beta (\operatorname{sen} \beta - \beta \cos \beta)) \\ \dots \text{Eq. (5.4)}$$

As equações 5.3 e 5.4 relativas aos coeficientes s e c dependem apenas da relação entre F e F_e .

A rigidez de uma barra é reduzida quando, por exemplo, um dos seus extremos é articulado. Seja a barra da Fig. 5.4, contendo uma articulação na extremidade "j".

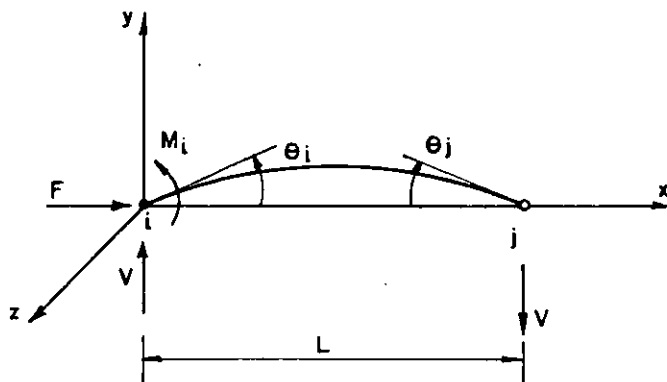


FIG. 5.4 - BARRA ARTICULADA COM ESFORÇO AXIAL

Por superposição, obtêm-se a partir de barras como a da Fig. 5.3 o que segue: com a articulação em "i" e em "j" vem, respectivamente, que $M_i = s \cdot f \cdot (\theta_i + c \cdot \theta_j)$ e $M_j = s \cdot f \cdot (c \cdot \theta_i + \theta_j)$. Sendo que na barra da Fig. 5.4 $M_j = 0$, resulta que $\theta_j = -c \cdot \theta_i$. Dessa forma $M_i = s \cdot f \cdot (1 - c^2) \cdot \theta_i$ ou $M_i = s'' \cdot f \cdot \theta_i$, sendo

$$s'' = s \cdot (1 - c^2) \quad \dots \text{Eq. (5.5)}$$

que \bar{e} é o coeficiente de rigidez modificado (9).

Como foi exposto acima, os coeficientes s , c e s'' são associados à rotação de extremidade das barras.

No caso de uma translação transversal ao eixo da barra, conforme a Fig. 5.5, o efeito do esforço axial F é considerado a seguir.

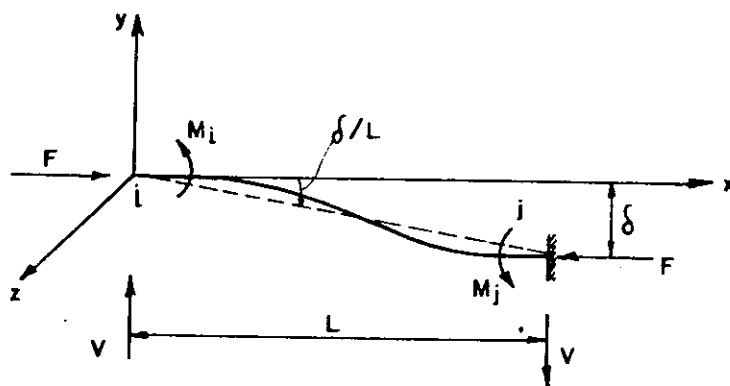


FIG. 5.5— BARRA TRANSLADADA COM ESFORÇO AXIAL

A extremidade "j" é transladada de " δ " em relação a "i", sendo δ/L pequeno comparado com a unidade. Dessa forma, pode-se considerar que a barra seja submetida apenas a rotações $\theta_i = \delta/L$ e $\theta_j = \delta/L$. Por superposição tem-se que $M_i = M_j = s(1+c) \cdot f \cdot \delta/L$. Com a translação, conforme a Fig. 5.5, e pondo $F = 0$, tem-se que $V \cdot L = M_i + M_j$ e $M_i = M_j = V \cdot L/2$. Com a presença do esforço axial, a equação passa a se apresentar $M_i = M_j = m \cdot V \cdot L/2$, na qual "m" representa o efeito de F .

Fazendo-se o equilíbrio em relação ao ponto "i" tem-se $V \cdot L = M_i + M_j - F \cdot \delta$. Substituindo $M_i = M_j = m \cdot V \cdot L / 2 = s(1+c)f \cdot \delta / L$ e $F = \pi^2 \cdot \rho \cdot f / L$, vem que

$$m = 2s(1+c) / (2s(1+c) - 4\beta^2) \quad \dots \text{Eq. (5.6)}$$

sendo que o esforço $V = 2s(1+c)f\delta / mL^2$.

Caso a barra possua uma articulação, conforme a Fig. 5.6, o efeito do esforço axial F é considerado como segue.

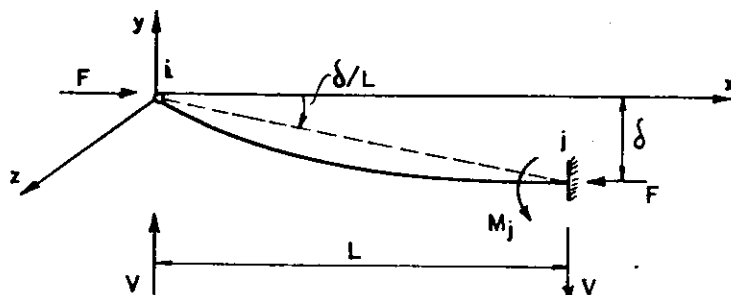


FIG.5.6-BARRA ARTICULADA COM ESFORÇO AXIAL

O momento é $M_j = s'' \cdot f \cdot \delta / L$, conforme a Fig. 5.4 e o que se expôs acima. Fazendo-se o equilíbrio em relação à extremidade "i", tem-se que o esforço cortante é dado por

$$V = (s'' - \pi^2 \rho) f \delta / L^2$$

No caso do esforço axial F ser de tração, a eq. 5.1 passa a apresentar-se sob a forma

$$v'' - \pi^2 \cdot \rho \cdot v / L^2 = ((M_i + M_j) \cdot x / L - M_i) / (f \cdot L) \dots \text{Eq. (5.7)}$$

cuja solução geral pode ser expressa por

$$v = C_1 \cdot e^{\pi \sqrt{\rho} x / L} + C_2 \cdot e^{-\pi \sqrt{\rho} x / L} - L / (\pi^2 \rho f) \cdot ((M_i + M_j) x / L - M_i) \quad \dots \text{Eq. (5.8)}$$

As condições de contorno e o procedimento adotado para a determinação dos coeficientes s , c , s'' e m a partir da eq. 5.8, são análogos aos considerados anteriormente para o caso de compressão. Com isso as expressões desses coeficientes se apresentam sob a mesma forma, sendo as funções trigonométricas substituídas pelas hiperbólicas de mesmo nome. Assim

$$s = \gamma(\sinh 2\gamma - 2\gamma \cosh 2\gamma) / (2\sinh \gamma (\sinh \gamma - \gamma \cosh \gamma)) \quad \dots \text{Eq. (5.9)}$$

$$c = (2\gamma - \sinh 2\gamma) / (\sinh 2\gamma - 2\gamma \cosh 2\gamma) \quad \dots \text{Eq. (5.10)}$$

$$m = 2s(1+c) / (2s(1+c) + 4\gamma^2) \quad \dots \text{Eq. (5.11)}$$

sendo $\gamma = \pi/2 \sqrt{|\rho|}$

Outros detalhes a respeito destas funções de estabilidade podem ser encontrados em Horne⁽⁹⁾ e Antunes⁽¹⁴⁾.

A matriz de rigidez do sistema estrutural é obtida da mesma forma que a apresentada na seção 3.2 do capítulo 3. A seguir, apresentam-se as matrizes de rigidez dos pilares obtidas a partir dos coeficientes s , c , s'' e m , de acordo com as coordenadas e eixos de referência da Fig. 3.5.

Para um pilar sem articulações, a matriz de rigidez $[K_{ij}]^P$ segundo suas coordenadas, apresenta-se com a seguinte configuração:

$$[K_{ij}]^P = \begin{array}{c|cccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \hline 1 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ \hline 2 & 0 & \frac{sEJ}{L} & -\frac{s(1+c)EJ}{L^2} & 0 & \frac{scEJ}{L} & \frac{s(1+c)EJ}{L^2} \\ \hline 3 & 0 & -\frac{s(1+c)EJ}{L^2} & \frac{2s(1+c)EJ}{mL^3} & 0 & -\frac{s(1+c)EJ}{L^2} & -\frac{2s(1+c)EJ}{mL^3} \\ \hline 4 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ \hline 5 & 0 & \frac{scEJ}{L} & -\frac{s(1+c)EJ}{L^2} & 0 & \frac{sEJ}{L} & \frac{s(1+c)EJ}{L^2} \\ \hline 6 & 0 & \frac{s(1+c)EJ}{L^2} & -\frac{2s(1+c)EJ}{mL^3} & 0 & \frac{s(1+c)EJ}{L^2} & \frac{2s(1+c)EJ}{mL^3} \\ \hline \end{array}$$

.... Eq. (5.12)

Um pilar com uma articulação na extremidade superior, terá sua matriz de rigidez com a seguinte configuração:

$$[K_{ij}]^P = \begin{array}{c|cccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \hline 1 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ \hline 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 3 & 0 & 0 & \frac{(s''-\pi^2\rho)EJ}{L^3} & 0 & -\frac{s''EJ}{L^2} & \frac{(s''-\pi^2\rho)EJ}{L^3} \\ \hline 4 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ \hline 5 & 0 & 0 & -\frac{s''EJ}{L^2} & 0 & \frac{s''EJ}{L} & \frac{s''EJ}{L^2} \\ \hline 6 & 0 & 0 & -\frac{(s''-\pi^2\rho)EJ}{L^3} & 0 & \frac{s''EJ}{L^2} & \frac{(s''-\pi^2\rho)EJ}{L^3} \\ \hline \end{array}$$

.... Eq. (5.13)

Um pilar com uma articulação na extremidade inferior, terá sua matriz de rigidez com a seguinte configuração:

$$[K_{ij}]^P = \begin{array}{c|cccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \hline 1 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ \hline 2 & 0 & \frac{s''EJ}{L} & -\frac{s''EJ}{L^2} & 0 & 0 & \frac{s''EJ}{L^2} \\ \hline 3 & 0 & -\frac{s''EJ}{L^2} & \frac{(s''-\pi^2\rho)EJ}{L^3} & 0 & 0 & -\frac{(s''-\pi^2\rho)EJ}{L^3} \\ \hline 4 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ \hline 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 6 & 0 & \frac{s''EJ}{L^2} & -\frac{(s''-\pi^2\rho)EJ}{L^3} & 0 & 0 & \frac{(s''-\pi^2\rho)EJ}{L^3} \\ \hline \end{array}$$

.... Eq. (5.14)

E, finalmente, um pilar bi-articulado terá sua matriz de rigidez com a mesma configuração da eq. 3.7 da seção 3.2 do capítulo 3.

Deve-se observar que ρ muda de sinal com o esforço axial F , nas equações 5.13 e 5.14.

A matriz de rigidez do sistema estrutural é obtida a partir das matrizes de rigidez dos pilares $[K_{ij}]^P$ referentes às equações 5.12, 5.13, 5.14 e 3.7 e, das matrizes de rigidez das vigas $[K_{ij}]^V$ referentes às equações 3.1, 3.2 e 3.3 da seção 3.2 do capítulo 3.

5.2.3 - Efeito do esforço axial no momento de plastificação

O valor do momento de plastificação M_{pr} depende do esforço axial na barra, e pode ser estimado (11,16) da seguinte maneira:

$$M_{pr} = M_p \quad \text{com } 0 \leq F/F_y \leq 0,1526$$

.... Eq. (5.15)

$$M_{pr} = 1,18 \cdot M_p (1 - F/F_y) \quad \text{com } 0,1526 < F/F_y \leq 1,000$$

.... Eq. (5.16)

Tais expressões levam a bons resultados considerando-se perfis do tipo "H" e "I", como pode-se ver pela Fig. 5.7 (i.e., este diagrama é aproximadamente igual aos reais dos referidos perfis). Inclusive, essas expressões referentes às equações 5.15 e 5.16 são recomendadas pelo American Institute of Steel Construction (AISC)⁽¹⁶⁾ para os perfis citados acima.

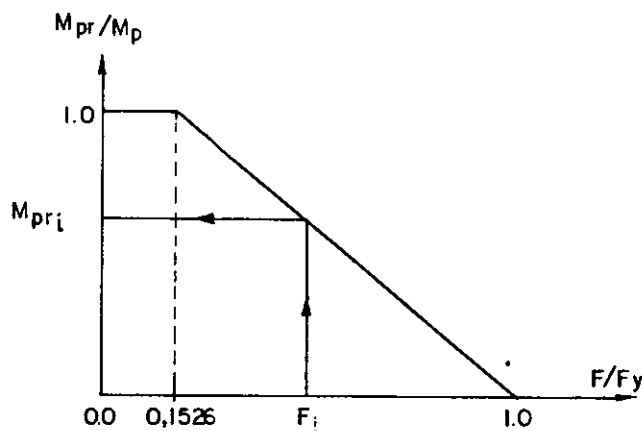


FIG. 5.7 - RELAÇÃO ENTRE O MOMENTO DE PLASTIFICAÇÃO E O ESFORÇO AXIAL.

Tendo-se o esforço axial efetivo e o momento de plastificação M_p de cada pilar (são desprezadas as deformações axiais das vigas, conforme a seção 3.1), avalia-se o momento de plastificação reduzido M_{pr} para cada iteração, em cada ciclo interno ao longo da análise.

Dessa forma, a relação momento-esforço axial-curvatura é a que se apresenta na Fig. 5.8, tendo-se em vista barras de seções como a da Fig. 2.2 do capítulo 2. Com

isso, deixa-se de considerar o efeito do esforço axial e das tensões residuais na curvatura ϕ , assim como outros e feitos correlatos, tais como o espalhamento da plastificação ao longo do eixo das barras e o encurtamento do material⁽⁵⁾.

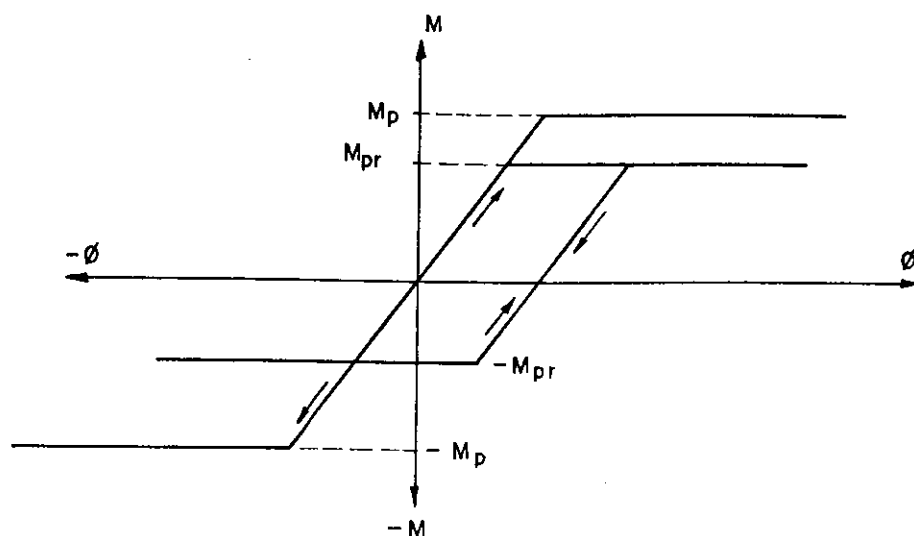


FIG. 5.8 - RELAÇÃO MOMENTO - ESFORÇO AXIAL - CURVATURA IDEALIZADA

5.2.4 - Efeito P-Delta

O efeito P-Delta é tido como a ação do carregamento gravitacional sobre a estrutura transladada (i.e., deslocada horizontalmente).

Ao longo da análise, à medida que a estrutura vai assumindo deslocamentos horizontais referentes a cada andar, de acordo com o carregamento e suas características elasto-plasto-geométricas, a ação do carregamento sobre a estrutura transladada provoca esforços adicionais que é tido como efeito P-Delta ou "momento P-Delta". A existência destes deslocamentos horizontais é assegurada pois, sempre é considerada a presença de cargas horizontais nas análises deste trabalho, por menores que sejam.

A utilização do coeficiente "m", definido na seção 5.2.2 e dado pela equação 5.6, nos elementos de rigidez dos pilares, faz com que o efeito P-Delta seja considerado, sendo que a influência desse efeito pode ser levada em conta nas análises objetivando a determinação da capacidade última de carga ou apenas a determinação de esforços solicitantes em pórticos.

Sendo o coeficiente "m" relacionado com os elementos de rigidez dos pilares, o mesmo leva em consideração a inclinação entre o eixo dos pilares e a carga vertical.

No capítulo seguinte, capítulo 6, apresenta-se o procedimento adotado para a automatização desta análise e lasto-plástica em segunda ordem.

6. PROGRAMA PARA ANÁLISE AUTOMÁTICA - PRGMII

O programa para computador PRGMII faz a análise de pórticos, baseado no que se apresenta no capítulo 5. O PRGMII foi escrito em linguagem FORTRAN e estruturado em um programa principal e vinte e três subrotinas. Este programa foi inicialmente utilizado através do computador IBM 1130 e posteriormente através do HP 2100, ambos com 32K de memória interna. No Apêndice II o programa apresenta-se subdividido⁽¹⁷⁾ em um segmento principal e doze segmentos auxiliares, para que se obtivesse um melhor aproveitamento da capacidade do computador HP 2100. Com esta concepção de programação pretendeu-se o seguinte:

- a) dar maior flexibilidade à programação;
- b) facilitar as correções e alterações;
- c) otimizar o aproveitamento da memória interna^(10,17)
- d) possibilitar adaptações a outros tipos de análise.

A estrutura do PRGMII é basicamente a mesma do PRGMI, tendo sido mantidas as rotinas relativas à formação e fechamento de rótulas plásticas, e criadas novas rotinas para a consideração dos efeitos de segunda ordem. Com isso, o programa principal foi reestruturado objetivando ajustar o esforço axial nos pilares iterativamente e, com isso, foram criadas, substituídas e eliminadas determinadas subrotinas com relação ao PRGMI. Dessa forma, o que tem-se apresentado nas seções 4.1, 4.2, 4.4 e 4.5 é mantido para o PRGMII. Assim, a primeira fase do PRGMII coincide com a do PRGMI (veja seção 4). Entretanto, na segunda fase existem, basicamente, dois ciclos que se dispõem como segue. O ciclo externo processa a alteração da matriz $[K']$ com a formação de rótulas plásticas, conforme a seção 3.5. O ciclo interno, por sua vez, processa o ajuste do esforço axial nos pilares, jun

tamente com a determinação dos fatores de carga ΔW_i . Cada ciclo externo, corresponde a uma etapa da análise.

Outros procedimentos do PRGMII são apresentados nas seções subseqüentes e no Apêndice II.

Dependendo da capacidade de memória interna do computador utilizado, o PRGMII pode ser empregado para a análise de pórticos com um número elevado de incógnitas.

6.1 - Alteração da rigidez dos pilares

No ciclo iterativo interno da segunda fase do programa, conforme a seção 6, a matriz $[K']$ é ajustada a partir das matrizes $[K_{ij}]^P$ dos pilares, que levam em conta os efeitos do esforço axial. Assim, o ajuste da matriz $[K']$ é feito através de uma subrotina do PRGMII, a qual utiliza os esforços axiais E_{ap} dados pela equação

$$\{E_{ap}\} = \{E_f\} + \Delta W_p \cdot \{E_v\} \quad \dots \text{Eq. 6.1}$$

sendo ΔW_p o fator de carga pré-estabelecido em cada ciclo interno. Esta subrotina altera a matriz $[K']$ por substituição das matrizes $[K_{ij}]^P$ homólogas com relação a $[K']$, calculadas com os esforços $\{E_{ap}\}$ do ciclo anterior e do ciclo atual, respectivamente. Ao ser finalizada cada etapa (etapa - veja seção 3.1) da análise, o que completa um ciclo externo, a matriz $[K']$ é reajustada pelos esforços axiais mais exatos dessa etapa, que são dados por

$$\{E\} = \{E_f\} + W_t \cdot \{E_v\} \quad \dots \text{Eq. 6.2}$$

adotando-se um procedimento similar ao descrito acima.

Dessa forma são considerados os efeitos de segunda ordem nas análises de pórticos, neste trabalho.

6.2 - Cálculo dos deslocamentos pelo método de Cholesky

O cálculo dos deslocamentos é feito pela resolução dos sistemas de equações apresentados na seção 2.3, segundo as coordenadas do sistema estrutural, pelo método de Cholesky⁽¹³⁾.

Até que a capacidade última de carga da estrutura não seja alcançada, a matriz $[K']$ é simétrica e positiva definida, podendo ser arranjada da seguinte forma

$$[K'] = [T^i] \cdot [T^s] \quad \dots \text{Eq. 6.3}$$

na qual $[T^i]$ é uma matriz triangular inferior e $[T^s]$ a sua transposta. Na forma expandida, observando-se a simetria, tem-se

$$\begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & \dots & K_{2n} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & \dots & K_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{n1} & K_{n2} & K_{n3} & \dots & K_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ T_{12} & T_{22} & 0 & \dots & 0 \\ T_{13} & T_{23} & T_{33} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{1n} & T_{2n} & T_{3n} & \dots & T_{nn} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & \dots & T_{1n} \\ 0 & T_{22} & T_{23} & \dots & T_{2n} \\ 0 & 0 & T_{33} & \dots & T_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & T_{nn} \end{pmatrix}$$

..... Eq. 6.4

Da equação 6.4, tem-se:

$$K_{11} = T_{11}^2 ; K_{22} = T_{12}^2 + T_{22}^2 ; K_{33} = T_{13}^3 + T_{23}^2 + T_{33}^2 ; \dots ; \dots ;$$

$$\dots K_{ii} = \sum_{k=1}^i T_{ki}^2 \quad \dots \text{Eq. 6.5}$$

$$K_{12} = T_{11} \cdot T_{12} ; K_{13} = T_{11} \cdot T_{13} ; K_{23} = T_{12} \cdot T_{13} +$$

+T₂₂ · T₂₃ ; ;

$$\therefore K_{ij} = \sum_{k=1}^i T_{ki} \cdot T_{kj} \quad \dots \text{Eq. 6.6}$$

Das equações 6.5 e 6.6 obtêm-se:

$$T_{ii} = K_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} T_{ki}^2 \quad \dots \text{Eq. 6.7}$$

$$T_{ij} = (K_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} T_{ki} \cdot T_{kj}) / T_{ii} \quad \text{se } j > i$$

Como T_{ij} é coeficiente da matriz [T^S], vem que T_{ij} = 0 se j < i; com esta equação e a equação 6.7 é efetuada a triangularização da matriz [K']. Com as equações 6.3 e [K'] · {D} = {P}, vem que

$$\{P\} = [T^i] \cdot [T^S] \cdot \{D\} \quad \dots \text{Eq. 6.8}$$

$$\text{Pondo-se } [T^S] \cdot \{D\} = \{P^*\} \quad \dots \text{Eq. 6.9}$$

obtêm-se:

$$P_i^* = \sum_{k=1}^n T_{ik} \cdot D_k \quad \dots \text{Eq. 6.10}$$

Das equações 6.8 e 6.9, vem:

$$[T^i] \cdot \{P^*\} = \{P\} \quad \dots \text{Eq. 6.11}$$

obtendo-se:

$$P_i = \sum_{k=1}^i T_{ki} \cdot P_k^* \quad \dots \text{Eq. 6.12}$$

Da equação 6.12, vem:

$$P_i^* = (P_i - \sum_{k=1}^{i-1} T_{ki} \cdot P_k^*) / T_{ii} \quad \dots \text{Eq. 6.13}$$

Com os valores de $\{P_i^*\}$, dados pela equação 6.13, são calculados os deslocamentos $\{D\}$ através da equação 6.10, resultando

$$D_i = (P_i^* - \sum_{k=i+1}^n T_{ik} \cdot D_k) / T_{ii} \quad \dots \text{Eq. 6.14}$$

Dessa forma são calculados os deslocamentos $\{D\}$ no PRGMII, o que é feito através da equação 6.14.

6.3 - Convergência

Na segunda fase do PRGMII, onde são feitas iterações visando ajustar a matriz $[K']$ aos efeitos de segunda ordem, tem-se que, os valores corretos dos deslocamentos D não podem ser obtidos a menos que os valores de $[K']$ sejam corretos.

Com o objetivo de obter-se uma boa estimativa para os valores de $[K']$ e, conseqüentemente, de $\{D\}$, tem-se utilizado o fator de carga ΔW_p que é dado por:

$$\Delta W_p = (\text{OSCIL} \cdot \Delta W_i + \Delta W_a) / (\text{OSCIL} + 1) \quad \dots \text{Eq. 6.15}$$

A utilização deste fator de carga na predição dos esforços axiais dos pilares (veja seção 6.1) visa otimizar a análise, diminuindo a oscilação e conseqüentemente o número de iterações sem, no entanto, comprometer a precisão os resultados.

Na equação 6.15, ΔW_i é o fator de carga efetivo do ciclo atual, ΔW_a é o fator ΔW_i do ciclo anterior e OSCIL é o coeficiente que visa minimizar as oscilações, atribuindo um grau de confiabilidade maior a ΔW_i , na busca de um valor mais exato para o fator de carga ΔW_i do próximo ciclo.

Um estudo à parte foi realizado, objetivando de terminar-se um valor ótimo para o coeficiente OSCIL. Para tanto, foram analisados vários pórticos com diferentes ca

características elasto-plasto-geométricas e carregamentos. Os critérios considerados para a escolha do valor ótimo desse coeficiente foram os seguintes: o equilíbrio da estrutura e o número mínimo de iterações. Confrontando-se os resultados obtidos nessas análises, verificou-se que, de modo geral, o valor ótimo para este coeficiente situa-se em torno de dois e três décimos (2,3). No entanto, deve-se observar que, para cada tipo de pórtico e carregamento, e xiste um particular valor ótimo para o coeficiente OSCIL.

Dessa forma tem-se solucionado o problema da con vergência no processo iterativo do ciclo interno da segun da fase do PRGMII.

6.4 - Relações carga-deslocamento e carga última

Ao longo da análise de cada estrutura, são compu tados os esforços e deslocamentos acumulados na segunda fa se do PRGMII, através das equações 4.3 e 4.4. Em cada eta pa da análise tem-se os deslocamentos (eq. 4.3) e o corres pondente nível de carga (eq. 4.4) que solicita a estrutura segundo o sistema de coordenadas da Fig.3.6. Com esses ele mentos as relações carga-deslocamento são estabelecidas e, com isso, pode-se construir diagramas como os das seções 6.6 e 6.7 seguintes.

Ao longo da análise, são feitos testes, objeti vando detectar-se a causa da instabilidade em cada caso. Tem-se considerado que ocorre a instabilidade quando se ve rifica uma ou mais das seguintes causas:

- a) desenvolvimento de um mecanismo, envolvendo um ou mais andares da estrutura;
- b) colapso da estrutura como um todo;
- c) flambagem por flexão de pilares, i.e., o es forço axial do pilar atinge o valor da carga crítica de Euler;

d) escoamento de toda a seção do pilar, i.e.,
 $F = F_y$;

e) a curva carga-deslocamento é nivelada, i.e.,
ocorrem grandes deslocamentos para pequenos
incrementos de carga.

A análise é interrompida pelo PRGMII, quando pelo menos uma das condições acima se verifica, tendo-se assim alcançado a capacidade última de carga da estrutura.

Os parâmetros últimos de carga e deslocamento são dados pelas equações 4.4 e 4.3, respectivamente.

De acordo com as hipóteses e demais considerações do capítulo 5, tem-se que as condições de instabilidade especificadas nos itens "a" e "b" acima são as necessárias e suficientes^(7,8).

6.5 - Verificação do PRGMII

Foram efetuadas verificações dos resultados obtidos com o PRGMII através da análise de vários pórticos, com diferentes características elasto-plasto-geométricas e carregamentos. Esses mesmos pórticos, com exceção do pórtico do exemplo 2 seguinte, já haviam sido analisados por outros pesquisadores, conforme indicações a seguir. Foram analisados, inclusive, pórticos com carregamentos não compatíveis com os "moldes" previstos para o PRGMII, visto que, em se tratando de cargas aplicadas ao longo dos vãos das vigas, há a possibilidade de ocorrer mecanismo de viga. Obstante a isso, neste trabalho não é considerada a possibilidade de tal ocorrência, conforme hipóteses indicadas na seção 5.2.1.

O valor correto dos deslocamentos $\{D\}$ não pode ser obtido, a menos que se obtenha a rigidez $[K']$ correta. No sentido de obter a rigidez $\{K'\}$ correspondente ao nível de carga de cada etapa, são feitas ajustagens à matriz $[K']$

e sucessivos testes de verificação conforme o que se apresenta na seção 6.3. Adicionalmente, tem-se verificado o equilíbrio dos esforços das extremidades das barras concorrentes aos nós da estrutura, dos esforços correspondentes às vigas e aos pilares, considerando a inclinação de seus eixos (efeito P-Delta) e, também, da estrutura quando considerada como um corpo livre.

Salienta-se que, nos pórticos referentes aos exemplos número 2 e 5 houve reversão de rótulas plásticas. O exemplo número 2, trata-se da estrutura hipotética apresentada na seção 4.8. Na análise da estrutura desse pórtico, em primeira ordem, houve a reversão de uma rótula plástica e, em segunda ordem houve a reversão de três rótulas.

O exemplo de verificação número 1 trata-se de um pórtico analisado por Galambos⁽¹¹⁾. Galambos tem considerado em sua análise aproximada, as funções de estabilidade e apenas cargas aplicadas nos nós da estrutura, como neste trabalho. O resultado obtido pelo PRGMII divergiu muito pouco daquele obtido por Galambos.

A comparação entre os resultados experimentais⁽¹¹⁾ e os correspondentes resultados teóricos obtidos pelo PRGMII são apresentados no exemplo número 3. A divergência entre os resultados deve-se provavelmente, ao encruamento do material e à localização de cargas ao longo do vão da viga, elementos não considerados no PRGMII.

Os resultados do exemplo número 4 são comparados aos obtidos por Alvarez⁽²²⁾ (1967).

Os resultados apresentados nos exemplos número 5 e 6 são comparados aos obtidos por Liapunov⁽⁵⁾.

Finalmente, os resultados do exemplo número 7 são comparados aos obtidos por Tranberg⁽¹⁾.

A seguir são apresentados os exemplos de verificação.

6.6 - Exemplos de verificação

6.6.1 - Este pórtico foi analisado, dentre outros, por Galambos⁽¹¹⁾. As condições, dados e resultados são os seguintes:

CONDICÕES:

$$A_{(viga)} = A_{(pilares)}; J_{(viga)} = 2 \cdot J_{(pilares)}$$

material: aço A441 ($\sigma_y = 50$ KSI);

$$E = 30000 \text{ KSI}; \alpha = 1,10; r_{(v)}/d_{(v)} = 0,430;$$

a esbeltez da viga é tal que: $L_{(v)}/r_{(v)} = 100$;

a esbeltez dos pilares é tal que: $L_{(p)}/r_{(p)} = 60$;

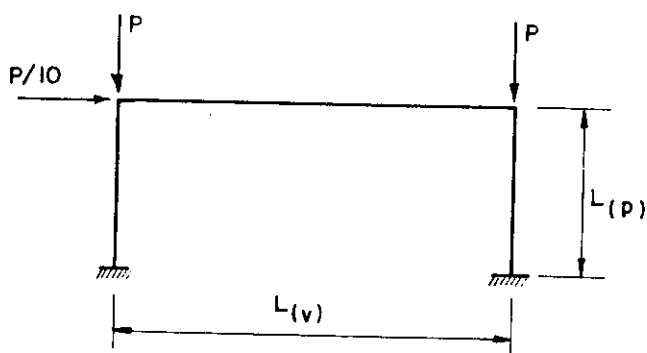


FIG. 6.1 - EXEMPLO DE VERIFICAÇÃO NÚMERO 1

DADOS: Ajustando os dados geométricos do pórtico com as condições acima tem-se, por exemplo, que:

$$\text{Pilares: } A = 10,07 \text{ in}^2; J = 115,5 \text{ in}^4;$$

$$M_p = 1590 \text{ Kips}\cdot\text{in}; L_{(p)} = 204 \text{ in}$$

$$\text{Viga: } A = 10,07 \text{ in}^2; J = 231,0 \text{ in}^4;$$

$$M_p = 2678 \text{ Kips}\cdot\text{in}; L_{(v)} = 408 \text{ in}$$

RESULTADOS: (carga última)

$$\text{Galambos: } P = 167 \text{ Kips}$$

$$\text{Este trabalho: } P = 164 \text{ Kips.}$$

6.6.2 - Este pórtico tem as mesmas características elasto-plasto-geométricas do exemplo 1 da seção 4.8 do capítulo 4. Perfis I, com $\sigma_y = 2,50 \text{ t/cm}^2$ e $E = 2100 \text{ t/cm}^2$.

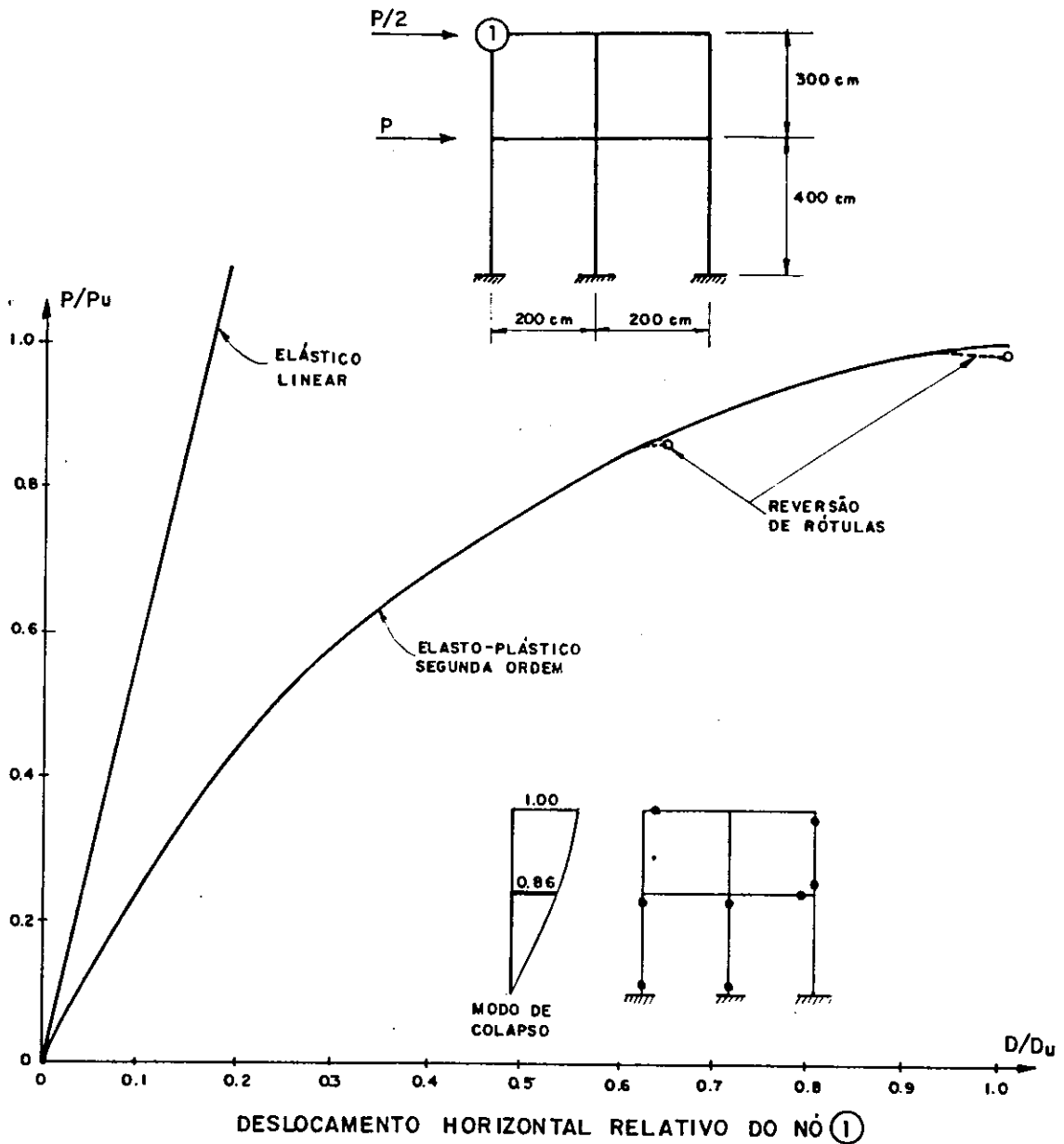


FIG. 6.2 - EXEMPLO DE VERIFICAÇÃO NÚMERO 2.

Observou-se que a localização e a ordem de formação e reversão das rótulas mantiveram-se idênticas à da análise em primeira ordem até a etapa 8. Desta etapa até a última (etapa 10) houve a reversão adicional de mais duas rótulas plásticas.

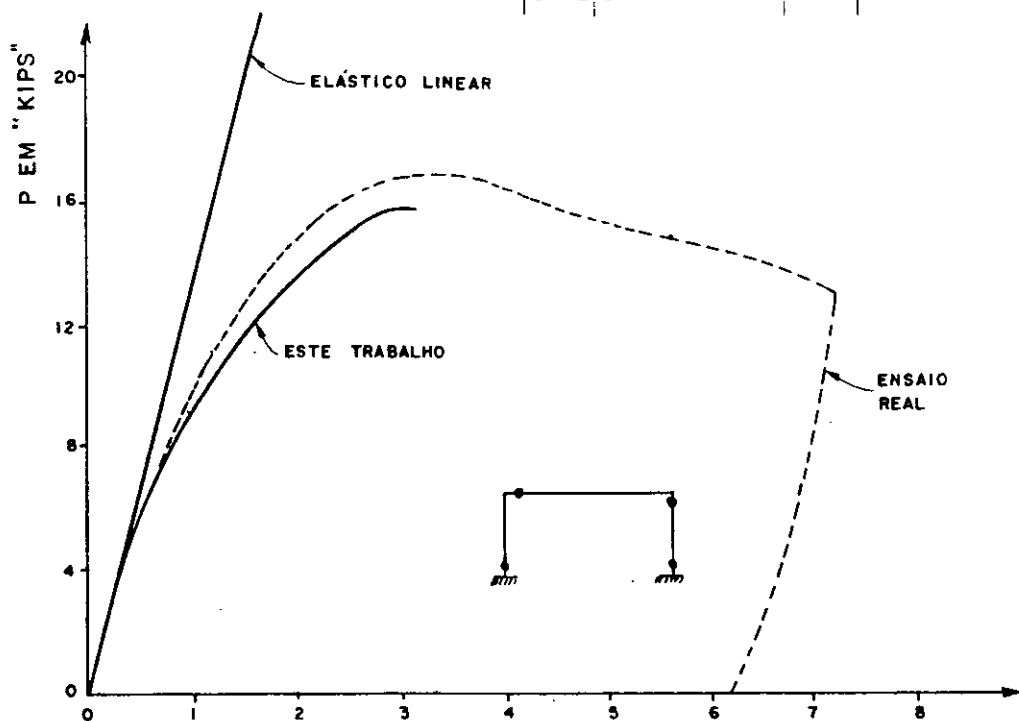
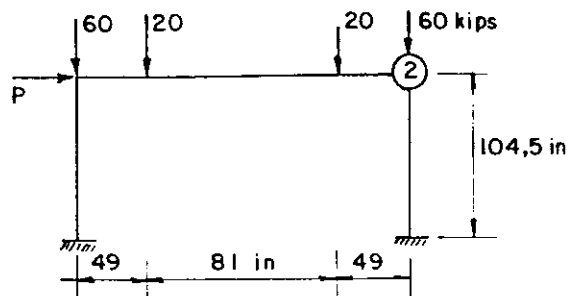
A estrutura atingiu a capacidade última de carga sem que a mesma se transformasse em mecanismo.

6.6.3 - Este pórtico foi ensaiado em laboratório (5,11). Os dados e resultados são apresentados abaixo.

PERFIS: viga - W10x25,4 com $\sigma_y = 38,6$ KSI

pilares - W5x18,5 com $\sigma_y = 56$ KSI

E = 29500 KSI



DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO NÓ ② EM "IN"

FIG.6.3 - EXEMPLO DE VERIFICAÇÃO NÚMERO 3.

6.6.4 - Este pórtico foi analisado, dentre outros, por Alvarez⁽²²⁾, sendo que os dados e resultados são apresentados na Fig. 6.4. $\sigma_y = 33\text{KSI}$; $E = 29000\text{ KSI}$.

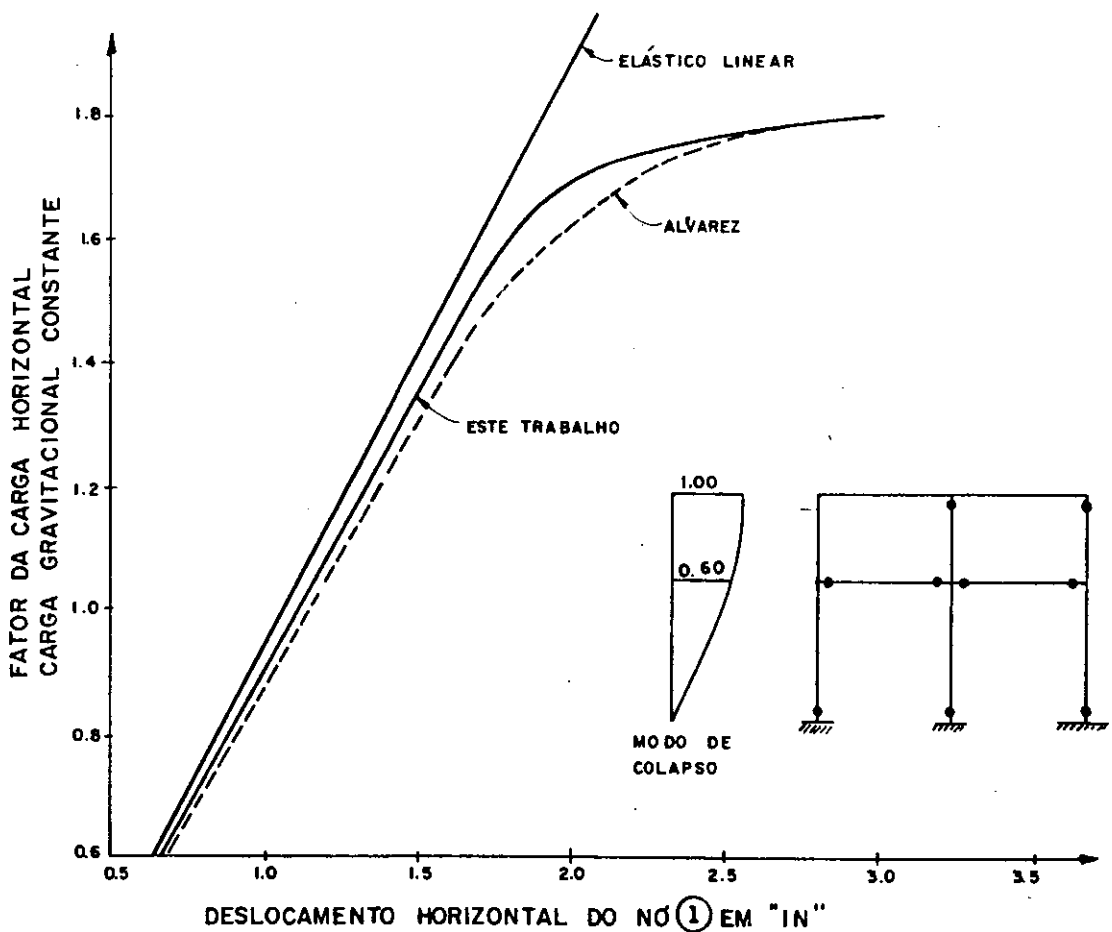
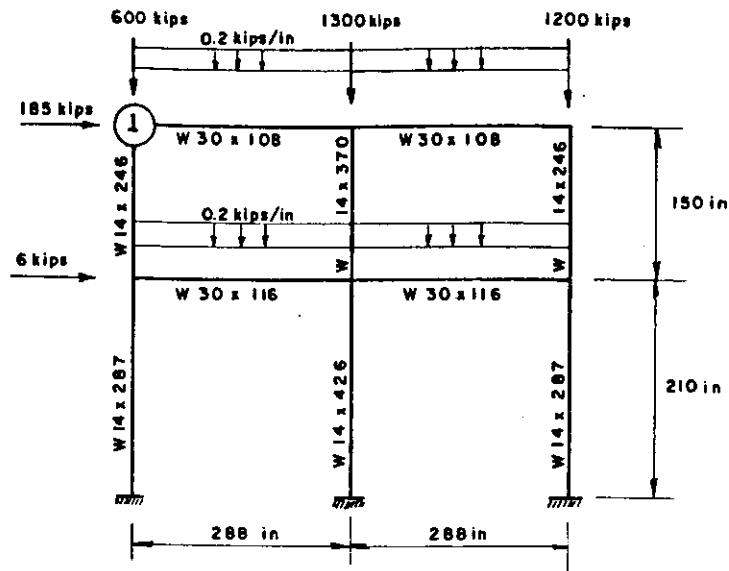


FIG.6.4 - EXEMPLO DE VERIFICAÇÃO NÚMERO 4.

Deve-se observar que Liapunov⁽⁵⁾ não considera a reversão de rótulas plásticas e, por outro lado, neste trabalho não se considera a possibilidade de ocorrer "mecanismo de viga". No exemplo acima houve a reversão de uma rótula, não tendo ocorrido mecanismo de viga na análise feita por Liapunov⁽⁵⁾ (mesmo porque o carregamento gravitacional é constante).

6.6.6 - Este pórtico foi analisado, também, por Liapunov⁽⁵⁾, sendo que os dados e resultados são apresentados na Fig. 6.6. PERFIS: Vigas - W10x49; pilares-W8x31.
 $\sigma_y = 33 \text{ KSI}$ e $E = 29000 \text{ KSI}$

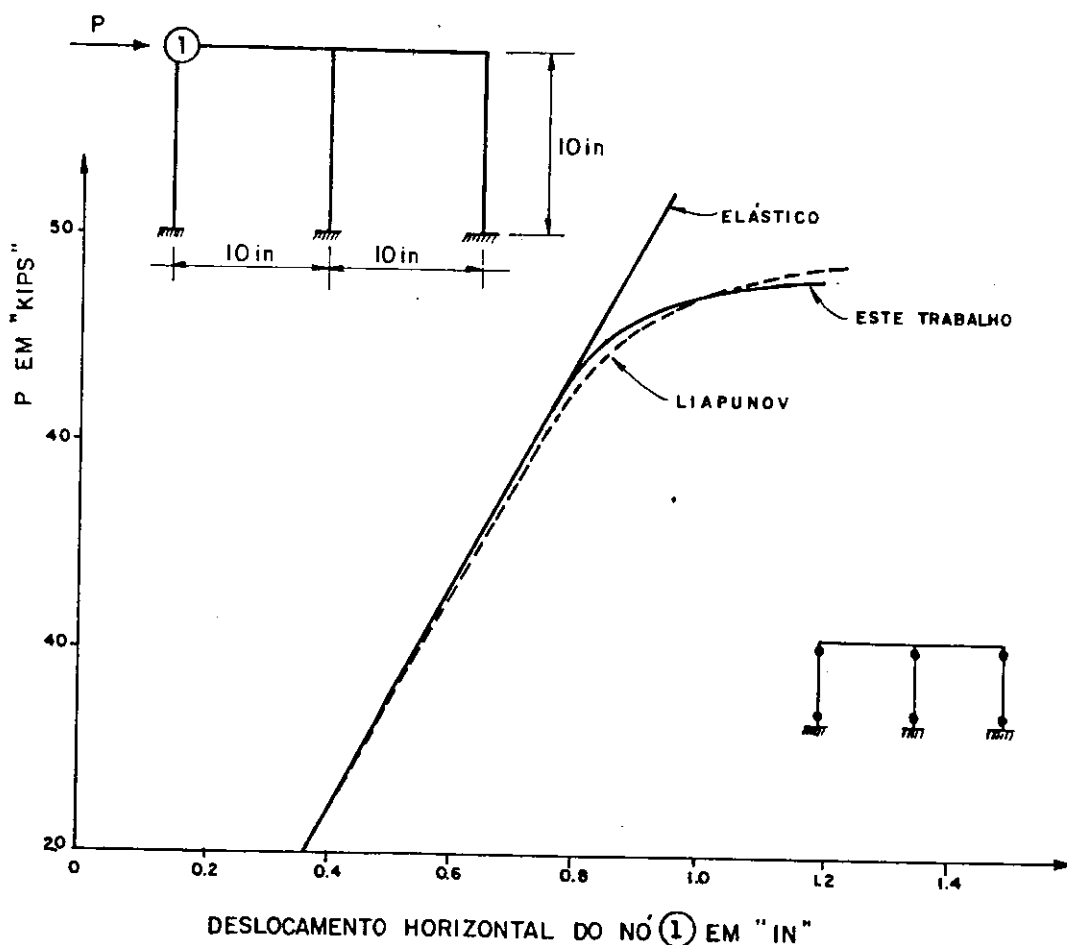


FIG. 6.6 - EXEMPLO DE VERIFICAÇÃO NÚMERO 6.

6.6.7 - Este pórtico foi analisado, dentre outros, por Tranberg⁽¹⁾, cujos resultados se apresentam na Fig. 6.7. Perfis I, sendo o mesmo para todas as barras. $\alpha = 1$; $\sigma_y = 36\text{KSI}$; $M_p = 464\text{Kips.in}$; $A = 3,2\text{in}^2$; $J = 51,2\text{in}^4$; $E = 30000\text{ KSI}$.

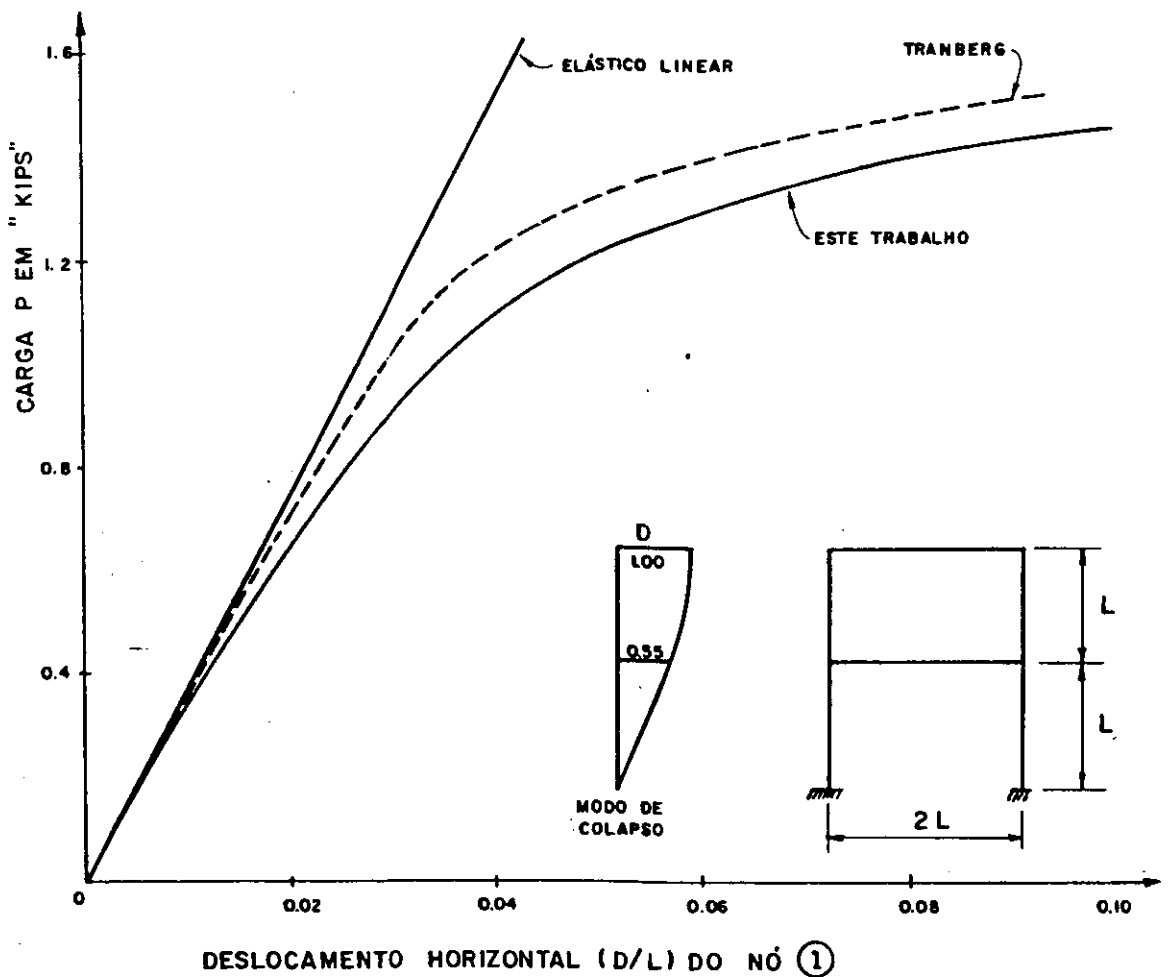
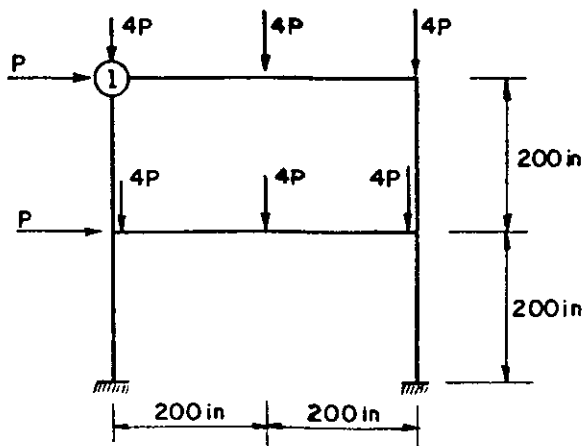


FIG. 6.7 - EXEMPLO DE VERIFICAÇÃO NÚMERO 7.

Observa-se que Tranberg⁽¹⁾, tem considerado o en
cruamento do material.

6.7 - Exemplos

Propõem-se a análise dos pórticos apresentados na
seção 4.8 do capítulo 4, com as mesmas características e
lásticas, plásticas e geométricas, e o mesmo carregamento.

Os resultados da análise dos pórticos número 1 e
número 2 são apresentados a seguir nas Figs, 6.8 e 6.9, res
pectivamente.

A capacidade última de carga foi atingida tendo
se desenvolvido mecanismos laterais em ambos os pórticos,
tanto em primeira como em segunda ordem (PRGMI e PRGMII).

Fazendo-se comparações entre os resultados obti
dos pelo PRGMI (seção 4.9) e pelo PRGMII, tem-se os seguin
tes valores últimos e máximos:

a) Pórtico número 1	PRGMI	PRGMII
fator de carga	3,62	3,27
deslocamento horizontal	37,07	20,52 cm
b) Pórtico número 2		
Fator de carga	5,24	4,94
deslocamento horizontal	10,48	10,15 cm

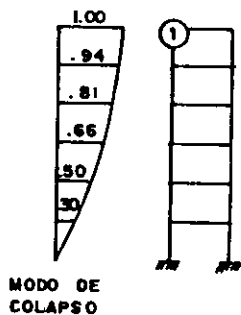
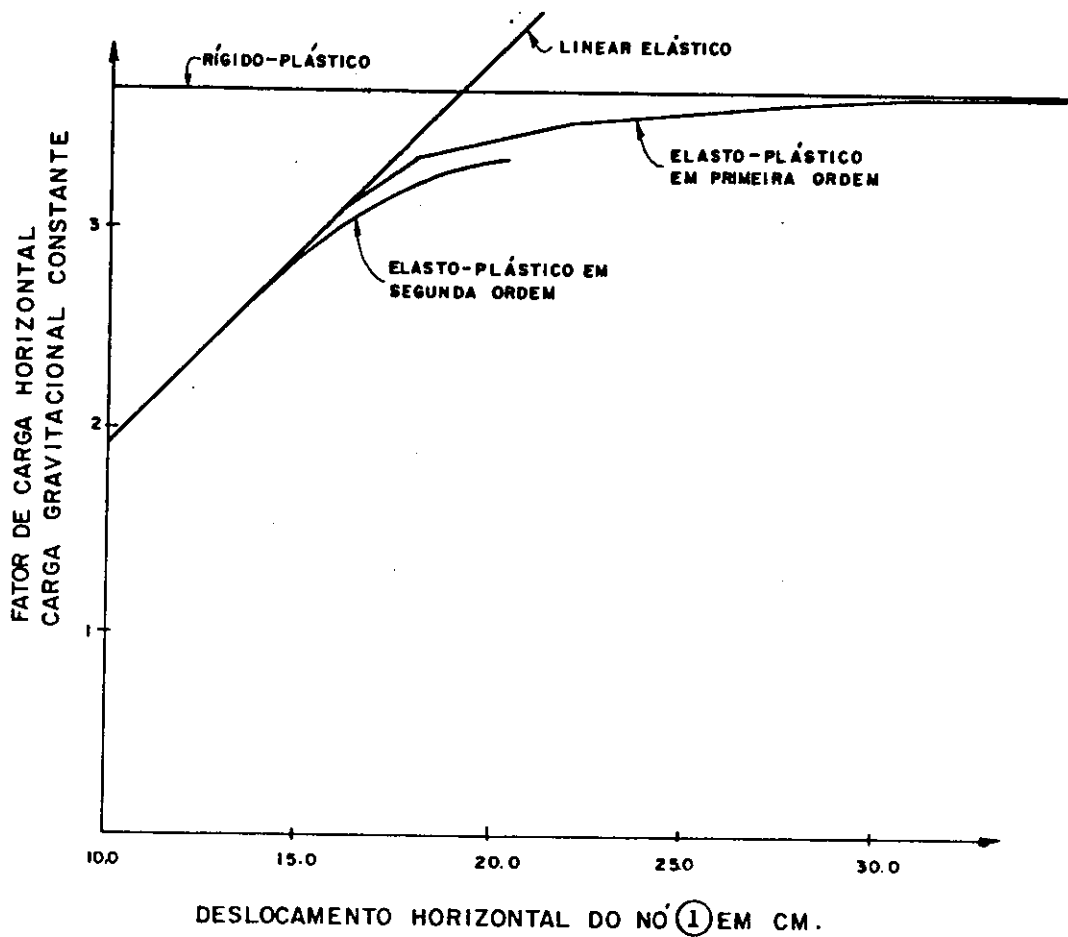


FIG. 6.8 - PÓRTICO NÚMERO 1.

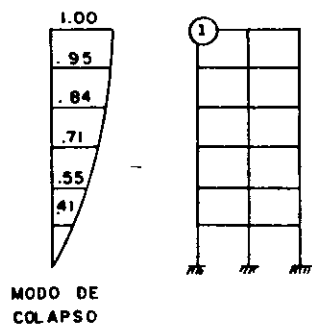
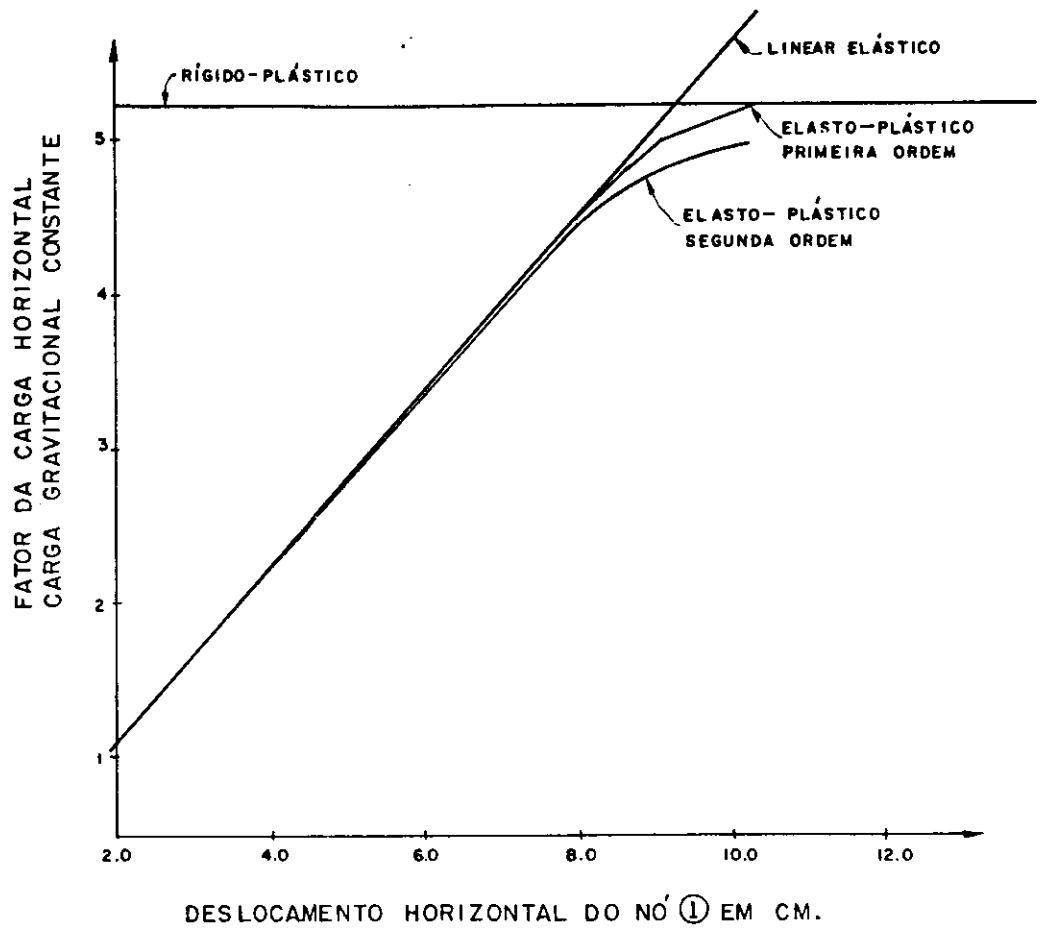


FIG. 6.9 - PÓRICO NÚMERO 2.

7. CONCLUSÕES

Com esse trabalho tem-se viabilizado a análise de pórticos planos retangulares, considerando-se a não linearidade física (PRGMI) e a não linearidade física e geométrica (PRGMII).

Dadas as restrições da formulação do procedimento numérico deste trabalho, os resultados obtidos mostraram-se coerentes e satisfatórios.

Na maioria dos pórticos analisados, considerando-se a não linearidade física e geométrica (PRGMII), tem o corrido a instabilidade dos mesmos com a estrutura tendo atingido o colapso como um todo, dentre as possibilidades apresentadas na seção 6.4.

Tem-se apresentado o modo de colapso dos pórticos analisados, que ilustram como a estrutura atinge a capacidade última de carga, e a partir daí, esta assume grandes e indefinidos deslocamentos.

A partir das análises desenvolvidas através deste trabalho, outros estudos podem ser realizados, como por exemplo a influência do efeito P-Delta, dos outros efeitos de segunda ordem, da consideração ou não da redução do momento de plastificação, dos critérios de dimensionamento e carregamento, e outros.

APÊNDICE I - PROGRAMA PRGMI

O programa PRGMI foi escrito em linguagem FOR TRAN, conforme a seção "e" seguinte.

A seguir apresentar-se-ão, pela ordem, a descrição do programa, a entrada de dados, a notação de variáveis utilizadas no programa, a interpretação dos resultados e a linguagem do programa.

a) DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

a.1) Sub-rotinas utilizadas:

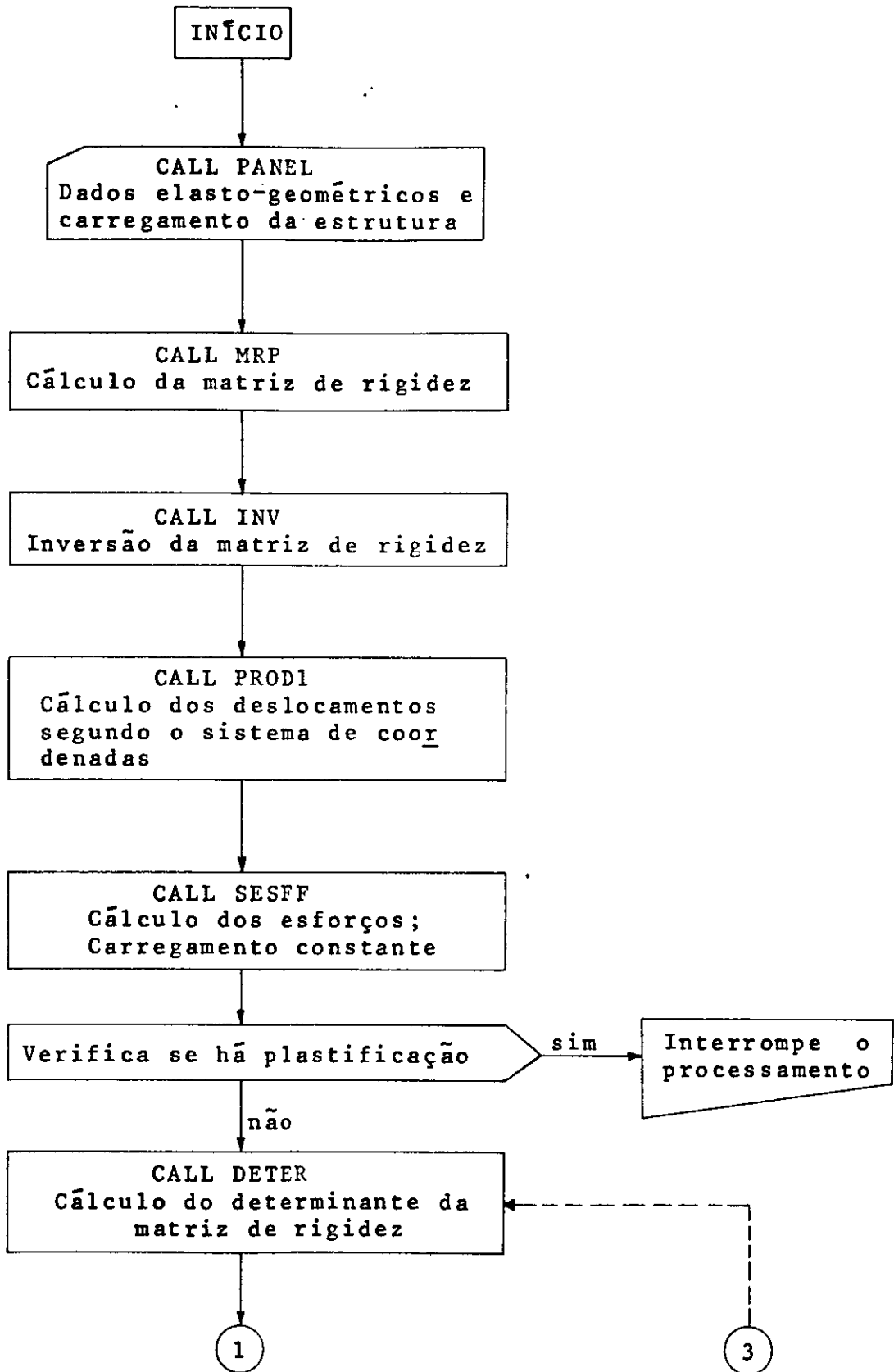
As sub-rotinas que se utiliza o PRGMI têm o seguinte funcionamento:

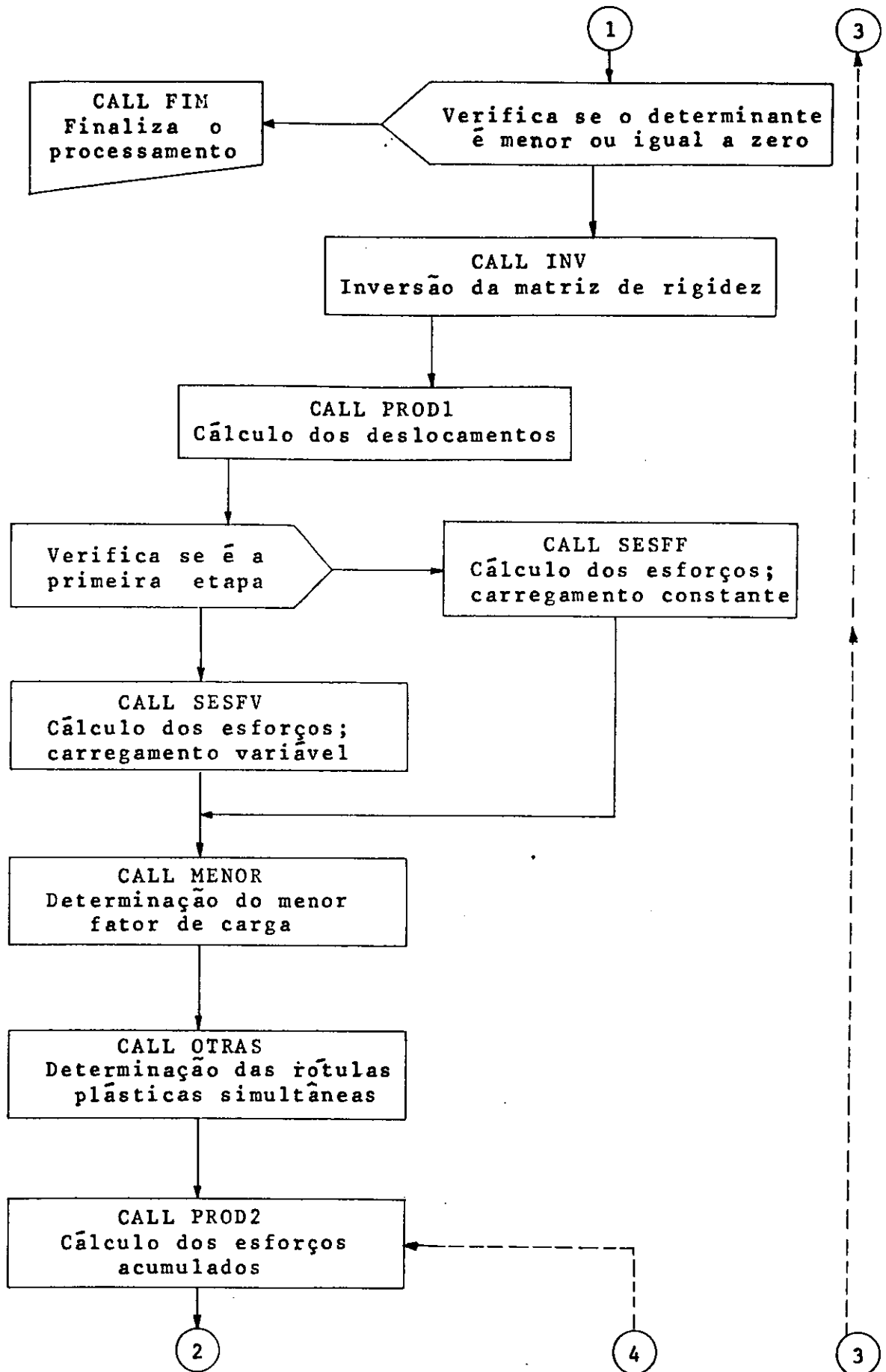
- PANEL - leitura e impressão dos dados elasto-geométricos e carregamento da estrutura;
- MRP - faz a montagem da matriz de rigidez da estrutura a partir das matrizes de rigidez das barras;
- RIGVI - montam as matrizes de rigidez das vigas com e sem rótulas plásticas ($i=1, \dots, 4$);
- RIGPI - idem para os pilares;
- INV - inverte a matriz quadrada pelo método de Gauss-Jordan;
- PROD1 - calcula os deslocamentos segundo o sistema de coordenadas do sistema estrutural;
- SESFF - calcula os esforços nas extremidades das barras e as reações de apoio da estrutura, devido ao carregamento constante PF(NTC);
- DETER - calcula o determinante da matriz de rigidez da estrutura;
- SESFV - calcula os esforços nas extremidades das barras e

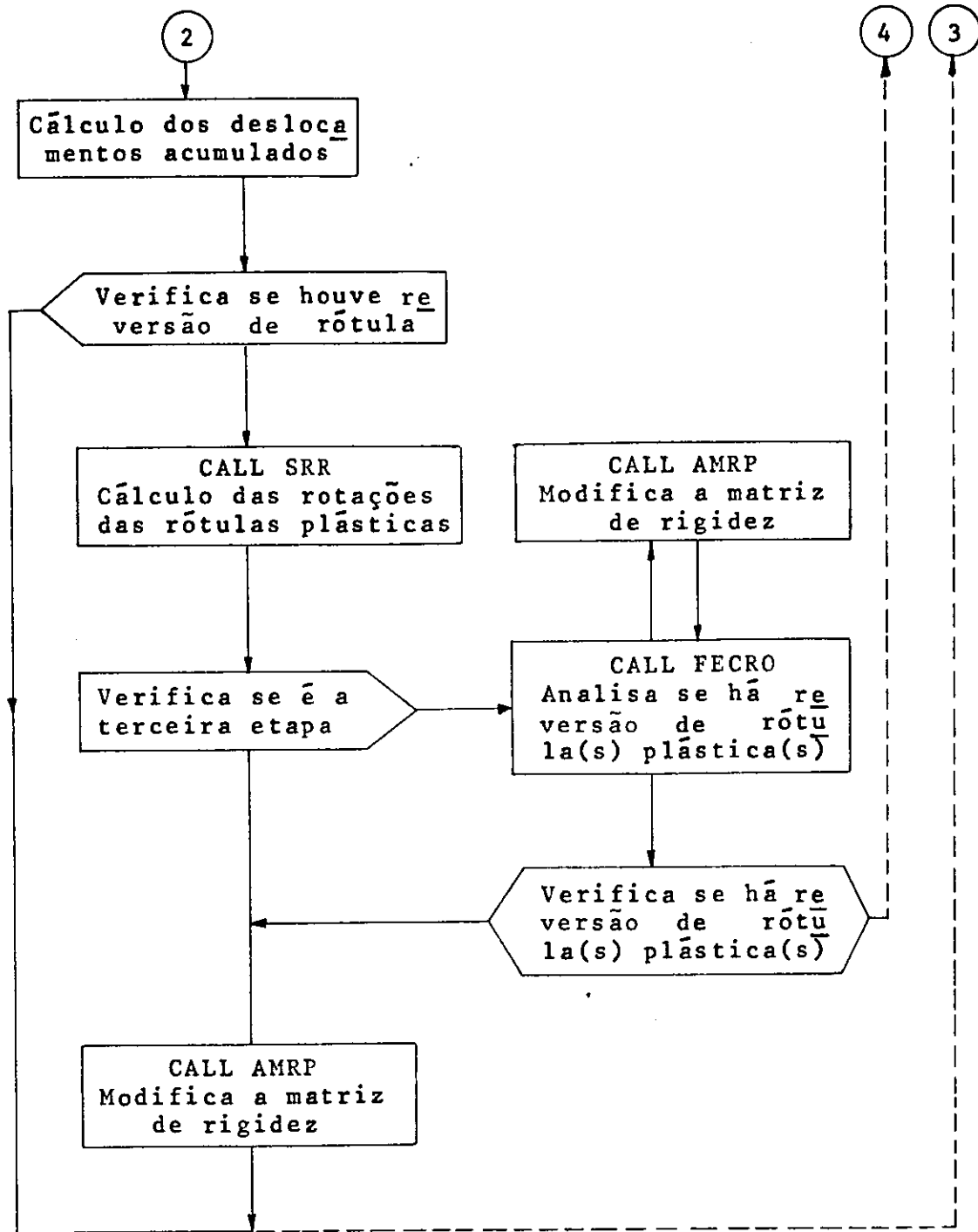
as reações de apoio da estrutura, devido ao carregamento variável PV(NTC);

- MENOR - calcula os fatores de cargas DW(2,NC,5) e determina, dentre eles, o menor fator de carga (DWI), referente à formação da primeira rótula plástica (veja seção 4.4) da etapa "i";
- OTRAS - determina as outras rótulas plásticas (pontos simultâneos de plastificação na estrutura) da etapa "i";
- PROD2 - calcula os esforços acumulados em cada etapa ao longo das análises, segundo às coordenadas das vigas e pilares;
- SRR - calcula as rotações das rótulas plásticas;
- AMRP - modifica a matriz de rigidez do sistema estrutural face à formação de rótula(s) plástica(s);
- FECRO - determina se há reversão de rótula(s) plástica(s);
- FIM - imprime o fator de carga DWT (carga última da estrutura) e finaliza o processamento;
- LISTE - executa a impressão de matrizes, vetores, parâmetros e mensagens ao longo do processamento do programa.

a.2) Fluxograma simplificado







b) ENTRADA DE DADOS

(*) - numeração da ordem da sequência de variáveis (dados) especificadas na seção "c".

(*)	VARIÁVEIS	NÚMERO DE VARIÁVEIS	FORMATO
1	NPP,NR	2	I2,I3
2	EMOD,BR,NA	3	F6.0,F2.0,I2
3	T(I),I=1,NB	NB	20F4.0
4	H(I),I=1,NA	NA	20F4.0
5	AXP(I,K);K=1,NA;I=1,NPP	NA*NPP	13F6.0
6	AZP(I,K);K=1,NA;I=1,NPP	NA*NPP	13F6.0
7	AZV(I,K);K=1,NA;I=1,NB	NA*NB	13F6.0
8	AMP(1,I);I=1,NC	NC	11E7.3
9	AMP(2,I);I=1,NDV	NDV	11E7.3
10	NNC,NAC	2	2I2
11	NV,NH,A1,A2,A3,A4	6	2I2,4F5.2
12	NAND,A5,A6	5	I2,2F5.2

As variáveis indexadas do quadro acima, que correspondem às características geométricas das barras, são lidas pela ordem, de acordo com a numeração das barras na estrutura conforme a fig. 4.1.

Pelo quadro acima, tem-se acesso à entrada de dados da estrutura a ser analisada.

c) NOTAÇÃO DE VARIÁVEIS UTILIZADAS NO PRGMI

NA - número de andares do pórtico.

- NB - número de vãos de vigas.
- NTC - número de coordenadas do sistema estrutural.
- NNOS - número de nós do pórtico.
- NC - número de pilares.
- NDV - número de vigas.
- N - contador de número de "etapas".
- NPP - número de prumadas de pilares.
- NF - número da rótula plástica que se fechou.
- NR - número de rótulas plásticas.
- NTR - contador auxiliar do número de rótulas plásticas.
- IVOUP(NR) - variável que indica se a rótula plástica é numa viga ou num pilar.
IVOUP(NR) = 1 → rótula num pilar
IVOUP(NR) = 2 → rótula numa viga.
- NIBAB(NR) - variável que indica o número da viga na qual tem se formado a rótula de número NR.
- NIBAC(NR) - idem acima, para pilar.
- ICORD(NR) - número da coordenada da barra, na qual se forma a rótula de número NR.
- MF(NR) - variável para indicar a etapa onde determinada rótula se fechou.
- PF(NTC) - componente de carga do carregamento constante (secção 3.3), segundo o sistema de coordenadas da fig. 3.6.
- PV(NTC) - idem, para o carregamento variável.
- DF(NTC) - componente de deslocamento devido a PF(NTC), segundo o sistema de coordenadas da fig. 3.6.
- DV(NTC) - idem para PV(NTC).

- ESFF(2,NC,6) - esforços devidos a PF(NTC), segundo as coor
denadas das barras - figs. 3.4 e 3.5.
- ESFV(2,NC,6) - idem para PV(NTC).
- NAND - número de ordem do andar com carga horizon
tal, contado de cima para baixo.
- DW(2,NC,5) - fatores de carga.
- DWI - menor fator de carga da "etapa" "i".
- K1,K2,K3(NR) - indicadores de rótulas fechadas.
- AXP(NPP,N4) - área da seção transversal dos pilares.
- AZP(NPP,NA) - momento de inércia dos pilares.
- AZV(NE,NA) - momento de inércia das vigas.
- T(NB) - vão das vigas, da esquerda para a direita.
- H(NA) - altura dos pilares, de cima para baixo.
- AMP(2,NC) - momento de plastificação das barras.
- ITT(N) - contador de rótulas plásticas de cada etapa.
- RJ(NTC,NTC) - matriz de rigidez da estrutura.
- RR(N,NR) - rotação das rótulas plásticas.
- DB(4) - deslocamento segundo as coordenadas das vi
gas.
- DC(6) - deslocamento segundo as coordenadas dos pi
lares.
- RV(4,4) - matriz de rigidez das vigas.
- RP(6,6) - matriz de rigidez dos pilares.
- DWT - fator de carga referente à capacidade últi
ma de carga da estrutura.
- EMOD - módulo de elasticidade.
- BR - zero ou branco.
- NAND - número de andares solicitados horizontalmen
te.

- NNC - número de nós do pórtico solicitado por cargas de origem vertical.
- NAC - número de andares solicitados por cargas de origem horizontal.
- NV - número de ordem das prumadas, da esquerda para a direita, com relação ao nó considerado.
- NH - número de ordem dos andares, de cima para baixo, com relação ao nó considerado.
- A1 - parâmetro de carga vertical do carregamento constante.
- A2 - momento de engastamento do carregamento cons_tante.
- A3 - parâmetro de carga vertical do carregamento variável.
- A4 - momento de engastamento do carregamento variável.
- A5 - parâmetro de carga horizontal do carregamento constante.
- A6 - parâmetro de carga horizontal do carregamento variável.

d) INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

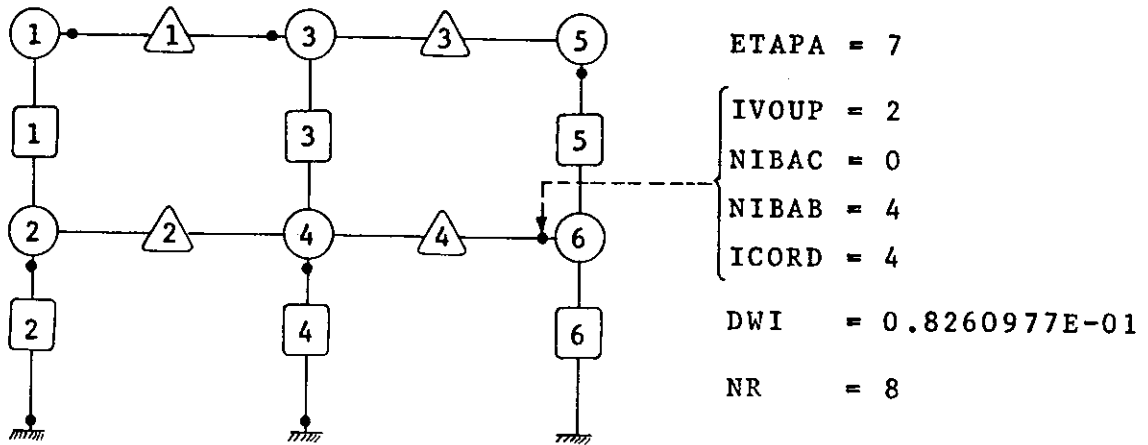
A seguir são apresentados as instruções necessárias à interpretação dos resultados fornecidos pelo PRGMI.

Ao ser iniciado o processamento, o PRGMI imprime os dados apresentados na seção "c". Na primeira fase (veja seção 4) do PRGMI são impressos as matrizes de rigidez das barras e da estrutura, assim como os deslocamentos devidos a PF(NTC) e PV(NTC) segundo o sistema de coordenadas da fig.3.6. Na segunda fase do PRGMI (fase incremental da análise, conforme seção 4) tem-se em cada etapa os parâme

tros associados à formação e reversão de rótula(s) plástica(s) e aos esforços ESFF(2,NC,6) e ESFV(2,NC,6) e deslocamentos DF(NTC) e DV(NTC).

Seja, por exemplo, o pórtico abaixo no qual esteja se formando a oitava rótula plástica na sétima etapa da análise:

o programa PRGMI imprime



(i) - nº do nó; [i] - nº do pilar; △i - nº da viga

FIG. I - EXEMPLO

e, os esforços ESFF(2,NC,6) e deslocamentos DF(NTC) acumulados da etapa atual. Com esses elementos (veja notação - seção "c") pode-se localizar a rótula no pórtico e expressar as relações necessárias ao que se objetiva analisar.

Caso haja a formação de mais que uma rótula plástica numa mesma etapa, o PRGMI imprime, por exemplo:

RÓTULA(S) SIMULTÂNEA(S), ETAPA = 5

IVOUP = 1, NIBAC = 2, ICORD = 5

IVOUP = 2, NIBAB = 1, ICORD = 4

No caso de ocorrer a reversão da rótula "NR"

na etapa "N", é impressa a mensagem:

REVERTEU-SE A RÓTULA "NR" NA ETAPA "N"

e, o PRGMI procede de acordo com o que se apresenta na se
ção 4.5.

e) LISTAGEM DO PROGRAMA PRGMI

PAGE 1 CESAROTI

// JCB T 0016 0036

CESAROTI

LCG DRIVE	CART SPEC	CART AVAIL	PHY DRIVE
CO00	CO16	CO16	CCCC
CC01	CO36	CO36	CCC1
		CO07	CCC2

V2 M10 ACTUAL 32K CONFIG 32K

// * C.F.D. - E.E.S.C. - U.S.P.

0043

```
// FCR
*LIST SOURCE PROGRAM
*CNE WORD INTEGERS
CALCLC CE ESFCRCS ACUMULACCS
  SUBROUTINE PRCE2(EF, EV, CWI, ICS, NDV, NC)
  DIMENSION EF(2,18,6), EV(2,18,6)
  DO 1 I=1,2
  IF(I-1)10,10,11
  10 DO 1 L=1,AC
  DO 1 M=1,6
  EF(I,L,M)=EF(I,L,M)+CWI*EV(I,L,M)*ICS
  1 CONTINUE
  11 DO 2 L=1,ACV
  DO 2 M=1,4
  EF(I,L,M)=EF(I,L,M)+CWI*EV(I,L,M)*ICS
  2 CONTINUE
  RETURN
  EAC
```

FEATURES SUPPORTED
CNE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR PRCE2
COMMON 0 VARIAELES 6 PROGRAM 146

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS OCCA (HEX)

END OF COMPILATION

// DLP

*STORE WS UA PRCE2
CART ID 0016 CE ACCR 555C CB CNT CCA

```
// FCR
*LIST SOURCE PROGRAM
*CNE WORD INTEGERS
CALCLC CE DESLOCAMENTOS
  SUBROUTINE PRCC1(R,C,P,K)
  DIMENSION R(42,42), C(42), P(42)
  DO 1 L=1,K
  C(L)=0.
  DO 1 M=1,K
  C(L)=C(L)+R(L,M)*P(M)
  1 CONTINUE
  RETURN
  EAC
```

FEATURES SUPPORTED
CNE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR PRCC1
COMMON 0 VARIAELES 6 PROGRAM 86

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0009 (HEX)

END OF COMPILATION

// DLP

*STORE WS UA PRCC1
CART IC 0016 CE ACCR 5567 CB CNT CCC7

```
// FCR
*LIST SOURCE PROGRAM
*CNE WORD INTEGERS
C IMPRESSAO DOS RESULTADOS
  SUBROUTINE LISTE(KAI, RJ, CF, ESFF)
  DIMENSION RJ(42,42), CF(42), ESFF(2,18,6)
  COMMON NA, BH, AB, NIC, NAGS, NC, NDV, N, NPP, NF, NR, NTR
  50 FORMAT(6X, 'PRCM-MATRIZ RJ, PASSO=', I3)
  51 FORMAT(1X, 10E12.4)
```

PAGE 2 CESAROTI

```

52 FCRMAT(6X,'FRGM- RJ INVERTIDA, PASSO=',13)
53 FCRMAT(6X,'FRGM- VETCR IV, PASSO=',13)
54 FCRMAT(6X,'FLASIFICACAO PRECISO-FIM DO PROCESSAMENTO(=)IMIN PF')
55 FCRMAT(6X,'O DETERMINANTE E MENOR OU IGLAL A ZERO, PASSO=',13)
56 FCRMAT(6X,'FRGM- VETCR IV, PASSO=',13)
57 FCRMAT(6X,'FRGM-ESFF-ESFORCOS ACUMULADOS, PASSO=',13)
58 FCRMAT(6X,'FRGM-DESLOCAMENTOS ACUMULADOS-DF, PASSO=',13)
M=5
GC TC (2,3,4,5,6,7,8,9),KA1
2 WRITE(M,50)N
20 WRITE(M,51)((FJ(I,J),J=1,NTC),I=1,NTC)
GC TC 1
3 WRITE(M,52)N
GC TC 20
4 WRITE(M,53)N
21 WRITE(M,51)(CF(I),I=1,NTC)
GC TC 1
5 WRITE(M,54)
GC TC 1
6 WRITE(M,55)N
GC TC 1
7 WRITE(M,56)N
GC TC 21
8 WRITE(M,57)N
DC 100 I=1,2
IF(I-1)22,22,23
22 WRITE(M,51)((ESFF(I,J,K),K=1,6),J=1,NC)
100 CONTINUE
23 WRITE(M,51)((ESFF(I,J,K),K=1,4),J=1,NDV)
GC TC 1
9 WRITE(M,58)N
WRITE(M,51)(CF(I),I=1,NTC)
1 RETURN
EAC

```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR LISTE
CCMCA 14 VARIÁVEIS 6 PROGRAM 446

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 00B4 (HEX)

END OF COMPILATION

// DLP

*STCR MS UA LISTE
CART ID 0016 CE AICH 556E CB CNT 0010

```

// FOR
*LIST SOURCE FRCGFA
*ONE WORD INTEGERS
CARACTERÍSTICAS ELAST, GEOMETRICAS E CARREG DO PAINEL
SUBROUTINE PANEL(T,AXF,AZP,AZV,PV,PF,H,AMP)
DIMENSION T(2),AXF(3,6),AZP(3,6),AZV(2,6),
*PV(42),PF(42),H(6),AMP(2,18)
COMMON NA,BF,NE,NTC,NAOS,NC,NEV,N,NPP,NF,NR,NTR
C LEIA-SE O VALOR MÁXIMO PRESUMIVEL PARA 'NP'
READ(2,8)NE,NR
8 FCRMAT(12,13)
READ(2,1)ENCL,BF,NA
1 FCRMAT(F6.0,F2.0,12)
NE=NE-1
READ(2,2)(T(I),I=1,NE)
2 FCRMAT(20F4.0)
READ(2,2)(H(I),I=1,NA)
READ(2,3)((AXF(I,K),K=1,NA),I=1,NPP)
3 FCRMAT(13F6.0)
READ(2,3)((AZF(I,K),K=1,NA),I=1,NPP)
READ(2,3)((AZV(K,I),I=1,NA),K=1,NE)
NC=NA*NE
NEV=NA*NE
C LEITURA DOS VALORES DE 'MP'
READ(2,4)(MP(I),I=1,NC)
4 FCRMAT(11E7.3)
READ(2,4)(MP(2,I),I=1,NEV)
WRITE(1,1)ENCL,AXF,AZP,AZV,T,H,AMP
NAOS=NA*NE
NTC=2*NAOS+NA
C ZERAR OS VETORES DE CARGA
DC 103 J=1,NTC
FV(J)=BF

```



PAGE 3 CESARCTI

```

FF(J)=PF
103 CCNTINUE
CARREGAMEN(C VERTICAL A1,2=VERT., A2,4=MOM.
  READ(2,5)NAC,NAC
  5 FCFMAT(12,12)
  IF(NAC)20,20,21
  21 CC 104 J=1,NAC
  READ(2,6)NV,NF,11,A2,A3,A4
  6 FCFMAT(12,12,4F5,2)
  N1=(NV-1)*NA+NF
  J2=2*N1
  J1=J2-1
  FF(J1)=A1
  FF(J2)=A2
  FV(J1)=A3
  FV(J2)=A4
C C CARREG E A ACAL CCS ESPORCCS SOERE OS NOS
C CS SINAIS DEVEP SEF CCEFENTES C/ AS COORD GLOBAIS
104 CCNTIALE
CARREGAMET HCRIZCENTAL
  20 IF(NAC)22,22,23
  23 CC 105 I=1,NAC
  READ(2,7)NAC,A5,A6
  7 FCFMAT(12,2F5,2)
  J3=2*NACS+NANE
  FF(J3)=A5
  FV(J3)=A6
105 CCNTINUE
C GRAVA FF E FV ACS ARQUIVCS
  22 WRITE(10,1)FF
  WRITE(11,1)FV
C LISTAGENS
  WRITE(5,10)ENCC
  10 FCFMAT(1,6X,'EMCC=',E14.7)
  WRITE(5,11)((AXF(1,J),J=1,NA),I=1,NPP)
  11 FCFMAT(6X,'AXF=',9E12.4)
  WRITE(5,12)((AZF(1,J),J=1,NA),I=1,NPP)
  12 FCFMAT(6X,'AZF=',9E12.4)
  WRITE(5,13)((AZV(J,1),I=1,NA),J=1,NB)
  13 FCFMAT(6X,'AZV=',9E12.4)
  WRITE(5,14)(T(1),I=1,NB)
  14 FCFMAT(6X,'T=',9E12.4)
  WRITE(5,15)(F(1),I=1,NA)
  15 FCFMAT(6X,'F=',9E12.4)
  WRITE(5,16)((AMP(1,J),J=1,NC),I=1,2)
  16 FCFMAT(6X,'AMP=',9E12.4)
  WRITE(5,17)(FV(1),I=1,NTC)
  17 FCFMAT(6X,'FV=',9E12.4)
  WRITE(5,18)(FF(1),I=1,NTC)
  18 FCFMAT(6X,'FF=',9E12.4)
  RETURN
  END

```

FEATURES SUPPORTED
CNE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR PANEL
COMMON 14 VARIABLES 28 PROGRAM 642

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS OCTB (HEX)

END OF COMPILATION

// DLF

*STORE WS UA PANEL
CART ID 0016 CE ACCR 558E CB CNT CC37

```

// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*CNE WORD INTEGERS
C PRIMEIRA MONTAGEM DA MATRIZ RJ
  SUBROUTINE PRF(T,F,AXP,AZP,AMP,AZV,RJ)
  DIMENSION T(2),F(6),AXP(3,6),AZP(3,6),
  *AMP(2,18),FV(4,4),RF(6,6),AZV(2,6),
  *RJ(42,42)
  COMMON NA,PF,NE,NTC,NACS,NC,NEV,N,NPP,NF,NR,NTR
  READ(1,1)EMCC,AXP,AZP,AZV,T,F,AMP
C ZERAR A MATRIZ RJ
  CC 100 J=1,NTC
  CC 100 J=1,NTC
  RJ(1,J)=EF
  100 CCNTINUE

```


PAGE 4 CESARCTI

CCNTRIPUBLICAC CAS VICAS

```

CC 101 J=1,NA
ALX1=F(J)
CC 101 K=1,NA
ALX2=FZV(J,K)
N1=N+(J-1)*NA
NFV=N1+NA
J2=2*N1
J1=J2-1
K2=2*NFV
K1=K2-1
WRITE(5,1)N1,NFV
1 FCRNAT(6X,'MVF', ' N1=', I2, ' NFV=', I2)
CALL FIGV1(EMCC,AUX1,AUX2,RV)
RJ(J1,J1)=RJ(J1,J1)+RV(1,1)
RJ(J1,J2)=RJ(J1,J2)+RV(1,2)
RJ(J1,K1)=RJ(J1,K1)+RV(1,3)
RJ(J1,K2)=RJ(J1,K2)+RV(1,4)
RJ(J2,J1)=RJ(J1,J2)
RJ(J2,J2)=RJ(J2,J2)+RV(2,2)
RJ(J2,K1)=RJ(J2,K1)+RV(2,3)
RJ(J2,K2)=RJ(J2,K2)+RV(2,4)
RJ(K1,J1)=RJ(J1,K1)
RJ(K1,J2)=RJ(J2,K1)
RJ(K1,K1)=RJ(K1,K1)+RV(3,2)
RJ(K1,K2)=RJ(K1,K2)+RV(3,4)
RJ(K2,J1)=RJ(J1,K2)
RJ(K2,J2)=RJ(J2,K2)
RJ(K2,K1)=RJ(K1,K2)
RJ(K2,K2)=RJ(K2,K2)+RV(4,4)

```

101 CCNTINUF
CCNTRIPUBLICAC CCS FILARES

```

CC 102 K=1,NA
ALX1=F(K)
J3=2*ANCS+K
K3=J3+1
CC 102 J=1,NPF
ALX2=AFX(J,K)
ALX3=AZF(J,K)
N1=K+(J-1)*NA
NPF=N1+1
J2=2*N1
J1=J2-1
K2=2*NPF
K1=K2-1
WRITE(5,2)N1,NPF
2 FCRNAT(6X,'MVF', ' N1=', I2, 'NPF=', I2)
CALL FIGP1(EMCC,AUX1,AUX2,AUX3,RP)
RJ(J1,J1)=RJ(J1,J1)+RP(1,1)
RJ(J2,J1)=RJ(J2,J1)+RP(2,1)
RJ(J3,J1)=RJ(J3,J1)+RP(3,1)
RJ(J1,J2)=RJ(J2,J1)
RJ(J2,J2)=RJ(J2,J2)+RP(2,2)
RJ(J3,J2)=RJ(J3,J2)+RP(3,2)
RJ(J1,J3)=RJ(J3,J1)
RJ(J2,J3)=RJ(J3,J2)
RJ(J3,J3)=RJ(J3,J3)+RP(3,3)

```

C VERIFICA SE E C ULTIMO ANCAR

```

20 IF(K-NA)20,102,102
RJ(K1,J1)=RJ(K1,J1)+RP(4,1)
RJ(K2,J1)=RJ(K2,J1)+RP(5,1)
RJ(K3,J1)=RJ(K3,J1)+RP(6,1)
RJ(K1,J2)=RJ(K1,J2)+RP(4,2)
RJ(K2,J2)=RJ(K2,J2)+RP(5,2)
RJ(K3,J2)=RJ(K3,J2)+RP(6,2)
RJ(K1,J3)=RJ(K1,J3)+RP(4,3)
RJ(K2,J3)=RJ(K2,J3)+RP(5,3)
RJ(K3,J3)=RJ(K3,J3)+RP(6,3)
RJ(J1,K1)=RJ(K1,J1)
RJ(J2,K1)=RJ(K1,J2)
RJ(J3,K1)=RJ(K1,J3)
RJ(K1,K1)=RJ(K1,K1)+RP(4,4)
RJ(K2,K1)=RJ(K2,K1)+RP(5,4)
RJ(K3,K1)=RJ(K3,K1)+RP(6,4)
RJ(J1,K2)=RJ(K2,J1)
RJ(J2,K2)=RJ(K2,J2)
RJ(J3,K2)=RJ(K2,J3)
RJ(K1,K2)=RJ(K2,K1)
RJ(K2,K2)=RJ(K2,K2)+RP(5,5)
RJ(K3,K2)=RJ(K3,K2)+RP(6,5)
RJ(J1,K3)=RJ(K3,J1)
RJ(J2,K3)=RJ(K3,J2)
RJ(J3,K3)=RJ(K3,J3)

```

PAGE 5 CESARCTI

```

RJ(K1,K2)=RJ(K3,K1)
RJ(K2,K3)=RJ(K3,K2)
RJ(K3,K3)=RJ(K3,K3)+RP(E,E)
102 CONTINUE
WRITE(9,1)RJ
WRITE(5,3)
3 FCMPAT(6X,'MATRIZ RJ - MRP')
WRITE(5,4)((RJ(I,J),J=1,NTC),I=1,NTC)
4 FCMPAT(10E12.4)
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED
CNE WORD INTEGERS

CCRE REQUIREMENTS FOR MRF
CCMPCK 14 VARIABLES 14C PROGRAM 139C

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0CB5 (HEX)

END OF COMPILATION

// DUF

*STORE WS UA MRF
CARD ID 0016 DE ADDR 55C2 EB CNT CC5D

```

// FCP
*LIST SOURCE PROGRAM
*CNE WORD INTEGERS
SUBCLTINE RIGV4(RV)
DIMENSION RV(4,4)
DC 10 I=1,4
DC 10 J=1,4
RV(I,J)=0.
10 CONTINUE
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED
CNE WORD INTEGERS

CCRE REQUIREMENTS FOR RIGV4
CCMPCK C VARIABLES 4 PROGRAM 4E

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0C08 (HEX)

END OF COMPILATION

// DUF

*STORE WS UA RIGV4
CARD ID 0016 DE ADDR 561F EB CNT CCC4

```

// FCP
*LIST SOURCE PROGRAM
*CNE WORD INTEGERS
C INVERSAC DE MATRIZ
SUBCLTINE INV(RJ,N3)
DIMENSION RJ(42,42)
IF(N3-1)8,9,8
9 RJ(1,1)=1./RJ(1,1)
GC TC 10
8 DC 11 I=1,N3
ALX=RJ(I,1)
C MATRIZ IDENTICACE
RJ(I,1)=1.
DC 12 J=1,N3
12 RJ(I,J)=RJ(I,J)/AUX
DC 13 K=1,N3
IF(I-K)14,13,14
14 ALX=RJ(K,I)
RJ(K,I)=0.
CC 15 M=1,N3
RJ(K,M)=RJ(K,M)-AUX*RJ(I,M)
15 CONTINUE
13 CONTINUE
11 CONTINUE
10 RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED
CNE WORD INTEGERS

PAGE 6 CESARCTJ

CCRE REQUIREMENTS FOR INV
CCPPCR C VARIABLES E PROGRAM 174

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS CCCC (HEX)

END OF COMPILATION

// DLP

*STORE WS UA INV
CART ID 0016 DE ADDR 5550 DB CNT CCCC

```

// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*END *CRC INTEGERS
CALCULA CS ESFCRCCS DEVIDE AD CARREGAM/ VARIABLEL
SUBROUTINE SESFV(DV,ESFV,NIEAC,NIEAC,ICURD,MF,AXP,AZP,AZV,T,H,AMP)
DIMENSION DV(42),ESFV(2,16,6),NIPAC(42),NIBAB(42),
*ICCRE(42),MF(42),FF(6,6),RV(4,4),LC(6),LB(4),
*AXF(3,6),AZF(3,6),AZV(2,6),T(2),F(6),AMP(2,18)
COMMON NA,ER,NE,NTC,NACS,NC,NEV,N,NPP,NF,NR,NTR
READ(1*)ENCL,AXF,AZF,AZV,T,F,AMP
DC 100 I=1,2
IF(I-1)20,20,21
20 DC 100 J=1,NFF
DC 100 K=1,NA
N1=K+(J-1)*NA
NFF=N1+1
J2=2*N1
J1=J2-1
J3=2*NACS+K
K1=J2+1
K2=K1+1
K3=J3+1
DC(1)=DV(J1)
DC(2)=DV(J2)
DC(3)=DV(J3)
C VERIFICA SE E C ULTIMO ANCAR
IF(K-NA)22,23,23
23 DC(4)=BF
DC(5)=BF
DC(6)=BF
GC TC 24
22 DC(4)=DV(K1)
DC(5)=DV(K2)
DC(6)=DV(K3)
24 WRITE(5,1)N1,(DC(L),L=1,6)
1 FORMAT('SESFV--DC-FILAR=',I2,/,6E12.4)
AXF=AXF(J,K)
AAZF=AZF(J,K)
AZV=AZV(J,K)
IFC2R=BF
C VERIF SE C FILAR TEM PCT(S) PALT(S)
DC 101 I=1,NR
IF(NIEAC(I)-N1)101,25,101
25 IF(MF(I))101,26,101
26 IFC2R=IFC2R+1
IC=ICCRE(I)
101 CONTINUE
C DECIDE CUAL A CONDICAC DE RIGIDEZ DO PILAR
IF(IFC2R-1)27,28,29
27 CALL FIGF1(EMCC,AUXF,AXP,AAZP,RP)
GC TC 30
28 IF(IC-2)31,32,31
31 CALL FIGF3(EMCC,AUXF,AXP,AAZP,RP)
GC TC 30
32 CALL FIGF2(EMCC,AUXF,AXP,AAZP,RP)
GC TC 30
29 CALL FIGF4(EMCC,AUXF,AXP,RP)
30 WRITE(5,3)N1
3 FORMAT('SESFV-RF-FILAR=',I2)
WRITE(5,70)((FF(L,M),M=1,6),L=1,6)
70 FORMAT(6X,6E14.5)
CALCULO CCS ESFCRCCS - FILAR
DC 102 J7=1,6
ESFV(1,N1,J7)=ER
DC 102 J6=1,6
ESFV(1,N1,J7)=ESFV(1,N1,J7)+RP(J7,J6)*DC(J6)
102 CONTINUE
WRITE(5,5)N1,(ESFV(1,N1,M),M=1,6)
5 FORMAT('SESFV-ESFV-FILAR=',I2,3X,6E14.5)

```

PAGE 7 CESAFCT1

```

100 CONTINUE
21 DO 103 J=1,NE
  DO 103 K=1,NF
  NI=N+(J-1)*NF
  AFV=NI+NF
  J2=2*NJ
  J1=J2-1
  K2=2*NF
  K1=K2-1
  CE(1)=CV(J1)
  CE(2)=CV(J2)
  CE(3)=CV(K1)
  CE(4)=CV(K2)
  WRITE(5,6)NI,(CE(M),M=1,4)
6  FORMAT('SESFV-CE-VIGA=',I2,/,4E12.4)
  AAZV=AZV(J,K)
  ALX1=1(J)
  IVC2R=EF
C VERIF SE A VIGA JA TEM RCT(S) PLAST(S)
  DO 104 L=1,NF
  IF(NLEAF(L)-NI)104,23,104
33 IF(NF(L))104,24,104
34 IVC2R=IVC2R+1
  IC=ICCF(L)
104 CONTINUE
C DECIDE CUAL A COEFICAC DE RIGIDEZ CA VIGA
  IF(IVC2R-1)25,36,27
35 CALL RIGV1(EMCC,AUXT,AAZV,RV)
  GO TO 38
36 IF(IC-2)39,40,39
39 CALL RIGV3(EMCC,AUXT,AAZV,RV)
  GO TO 38
40 CALL RIGV2(EMCC,AUXT,AAZV,RV)
  GO TO 38
37 CALL RIGV4(FV)
38 WRITE(5,7)NI
7  FORMAT('SESFV-RV-VIGA=',I2)
  WRITE(5,71)((RV(L,M),M=1,4),L=1,4)
71 FORMAT(6X,4E11.4)
CALCULC CCS ESFCRCCS - VIGA
  DO 105 J7=1,4
  ESFV(1,NI,J7)=BR
  DO 105 J8=1,4
  ESFV(1,NI,J7)=ESFV(1,NI,J7)+RV(J7,J8)*DB(J8)
105 CONTINUE
  WRITE(5,8)NI,(ESFV(1,NI,M),M=1,4)
8  FORMAT('SESFV-ESFV-VIGA=',I2,2X,4E14.5)
103 CONTINUE
  RETURN
  END

```

FEATURES SUPPORTED
CNE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR SESFV
COMMON 14 VARIABLES 166 PROGRAM 1054

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0100 (+EX)

END OF COMPILATION

// DWP

*STORE WS UP SESFV
CARD IC 0016 DE ADDR 5622 DB CNT CC44

// FOR

```

*LIST SOURCE PROGRAM
*CNE WORD INTEGERS
CALCULA E DETERMINANTE - MATRIZ CUADRADA
SUBROUTINE DETER(S,XM1,N)
DIMENSION S(42,42)
L=1
K=2
XM1=1.
70 XM=S(L,L)
  DO 95 J=L,N
  S(L,J)=S(L,J)/XM
95 CONTINUE
  DO 140 I=K,N
  X=S(I,L)
  DO 140 J=L,N
  S(I,J)=S(I,J)-S(I,L)*X

```

PAGE 8 CESARCTI

```

140 CONTINUE
    L=L+1
    K=K+1
    XP1=XP1*XP
    IF(L-N)70,190,190
150 XP1=XP1*S(L,K)
    WRITE(5,1)XP1
    1 F(1)AT15(/),GX,'VALOR DE DETERMINANTE=',E)4.7)
    RETURN
    END

```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS

CCPE REQUIREMENTS FOR CETER
COMMON 0 VARIABLES 10 PROGRAM 204

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS CC21 (-EX)

END OF COMPILATION

// DUF

*STORE WS UZ CETER
CART ID 0016 DE ACCN 5667 DB CNT CCGE

// FOR

```

*LIST SOURCE PROCP
*ONE WORD INTEGERS
C DETERMINA C MENOR INCREMENTO DE CARGA
SUBROUTINE MENCR(AMP,NIBAC,NIEAB,ICORD,IVOUP,ESFF,ESFV,DW,DWI)
DIMENSION AMP(2,18),ESFF(2,18,6),ESFV(2,18,6),
*DW(2,18,5),LW1(12),LW2(12,4),LW3(18),DW4(18,5),
*NIEAB(42),NIBAC(42),ICORD(42),IVOUP(42)
COMMON NA,BF,NE,NTC,NNOS,NC,NLV,N,NPP,NF,NR,NTR
NIBAB(NF)=EF
NIBAC(NF)=EF
DC 100 I=1,2
IF(I-1)10,10,11

```

CALCULA CS INCREMENTOS DE CARGA

```

10 DC 101 J=1,AC
   DC 101 K=2,5,3
   DIV=ESFV(I,J,K)
   IF(DIV)50,51,52
51 DW(I,J,K)=1.E25
   GC TC 101
50 DW(I,J,K)=(-AMP(I,J)-ESFF(I,J,K))/DIV
   GC TC 101
52 DW(I,J,K)=(AMP(I,J)-ESFF(I,J,K))/DIV
101 CONTINUE
   GC TC 14

```

11 DC 102 J=1,NEV

```

   DC 102 K=2,4,2
   DIV=ESFV(I,J,K)
   IF(DIV)53,54,55
54 DW(I,J,K)=1.E25
   GC TC 102
53 DW(I,J,K)=(-AMP(I,J)-ESFF(I,J,K))/DIV
   GC TC 102
55 DW(I,J,K)=(AMP(I,J)-ESFF(I,J,K))/DIV
102 CONTINUE
14 IF(I-1)17,17,18

```

CALCULA C MENOR INCREMENTO DE CARGA DOS PILARES

```

17 DC 103 J=1,AC
   K=2
   L=5
   IF(DW(I,J,K)-DW(I,J,L))19,20,20
19 DW3(J)=DW(I,J,K)
   IA=K
   GC TC 21
20 DW3(J)=DW(I,J,L)
   IA=L
21 IF(J-1)22,22,23

```

C SAI CC IF FELE CCANCC 22 SO A 1. VEZ

```

22 ICCRF=1/
   NEARF=J
   CW4(NEARF,ICCRF)=CW2(J)
   GC TC 103
23 IF(CW4(NEARF,ICCRF)-CW3(J))103,103,22
103 CONTINUE
100 CONTINUE

```

CALCULA C MENOR INCREMENTO DE CARGA DAS VIGAS

```

18 DC 104 J=1,NEV

```

PAGE 9 CESAFCTI

```

K=2
L=4
IF(CW(I,J,M)-CW(I,J,L))24,25,25
24 CW(I,J)=CW(I,J,K)
IA=F
GC TC 26
25 CW(I,J)=CW(I,J,L)
IA=L
26 IF(I-1)27,27,28
27 ICCRV=17
NEAFV=C
CY2(NEAFV,ICCRV)=CW(I,J)
GC TC 104
28 IF(CW2(NEAFV,ICCRV)-CW(I,J))104,104,27
104 CONTINUE
C DETERMINA SE C MENCH INCREMENTO E NLMA VIGA OL PILAR
IF(CW2(NEAFV,ICCRV)-CW4(NEARP,ICORP))29,29,30
30 CY1=CW4(NEARF,ICCRF)
IVCLF(INF)=1
NIBAC(INF)=NEARF
ICCRP(INF)=ICCRF
NIEAB(INF)=0
GC TC 31
29 CW1=CW2(NEAFV,ICCRV)
IVCLF(INF)=2
NIBAB(INF)=NEARV
ICCRV(INF)=ICCRV
NIBAC(INF)=0
31 WRITE(5,1)N
1 FORMAT(5(//),6X,'MENCH INCREMENTO DE CARGA , PASSO',2X,12)
WRITE(5,2)IVCUP(INF),NIBAC(INF),NIEAB(INF),ICORD(INF),Dh)
2 FORMAT(//,6X,'IVCUP=',12,' NIBAC=',12,' NIEAB=',12,
*' ICCRV=',12,' CW1=',E14.7)
WRITE(5,3)N
3 FORMAT(5(//),6X,'MENCH-INCREMENTOS DE CARGA, PASSO=',13)
DC 105 I=1,2
IF(I-1)41,41,40
40 WRITE(5,4)
4 FORMAT(//,6X,'VIGAS')
WRITE(5,5)((CW(I,J,K),K=2,4,2),J=1,NDV)
GC TC 105
41 WRITE(5,6)
6 FORMAT(//,6X,'FILARES')
WRITE(5,5)((CW(I,J,K),K=2,5,2),J=1,NC)
5 FORMAT(//,6X,2(E14.7,3X))
105 CONTINUE
RETURN
END

```

FEATLRES SUPPORTED
CNE WCPC INTEGERS

CCRE RECLIREMENTS FOR MENCH
CCMCA 14 VARIAELES 350 PROGRAM 100E

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS OICF (HEX)

END OF COMPIATION

// DUP

*STORE WS UA MENCH
CART ID 0016 DE ACCR 5675 CB CNT CC41

// FOR

```

*LIST SOURCE PROGRAM
*CNE WCPC INTEGERS
C CALCLA CS ESFCRCS CUANDO N=0
SUBCLTINE SESFF(CV,ESFF,AXP,AZP,AZV,H,T,AMP)
DIMENSION CV(42),EC(6),CE(4),ESFF(2,18,6),RP(6,6),RV(4,4),
*AXF(3,6),AZF(3,6),AZV(2,6),F(6),T(2),AMP(2,18)
CCMCA NA,ER,NE,NTC,ANCS,NC,NEV,N,NPP,NF,NR,NTR
READ(1)EMCC,AXP,AZP,AZV,T,F,AMP
DC 13 I=1,2
IF(I-1)11,11,12
11 DC 13 J=1,NFF
DC 13 K=1,NF
COMPATIBILIZA CCRE CC PAINEL COM CC PILAR
NI=K+(J-1)*NA
NFF=NI+1
J2=2*NI
J1=J2-1
J3=2*ANCS+K

```

PAGE 10 CESARCT1

```

K1=J2+1
K2=K1+1
K3=K3+1
CC(1)=CV(J1)
CC(2)=CV(J2)
CC(3)=CV(J3)
C VERIFICA SE E C ULTIMO ANCAR
15 IF (N-K2)14,15,15
CC(4)=EF
CC(5)=PF
CC(6)=PF
CC(7)=16
14 CC(4)=CV(K1)
CC(5)=CV(K2)
CC(6)=CV(K3)
16 WRITE(5,1)N1
1 FORMAT(5(/),6X,'VETOR DESLOCAMENTO DO PILAR(SESFF)',2X,12)
WRITE(5,2)((C(L),L=1,6)
2 FORMAT(6X,6E11.4)
AAXF=AXF(J,K)
AAZF=AZF(J,K)
ALXF=F(F)
CALL FIGF1(EMCC,AUXF,AAXP,AAZP,RP)
WRITE(5,3)N1
3 FORMAT(5(/),6X,'MATRIZ DE RIGICEZ DO PILAR(SESFF)',2X,12)
CC(17)L=1,6
17 WRITE(5,2)((FF(L,M),M=1,6)
CC(18)J7=1,6
ESFF(1,N1,J7)=PF
CC(18)J8=1,6
ESFF(1,N1,J7)=ESFF(1,N1,J7)+RP(J7,J8)*DC(J8)
18 CONTINUE
WRITE(5,5)N1
5 FORMAT(5(/),6X,'ESFORCOS NO PILAR(SESFF)',2X,12)
WRITE(5,2)(ESFF(1,N1,L),L=1,6)
13 CONTINUE
12 CC(19)J=1,NE
CC(19)K=1,NA
N1=K+(J-1)*NA
NFV=N1+NA
J2=2*N1
J1=J2-1
K2=2*NFV
K1=K2-1
DE(1)=CV(J1)
DE(2)=CV(J2)
DE(3)=CV(K1)
DE(4)=CV(K2)
WRITE(5,7)N1
7 FORMAT(5(/),6X,'VETOR DESLOCAMENTO DA VIGA(SESFF)',2X,12)
WRITE(5,2)((E(L),L=1,4)
AAZV=AZV(J,K)
ALXT=T(J)
CALL FIGV1(EMCC,AUXI,AAZV,RV)
WRITE(5,8)N1
8 FORMAT(5(/),6X,'MATRIZ DE RIGICEZ DA VIGA(SESFF)',2X,12)
CC(20)L=1,4
20 WRITE(5,2)((FV(L,M),M=1,4)
CC(21)J7=1,4
ESFF(1,N1,J7)=BF
CC(21)J8=1,4
ESFF(1,N1,J7)=ESFF(1,N1,J7)+RV(J7,J8)*DE(J8)
21 CONTINUE
WRITE(5,9)N1
9 FORMAT(5(/),6X,'ESFORCOS NA VIGA(SESFF)',2X,12)
WRITE(5,2)(ESFF(1,N1,L),L=1,4)
19 CONTINUE
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR SESFF
COMMON 14 VARIABLES 164 PROGRAM 54C

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 012E (HEX)

END OF COMPILATION

// DLF

*STORE WS UA SESFF

PAGE 11 CESARCTJ
CART ID 0016 CB ACCH 5626 CB CNT CC30

```

// FCR
*LIST SOURCE FRCGFA*
*ONE WORD INTEGERS
C SUBROUTINA PARA CALCULO DE ROTACIONES DE ROTULAS
SUBROUTINE SRR(IVCUF,NIPAB,NIPAC,ICORD,ESFF,DG,
  *AZV,AXP,AZF,1,F,AMP)
  DIMENSION IVCUF(42),NIPAB(42),NIPAC(42),ICORD(42),
  *ESFF(2,18,6),CF(42),AZV(2,6),AXP(3,6),AZP(3,6),
  *I(2),F(6),AMP(2,18),CG(42),
  *FF(42,42)
  COMMON /S2,ER,NE,NTC,NNOS,NC,NEV,N,NPP,NF,NR,NTR
  COMMON /S1,ENCC,AXP,AZP,AZV,T,F,AMP
  DO 10 J=1,42
  C ATRIBUICAO DE 'CC' EM 'EF'
  DO 51 KZ=1,NTC
  DF(KZ)=CG(KZ)
  51 CONTINUE
  IF(IVCUF(J)-1)11,12,11
  C NIVEL DO FILAR
  12 W7=NIPAC(J)
  AX=W7/NF
  AXI=FRAC(AX)
  NIF=AXI*NA+.2
  IF(NIF)13,14,13
  14 NIF=NA
  13 NI=NIPAC(J)
  NFF=NI+1
  ICES=2*NNOS*NIP
  ICEI=ICES+1
  C VERIFICA SE E O ULTIMO ANCAR
  J1=2*NI
  J2=2*NFF
  CX1=CF(J2)
  IF(NIF-NA)15,16,15
  16 DF(ICES)=ER
  CX1=ER
  C DA A POSICAO DO PRUMAO
  15 DO 17 IA=1,NPF
  NX=IA*NA
  IF(NI-NX)18,18,17
  17 CONTINUE
  18 L=IA
  K=ICORD(J)
  WRITE(5,101)ICES,ICEI
  101 FORMAT('TESTE-SRR,ICES,I=',2I3)
  WRITE(5,102)(CF(KZ),KZ=1,NTC)
  102 FORMAT('CF=',8E14.6)
  IF(K-5)19,20,19
  20 F11=(CF(ICES)-CF(ICEI))/H(NIP)
  F12=-CX1
  F13=(ESFF(1,NI,5)*F(NIP))/(3.*EMOC*AZP(L,NIP))
  F14=(-ESFF(1,NI,2)*F(NIP))/(6.*EMOC*AZP(L,NIP))
  GO TO 27
  C ROTACAO NA CCCRC NUMERO 2 DO PILAR
  19 F11=-(CF(ICES)-CF(ICEI))/H(NIP)
  F12=CF(L)
  F13=(ESFF(1,NI,2)*F(NIP))/(3.*EMOC*AZP(L,NIP))
  F14=(ESFF(1,NI,5)*F(NIP))/(6.*EMOC*AZP(L,NIP))
  GO TO 27
  C CLAUDO A ROTULA POR NUMA VIGA
  C DETER C NIVEL DA VIGA
  11 W7=NIPAB(J)
  AX=W7/NF
  AXI=FRAC(AX)
  NIV=AXI*NA+.2
  IF(NIV)21,22,21
  22 NIV=NA
  C DA A POSICAO DO PRUMAO
  21 DO 23 IA=1,NE
  NX=IA*NA
  IF(NIPAB(J)-NX)24,24,23
  23 CONTINUE
  24 L=IA
  NFV=NIPAB(J)+NA
  J2=2*NIPAB(J)
  J1=J2-1
  K2=2*NIV
  K1=K2-1
  NI=NIPAB(J)
  C VERIFICA EM QUAL CCCRC E A ROTULA, NA VIGA

```


PAGE 12 CESARCTI

```

K=ICCR(C(J))
IF(I*-2)25,26,25
26 F11=CF(I,2)
F12=(-ESFF(2,N1,2)*T(L))/(2.*EMOE*AZV(L,NIV))
F13=(ESFF(2,N1,4)*T(L))/(6.*EMOE*AZV(L,NIV))
F14=-(CF(J1)-(F(K1)))/T(L)
GC TC 27
C RETACAC NA FCTULA NUMERO 4 DA VIGZ
25 F11=-CF(K2)
F12=(ESFF(2,N1,4)*T(L))/(2.*EMOE*AZV(L,NIV))
F13=(-ESFF(2,N1,2)*T(L))/(6.*EMOE*AZV(L,NIV))
F14=(CF(J1)-CF(K1))/T(L)
27 FF(N,J)=F11+F12+F13+F14
WRITE(5,3)J,IVCUP(J),N1,ICORD(J)
3 FORMAT(' FCTACAC DA FCTULA=',I2,/, ' IVOLUP=',I2,/, ' NOINI=',I2,
*, ' CCCC=',I2)
WRITE(5,4)F11,F12,F13,F14
4 FORMAT(' F1=',4E14.5)
10 CONTINUE
WRITE(8,1)FF
WRITE(5,1)N
1 FORMAT(5(/),6X,'SFF-RETACAO CAS ROTULAS, NO PASSO=',I3)
WRITE(5,2)(FR(N,I),I=1,NR)
2 FORMAT(6X,8E14.7)
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR SFF
COMMON 3542 VARIABLES 13C PROGRAM 1C12

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0CE4 (HEX)

END OF COMPILE

// DUF

*STORE WS UA SFF
CARD ID 0016 DE ADDR 56F3 DB CNT 0046

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*ONE WORD INTEGERS

```

C DETERMINA SE HA FORMACAO DE MAIS ROTULAS NUM MESMO PASSO
SUBROUTINE CTRAS(CW,CW1,IVCUP,ICORD,NIBAC,NIBAB,ICONT)
DIMENSION CW(2,18,5),IVCUP(42),ICORD(42),NIBAC(42),NIBAB(42)
COMMON NA,BA,AE,ATC,ANOS,NC,NEV,N,NPP,Nr,NK,NIR
ICONT=0
NF=NF+1
DO 100 I=1,2
IF(I-1)10,10,11
10 DO 100 J=1,NC
DO 100 K=2,5,3
AY=ABS(CW1-CW(I,J,K))
IF(AY-1.E-2)22,22,100
22 IF(NIBAC(IC)-J)12,20,12
20 IF(ICCR(IC)-K)12,100,12
12 NF=NF+1
ICONT=ICONT+1
IVCUP(NF)=I
ICCR(NF)=K
NIBAC(NF)=J
NIBAB(NF)=0
WRITE(5,1)N
1 FORMAT(5(/),6X,'CTRAS-ROTULAS SIMULTANEAS, PASSO=',I3)
WRITE(5,2)IVCUP(NF),NIBAC(NF),ICORD(NF)
2 FORMAT(1/,6X,'IVCUP=',I2,' NIBAC=',I2,' ICRO=',I2)
100 CONTINUE
11 DO 101 J=1,NEV
DO 101 K=2,4,2
AY=ABS(CW1-CW(I,J,K))
IF(AY-1.E-2)23,23,101
23 IF(NIBAB(IC)-J)13,21,13
21 IF(ICCR(IC)-K)13,101,13
13 NF=NF+1
ICONT=ICONT+1
IVCUP(NF)=I
ICCR(NF)=K
NIBAB(NF)=J
NIBAC(NF)=0
WRITE(5,1)N

```

PAGE 13 CESARCT1

```

WRITE(5,3)IVCUP(NR),NIBAP(NR),ICORD(NR)
3  FCRPAT(//,6X,'IVCUP=',12,' NIBAP=',12,' ICORD=',12)
101 CONTINUE
WRITE(5,4)NR,ICONT
4  FCRPAT(5(//),6X,'CTRAS',4X,'NR=',12,' CONT=',12)
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED
CNE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR CTRAS
CCMPCN 14 VARIABLES IC PROGRAM 424

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0065 (HEX)

END OF COMPILATION

// DLF

*STORE WS LA CTRAS
CART ID 0016 DE ADDR 5739 DB CNT 0010

```

// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*CNE WORD INTEGERS
FUNCTION FRAC(A)
I=A
FRAC=I-I
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED
CNE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR FRAC
CCMPCN 0 VARIABLES 4 PROGRAM 22

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0004 (HEX)

END OF COMPILATION

// DUF

*STORE WS LA FRAC
CART ID 0016 DE ADDR 5755 DB CNT 0003

```

// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*CNE WORD INTEGERS
SUBROUTINE RIGV1(EMCC,AUX1,AUX2,RV)
DIMENSION RV(4,4)
CTE=EMCC*AUX2
RV(1,1)=CTE*12/AUX1**3
RV(2,1)=-CTE*6/AUX1**2
RV(3,1)=-RV(1,1)
RV(4,1)=RV(2,1)
RV(1,2)=RV(2,1)
RV(2,2)=CTE*4/AUX1
RV(3,2)=-RV(2,1)
RV(4,2)=CTE*2/AUX1
RV(1,3)=RV(3,1)
RV(2,3)=RV(3,2)
RV(3,3)=RV(1,1)
RV(4,3)=RV(3,2)
RV(1,4)=RV(2,1)
RV(2,4)=RV(4,2)
RV(3,4)=RV(3,2)
RV(4,4)=RV(2,2)
WRITE(5,1)
1  FCRPAT(5(//),6X,'MATRIX RIGV1')
WRITE(5,2){(RV(I,J),J=1,4),I=1,4)
2  FCRPAT(6X,4E11.4)
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED
CNE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR RIGV1
CCMPCN 0 VARIABLES 24 PROGRAM 274

PAGE 14 CESAFCT1
RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 002F (PEX)
END OF COMPILATION

// DLF

*STERE WS UA RIGV1
CART ID 0016 DE ALCA 575B CB CNT CC14

```
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
SUBROUTINE RIGV2(EMCC, AUX1, AUX2, RV)
DIMENSION RV(4,4)
CTE=EMCC*AUX2
DO 10 I=1,4
RV(2,1)=0.
RV(1,2)=0.
10 CONTINUE
RV(1,1)=CTE*3/AUX1**2
RV(3,1)=-RV(1,1)
RV(4,1)=-CTE*2/AUX1**2
RV(1,3)=RV(2,1)
RV(3,3)=RV(1,1)
RV(4,3)=-RV(4,1)
RV(1,4)=RV(4,1)
RV(3,4)=RV(4,2)
RV(4,4)=CTE*3/AUX1
WRITE(5,1)
1 FORMAT(5(/),6X,'MATRIX RIGV2')
WRITE(5,2)((RV(I,J),J=1,4),I=1,4)
2 FORMAT(6X,4E11.4)
RETURN
END
```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR RIGV2
COMMON 0 VARIABLES 20 PROGRAM 234

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 002B (PEX)
END OF COMPILATION

// DLF

*STERE WS UA RIGV2
CART ID 0016 DE ALCA 576C CB CNT CC11

```
// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
SUBROUTINE RIGV3(EMCC, AUX1, AUX2, RV)
DIMENSION RV(4,4)
CTE=EMCC*AUX2
DO 10 I=1,4
RV(4,1)=0.
RV(1,4)=0.
10 CONTINUE
RV(1,1)=CTE*3/AUX1**3
RV(2,1)=-CTE*2/AUX1**2
RV(3,1)=-RV(1,1)
RV(1,2)=RV(2,1)
RV(2,2)=CTE*3/AUX1
RV(3,2)=-RV(2,1)
RV(1,3)=RV(3,1)
RV(2,3)=RV(3,2)
RV(3,3)=RV(1,1)
WRITE(5,1)
1 FORMAT(5(/),6X,'MATRIX RIGV3')
WRITE(5,2)((RV(I,J),J=1,4),I=1,4)
2 FORMAT(6X,4E11.4)
RETURN
END
```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR RIGV3
COMMON 0 VARIABLES 20 PROGRAM 234

PAGE 15 CESARCT1
RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0020 (HEX)
END OF COMPILATION

// DLP

*STCRE WS UA RIGV3
CARD ID 0016 DE ADDR 577C CB CNT CC11

```
// FCF
*LIST SOURCE PROGRAM
*CAE WCPC INTEGERS
SUBFLTIME FIGP1(EMCC,AUX1,AUX2,AUX3,RP)
DIMENSION FF(6,6)
CT2=ALX2*EMCC
CT3=ALX3*EMCC
DO 10 I=1,6
DO 10 J=1,6
FF(I,J)=0.
10 CONTINUE
FF(1,1)=CT2/AUX1
FF(4,1)=-FF(1,1)
FF(2,2)=4*CT3/AUX1
FF(3,2)=-6*CT3/AUX1**2
FF(5,2)=2*CT3/AUX1
FF(6,2)=-FF(3,2)
FF(2,3)=FF(3,2)
FF(3,3)=12*CT3/AUX1**2
FF(5,3)=FF(3,2)
FF(6,3)=-FF(3,3)
FF(1,4)=FF(4,1)
FF(4,4)=FF(1,1)
FF(2,5)=FF(5,2)
FF(3,5)=FF(5,3)
FF(5,5)=FF(2,2)
FF(6,5)=FF(6,2)
FF(2,6)=FF(6,2)
FF(3,6)=FF(6,3)
FF(5,6)=FF(6,5)
FF(6,6)=FF(3,3)
WRITE(5,2)
2 FORMAT(5(/),6X,'MATRIX RIGP1')
WRITE(5,3)((FF(I,J),J=1,6),I=1,6)
3 FORMAT(6X,6E14.7)
RETURN
END
```

FEATURES SUPPORTED
CAE WCPC INTEGERS
CORE REQUIREMENTS FOR RIGP1
COMMON 0 VARIABLES 24 PROGRAM 36C

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0031 (HEX)
END OF COMPILATION

// DUF

*STCRE WS UA RIGP1
CARD ID 0016 DE ADDR 578E CB CNT CC1A

```
// FCF
*LIST SOURCE PROGRAM
*CAE WCPC INTEGERS
SUBFLTIME FIGP2(EMCC,AUX1,AUX2,AUX3,RP)
DIMENSION FF(6,6)
CT2=ALX2*EMCC
CT3=ALX3*EMCC
DO 10 I=1,6
DO 10 J=1,6
FF(I,J)=0.
10 CONTINUE
FF(1,1)=CT2/AUX1
FF(4,1)=-CT2/AUX1
FF(3,3)=CT3**3/AUX1**3
FF(5,3)=-CT2**3/AUX1**2
FF(6,3)=-FF(3,3)
FF(1,4)=FF(4,1)
FF(4,4)=FF(1,1)
FF(3,5)=FF(5,2)
FF(5,5)=CT3**3/AUX1
FF(6,5)=-FF(5,3)
```

PAGE 16 CESARCT1

```

RF(3,6)=RF(6,3)
RF(5,6)=RF(6,5)
RF(6,6)=RF(3,3)
WRITE(5,2)
2 FORMAT(5(/),6X,'MATRIX RIGP2')
WRITE(5,3)((RF(I,J),J=1,6),I=1,6)
3 FORMAT(6X,6E14.7)
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED
CNE WORD INTEGERS

CCRE REQUIREMENTS FOR RIGP2
CCPMCN C VARIABLES 24 PROGRAM 2EE

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 002F (HEX)

END OF COMPILATION

// DUF

*STERE WS UA RIGP2
CARD ID 0016 CE ADDR 57A8 EB CNT CC15

```

// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*CNE WORD INTEGERS
SUBROUTINE RIGP3(EMCC,AUX1,AUX2,AUX3,RP)
DIMENSION RF(6,6)
CT2=ALX2*EMCC
CT3=ALX3*EMCC
DO 10 I=1,6
DO 10 J=1,6
RF(I,J)=0.
10 CONTINUE
RF(1,1)=CT2/AUX1
RF(4,1)=-CT2/AUX1
RF(2,2)=CT3*3/AUX1
RF(3,2)=-CT3*3/AUX1**2
RF(6,2)=-RF(3,2)
RF(2,3)=RF(3,2)
RF(3,3)=(CT3*3/AUX1)**2
RF(6,3)=-RF(3,3)
RF(1,4)=RF(4,1)
RF(4,4)=RF(1,1)
RF(2,6)=RF(6,2)
RF(3,6)=RF(6,3)
RF(6,6)=RF(3,3)
WRITE(5,2)
2 FORMAT(5(/),6X,'MATRIX RIGP3')
WRITE(5,3)((RF(I,J),J=1,6),I=1,6)
3 FORMAT(6X,6E14.7)
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED
CNE WORD INTEGERS

CCRE REQUIREMENTS FOR RIGP3
CCPMCN C VARIABLES 24 PROGRAM 2EE

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 002F (HEX)

END OF COMPILATION

// DUF

*STERE WS UA RIGP3
CARD ID 0016 CE ADDR 578C EB CNT CC15

```

// FOR
*LIST SOURCE PROGRAM
*CNE WORD INTEGERS
SUBROUTINE RIGP4(EMCC,AUX1,AUX2,RP)
DIMENSION RF(6,6)
CT2=ALX2*EMCC/AUX1
DO 10 I=1,6
DO 10 J=1,6
RF(I,J)=0.
10 CONTINUE
RF(1,1)=CT2
RF(4,1)=-CT2

```

PAGE 17 CESAFCT1

```

      FF(1,4)=-CT2
      FF(4,4)=CT2
      WRITE(5,2)
      2 FCFNAT(5(1),6X,'MATRIX RIGP4')
      WRITE(5,2)((-F(I),J),J=1,6),I=1,6)
      3 FCFNAT(6X,6E14.7)
      RETURN
      END

```

FEATURES SUPPRESSED
CNE WCRF INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR RIGP4
CCMCA 0 VARIABELES 10 PROGRAM 152

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS OCIF (HEX)

END OF COMPILATION

// DLF

*STORE WS UA RIGP4
CARD IC 0016 DE AICF 5702 DB CNT CCOB

// FCR

```

*LIST SOURCE PROGRAM
*CNE WCRF INTEGERS
C ALTERA A MATRIZ RJ, CUANDO HA FORMACAO OU FECHAMENTO DE UMA ROTULA
C ABRE CU FECHA UMA ROTULA POR VEZ
SUBROUTINE AMFINIEAC,IVCUP,ICORD,NIBAB,MF,AXP,AZP,AZV,T,H,AMP,
  *RJ)
  DIMENSION NIEAC(42),IVCUP(42),ICORD(42),NIBAB(42),
  *AXP(3,6),AZP(3,6),AZV(2,6),T(2),F(6),RV(4,4),RP(6,6),
  *MF(42),AMP(2,18),
  *RJ(42,42)
  COMMON NA,EF,NE,NTC,NNDS,NC,NEV,N,NPP,NF,NR,NTR

```

```

C DECIDE SE C CALL VEM DO PREM PRINCIPAL OU DA FECHRO
  LZ=AMP(1,1)
  IF(NF)10,11,10

```

```

10 N1=MF
  LF1=1
  LF2=-1
  GO TO 12

```

```

11 N1=NR
  LF1=-1
  LF2=1

```

```

12 READ(9,1)RJ
  READ(1,1)EMCC,AXP,AZP,AZV,T,H,AMP
  IF(IVCLF(N1)-1)13,14,13

```

```

C VERIFICA SE A VIGA TEM ROTULA NA OUTRA COORDENADA
13 N1=NIEAC(N1)
  IT=RP
  DO 100 J=1,NF

```

```

    IF(NIEAC(I)-NIEAC(N1))100,16,100
  16 IF(I-N1)17,100,17
  17 IF(ICCR(I)-ICCR(N1))18,100,18
  18 IF(MF(I))100,19,100
  19 IT=1
100 CONTINUE

```

```

  IF(IT)73,74,73
73 IVC2R=1
  GO TO 20
74 IVC2R=RF

```

```

C LOCALIZA A PRUMADA DA VIGA NO PAINEL
20 DO 101 IA=1,NE
  NX=IA*NA
  IF(NIEAC(N1)-NX)21,21,101

```

```

101 CONTINUE
  21 L=IA
  AUX1=7(L)

```

```

C LOCALIZA O ANCAL DA VIGA NO PAINEL
  W7=NIEAC(N1)
  AX=W7/NA
  AXI=FRAC(AX)
  NIV=AXI*NA+.2
  IF(NIV)22,23,22

```

```

23 NIV=N/
  22 AUX2=A2V(L,NIV)
  NFV=NIEAC(N1)+NA
  J2=2*NIEAC(N1)
  J1=J2-1
  K2=2*AFV
  K1=K2-1

```

PAGE 18 CESAFCTI

C VERIFICA SE A VIGA JA TEM UMA ROTULA

```

IF(IFC2F-1)24,25,24
25 IF(ICCFI(N1)-2)26,27,26
26 CALL FIGV2(EMCC,AUX1,AUX2,RV)
GC TC 28
27 CALL FIGV3(EMCC,AUX1,AUX2,RV)
28 LX=LF1
LY=1
GC TC 29
24 CALL FIGV1(EMCC,AUX1,AUX2,RV)
LX=LF1
LY=C
29 RJ(J1,J1)=RJ(J1,J1)+LX*RV(1,1)
RJ(J1,J2)=RJ(J1,J2)+LX*RV(1,2)
RJ(J1,K1)=RJ(J1,K1)+LX*RV(1,3)
RJ(J1,K2)=RJ(J1,K2)+LX*RV(1,4)
RJ(J2,J1)=RJ(J1,J2)
RJ(J2,J2)=RJ(J2,J2)+LX*RV(2,2)
RJ(J2,K1)=RJ(J2,K1)+LX*RV(2,3)
RJ(J2,K2)=RJ(J2,K2)+LX*RV(2,4)
RJ(K1,J1)=RJ(J1,K1)
RJ(K1,J2)=RJ(J2,K1)
RJ(K1,K1)=RJ(K1,K1)+LX*RV(3,3)
RJ(K1,K2)=RJ(K1,K2)+LX*RV(3,4)
RJ(K2,J1)=RJ(J1,K2)
RJ(K2,J2)=RJ(J2,K2)
RJ(K2,K1)=RJ(K1,K2)
RJ(K2,K2)=RJ(K2,K2)+LX*RV(4,4)
IF(LY-1)30,31,3
30 IF(ICCFI(N1)-2)32,33,32
32 CALL FIGV3(EMCC,AUX1,AUX2,RV)
GC TC 34
33 CALL FIGV2(EMCC,AUX1,AUX2,RV)
34 LX=LF2
LY=1
GC TC 29

```

C VERIFICA SE C PILAR JA TEM ROTULA NA OUTRA COORDENADA

```

14 N1=NIEAC(N1)
IT=ER
CC 102 I=1,AP
IF(NIEAC(I)-NIBAC(N1))102,36,102
36 IF(I-N1)37,102,37
37 IF(ICCFI(I)-ICCFI(N1))38,102,38
38 IF(NF(I))102,39,102
39 IT=1
102 CONTINUE
IF(IT)71,72,71
71 IFC2F=1
GC TC 40
72 IFC2R=PF

```

C LOCALIZA A FRUMACA DO PILAR NO PAINEL

```

40 DC 103 IN=1,AFP
AX=IN*NA
IF(NIEAC(N1)-AX)41,41,103
103 CONTINUE
41 L=IN

```

C LOCALIZA C ANDAZ DO PILAR

```

W7=NIEAC(N1)
AX=W7/NA
AY)=FRAC(AX)
NIF=AXI*NA+.2
IF(NIF)42,43,42
43 NIF=NA
42 AUX1=F(NIF)
AUX2=AXF(L,NIF)
AUX3=A2F(L,NIF)
NFF=NIBAC(N1)+1
J2=2*NIEAC(N1)
J1=J2-1
J3=2*NAOS+NIF
K2=2*AFP
K1=K2-1
K3=J3+1

```

C VERIFICA SE C PILAR JA TEM ROTULA

```

IF(IFC2F-1)44,45,44
45 IF(ICCFI(N1)-2)46,47,46
46 CALL FIGF2(EMCC,AUX1,AUX2,AUX2,RP)
GC TC 48
47 CALL FIGF3(EMCC,AUX1,AUX2,AUX2,RP)
48 LX=LF1
LY=C
GC TC 49
44 CALL FIGF1(EMCC,AUX1,AUX2,AUX2,RP)

```

PAGE 19 CESAFET1

```

LX=LF1
LY=C
49 RJ(J1,J1)=RJJ(J1,J1)+LX*RP(1,1)
   RJ(J2,J1)=RJJ(J2,J1)+LX*RP(2,1)
   RJ(J3,J1)=RJJ(J3,J1)+LX*RP(3,1)
   RJ(J1,J2)=RJJ(J1,J2)+LX*RP(1,2)
   RJ(J2,J2)=RJJ(J2,J2)+LX*RP(2,2)
   RJ(J3,J2)=RJJ(J3,J2)+LX*RP(3,2)
   RJ(J1,J3)=RJJ(J1,J3)+LX*RP(1,3)
   RJ(J2,J3)=RJJ(J2,J3)+LX*RP(2,3)
   RJ(J3,J3)=RJJ(J3,J3)+LX*RP(3,3)
C VERIFICA SE E C ULTIMO ANO
50 IF(NIF-AM)55,51,51
   RJ(K1,J1)=RJK(K1,J1)+LX*RP(4,1)
   RJ(K2,J1)=RJK(K2,J1)+LX*RP(5,1)
   RJ(K3,J1)=RJK(K3,J1)+LX*RP(6,1)
   RJ(K1,J2)=RJK(K1,J2)+LX*RP(4,2)
   RJ(K2,J2)=RJK(K2,J2)+LX*RP(5,2)
   RJ(K3,J2)=RJK(K3,J2)+LX*RP(6,2)
   RJ(K1,J3)=RJK(K1,J3)+LX*RP(4,3)
   RJ(K2,J3)=RJK(K2,J3)+LX*RP(5,3)
   RJ(K3,J3)=RJK(K3,J3)+LX*RP(6,3)
   RJ(J1,K1)=RJK(K1,J1)
   RJ(J2,K1)=RJK(K1,J2)
   RJ(J3,K1)=RJK(K1,J3)
   RJ(K1,K1)=RJK(K1,K1)+LX*RP(4,4)
   RJ(K2,K1)=RJK(K2,K1)+LX*RP(5,4)
   RJ(K3,K1)=RJK(K3,K1)+LX*RP(6,4)
   RJ(J1,K2)=RJK(K2,J1)
   RJ(J2,K2)=RJK(K2,J2)
   RJ(J3,K2)=RJK(K2,J3)
   RJ(K1,K2)=RJK(K2,K1)
   RJ(K2,K2)=RJK(K2,K2)+LX*RP(5,5)
   RJ(K3,K2)=RJK(K3,K2)+LX*RP(6,5)
   RJ(J1,K3)=RJK(K3,J1)
   RJ(J2,K3)=RJK(K3,J2)
   RJ(J3,K3)=RJK(K3,J3)
   RJ(K1,K3)=RJK(K3,K1)
   RJ(K2,K3)=RJK(K3,K2)
   RJ(K3,K3)=RJK(K3,K3)+LX*RP(6,6)
51 IF(LY-1)52,31,52
52 IF(IFC2F-1)61,62,61
62 CALL FIGP4(EMCC,AUX1,AUX2,RP)
   GC TC 56
61 IF(ICCP(N1)-2)54,55,54
55 CALL FIGP2(EMCC,AUX1,AUX2,AUX3,RP)
   GC TC 56
54 CALL FIGP3(EMCC,AUX1,AUX2,AUX3,RP)
56 LX=LF2
   LY=1
   GC TC 49
31 WRITE(9,1)RJ
C LISTAGENS PARA AVERIGUACCES
   NI=IVOUF(N1)
   IF(NTF-N1)57,58,57
58 WRITE(5,1)N
1  FORMAT(5(/),6X,'AMRF-FORMOU-SE MAIS UMA ROTULA, NO PASSO=',I2)
   GC TC 59
57 WRITE(5,2)NF
2  FORMAT(5(/),6X,'AMRF-FECHOU ROTULA, FORMADA NO PASSO=',I2)
59 WRITE(5,3)F(N1),N1,ICORD(N1)
3  FORMAT(//,6X,'AMRF-MF=',I2,2X,'IVOUF=',I2,2X,'NI=',I2,3X,'ICRO
   ',I2)
   WRITE(5,5)N
5  FORMAT(//,6X,'AMRF-MATRIX RJ NO PASSO=',I2)
   DC 105 I=1,NTC
105 WRITE(5,4){RJJ(I,J),J=1,NTC}
4  FORMAT(6X,I0E11.4)
   RETURN
   END

```

FEATURES SUPPORTED
CNE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR AMRF
COMMON 14 VARIABLES 160 PROGRAM 2124

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 011C (HEX)

END OF COMPILATION

// DUP

PAGE 20 (ESA/ACT)

*STORE WS UP AMFF
CARD ID 0016 DE ACCF 5700 CR CNT CCEC

```

// FCF
*LIST SCUFCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
C VERIFICA SE F7 FECHAMENTO DE ROTULAS
SUBROUTINE FECCO(NIEAC,IVCUP,ICCRD,NIBAB,MF,ICONT,K1,K2,K3)
DIMENSION NIEAC(42),NIEAB(42),IVCUP(42),
*ICCRD(42),MF(42),K1(42),K2(42),K3(42),ICONT(42),
*AXP(3,6),AZP(3,C),AZV(2,6),T(2),H(2),AMP(2,18),RJ(42,42),
*HF(42,42)
COMMON NA,BF,NE,NTC,ANDS,NC,NDV,N,NPP,NF,NR,NTR
COMMON FR
REACT(1)FF
WRITE(5,7)N
7 FORMAT(JX,'FECCO-RR-PASSO=',I2)
WRITE(5,101)NTR
101 FORMAT('TESTE-FECCO, NTR=',I2)
DE 40 19=1,N
40 WRITE(5,8)(FR(L9,L8),L8=1,NTR)
8 FORMAT(IX,10E12.4)
N2=N-1
N3=NF-ICONT(N2)
DO 10 J=1,N3
C VERIFICA SE FR(N2,J) E FR(N,J) MUDARAM RELATIVAMENTE
C SELS SINAIS. SE MUDARAM, FECHOU ESSA ROTULA.
NEG=0
A2=ABS(FR(N2,J))
E2=FR(N2,J)-A2
IF(E2)30,31,30
30 NEG=1
31 A3=ABS(FR(N,J))
E3=FR(N,J)-A3
IF(E3)32,33,32
32 NEG=NEG+1
33 IF(NEG-1)34,15,34
34 AY=A2-A3
IF(AY)10,10,15
15 REAL(5,J)K1(J),K2(J),K3(J)
K=1(CCRD(J))
M=1(VCUP(J))
IF(1(VCUP(J))-1)11,12,11
11 M=NIEAB(J)
GO TO 13
12 M=NIEAC(J)
C K1=IVCUP,K2=M1,K3=ICCRD
C VERIFICA SE F7 FECHOU UMA ROTULA JA FECHADA
13 IF(K1(J)-M)20,21,20
21 IF(K2(J)-M)20,22,20
22 IF(K3(J)-M)20,10,20
C SE A SIADA FOR FECH COMANDO 10, INDICA QUE ESSA ROTULA
C JA HAVIA SE FECHADO...
20 K1(J)=M1
K2(J)=M1
K3(J)=K
WRITE(5,5)
5 FORMAT(5(/),6X,'FECCO-ROTACAO DA ROTULA QUE SE FECHA')
WRITE(5,6)FR(N2,J),FR(N,J)
6 FORMAT(6X,2E14.7)
WRITE(5,J)K1(J),K2(J),K3(J)
WRITE(5,2)K1(J),K2(J),K3(J)
2 FORMAT(5(/),6X,'K1',I2,'K2',I2,'K3',I2)
MF(J)=N
NF=J
WRITE(5,1)NF,N,MF(J)
1 FORMAT(5(/),6X,'FECCO-FECHOU A ROTULA',I2,'NO PASSO',I2,
*'NF=',I2)
CALL AMFP(NIBAC,IVCUP,ICCRD,NIBAB,MF,AXP,AZP,AZV,T,H,AMP,RJ)
10 CONTINUE
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR FECCO
COMMON 3542 VARIABLES 2734 PROGRAM 522

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS ODFC (HEX)

END OF COMPILATION

PAGE 21 CESARCT1

// DLP

*STCPE MS LA FICFC
CART ID 0016 DE ACDH 5869 CB CNT CC23

// FCF
*IOCS(CARC,1132FRINTER,TYPEWRITER,KEYBOARD,CISK,PLDITER,14C3PRINTER)

*LIST SOURCE FRCGRM
*ONE WORD INTEGERS
*NAMEFCG11

DIMENSICA IVCUF(42),NIBAE(42),NIEAC(42),ICORD(42),
*MF(42),CF(42),CV(42),PF(42),PV(42),ESFF(2,18,6),
*ESFV(2,18,6),LW(2,18,5),K1(42),K2(42),K3(42),AXP(3,6),
*AZF(3,6),AZV(2,6),T(2),HIE),AMP(2,18),ITT(42),
*RJ(42,42)

DIMENSICA FF(42,42)
CCPCK KA,BA,BE,ATC,ANCS,NC,NEV,N,NPP,NF,NR,NTR
CCPCK FR

C DEFINE FILE - M=10,NFF=3,N=60,NR=70, COM EXTENDED PRECISION

DEFINE FILE 1(3,320,U,KP1)
DEFINE FILE 5(7,9,U,KP5)
DEFINE FILE 8(40,320,U,KP8)
DEFINE FILE 9(46,320,U,KP9)
DEFINE FILE 10(1,320,U,KP10)
DEFINE FILE 11(1,320,U,KP11)

CARACTERISTICAS ELST, GECMET, E CARREG, CD PAINEL
CALL PANEL(I,AXP,AZF,AZV,PV,PF,T,AMP)

C ZERAR INDICADORES DE ACT(S) FECHADAS, E GRAVAR-DISCO

CC 100 I=1,NR
K1(I)=BF
K2(I)=BF
K3(I)=BF
WRITE(5*I)K1(I),K2(I),K3(I)

100 CCNTINUE
C ZERAR MF(NR)=A
CC 101 J=1,NR

101 MF(J)=BF
CCNTINUE
NR=BR
N=BR
NTR=0
DWT=BR

CHAMA A 'MRF' - PRIMEIRA MONTAGEM DA RJ
CALL MRF(T,F,AXP,AZF,AMP,AZV,RJ)
READ(9*1)RJ

C LISTAGEM DA RJ
CALL LISTE(1,RJ,CF,ESFF)

C INVERSAC DA RJ
CALL INV(RJ,NTC)

C LISTAGEM DA RJ INVERTIDA
CALL LISTE(2,RJ,CF,ESFF)
READ(10*1)PF

CALCUL CCS DESLOCAMENTOS (CCORD-GLCBAIS), DEVIDO A PF
CALL FRC1(FJ,CF,FF,NTC)

C LISTAGEM DE 'CF'
CALL LISTE(3,RJ,CF,ESFF)
CALL SESFF(CF,ESFF,AXP,AZF,AZV,T,AMP)
READ(11*1)EMCC,AXP,AZF,AZV,T,F,AMP

C VERIFICA SE HA FLASTIFICACAO PRECOCE, DEVIDO A PF
CC 103 I=1,2
IF(I-1)10,10,11

10 CC 103 J=1,NC
CC 103 K=2,5,2
IF(AMF(I,J)-AES(ESFF(I,J,K)))12,12,103

103 CCNTINUE
12 CALL LISTE(4,FJ,CF,ESFF)
GC TC 24

11 CC 104 J=1,NEV
CC 104 K=2,4,2
IF(AMF(I,J)-AES(ESFF(I,J,K)))12,12,104

104 CCNTINUE
READ(11*1)FV
C INIC CC FRCCESSC ITERATIVO -(PASSO-A-PASSO)-
18 NF=ER
READ(9*1)RJ
CALL DETE(RJ,DET,ATC)

C VERIFICA E SINAL CC DETERMINANTE DA RJ

IF(DET-1.E-10)13,13,14
13 CALL LISTE(5,FJ,CF,ESFF)

GC TC 24
14 READ(9*1)RJ
CALL INV(RJ,NTC)

PAGE 22 CESACT1

```

CALCULO DCS DESLCCAMENTOS (CCCRD-GLCPAIS), DEVIDO A PV
  CALL FRCC1(FJ,CV,PV,NTC)
C LISTAGEM DE 'CV'
  CALL LISTE(6,FJ,CV,ESFF)
C VERIFICA SE E C FRIMEIFC PASSO
  IF(N)15,15,16
15 CALL SESFF(CV,ESFV,XP,AZP,AZV,T,AMP)
  GC IC 17
16 CALL SESFV(CV,ESFV,NIEAB,NIEAC,ICCRD,MF,XP,AZP,AZV,T,H,AMP)
17 N=N+1
  NF=NF+1
CALCULO C 'MENCIA' INCREMENTO DE GARGA
  CALL MENCIA(MF,NIEAC,NIEAE,ICCRD,IVDUP,ESFF,ESFV,DW,DWI)
CALCULO CS 'CUTRCS' INCREMENTOS DE CARGA
  CALL CUTRCS(DW,DWI,IVCUP,ICCRD,NIEAC,NIEAB,ICONT)
  NTR=NTR+ICCNT+1
  ICS=1
  ITT(K)=ICCNT+1
CALCULO DCS ESFCFCCS ACUMULADOS
23 CALL FRCC2(ESFF,ESFV,DWI,ICS,NCV,NC)
  CALL LISTE(7,FJ,CF,ESFF)
CALCULO DCS DESLCCAMENTOS ACUMULADOS
  DC 105 K=1,NTC
  DF(K)=CF(K)+LWI*CV(K)*ICS
105 CONTINUE
  CALL LISTE(8,FJ,CF,ESFF)
  IF(ICS-1)18,18,19
19 CALL SFF(IVCUP,NIEAE,NIEAC,ICCRD,ESFF,CF,AZV,XP,AZP,T,H,AMP)
  ICCNT=ICCNT+1
  NR=NR-ICCNT
  IF(N-2)20,20,21
21 CALL FECR(INIEAC,IVCUP,ICCRD,NIEAB,MF,ITT,K1,K2,K3)
  IF(INF)22,20,22
22 ICS=-1
  N=N-1
  NTR=NTR-ICCNT
  GC IC 23
20 NTR=NTR-ICCNT
  DC 106 K=1,ICCNT
  NF=NF+1
  NTR=NTR+1
  CALL AMF(NIEAC,IVCUP,ICCRD,NIEAB,MF,XP,AZP,AZV,T,H,AMP,RJ)
106 CONTINUE
  DWT=DWT+DWI
  GC IC 18
24 WRITE(5,1)DWT
  1 FCRPAT(4(/),' DWT=',E14.7)
  CALL EXIT
  ENC

```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS
ICCS

CCRE REQUIREMENTS FOR PRG11
CCMCM 3542 VARIABLES 5716 PROGRAM 702

END OF COMPIATION

// XEQ

APÊNDICE II - PROGRAMA PRGMII

O programa PRGMII foi escrito em linguagem FORTRAN, conforme a seção "e" seguinte.

Apresentar-se-ão a seguir, pela ordem, a descrição do programa, a entrada de dados, a notação de variáveis utilizadas no programa, a interpretação dos resultados e a listagem do programa.

a) DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

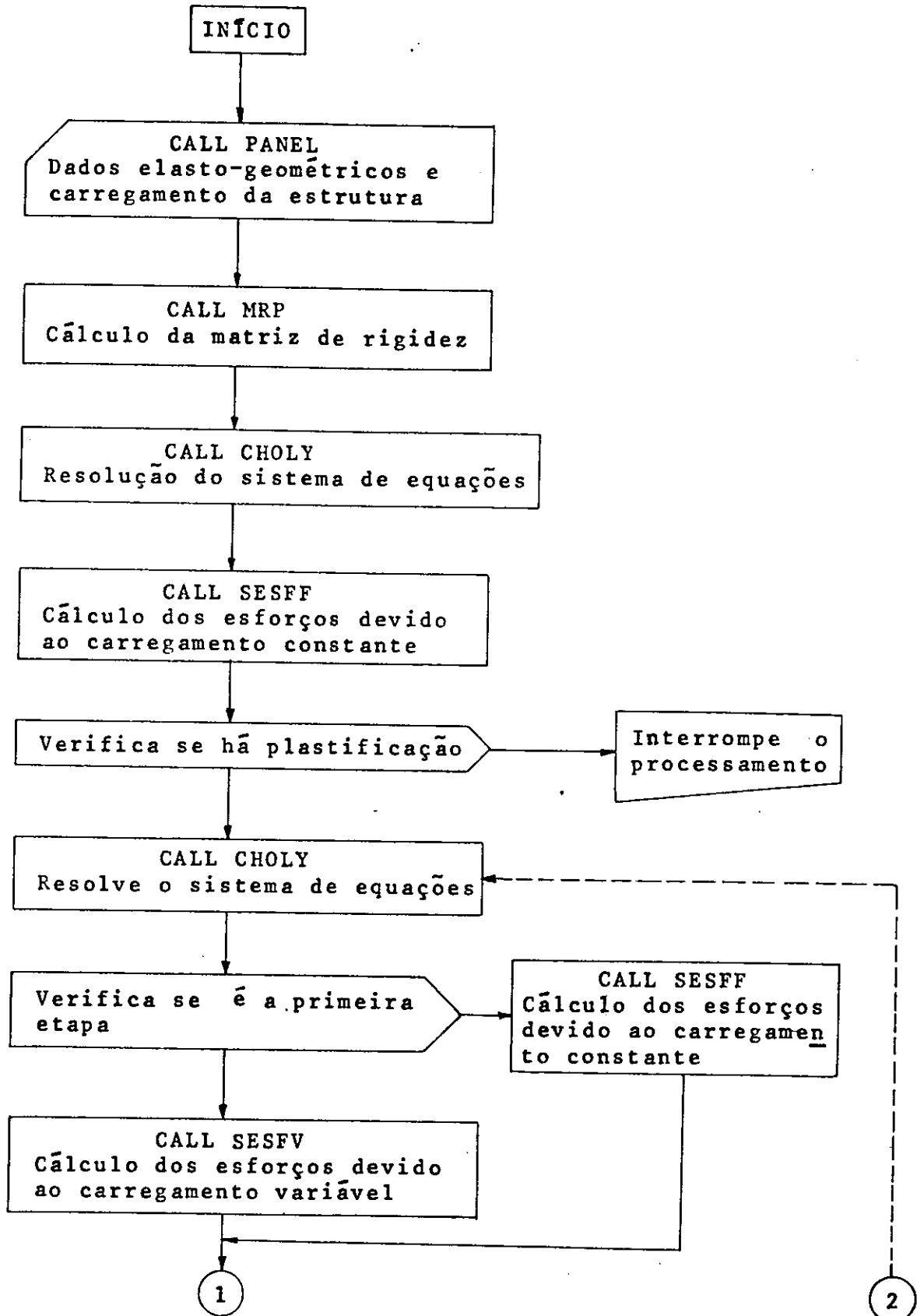
a.1) Sub-rotinas utilizadas

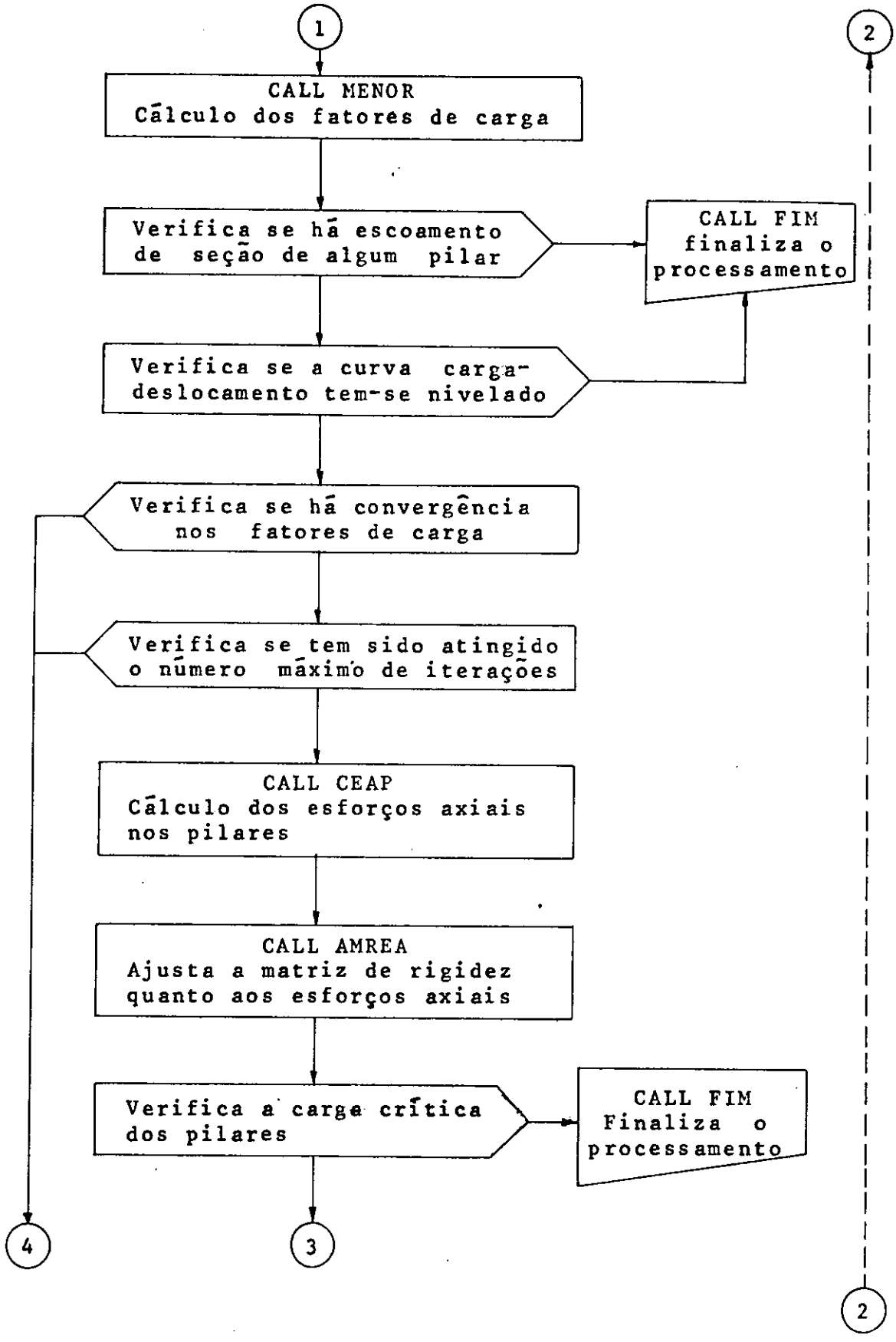
As sub-rotinas de que se utiliza o PRGMII são as seguintes:

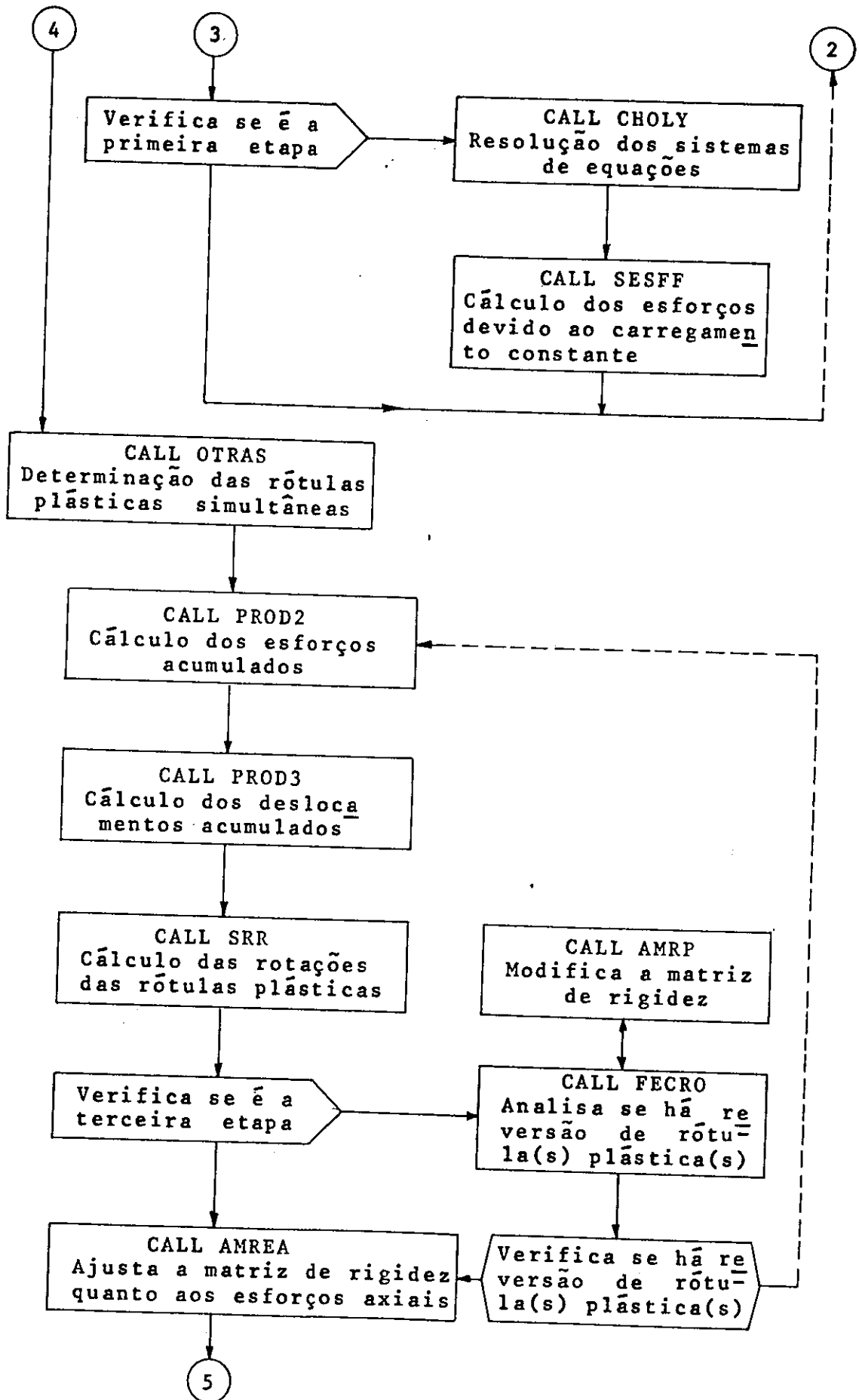
- PANEL - leitura e impressão dos dados elasto-geométricos e carregamento da estrutura;
- MRP - faz a montagem da matriz de rigidez da estrutura a partir das matrizes de rigidez das barras;
- RIGPJ - montam as matrizes de rigidez dos pilares com e sem rótulas plásticas ($i=1,2,3,4,6$; $j=1,\dots,4$);
- RIGVJ - idem para as vigas;
- CHOLY - resolve o sistema de equações e calcula os deslocamentos segundo as coordenadas do sistema estrutural;
- SESFF - calcula os esforços nas extremidades das barras e as reações de apoio da estrutura, devido ao carregamento constante $PF(NTC)$;
- SESFV - calcula os esforços nas extremidades das barras e as reações de apoio da estrutura, devido ao carregamento variável $PV(NTC)$;
- FESTI - calcula os coeficientes das funções de estabilidade, conforme seção 5.2.2;

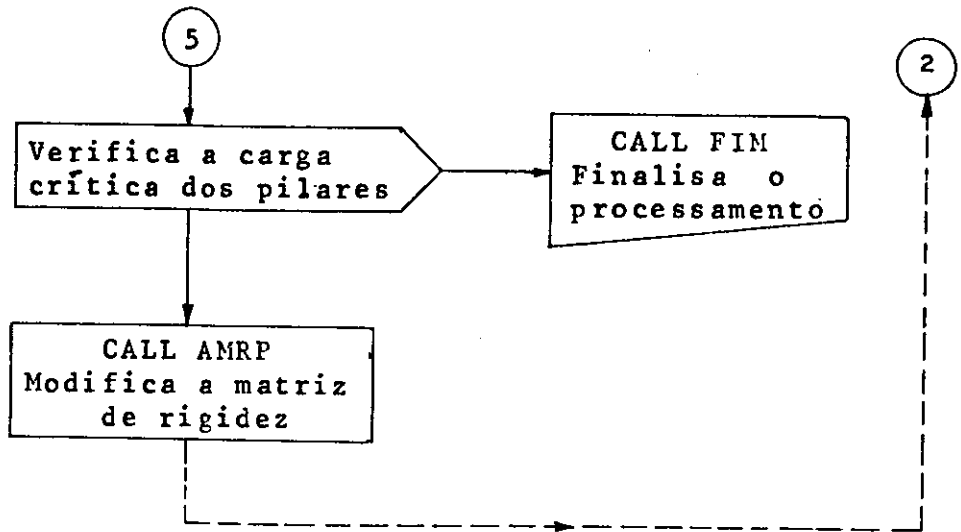
- MENOR - calcula os fatores de carga $DW(2,NC,5)$ e determina, dentre eles, o menor fator de carga (DEI), referente à formação da primeira rótula plástica da etapa "i" (veja seção 4.4);
- CEAP - calcula os esforços axiais através do fator de carga DWP (veja eq. 6.1, seção 6.1);
- AMREA - ajusta a matriz de rigidez do sistema estrutural em função dos esforços axiais nos pilares, conforme seção 6.1;
- OTRAS - determina as outras rótulas plásticas da etapa "i" (pontos simultâneos de plastificação);
- PROD2 - calcula os esforços acumulados das barras, segundo as coordenadas das vigas e pilares;
- PROD3 - calcula os deslocamentos acumulados, segundo as coordenadas do sistema estrutural;
- SRR - calcula as rotações das rótulas plásticas;
- FECRO - analisa se há reversão de rótula(s) plástica(s);
- AMRP - modifica a matriz de rigidez do sistema estrutural face à formação de rótula(s) plástica(s);
- FIM - imprime o fator de carga DWT (carga última da estrutura) e finaliza o processamento;
- LISTE - executa a impressão de vetores, matrizes e mensagens ao longo do processamento do programa.

a.2) Fluxograma simplificado









b) ENTRADA DE DADOS

(*) - numeração da ordem da sequência de variáveis (dados) especificados na seção "c".

(*)	VARIÁVEIS	NÚMERO DE VARIÁVEIS	FORMATO
1	SIG, OSCIL	2	2F6.0
2	NPP, NR	2	2I3
3	EMOD, BR, NA	3	F6.0, F2.0, I2
4	T(I), I=1, NB	NB	18F4.0
5	H(I), I=1, NA	NA	18F4.0
6	AXP(I,K); K=1, NA; I=1, NPP	NA*NPP	12F6.0
7	AZP(I,K); K=1, NA; I=1, NPP	NA*NPP	12F6.0
8	AZV(I,K); K=1, NA; I=1, NB	NA*NB	12F6.0
9	MAP(1,I), I=1, NC	NC	10E7.3
10	AMP(2,I), I=1, NDV	NDV	10E7.3
11	NNC, NAC	2	2I2
12	NV, NH, A1, A2, A3, A4	6	2I2, 4F5.2
13	NAND, A5, A6	3	I2, 2F5.2

As variáveis indexadas do quadro acima, com exceção de T(I) e H(I), são lidas pela ordem, de acordo com a numeração das barras na estrutura conforme a Fig. 4.1.

Pelo quadro acima, tem-se acesso à entrada de dados da estrutura a ser analisada.

c) NOTAÇÃO DE VARIÁVEIS UTILIZADAS NO PRGMII

SIG - tensão de escoamento σ_y .

OSCIL - coeficiente utilizado na determinação de ΔW_p , conforme seção 6.3.

DWF	- parâmetros utilizados para verificar a <u>con</u> vergência no ajuste dos esforços axiais nos pilares, no ciclo interno $DWF = DWA/DWI-1 $; (ciclo - veja seção 6).
DWA	- fator de carga do ciclo interno "i-1".
DWI	- fator de carga do ciclo interno "i", ciclo interno atual.
DWP	- fator de carga predito.
DW(2,NC,5)	- fatores de carga.
NUIT	- contador de número de ciclos internos.
NA	- número de andares do pórtico.
NB	- número de vão de viga.
NTC	- número de coordenadas do sistema estrutural.
NNOS	- número de nós do pórtico (veja Fig. 4.1).
NC	- número de pilares.
NDV	- número de vigas.
N	- contador do número de "etapas".
NPP	- número de prumadas de pilares.
NF	- número de rótula plástica que se fechou.
NR	- número de rótulas plásticas.
NTR	- contador auxiliar do número de rótulas plásticas.
RR(M,NR)	- rotações das rótulas plásticas.
RJ(NTC,NTC)	- matriz de rigidez da estrutura.
T(NB)	- vãos das vigas, entre prumadas.
H(NA)	- altura dos pilares de cada andar.
AXP(NPP,NA)	- área da seção transversal dos pilares.
AZP(NPP,NA)	- momento de inércia dos pilares.
AZV(NB,NA)	- momento de inércia das vigas.

- AMP (2,NC) - momento de plastificação das barras.
- EMOD - módulo de elasticidade.
- DV(NTC) - componente de deslocamentos devido a PV(NTC), segundo o sistema de coordenadas da Fig.3.6.
- DF(NTC) - idem, para PF(NTC).
- ESFV(2,NC,6) - esforços devidos a PV(NTC), segundo as coordenadas das barras - Figs. 3.4 e 3.5.
- ESFF(2,NC,6) - idem, para PF(NTC)
- EPA(NC) - esforços axiais nos pilares do ciclo interno anterior (ciclo - veja seção 6).
- EAP(NC) - esforços axiais nos pilares do ciclo interno atual.
- NIBAC(NR) - variável que indica o número do pilar no qual tem se formado a rótula de número NR.
- NIBAB(NR) - idem acima, para viga.
- IVOUP(NR) - variável que indica se a rótula plástica é numa viga ou num pilar:
IVOUP(NR) = 1 - rótula num pilar.
IVOUP(NR) = 2 - rótula numa viga.
- ICORD(NR) - variável que indica o número da coordenada da barra, na qual se forma a rótula de número NR.
- MF(NR) - variável para indicar a etapa onde determinada rótula se fechou.
- K1,K2,K3(NR) - indicadores de rótulas plásticas fechadas.
- PF(NTC) - componente de carga do carregamento constante (seção 3.3), segundo o sistema de coordenadas da Fig. 3.6.
- PV(NTC) - idem, para o carregamento variável.
- ITT(N) - contador de rótulas plásticas de cada etapa (etapa - veja seção 6).

IC	- indicador de carga crítica em pilar(es).
M	- indicador de fase do ciclo interno.
ICONT	- contador auxiliar de rótulas plásticas.
DWT	- fator de carga referente à capacidade última de carga da estrutura.
NNC	- número de nós do pórtico solicitados por cargas verticais.
NAC	- número de andares solicitados por cargas horizontais.
NV	- número de origem das prumadas, da esquerda para a direita, com relação ao nó considerado.
NH	- número de ordem dos andares, de cima para baixo, com relação ao nó considerado.
NAND	- número de andar solicitado horizontalmente.
A1	- parâmetro de carga vertical do carregamento constante.
A2	- momento de engastamento do carregamento constante.
A3	- parâmetro de carga vertical do carregamento variável.
A4	- momento de engastamento do carregamento variável.
A5	- parâmetro de carga horizontal do carregamento constante.
A6	- parâmetro de carga horizontal do carregamento variável.

d) INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A seguir são apresentadas as instruções necessárias à interpretação dos resultados fornecidos pelo PRGMII.

Ao ser iniciada o processamento, pelo PRGMII são impressos os dados da estrutura apresentados na seção "c". Na primeira fase (fase - veja seção 6) do PRGMII são impressas as matrizes de rigidez das barras e da estrutura, assim como os deslocamentos devidos a PF(NTC) e PV(NTC), segundo o sistema de coordenadas da Fig. 3.6.

Na segunda fase do programa PRGMII (fase incremental e interativa, conforme capítulos 5 e 6) tem-se em cada etapa (uma etapa corresponde a um ciclo externo - conforme seção 6) os parâmetros associados à convergência dos esforços axiais nos pilares, à formação e reversão de rôtula(s) plástica(s) e aos esforços e deslocamentos variáveis e acumulados.

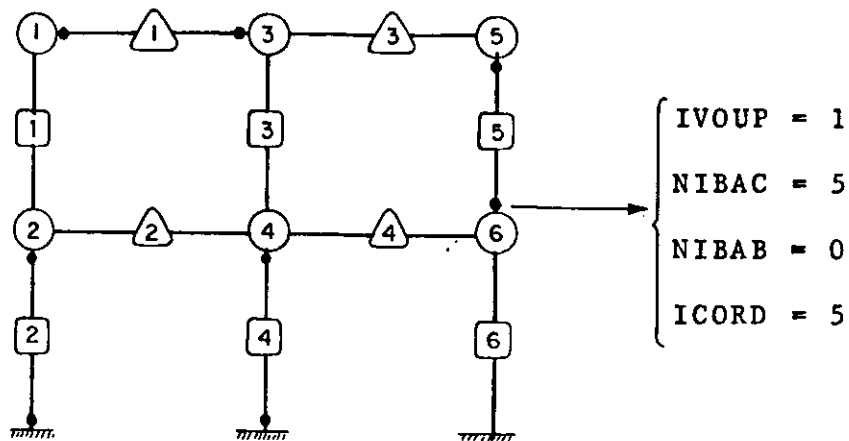
Seja, por exemplo, o pórtico da Fig. II, no qual esteja se formando a nona rótula plástica, na sétima etapa de análise; o programa PRGMII imprime:

ETAPA = 7

IVOUP = 1 NIBAC = 5 NIBAB = 0 ICORD = 5

DWI = 0,7366120E+00 DWP = 0,736618E+00

NUIT = 2 NR = 9



⓪ - nº do nó Ⓛ - nº do pilar Ⓢ - nº da viga

FIG. II - EXEMPLO

São impressos, também, os esforços $ESFF(2,NC,6)$ e deslocamentos $DF(NTC)$ acumulados da etapa atual. Com estes elementos (veja notação - seção "c") pode-se localizar a rótula no pórtico e, expressar as relações necessárias ao que se objetiva analisar.

Caso haja a formação de mais que uma rótula plástica numa mesma etapa, o PRGMII imprime, por exemplo:

RÓTULA(S) PLÁSTICA(S) ETAPA = 5

IVOUP = 1, NIBAC = 4, ICORD = 5

Por outro lado, caso haja a reversão da rótula "NR" na etapa "N", é impressa a mensagem

REVERTEU-SE A RÓTULA "NR" NA ETAPA "N"

e, o PRGMII procede de acordo com o que se apresenta na seção 5.2.1.

e) LISTAGEM DO PROGRAMA PRGMII

A correspondência entre as rotinas apresentadas na seção "a" e os segmentos⁽¹⁷⁾ que constituem o PRGMII nesta listagem é a seguinte:

- PROGRAM SEGO(3) - contém o programa principal e as subrotinas PROD2 e LISTE;
- PROGRAM SEGI(5) - contém as subrotinas MRP, R1GP1 e R1GV1;
- PROGRAM SEG2(5) - contém as subrotinas SESFF, R2GP1 e R2GV1;
- PROGRAM SEG3(5) - contém as subrotinas SESFV, R3GP1, R3GP2, R3GP3, R3GP4, R3GV1, R3GV2, R3GV3 e FEST3;
- PROGRAM SEG4(5) - contém as subrotinas AMREA, R4GP1, R4GP2, R4GP3, R4GP4 e FEST4;
- PROGRAM SEG5(5) - contém as subrotinas FECRO, AMRP, R5GP1, R5GP2, R5GP3, R5GP4, R5GV1, R5GV2, R5GV3 e FEST5;
- PROGRAM SEG6(5) - contém as subrotinas AMRP, R5GV1, R5GV2, R5GV3, FEST5, R5GP1, R5GP2, R5GP3 e R5GP4;
- PROGRAM SEG7(5) - contém a subrotina PANEL;
- PROGRAM SEG8(5) - contém a subrotina MENOR;
- PROGRAM SEG9(5) - contém a subrotina SRR;
- PROGRAM SE10(5) - contém uma subrotina que faz leitura e gravação de dados entre o disco^() e a memória interna do computador;
- PROGRAM SE11(5) - contém a subrotina CHOLY;
- PROGRAM SE12(5) - contém a subrotina OTRAS.

Na listagem seguinte, "PROGRAM SEGO(3)" corresponde ao segmento principal ou, programa principal e "PROGRAM SEGI(5) e PROGRAM SEIJ(5)" aos segmentos propriamente ditos⁽¹⁷⁾.

PAGE 0001

(FTN4--RELEASE 241778--JULY, 1971)

```

0001 FTN4,L
0002 PROGRAM SEGO(3)
0003 INTEGER P(5),Q(5),S10(3),S11(3),S12(3)
0004 INTEGER S1(3),S2(3),S3(3),S4(3),S5(3),S6(3),S7(3),S8(3),S9(3)
0005 COMMON HA,BR,NB,NTC,NNOS,HC,HNV,H,NPP,NF,HR,HTR
0006 COMMON RR(36,38),RJ(42,42)
0007 COMMON I(2),H(6),AXP(3,6),AZP(3,6),AZV(2,6),AMP(2,18),
0008 *EKOD,DV(42),ESFF(2,18,6),EPAC(18),EAP(18),DF(42),
0009 *NIBAC(38),IVOUP(38),ICORD(38),NIBABC(38),MF(38),
0010 *K1(38),K2(38),K3(38),PF(42),PV(42),ESFY(2,18,6),
0011 *DW(2,18,5),ITT(36),IC,DWI,HUIT
0012 COMMON M,ICONT,SIG,DWT,DWA,DWP,OSCIL
0013 DATA S1/2HSE,2HG1,2H /,S2/2HSE,2HG2,2H /,S3/2HSE,2HG3,2H /,
0014 *S4/2HSE,2HG4,2H /,S5/2HSE,2HG5,2H /,S6/2HSE,2HG6,2H /,
0015 *S7/2HSE,2HG7,2H /,S8/2HSE,2HG8,2H /,S9/2HSE,2HG9,2H /
0016 DATA S10/2HSE,2H10,2H /
0017 DATA S11/2HSE,2H11,2H /,S12/2HSE,2H12,2H /
0018 CARACTERISTICAS ELAST.,GEOMET. E CARREG. DO PAINEL
0019 CALL EXEC(8,S7)
0020 C ZERAR INDICADORES DE ROTULAS FECHADAS
0021 DO 100 I=1,NR
0022 K1(I)=BR
0023 K2(I)=BR
0024 K3(I)=BR
0025 100 CONTINUE
0026 C ZERAR MF(NR)=N - ROTULAS QUE SE FECHARAM
0027 DO 101 J=1,HR
0028 101 MF(J)=BR
0029 HR=0
0030 N=0
0031 HTR=0
0032 DWT=0.
0033 DO 200 J=1,NC
0034 EPA(J)=0.
0035 EAP(J)=0.
0036 200 CONTINUE
0037 IC=0
0038 CHAMA A MRP - PRIMEIRA MONTAGEM DA RJ
0039 CALL EXEC(8,S1)
0040 P(1)=-1
0041 CALL EXEC(8,S10,P)
0042 IF(IC)62,62,24
0043 C LISTAGEM DA RJ
0044 62 CALL LISTE(1,RJ,DF,ESFF)
0045 C INVERSAO DA RJ
0046 Q(1)=-1
0047 CALL EXEC(8,S11,Q)
0048 C LISTAGEM DA RJ INVERTIDA
0049 CALL LISTE(2,RJ,DF,ESFF)
0050 CALL LISTE(3,RJ,DF,ESFF)
0051 CALL EXEC(8,S2)
0052 DO 103 I=1,2
0053 IF(I-1)10,10,11

```

PAGE 0002 SEGO (FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0054 10 DO 103 J=1,NC
0055     DO 103 K=2,5,3
0056     IF(AMP(I,J)-ABS(ESFF(I,J,K)))12,12,103
0057 103 CONTINUE
0058     12 CALL LISTE(4,RJ,DF,ESFF)
0059     GO TO 24
0060 11 DO 104 J=1,NDV
0061     DO 104 K=2,4,2
0062     IF(AMP(I,J)-ABS(ESFF(I,J,K)))12,12,104
0063 104 CONTINUE
0064 C INICIO DO PROCESSO ITERATIVO
0065     18 NF=0
0066     NUIT=0
0067     DWA=0.
0068     14 P(1)=1
0069     CALL EXEC(8,S10,P)
0070     Q(1)=1
0071     CALL EXEC(8,S11,Q)
0072     CALL LISTE(5,RJ,DV,ESFF)
0073     IF(N)15,15,16
0074     15 NR=NR+1
0075     CALL EXEC(8,S2)
0076     GO TO 17
0077     16 CALL EXEC(8,S3)
0078     NR=NR+1
0079     17 CALL EXEC(8,S8)
0080     WRITE(6,30)N,NUIT,DWI
0081 30 FORMAT(/," N=",I2," NUIT=",I2," DWI=",E14.7)
0082     M=0
0083     IF(DWI-1.E-10)24,24,51
0084     51 DWF=ABS(DWA/DWI-1.)
0085     IF(DWF-0.003)50,50,53
0086     53 NUIT=NUIT+1
0087     IF(NUIT-5)54,54,50
0088     54 DO 201 K=1,NC
0089 201 EAP(K)=ESFF(1,K,4)+DWP*ESFV(1,K,4)
0090     NR=NR-1
0091     P(1)=1
0092     CALL EXEC(8,S10,P)
0093     CALL EXEC(8,S4)
0094     P(1)=-1
0095     CALL EXEC(8,S10,P)
0096     IF(IC)24,55,24
0097     55 DO 202 K=1,NC
0098     EPA(K)=EAP(K)
0099 202 CONTINUE
0100     DWA=DWI
0101     P(1)=1
0102     CALL EXEC(8,S10,P)
0103     IF(N)57,57,14
0104     57 Q(1)=-1
0105     CALL EXEC(8,S11,Q)
0106     CALL EXEC(8,S2)
```

```

0107      M=1
0108      GO TO 14
0109      50 N=N+1
0110      CALL EXEC(8,S12)
0111      NTR=NTR+ICONT+1
0112      IDS=1
0113      ITT(N)=ICONT+1
0114      23 CALL PROD2(ESFF,ESFV,DVI,IDS,HDV,HC)
0115      CALL LISTE(6,RJ,DF,ESFF)
0116      DO 105 K=1,HTC
0117      DF(K)=DF(K)+DVI+DV(K)*IDS
0118      105 CONTINUE
0119      CALL LISTE(7,RJ,DF,ESFF)
0120      IF(IDS-1)18,19,18
0121      19 CALL EXEC(8,S9)
0122      ICONT=ICONT+1
0123      NR=NR-ICONT
0124      IF(N-2)20,20,21
0125      21 CALL EXEC(8,S5)
0126      IF(NF)22,20,22
0127      22 IDS=-1
0128      N=N-1
0129      NTR=NTR-ICONT
0130      GO TO 23
0131      20 NTR=NTR-ICONT
0132      DO 203 K=1,HC
0133      EAP(K)=ESFF(1,K,4)
0134      203 CONTINUE
0135      P(1)=1
0136      CALL EXEC(8,S10,P)
0137      CALL EXEC(8,S4)
0138      P(1)=-1
0139      CALL EXEC(8,S10,P)
0140      IF(IC)24,60,24
0141      60 DO 204 K=1,HC
0142      EPA(K)=EAP(K)
0143      204 CONTINUE
0144      P(1)=1
0145      CALL EXEC(8,S10,P)
0146      DO 106 K=1,ICONT
0147      NR=NR+1
0148      NTR=NTR+1
0149      CALL EXEC(8,S6)
0150      106 CONTINUE
0151      P(1)=-1
0152      CALL EXEC(8,S10,P)
0153      DWT=DWT+DVI
0154      GO TO 18
0155      24 WRITE(6,1)DWT
0156      1 FORMAT(4(/),". DWT=",E14.7)
0157      END

```

** NO ERRORS*

```

0001      SUBROUTINE PRODZ(EF,EV,DWI,IDS,NDV,NC)
0002      REAL EF(2,18,6),EV(2,18,6)
0003      DO 1 I=1,2
0004      IF(I-1)10,10,11
0005      10 DO 1 L=1,NC
0006      DO 1 M=1,6
0007      EF(I,L,M)=EF(I,L,M)+DWI*EV(I,L,M)*IDS
0008      1 CONTINUE
0009      11 DO 2 L=1,NDV
0010      DO 2 M=1,4
0011      EF(I,L,M)=EF(I,L,M)+DWI*EV(I,L,M)*IDS
0012      2 CONTINUE
0013      RETURN
0014      END

```

** NO ERRORS*

```

0001      SUBROUTINE LISTE(KAI,RJ,DF,ESFF)
0002      REAL RJ(42,42),DF(42),ESFF(2,18,6)
0003      COMMON NA,BR,NB,NTC,HNOS,NC,NDV,N,NPP,NF,HR,NTR
0004      50 FORMAT(6X,"PRGM-MATRIZ RJ, PASSO=",I3)
0005      51 FORMAT(1X,10E12.4)
0006      52 FORMAT(6X,"PRGM- RJ INVERTIDA, PASSO=",I3)
0007      53 FORMAT(6X,"PRGM- VETOR DF, PASSO=",I3)
0008      54 FORMAT(6X,"PLASTIFICACAO PRECOCE - FIM DO PROCESSAMENTO-DIMIN PF")
0009      56 FORMAT(6X,"PRGM- VETOR DV, PASSO=",I3)
0010      57 FORMAT(6X,"PRGM- ESFF - ESFORCOS ACUMULADOS,PASSO=",I3)
0011      58 FORMAT(6X,"PRGM - DESLOCAMENTOS ACUMULADOS - DF, PASSO=",I3)
0012      M=6
0013      GO TO (2,3,4,5,7,8,9),KAI
0014      2 WRITE(M,50)N
0015      20 WRITE(M,51)((RJ(I,J),J=1,NTC),I=1,NTC)
0016      GO TO 1
0017      3 WRITE(M,52)N
0018      GO TO 20
0019      4 WRITE(M,53)N
0020      21 WRITE(M,51)(DF(I),I=1,NTC)
0021      GO TO 1
0022      5 WRITE(M,54)
0023      GO TO 1
0024      7 WRITE(M,56)N
0025      GO TO 21
0026      8 WRITE(M,57)N
0027      DO 100 I=1,2
0028      IF(I-1)22,22,23
0029      22 WRITE(M,51)((ESFF(I,J,K),K=1,6),J=1,NC)
0030      100 CONTINUE
0031      23 WRITE(M,51)((ESFF(I,J,K),K=1,4),J=1,NDV)
0032      GO TO 1
0033      9 WRITE(M,58)N
0034      WRITE(M,51)(DF(I),I=1,NTC)
0035      1 RETURN
0036      END

```

** NO ERRORS*

0037 *

```

0001 FTN4,L
0002 PROGRAM SEQ1(S)
0003 DIMENSION RV(4,4),RP(6,6)
0004 COMMON NA,BR,NB,NTC,NNOS,NC,NDV,N,NPP,NF,HR,NTR
0005 COMMON RR(36,38),RJ(42,42)
0006 COMMON T(2),H(6),AXP(3,6),AZP(3,6),AZV(2,6),AMP(2,18),
0007 *EMOD,DV(42),ESFF(2,18,6),EPAC(18),EAP(18),DF(42),
0008 *NIBAC(38),IVOUP(38),ICORD(38),NIBAB(38),MF(38),
0009 *K1(38),K2(38),K3(38),PF(42),PV(42),ESFV(2,18,6),
0010 *DW(2,18,5),ICONT(36),IC
0011 F=0
0012 C ZERAR A MATRIZ "RJ"
0013 DO 100 I=1,NTC
0014 DO 100 J=1,NTC
0015 RJ(I,J)=BR
0016 100 CONTINUE
0017 KCOD=6
0018 DO 101 J=1,NB
0019 AUX1=T(J)
0020 DO 101 K=1,NA
0021 AUX2=AZV(J,K)
0022 NI=K+(J-1)*NA
0023 NFV=NI+NA
0024 J2=2*NI
0025 J1=J2-1
0026 K2=2*NFV
0027 K1=K2-1
0028 WRITE(KCOD,1)NI,NFV
0029 1 FORMAT(///," MRP", " NI=",I2," NFV=",I2)
0030 CALL RIGV1(EMOD,AUX1,AUX2,RV)
0031 RJ(J1,J1)=RJ(J1,J1)+RV(1,1)
0032 RJ(J1,J2)=RJ(J1,J2)+RV(1,2)
0033 RJ(J1,K1)=RJ(J1,K1)+RV(1,3)
0034 RJ(J1,K2)=RJ(J1,K2)+RV(1,4)
0035 RJ(J2,J1)=RJ(J1,J2)
0036 RJ(J2,J2)=RJ(J2,J2)+RV(2,2)
0037 RJ(J2,K1)=RJ(J2,K1)+RV(2,3)
0038 RJ(J2,K2)=RJ(J2,K2)+RV(2,4)
0039 RJ(K1,J1)=RJ(J1,K1)
0040 RJ(K1,J2)=RJ(J2,K1)
0041 RJ(K1,K1)=RJ(K1,K1)+RV(3,3)
0042 RJ(K1,K2)=RJ(K1,K2)+RV(3,4)
0043 RJ(K2,J1)=RJ(J1,K2)
0044 RJ(K2,J2)=RJ(J2,K2)
0045 RJ(K2,K1)=RJ(K1,K2)
0046 RJ(K2,K2)=RJ(K2,K2)+RV(4,4)
0047 101 CONTINUE
0048 CONTRIBUICAO DO PILARES
0049 DO 102 K=1,NA
0050 AUX1=H(K)
0051 J3=2*NNOS+K
0052 K3=J3+1
0053 DO 102 J=1,NPP

```

```

0054      AUX2=AXP(J,K)
0055      AUX3=AZP(J,K)
0056      NI=K+(J-1)*NA
0057      NFP=NI+1
0058      J2=2*NI
0059      J1=J2-1
0060      K2=2*NFP
0061      K1=K2-1
0062      WRITE(KCOD,2)NI,NFP
0063      2 FORMAT(//,"      MRP",*      NI=",I2,"      NFP=",I2)
0064      CALL RIGP1(EMOD,AUX1,AUX2,AUX3,RP,F,IC)
0065      RJ(J1,J1)=RJ(J1,J1)+RP(1,1)
0066      RJ(J2,J1)=RJ(J2,J1)+RP(2,1)
0067      RJ(J3,J1)=RJ(J3,J1)+RP(3,1)
0068      RJ(J1,J2)=RJ(J2,J1)
0069      RJ(J2,J2)=RJ(J2,J2)+RP(2,2)
0070      RJ(J3,J2)=RJ(J3,J2)+RP(3,2)
0071      RJ(J1,J3)=RJ(J3,J1)
0072      RJ(J2,J3)=RJ(J3,J2)
0073      RJ(J3,J3)=RJ(J3,J3)+RP(3,3)
0074      C  VERIFICA SE E O ULTIMO ANDAR
0075          IF(K-NA)20,102,102
0076      20  RJ(K1,J1)=RJ(K1,J1)+RP(4,1)
0077          RJ(K2,J1)=RJ(K2,J1)+RP(5,1)
0078          RJ(K3,J1)=RJ(K3,J1)+RP(6,1)
0079          RJ(K1,J2)=RJ(K1,J2)+RP(4,2)
0080          RJ(K2,J2)=RJ(K2,J2)+RP(5,2)
0081          RJ(K3,J2)=RJ(K3,J2)+RP(6,2)
0082          RJ(K1,J3)=RJ(K1,J3)+RP(4,3)
0083          RJ(K2,J3)=RJ(K2,J3)+RP(5,3)
0084          RJ(K3,J3)=RJ(K3,J3)+RP(6,3)
0085          RJ(J1,K1)=RJ(K1,J1)
0086          RJ(J2,K1)=RJ(K1,J2)
0087          RJ(J3,K1)=RJ(K1,J3)
0088          RJ(K1,K1)=RJ(K1,K1)+RP(4,4)
0089          RJ(K2,K1)=RJ(K2,K1)+RP(5,4)
0090          RJ(K3,K1)=RJ(K3,K1)+RP(6,4)
0091          RJ(J1,K2)=RJ(K2,J1)
0092          RJ(J2,K2)=RJ(K2,J2)
0093          RJ(J3,K2)=RJ(K2,J3)
0094          RJ(K1,K2)=RJ(K2,K1)
0095          RJ(K2,K2)=RJ(K2,K2)+RP(5,5)
0096          RJ(K3,K2)=RJ(K3,K2)+RP(6,5)
0097          RJ(J1,K3)=RJ(K3,J1)
0098          RJ(J2,K3)=RJ(K3,J2)
0099          RJ(J3,K3)=RJ(K3,J3)
0100          RJ(K1,K3)=RJ(K3,K1)
0101          RJ(K2,K3)=RJ(K3,K2)
0102          RJ(K3,K3)=RJ(K3,K3)+RP(6,6)
0103      102 CONTINUE
0104          WRITE(KCOD,3)
0105          3 FORMAT(6X,"MATRIZ RJ - MRP")
0106          WRITE(KCOD,4)((RJ(I,J),J=1,NTC),I=1,NTC)

```

PAGE 0003 SEGI CFTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0107      4 FORMAT(10E12.4)
0108      CALL EXEC(29)
0109      CALL SEGO
0110      END
```

** NO ERRORS*

PAGE 0001 CFTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0001      SUBROUTINE RIGVICEMOD,AUX1,AUX2,RV)
0002      DIMENSION RV(4,4)
0003      JF=6
0004      CTE=EMOD*AUX2
0005      RV(1,1)=CTE*12/AUX1**3
0006      RV(2,1)=-CTE*6/AUX1**2
0007      RV(3,1)=-RV(1,1)
0008      RV(4,1)=RV(2,1)
0009      RV(1,2)=RV(2,1)
0010      RV(2,2)=CTE*4/AUX1
0011      RV(3,2)=-RV(2,1)
0012      RV(4,2)=CTE*2/AUX1
0013      RV(1,3)=RV(3,1)
0014      RV(2,3)=RV(3,2)
0015      RV(3,3)=RV(1,1)
0016      RV(4,3)=RV(3,2)
0017      RV(1,4)=RV(2,1)
0018      RV(2,4)=RV(4,2)
0019      RV(3,4)=RV(3,2)
0020      RV(4,4)=RV(2,2)
0021      WRITE(JF,1)
0022      1 FORMAT(///, '   MATRIZ RIGV1')
0023      WRITE(JF,2)((RV(I,J),J=1,4),I=1,4)
0024      2 FORMAT(6X,4E11.4)
0025      RETURN
0026      END
```

** NO ERRORS*

```

0001      SUBROUTINE RIGP(CE,AH,AXP,AZP,RP,F,IC)
0002 C   MATRIZ DE RIGIDEZ - PILAR SEM ROTULA PLASTICA
0003      DIMENSION RP(6,6)
0004      PI=3.1416
0005      JF=6
0006      DO 10 I=1,6
0007      DO 10 J=1,6
0008      RP(I,J)=0.
0009      10 CONTINUE
0010 C   VERIFICO SE O ESFORCO AXIAL E PROXIMO DE ZERO,
0011 C   EM CASO AFIRMATIVO S=4, C=0.5, E M=1
0012      AF=AH*SQRT(ABS(F)/(E*AZP))/2.
0013 C   PARA VALORES DE AF MENOR QUE 0.05, AS EXPRESSOES DE S E C
0014 C   CALCULAM VALORES IRREAIS...
0015      IF(AF-0.05)11,11,12
0016      11 B2=4.
0017      B3=6.
0018      B4=2.
0019      B5=12.
0020      GO TO 21
0021      12 IF(F)13,14,14
0022      B2=(1.-2*AF*(1./TANH(2*AF)))*AF/(TANH(AF)-AF)
0023      B31=AF**2*(1.-1./SQRT(1.-(TANH(2*AF))**2))*(1.-(TANH(AF))**2)
0024      B32=TANH(AF)*(TANH(AF)-AF)
0025      B3=B31/B32
0026      B41=AF*(2*AF-TANH(2*AF)/SQRT(1.-TANH(2*AF)**2))*(1.-TANH(AF)**2)
0027      B4=B41/(2*B32)
0028      B51=2*B3/(2*B3+4.*AF**2)
0029      B5=2.*B3/B51
0030      GO TO 21
0031      14 IF(AF-PI)16,15,15
0032 C   SE ALFA E MAIOR QUE PI, A CARGA CRITICA DESSE PILAR JA FOI ATINGIDA
0033      15 IC=1
0034      GO TO 20
0035      16 B2=AF*(SIN(2*AF)-2*AF*COS(2*AF))/(2*SIN(AF)*(SIN(AF)-AF*COS(AF)))
0036      B3=AF**2*(1.-COS(2*AF))/(SIN(AF)*(SIN(AF)-AF*COS(AF)))
0037      B4=AF*(2*AF-SIN(2*AF))/(2*SIN(AF)*(SIN(AF)-AF*COS(AF)))
0038      B51=2*B3/(2*B3-4*AF**2)
0039      B5=2*B3/B51
0040      21 RP(1,1)=E*AXP/AH
0041      RP(4,1)=-RP(1,1)
0042      RP(2,2)=B2*E*AZP/AH
0043      RP(3,2)=-B3*E*AZP/AH**2
0044      RP(5,2)=B4*E*AZP/AH
0045      RP(6,2)=-RP(3,2)
0046      RP(2,3)=RP(3,2)
0047      RP(3,3)=B5*E*AZP/AH**3
0048      RP(5,3)=RP(3,2)
0049      RP(1,4)=RP(4,1)
0050      RP(6,3)=-RP(3,3)
0051      RP(4,4)=RP(1,1)

```


PAGE 0002 RIGP1 (FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0052      RP(2,5)=RPC3,2)
0053      RP(3,5)=RP(5,3)
0054      RP(5,5)=RP(2,2)
0055      RP(6,5)=RP(6,2)
0056      RP(2,6)=RP(6,2)
0057      RP(3,6)=RP(6,3)
0058      RP(5,6)=RP(6,5)
0059      RP(6,6)=RPC3,3)
0060      20 IF(IC)18,18,17
0061      17 WRITE(JF,4)
0062      4  FORMAT(///) "  RIGP1 - PILAR COM CARGA CRITICA"
0063      GO TO 19
0064      18 WRITE(JF,2)
0065      2  FORMAT(///) "  MATRIZ RIGP1"
0066      WRITE(JF,3)((RP(I,J),J=1,6),I=1,6)
0067      3  FORMAT(6X,6E14.7)
0068      19 RETURN
0069      END
```

** NO ERRORS*

0070 \$

```

0001 FTN4,L
0002 PROGRAM SEG2(5)
0003 REAL DC(6),DB(4),RP(6,6),RV(4,4),DV(42),ESFF(2,18,6)
0004 COMMON NA,BR,HB,HTC,HNOS,HC,NDV,H,HPP,HF,HR,HTR
0005 COMMON RR(36,38),RJ(42,42)
0006 COMMON T(2),H(6),AXP(3,6),AZP(3,6),AZV(2,6),AMP(2,18),
0007 *EMOD,DHV(42),ESHF(2,18,6),EPAC(18),EAP(18),DHF(42),
0008 *NIBAC(38),IVOUP(38),ICORD(38),NIBAB(38),MFC(38),
0009 *K1(38),K2(38),K3(38),PF(42),PV(42),ESHV(2,18,6),
0010 *DW(2,18,5),ICONT(36),IC,DUI,HUIT,M
0011 IF(NR)40,40,41
0012 41 IF(HUIT)43,43,42
0013 42 IF(M)40,40,43
0014 40 DO 44 I=1,HTC
0015 DV(I)=DHF(I)
0016 44 CONTINUE
0017 GO TO 46
0018 43 DO 45 I=1,HTC
0019 DV(I)=DHV(I)
0020 45 CONTINUE
0021 46 KCOO=6
0022 DO 13 I=1,2
0023 IF(I-1)11,11,12
0024 11 DO 13 J=1,NPP
0025 DO 13 K=1,NA
0026 NI=K+(J-1)*NA
0027 NFP=NI+1
0028 J2=2*NI
0029 J1=J2-1
0030 J3=2*HNOS+K
0031 K1=J2+1
0032 K2=K1+1
0033 K3=J3+1
0034 DC(1)=DV(J1)
0035 DC(2)=DV(J2)
0036 DC(3)=DV(J3)
0037 IF(K-NA)14,15,15
0038 15 DC(4)=BR
0039 DC(5)=BR
0040 DC(6)=BR
0041 GO TO 16
0042 14 DC(4)=DV(K1)
0043 DC(5)=DV(K2)
0044 DC(6)=DV(K3)
0045 16 AAXP=AXP(J,K)
0046 AAZP=AZP(J,K)
0047 AUXH=H(K)
0048 F=EPAC(NI)
0049 CALL R2GP1(EMOD,AUXH,AAXP,AAZP,RP,F,IC)
0050 DO 18 J7=1,6
0051 ESFF(I,NI,J7)=BR
0052 DO 18 J8=1,6
0053 ESFF(I,NI,J7)=ESFF(I,NI,J7)+RP(J7,J8)*DCC(J8)

```

PAGE 0002 SEG2 (FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0054 18 CONTINUE
0055 13 CONTINUE
0056 12 DO 19 J=1,N8
0057     DO 19 K=1,NA
0058     NI=K+(J-1)*NA
0059     NFV=NI+NA
0060     J2=2*NI
0061     J1=J2-1
0062     K2=2*NFV
0063     K1=K2-1
0064     DB(1)=DV(J1)
0065     DB(2)=DV(J2)
0066     DB(3)=DV(K1)
0067     DB(4)=DV(K2)
0068     AAZV=AZV(J,K)
0069     AUXT=T(J)
0070     CALL R2GV1(EMOD,AUXT,AAZV,RV)
0071     DO 21 J7=1,4
0072     ESFF(I,NI,J7)=BR
0073     DO 21 J8=1,4
0074     ESFF(I,NI,J7)=ESFF(I,NI,J7)+RV(J7,J8)*DB(J8)
0075 21 CONTINUE
0076 19 CONTINUE
0077     IF(NR)50,50,51
0078     51 IF(NUIT)52,52,57
0079     57 IF(M)50,50,52
0080     50 DO 53 I=1,2
0081     DO 53 J=1,NC
0082     DO 53 K=1,6
0083     ESHF(I,J,K)=ESFF(I,J,K)
0084 53 CONTINUE
0085     GO TO 54
0086 52 DO 55 I=1,2
0087     DO 55 J=1,NC
0088     DO 55 K=1,6
0089     ESHV(I,J,K)=ESFF(I,J,K)
0090 55 CONTINUE
0091 54 CALL EXEC(29)
0092     CALL SEGO
0093     END
```

** NO ERRORS*

```
0001      SUBROUTINE R2GV1(EMOD,AUX1,AUX2,RV)
0002      DIMENSION RV(4,4)
0003      JF=6
0004      CTE=EMOD*AUX2
0005      RV(1,1)=CTE*12/AUX1**3
0006      RV(2,1)=-CTE*6/AUX1**2
0007      RV(3,1)=-RV(1,1)
0008      RV(4,1)=RV(2,1)
0009      RV(1,2)=RV(2,1)
0010      RV(2,2)=CTE*4/AUX1
0011      RV(3,2)=-RV(2,1)
0012      RV(4,2)=CTE*2/AUX1
0013      RV(1,3)=RV(3,1)
0014      RV(2,3)=RV(3,2)
0015      RV(3,3)=RV(1,1)
0016      RV(4,3)=RV(3,2)
0017      RV(1,4)=RV(2,1)
0018      RV(2,4)=RV(4,2)
0019      RV(3,4)=RV(3,2)
0020      RV(4,4)=RV(2,2)
0021      RETURN
0022      END
```

** NO ERRORS*

PAGE 0001

(FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0001      SUBROUTINE RZGP1(CE, AH, AXP, AZP, RP, F, IC)
0002 C  MATRIZ DE RIGIDEZ - PILAR SEM ROTULA PLASTICA
0003      DIMENSION RP(6,6)
0004      PI=3.1416
0005      JF=6
0006      DO 10 I=1,6
0007      DO 10 J=1,6
0008      RP(I,J)=0.
0009      10 CONTINUE
0010 C  VERIFICO SE O ESFORÇO AXIAL E PROXIMO DE ZERO,
0011 C  EM CASO AFIRMATIVO S=4, C=0.5, E M=1
0012      AF=AH*SQRT(ABS(F)/CE/AZP)/2.
0013 C  PARA VALORES DE AF MENOR QUE 0.05, AS EXPRESSOES DE S E C
0014 C  CALCULAM VALORES IRREAIS...
0015      IF(AF-0.05)11,11,12
0016      11 B2=4.
0017      B3=6.
0018      B4=2.
0019      B5=12.
0020      GO TO 21
0021      12 IF(F)13,14,14
0022      13 B2=(1.-2*AF*(1./TANH(2*AF)))*AF/(TANH(AF)-AF)
0023      B31=AF**2*(1.-1./SQRT(1.-(TANH(2*AF))**2))*(1.-(TANH(AF))**2)
0024      B32=TANH(AF)*(TANH(AF)-AF)
0025      B3=B31/B32
0026      B41=AF*(2*AF-TANH(2*AF)/SQRT(1.-TANH(2*AF)**2))*(1.-TANH(AF)**2)
0027      B4=B41/(2*B32)
0028      B51=2*B3/(2*B3+4.*AF**2)
0029      B5=2.*B3/B51
0030      GO TO 21
0031      14 IF(AF-PI)16,15,15
0032 C  SE ALFA E MAIOR QUE PI, A CARGA CRITICA DESSE PILAR JA FOI ATINGIDA
0033      15 IC=1
0034      GO TO 20
0035      16 B2=AF*(SIN(2*AF)-2*AF*COS(2*AF))/(2*SIN(AF)*(SIN(AF)-AF*COS(AF)))
0036      B3=AF**2*(1.-COS(2*AF))/(SIN(AF)*(SIN(AF)-AF*COS(AF)))
0037      B4=AF*(2*AF-SIN(2*AF))/(2*SIN(AF)*(SIN(AF)-AF*COS(AF)))
0038      B51=2*B3/(2*B3-4*AF**2)
0039      B5=2*B3/B51
0040      21 RP(1,1)=E*AXP/AH
0041      RP(4,1)=-RP(1,1)
0042      RP(2,2)=B2*E*AZP/AH
0043      RP(3,2)=-B3*E*AZP/AH**2
0044      RP(5,2)=B4*E*AZP/AH
0045      RP(6,2)=-RP(3,2)
0046      RP(2,3)=RP(3,2)
0047      RP(3,3)=B5*E*AZP/AH**3
0048      RP(5,3)=RP(3,2)
0049      RP(1,4)=RP(4,1)
0050      RP(6,3)=-RP(3,3)
0051      RP(4,4)=RP(1,1)
```

PAGE 0002 RZGP1 (FTN4--RELEASE 241778--JULY, 1971)

```
0052      RP(2,5)=RP(3,2)
0053      RP(3,5)=RP(5,3)
0054      RP(5,5)=RP(2,2)
0055      RP(6,5)=RP(6,2)
0056      RP(2,6)=RP(6,2)
0057      RP(3,6)=RP(6,3)
0058      RP(5,6)=RP(6,5)
0059      RP(6,6)=RP(3,3)
0060      20 IF(IC)18,18,17
0061      17 WRITE(JF,4)
0062      4  FORMAT(///, " RIGP1 - PILAR COM CARGA CRITICA" )
0063      18 RETURN
0064      END
```

** NO ERRORS*

0065 *

```
0001 FTN4,L
0002 PROGRAM SEG3(5)
0003 DIMENSION DC(6),DB(4),RP(6,6),RV(4,4)
0004 COMMON NA,BR,NB,NTC,NNOS,NC,NDV,N,NFP,HF,HR,NTR
0005 COMMON RR(36,38),RJ(42,42)
0006 COMMON T(2),H(6),AXP(3,6),AZP(3,6),AZV(2,6),AMP(2,18),
0007 *EMOD,DV(42),ESFF(2,18,6),EPA(18),EAP(18),DF(42),
0008 *NIBAC(38),IYDUP(38),ICORD(38),NIBAB(38),MF(38),
0009 *K1(38),K2(38),K3(38),PF(42),PV(42),ESFV(2,18,6),
0010 *DV(2,18,5),ICOHT(36),ICC
0011 KCOD=6
0012 DO 100 I=1,2
0013 IF(I-1)20,20,21
0014 20 DO 100 J=1,NFP
0015 DO 100K=1,NA
0016 NI=K+(J-1)*NA
0017 HFP=NI+1
0018 J2=2*NI
0019 J1=J2-1
0020 J3=2*NNOS+K
0021 K1=J2+1
0022 K2=K1+1
0023 K3=J3+1
0024 DC(1)=DV(J1)
0025 DC(2)=DV(J2)
0026 DC(3)=DV(J3)
0027 IF(K-NA)22,23,23
0028 23 DC(4)=BR
0029 DC(5)=BR
0030 DC(6)=BR
0031 GO TO 24
0032 22 DC(4)=DV(K1)
0033 DC(5)=DV(K2)
0034 DC(6)=DV(K3)
0035 24 WRITE(KCOD,1)NI,(DC(L),L=1,6)
0036 1 FORMAT(" SESFV - DC - PILAR=",I2,/,6E12.4)
0037 AUXH=H(K)
0038 AAXP=AXP(J,K)
0039 AAZP=AZP(J,K)
0040 IPC2R=BR
0041 DO 101 L=1,HR
0042 IF(NIBAC(L)-NI)101,25,101
0043 25 IF(MF(L))101,26,101
0044 26 IPC2R=IPC2R+1
0045 IC=ICORD(L)
0046 101 CONTINUE
0047 F=EPA(NI)
0048 C DECIDE QUAL E A CONDICAO DE RIGIDEZ DO PILAR
0049 IF(IPC2R-1)27,28,29
0050 27 CALL R3GPICEMOD,AUXH,AAXP,AAZP,RP,F,ICC)
0051 GO TO 30
0052 28 IF(IC-2)31,32,31
0053 31 CALL R3GP3(EMOD,AUXH,AAXP,AAZP,RP,F,ICC)
```

```

0054      GO TO 30
0055      32 CALL R3GP2(EMOD,AUXH,AAXP,AAZP,RP,F,ICC)
0056      GOTO 30
0057      29 CALL R3GP4(EMOD,AUXH,AAXP,AAZP,RP,F,ICC)
0058      30 DO 102 J7=1,6
0059      ESFV(I,NI,J7)=BR
0060      DO 102 J8=1,6
0061      ESFV(I,NI,J7)=ESFV(I,NI,J7)+RP(J7,J8)*DC(J8)
0062      102 CONTINUE
0063      WRITE(KCOD,5)NI,(ESFV(I,NI,M),M=1,6)
0064      5 FORMAT(" SESFV-ESFV-PILAR=",I2,3X,6E14.5)
0065      100 CONTINUE
0066      21 DO 103 J=1,NA
0067      DO 103 K=1,NA
0068      NI=K+(J-1)*NA
0069      NFV=NI+NA
0070      J2=2*NI
0071      J1=J2-1
0072      K2=2*NfV
0073      K1=K2-1
0074      DB(1)=DV(J1)
0075      DB(2)=DV(J2)
0076      DB(3)=DV(K1)
0077      DB(4)=DV(K2)
0078      WRITE(KCOD,6)NI,(DB(M),M=1,4)
0079      6 FORMAT(" SESFV-DB-VIGA=",I2,/,4E12.4)
0080      AAZV=AZV(J,K)
0081      AUXT=T(J)
0082      IVC2R=BR
0083      DO 104 L=1,NR
0084      IF(NIBAB(L)-NI)104,33,104
0085      33 IF(MF(L))104,34,104
0086      34 IVC2R=IVC2R+1
0087      IC=ICORD(L)
0088      104 CONTINUE
0089      IF(IVC2R-1)35,36,37
0090      35 CALL R3GV1(EMOD,AUXT,AAZV,RV)
0091      GO TO 38
0092      36 IF(IC-2)39,40,39
0093      39 CALL R3GV3(EMOD,AUXT,AAZV,RV)
0094      GO TO 38
0095      40 CALL R3GV2(EMOD,AUXT,AAZV,RV)
0096      GO TO 38
0097      37 CALL RIGV4(RV)
0098      38 DO 105 J7=1,4
0099      ESFV(I,NI,J7)=BR
0100      DO 105 J8=1,4
0101      ESFV(I,NI,J7)=ESFV(I,NI,J7)+RV(J7,J8)*DB(J8)
0102      105 CONTINUE
0103      WRITE(KCOD,8)NI,(ESFV(I,NI,M),M=1,4)
0104      8 FORMAT(" SESFV-ESFV-VIGA=",I2,3X,4E14.5)
0105      103 CONTINUE
0106      CALL EXEC(29)
0107      CALL SEGO
0108      END

```

** NO ERRORS*

PAGE 0001

(FTN4--RELEASE 241778--JULY, 1971)

```
0001      SUBROUTINE RIGV4(RY)
0002      DIMENSION RV(4,4)
0003      DO 10 I=1,4
0004      DO 10 J=1,4
0005      RV(I,J)=0.
0006      10 CONTINUE
0007      RETURN
0008      END
```

** NO ERRORS*

PAGE 0001

(FTN4--RELEASE 241778--JULY, 1971)

```
0001      SUBROUTINE R3GV1(EMOD,AUX1,AUX2,RV)
0002      DIMENSION RV(4,4)
0003      JF=6
0004      CTE=EMOD*AUX2
0005      RV(1,1)=CTE*12/AUX1**3
0006      RV(2,1)=-CTE*6/AUX1**2
0007      RV(3,1)=-RV(1,1)
0008      RV(4,1)=RV(2,1)
0009      RV(1,2)=RV(2,1)
0010      RV(2,2)=CTE*4/AUX1
0011      RV(3,2)=-RV(2,1)
0012      RV(4,2)=CTE*2/AUX1
0013      RV(1,3)=RV(3,1)
0014      RV(2,3)=RV(3,2)
0015      RV(3,3)=RV(1,1)
0016      RV(4,3)=RV(3,2)
0017      RV(1,4)=RV(2,1)
0018      RV(2,4)=RV(4,2)
0019      RV(3,4)=RV(3,2)
0020      RV(4,4)=RV(2,2)
0021      RETURN
0022      END
```

** NO ERRORS*



PAGE 0001

CFTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```

0001      SUBROUTINE R3GV2(EMOD,AUX1,AUX2,RV)
0002      DIMENSION RV(4,4)
0003      JF=6
0004      CTE=EMOD*AUX2
0005      DO 10 I=1,4
0006      RV(2,I)=0.
0007      RV(I,2)=0.
0008      10 CONTINUE
0009      RV(1,1)=CTE*3/AUX1**3
0010      RV(3,1)=-RV(1,1)
0011      RV(4,1)=-CTE*3/AUX1**2
0012      RV(1,3)=RV(3,1)
0013      RV(3,3)=RV(1,1)
0014      RV(4,3)=-RV(4,1)
0015      RV(1,4)=RV(4,1)
0016      RV(3,4)=RV(4,3)
0017      RV(4,4)=CTE*3/AUX1
0018      RETURN
0019      END

```

** NO ERRORS*

PAGE 0001

CFTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```

0001      SUBROUTINE R3GV3(EMOD,AUX1,AUX2,RV)
0002      DIMENSION RV(4,4)
0003      JF=6
0004      CTE=EMOD*AUX2
0005      DO 10 I=1,4
0006      RV(4,I)=0.
0007      RV(I,4)=0.
0008      10 CONTINUE
0009      RV(1,1)=CTE*3/AUX1**3
0010      RV(2,1)=-CTE*3/AUX1**2
0011      RV(3,1)=-RV(1,1)
0012      RV(1,2)=RV(2,1)
0013      RV(2,2)=CTE*3/AUX1
0014      RV(3,2)=-RV(2,1)
0015      RV(1,3)=RV(3,1)
0016      RV(2,3)=RV(3,2)
0017      RV(3,3)=RV(1,1)
0018      RETURN
0019      END

```

** NO ERRORS*

PAGE 0001

CFTN4--RELEASE 241778--JULY, 1971)

```
0001      SUBROUTINE R3GP4(E, AH, AXP, AZP, RP, F, IC)
0002      DIMENSION RP(6,6)
0003      JF=6
0004      PI=3.1416/2.
0005      AF=AH*SQRT(ABS(F)/CE*AZP))/2.
0006      IF(AF-PI)10,11,11
0007      10 DO 12 I=1,6
0008          DO 12 J=1,6
0009              RP(I,J)=0.
0010      12 CONTINUE
0011          RP(1,1)=E*AXP/AH
0012          RP(4,1)=-RP(1,1)
0013          RP(1,4)=RP(4,1)
0014          RP(4,4)=RP(1,1)
0015          GO TO 13
0016      11 IC=1
0017          WRITE(JF,4)
0018          4 FORMAT(//,.' RIGP4 - PILAR COM CARGA CRITICA')
0019      13 RETURN
0020      END
```

** NO ERRORS*

PAGE 0001

CFTN4--RELEASE 241778--JULY, 1971)

```
0001      SUBROUTINE R3GP3(E, AH, AXP, AZP, RP, F, IC)
0002      DIMENSION RP(6,6)
0003      CALL FST3(E, AH, AZP, RP, F, IC, B1, B2)
0004      JZ=6
0005      IF(IC)10,10,11
0006      10 RP(1,1)=E*AXP/AH
0007          RP(4,1)=-RP(1,1)
0008          RP(1,4)=RP(4,1)
0009          RP(4,4)=RP(1,1)
0010          RP(2,2)=B2*E*AZP/AH
0011          RP(3,2)=-B2*E*AZP/AH**2
0012          RP(6,2)=-RP(3,2)
0013          RP(2,3)=RP(3,2)
0014          RP(3,3)=B1*E*AZP/AH**3
0015          RP(6,3)=-RP(3,3)
0016          RP(2,6)=RP(6,2)
0017          RP(3,6)=RP(6,3)
0018          RP(6,6)=RP(3,3)
0019          GO TO 12
0020      11 WRITE(JZ,4)
0021          4 FORMAT(//,.' RIGP3 - PILAR COM CARGA CRITICA')
0022      12 RETURN
0023      END
```

** NO ERRORS*

```

0001      SUBROUTINE RIGP1(E,AH,AXP,AZP,RP,F,IC)
0002 C    MATRIZ DE RIGIDEZ - PILAR SEM ROTULA PLASTICA
0003      DIMENSION RP(6,6)
0004      PI=3.1416
0005      JF=6
0006      DO 10 I=1,6
0007      DO 10 J=1,6
0008      RP(I,J)=0.
0009      10 CONTINUE
0010 C    VERIFICO SE O ESFORCO AXIAL E PROXIMO DE ZERO,
0011 C    EM CASO AFIRMATIVO S=4, C=0.5, E M=1
0012      AF=AH*SQRT(ABS(F)/(E*AZP))/2.
0013 C    PARA VALORES DE AF MENOR QUE 0.05, AS EXPRESSOES DE S E C
0014 C    CALCULAM VALORES IRREAIS...
0015      IF(AF-0.05)11,11,12
0016      11 B2=4.
0017      B3=6.
0018      B4=2.
0019      B5=12.
0020      GO TO 21
0021      12 IF(F)13,14,14
0022      13 B2=(1.-2*AF*(1./TANH(2*AF)))*AF/(TANH(AF)-AF)
0023      B31=AF**2*(1.-1./SQRT(1.-(TANH(2*AF))**2))*(1.-(TANH(AF))**2)
0024      B32=TANH(AF)*(TANH(AF)-AF)
0025      B3=B31/B32
0026      B41=AF*(2*AF-TANH(2*AF)/SQRT(1.-TANH(2*AF)**2))*(1.-TANH(AF)**2)
0027      B4=B41/(2*B32)
0028      B51=2*B3/(2*B3+4.*AF**2)
0029      B5=2.*B3/B51
0030      GO TO 21
0031      14 IF(AF-PI)16,15,15
0032 C    SE ALFA E MAIOR QUE PI, A CARGA CRITICA DESSE PILAR JA FOI ATINGIDA
0033      15 IC=1
0034      GO TO 20
0035      16 B2=AF*(SIN(2*AF)-2*AF*COS(2*AF))/(2*SIN(AF)*(SIN(AF)-AF*COS(AF)))
0036      B3=AF**2*(1.-COS(2*AF))/(SIN(AF)*(SIN(AF)-AF*COS(AF)))
0037      B4=AF*(2*AF-SIN(2*AF))/(2*SIN(AF)*(SIN(AF)-AF*COS(AF)))
0038      B51=2*B3/(2*B3-4*AF**2)
0039      B5=2*B3/B51
0040      21 RP(1,1)=E*AXP/AH
0041      RP(4,1)=-RP(1,1)
0042      RP(2,2)=B2*E*AZP/AH
0043      RP(3,2)=-B3*E*AZP/AH**2
0044      RP(5,2)=B4*E*AZP/AH
0045      RP(6,2)=-RP(3,2)
0046      RP(2,3)=RP(3,2)
0047      RP(3,3)=B5*E*AZP/AH**3
0048      RP(5,3)=RP(3,2)
0049      RP(1,4)=RP(4,1)
0050      RP(6,3)=-RP(3,3)
0051      RP(4,4)=RP(1,1)

```

PAGE 0002 R3GP1 (FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```

0052      RP(2,5)=RP(5,2)
0053      RP(3,5)=RP(5,3)
0054      RP(5,5)=RP(2,2)
0055      RP(6,5)=RP(6,2)
0056      RP(2,6)=RP(6,2)
0057      RP(3,6)=RP(6,3)
0058      RP(5,6)=RP(6,5)
0059      RP(6,6)=RP(3,3)
0060      20 IF(IC)10,18,17
0061      17 WRITE(JF,4)
0062      4  FORMAT(////, * RIGP1 - PILAR COM CARGA CRITICA*)
0063      18 RETURN
0064      END

```

** NO ERRORS*

PAGE 0001 (FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```

0001      SUBROUTINE R3GP2(E,AH,AXP,AZP,RP,F,IC)
0002      DIMENSION RP(6,6)
0003      JF=6
0004      CALL FEST3(E,AH,AZP,RP,F,IC,B1,B2)
0005      IF(IC)10,10,12
0006      10 RP(1,1)=E*AXP/AH
0007      RP(4,1)=-RP(1,1)
0008      RP(1,4)=RP(4,1)
0009      RP(4,4)=RP(1,1)
0010      RP(3,3)=B1*E*AZP/AH**3
0011      RP(5,3)=-B2*E*AZP/AH**2
0012      RP(6,3)=-RP(3,3)
0013      RP(3,5)=RP(5,3)
0014      RP(5,5)=B2*E*AZP/AH
0015      RP(6,5)=-RP(5,3)
0016      RP(3,6)=RP(6,3)
0017      RP(5,6)=RP(6,5)
0018      RP(6,6)=RP(3,3)
0019      GO TO 14
0020      12 WRITE(JF,4)
0021      4  FORMAT(////, * RIGP2 - PILAR COM CARGA CRITICA*)
0022      14 RETURN
0023      END

```

** NO ERRORS*

```

0001      SUBROUTINE FEST3(E,AH,AZP,RP,F,IC,B1,B2)
0002      DIMENSION RP(6,6)
0003      DO 10 I=1,6
0004      DO 10 J=1,6
0005      RP(I,J)=0.
0006      10 CONTINUE
0007      C VERIFICO SE O ESFORCO AXIAL E NULO;
0008      C EM CASO AFIRMATIVO S=4, C=0.5 E M=1
0009      AF=AH*SQRT(ABS(F)/(E*AZP))/2.
0010      IF(AF-0.05)11,11,12
0011      11 B1=3.
0012      B2=3.
0013      GO TO 17
0014      12 IF(F)13,14,14
0015      13 B11=2*TANH(AF)*SQRT(1.-(TANH(2*AF))**2)
0016      B12=(1.-(TANH(AF)**2))*(TANH(2*AF)-2*AF)
0017      B1=-4*AF**2*(B11/B12-1.)
0018      B21=8*(AF**2)*TANH(AF)*SQRT(1.-(TANH(2*AF))**2)
0019      B22=(1.-(TANH(AF))**2)*(TANH(2*AF)-2*AF)
0020      B2=-B21/B22
0021      GO TO 17
0022      C SE ALFA FOR MAIOR QUE 2.2467, A CARGA CRITICA DESSE PILAR
0023      C FOI ATINGIDA
0024      14 IF(AF-2.2467)16,15,15
0025      15 IC=1
0026      GO TO 17
0027      16 B1=4*AF**2*(2*COS(AF)*SIN(AF)/(SIN(2*AF)-2*AF*COS(2*AF))-1.)
0028      B2=8*AF**2*COS(AF)*SIN(AF)/(SIN(2*AF)-2*AF*COS(2*AF))
0029      17 RETURN
0030      END

```

** NO ERRORS*

0031 \$

```

0001 FTN4,L
0002 PROGRAM SEG(5)
0003 DIMENSION RP(6,6)
0004 COMMON NA,BR,NB,NTC,NNOS,NC,NDV,N,NPP,HF,HR,HTR
0005 COMMON RR(36,38),RJ(42,42)
0006 COMMON T(2),H(6),AXP(3,6),AZP(3,6),AZY(2,6),AMP(2,18),
0007 *EMOD,DV(42),ESFF(2,18,6),EPAC(18),EAP(18),DF(42),
0008 *NIBAC(38),IVOUP(38),ICORD(38),NIBAB(38),HF(38),
0009 *K1(38),K2(38),K3(38),PF(42),PV(42),ESFV(2,18,6),
0010 *DU(2,18,5),ICOHT(36),IC
0011 DO 100 K=1,NA
0012 AUX1=H(K)
0013 J3=2*NNOS+K
0014 K3=J3+1
0015 DO 100 J=1,NPP
0016 AUX2=AXP(J,K)
0017 AUX3=AZP(J,K)
0018 NI=K+(J-1)*NA
0019 NFP=NI+1
0020 J2=2*NI
0021 J1=J2-1
0022 K2=2*NFP
0023 K1=K2-1
0024 JF=6
0025 WRITE(JF,1)NI,NFP
0026 1 FORMAT(/,," AMREA -",," NI=",I2," NFP=",I2)
0027 C VERIFICO SE O PILAR TEM ROTULA(S) PLASTICA(S)
0028 IPCR=0
0029 LY=0
0030 IF(NR)51,51,50
0031 50 DO 11 I=1,NR
0032 IF(NI-NIBAC(I))11,10,11
0033 10 IF(HF(I))11,12,11
0034 12 IW=I
0035 IPCR=IPCR+1
0036 11 CONTINUE
0037 51 F=EPAC(NI)
0038 26 IF(IPCR-1)13,14,15
0039 13 CALL R4GP1(EMOD,AUX1,AUX2,AUX3,RP,F,IC)
0040 GO TO 21
0041 14 IF(ICORD(IW)-2)16,17,16
0042 16 CALL R4GP3(EMOD,AUX1,AUX2,AUX3,RP,F,IC)
0043 GO TO 21
0044 17 CALL R4GP2(EMOD,AUX1,AUX2,AUX3,RP,F,IC)
0045 GO TO 21
0046 15 CALL R4GP4(EMOD,AUX1,AUX2,AUX3,RP,F,IC)
0047 21 IF(LY)18,19,18
0048 19 LX=-1
0049 GO TO 20
0050 18 LX=1
0051 IF(IC)99,20,99
0052 20 RJ(J1,J1)=RJ(J1,J1)+LX*RP(1,1)
0053 RJ(J2,J1)=RJ(J2,J1)+LX*RP(2,1)

```

```

0054      RJ(J3,J1)=RJ(J3,J1)+LX*RPC(3,1)
0055      RJ(J1,J2)=RJ(J2,J1)
0056      RJ(J2,J2)=RJ(J2,J2)+LX*RP(2,2)
0057      RJ(J3,J2)=RJ(J3,J2)+LX*RP(3,2)
0058      RJ(J1,J3)=RJ(J3,J1)
0059      RJ(J2,J3)=RJ(J3,J2)
0060      RJ(J3,J3)=RJ(J3,J3)+LX*RP(3,3)
0061 C   VERIFICO SE E O ULTIMO ANDAR
0062      IF(K-NA)22,23,23
0063 22  RJ(K1,J1)=RJ(K1,J1)+LX*RP(4,1)
0064      RJ(K2,J1)=RJ(K2,J1)+LX*RP(5,1)
0065      RJ(K3,J1)=RJ(K3,J1)+LX*RP(6,1)
0066      RJ(K1,J2)=RJ(K1,J2)+LX*RP(4,2)
0067      RJ(K2,J2)=RJ(K2,J2)+LX*RP(5,2)
0068      RJ(K3,J2)=RJ(K3,J2)+LX*RP(6,2)
0069      RJ(K1,J3)=RJ(K1,J3)+LX*RP(4,3)
0070      RJ(K2,J3)=RJ(K2,J3)+LX*RP(5,3)
0071      RJ(K3,J3)=RJ(K3,J3)+LX*RP(6,3)
0072      RJ(J1,K1)=RJ(K1,J1)
0073      RJ(J2,K1)=RJ(K1,J2)
0074      RJ(J3,K1)=RJ(K1,J3)
0075      RJ(K1,K1)=RJ(K1,K1)+LX*RP(4,4)
0076      RJ(K2,K1)=RJ(K2,K1)+LX*RP(5,4)
0077      RJ(K3,K1)=RJ(K3,K1)+LX*RP(6,4)
0078      RJ(J1,K2)=RJ(K2,J1)
0079      RJ(J2,K2)=RJ(K2,J2)
0080      RJ(J3,K2)=RJ(K2,J3)
0081      RJ(K1,K2)=RJ(K2,K1)
0082      RJ(K2,K2)=RJ(K2,K2)+LX*RP(5,5)
0083      RJ(K3,K2)=RJ(K3,K2)+LX*RP(6,5)
0084      RJ(J1,K3)=RJ(K3,J1)
0085      RJ(J2,K3)=RJ(K3,J2)
0086      RJ(J3,K3)=RJ(K3,J3)
0087      RJ(K1,K3)=RJ(K3,K1)
0088      RJ(K2,K3)=RJ(K3,K2)
0089      RJ(K3,K3)=RJ(K3,K3)+LX*RP(6,6)
0090 23  IF(LY-1)24,100,24
0091 24  LY=1
0092      F=EAP(NI)
0093      GO TO 26
0094 100 CONTINUE
0095 99  CALL EXEC(29)
0096      CALL SEGO
0097      END

```

** NO ERRORS*

PAGE 0001

(FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```

0001      SUBROUTINE R4GP3(E,AH,AXP,AZP,RP,F,IC)
0002      DIMENSION RP(6,6)
0003      CALL FST4(E,AH,AZP,RP,F,IC,B1,B2)
0004      JZ=6
0005      IF(IC)10,10,11
0006      10 RP(1,1)=E*AXP/AH
0007      RP(4,1)=-RP(1,1)
0008      RP(1,4)=RP(4,1)
0009      RP(4,4)=RP(1,1)
0010      RP(2,2)=B2*E*AZP/AH
0011      RP(3,2)=-B2*E*AZP/AH**2
0012      RP(6,2)=-RP(3,2)
0013      RP(2,3)=RP(3,2)
0014      RP(3,3)=B1*E*AZP/AH**3
0015      RP(6,3)=-RP(3,3)
0016      RP(2,6)=RP(6,2)
0017      RP(3,6)=RP(6,3)
0018      RP(6,6)=RP(3,3)
0019      GO TO 12
0020      11 WRITE(JZ,4)
0021      4  FORMAT(///, ' RIGP3 - PILAR COM CARGA CRITICA*')
0022      12 RETURN
0023      END

```

** NO ERRORS*

PAGE 0001

(FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```

0001      SUBROUTINE R4GP4(E,AH,AXP,AZP,RP,F,IC)
0002      DIMENSION RP(6,6)
0003      JF=6
0004      PI=3.1416/2.
0005      AF=AH*SQRT(ABS(F)/(E*AZP))/2.
0006      IF(AF-PI)10,11,11
0007      10 DO 12 I=1,6
0008      DO 12 J=1,6
0009      RP(I,J)=0.
0010      12 CONTINUE
0011      RP(1,1)=E*AXP/AH
0012      RP(4,1)=-RP(1,1)
0013      RP(1,4)=RP(4,1)
0014      RP(4,4)=RP(1,1)
0015      GO TO 13
0016      11 IC=1
0017      WRITE(JF,4)
0018      4  FORMAT(///, ' RIGP4 - PILAR COM CARGA CRITICA*')
0019      13 RETURN
0020      END

```

** NO ERRORS*

```

0001      SUBROUTINE R4GP1(E, AH, AXP, AZP, RP, F, IC)
0002 C   MATRIZ DE RIGIDEZ - PILAR SEM ROTULA PLASTICA
0003      DIMENSION RP(6,6)
0004      PI=3.1416
0005      JF=6
0006      DO 10 I=1,6
0007      DO 10 J=1,6
0008      -- RP(I,J)=0.
0009      10 CONTINUE
0010 C   VERIFICO SE O ESFORCO AXIAL E PROXIMO DE ZERO.
0011 C   EM CASO AFIRMATIVO S=4, C=0.5, E M=1
0012      AF=AH*SQRT(ABS(F)/(E*AZP))/2.
0013 C   PARA VALORES DE AF MENOR QUE 0.05, AS EXPRESSOES DE S E C
0014 C   CALCULAM VALORES IRREAIS...
0015      IF(AF-0.05)11,11,12
0016      11 B2=4.
0017      B3=6.
0018      B4=2.
0019      B5=12.
0020      GO TO 21
0021      12 IF(F)13,14,14
0022      13 B2=(1.-2*AF*(1./TANH(2*AF)))*AF/(TANH(AF)-AF)
0023      B31=AF**2*(1.-1./SQRT(1.-(TANH(2*AF))**2))*(1.-(TANH(AF))**2)
0024      B32=TANH(AF)*(TANH(AF)-AF)
0025      B3=B31/B32
0026      B41=AF*(2*AF-TANH(2*AF))/SQRT(1.-TANH(2*AF)**2)*(1.-TANH(AF)**2)
0027      B4=B41/(2*B32)
0028      B51=2*B3/(2*B3+4.*AF**2)
0029      B5=2.*B3/B51
0030      GO TO 21
0031      14 IF(AF-PI)16,15,15
0032 C   SE ALFA E MAIOR QUE PI, A CARGA CRITICA DESSE PILAR JA FOI ATINGIDA
0033      15 IC=1
0034      GO TO 20
0035      16 B2=AF*(SIN(2*AF)-2*AF*COS(2*AF))/(2*SIN(AF)*(SIN(AF)-AF*COS(AF)))
0036      B3=AF**2*(1.-COS(2*AF))/(SIN(AF)*(SIN(AF)-AF*COS(AF)))
0037      B4=AF*(2*AF-SIN(2*AF))/(2*SIN(AF)*(SIN(AF)-AF*COS(AF)))
0038      B51=2*B3/(2*B3-4*AF**2)
0039      B5=2*B3/B51
0040      21 RP(1,1)=E*AXP/AH
0041      RP(4,1)=-RP(1,1)
0042      RP(2,2)=B2*E*AZP/AH
0043      RP(3,2)=-B3*E*AZP/AH**2
0044      RP(5,2)=B4*E*AZP/AH
0045      RP(6,2)=-RP(3,2)
0046      RP(2,3)=RP(3,2)
0047      RP(3,3)=B5*E*AZP/AH**3
0048      RP(5,3)=RP(3,2)
0049      RP(1,4)=RP(4,1)
0050      RP(6,3)=-RP(3,3)
0051      RP(4,4)=RP(1,1)

```

PAGE 0002 R4GP1 (FTN4--RELEASE 241778--JULY, 1971)

```
0052      RP(2,5)=RP(5,2)
0053      RP(3,5)=RP(5,3)
0054      RP(5,5)=RP(2,2)
0055      RP(6,5)=RP(6,2)
0056      RP(2,6)=RP(6,2)
0057      RP(3,6)=RP(6,3)
0058      RP(5,6)=RP(6,5)
0059      RP(6,6)=RP(3,3)
0060      20 IF(IC)18,18,17
0061      17 WRITE(JF,4)
0062      4  FORMAT(///, * RIGP1 - PILAR COM CARGA CRITICA*)
0063      18 RETURN
0064      END
```

** NO ERRORS*

PAGE 0001 (FTN4--RELEASE 241778--JULY, 1971)

```
0001      SUBROUTINE R4GP2(E,AH,AXP,AZP,RP,F,IC)
0002      DIMENSION RP(6,6)
0003      JF=6
0004      CALL FST4(E,AH,AZP,RP,F,IC,B1,B2)
0005      IF(IC)10,10,12
0006      10 RP(1,1)=E*AXP/AH
0007      RP(4,1)=-RP(1,1)
0008      RP(1,4)=RP(4,1)
0009      RP(4,4)=RP(1,1)
0010      RP(3,3)=B1*E*AZP/AH**3
0011      RP(5,3)=-B2*E*AZP/AH**2
0012      RP(6,3)=-RP(3,3)
0013      RP(3,5)=RP(5,3)
0014      RP(5,5)=B2*E*AZP/AH
0015      RP(6,5)=-RP(5,3)
0016      RP(3,6)=RP(6,3)
0017      RP(5,6)=RP(6,5)
0018      RP(6,6)=RP(3,3)
0019      GO TO 14
0020      12 WRITE(JF,4)
0021      4  FORMAT(///, * RIGP2 - PILAR COM CARGA CRITICA*)
0022      14 RETURN
0023      END
```

** NO ERRORS*

```

0001      SUBROUTINE FEST4(S, AH, AZP, RP, F, IC, B1, B2)
0002      DIMENSION RP(6,6)
0003      DO 10 I=1,6
0004      DO 10 J=1,6
0005      RP(I,J)=0.
0006      10 CONTINUE
0007      C  VERIFICO SE O ESFORCO AXIAL E NULO;
0008      C  EM CASO AFIRMATIVO S=4, C=0.5 E M=1
0009      AF=AH*SQRT(ABS(F)/(E*AZP))/2.
0010      IF(AF-0.05)11,11,12
0011      11 B1=3.
0012      B2=3.
0013      GO TO 17
0014      12 IF(F)13,14,14
0015      13 B11=2*TANH(AF)*SQRT(1.-(TANH(2*AF))**2)
0016      B12=(1.-(TANH(AF)**2))*(TANH(2*AF)-2*AF)
0017      B1=-4*AF**2*(B11/B12-1.)
0018      B21=8*(AF**2)*TANH(AF)*SQRT(1.-(TANH(2*AF))**2)
0019      B22=(1.-(TANH(AF))**2)*(TANH(2*AF)-2*AF)
0020      B2=-B21/B22
0021      GO TO 17
0022      C  SE ALFA FOR MAIOR QUE 2.2467, A CARGA CRITICA DESSE PILAR
0023      C  FOI ATINGIDA
0024      14 IF(AF-2.2467)16,15,15
0025      15 IC=1
0026      GO TO 17
0027      16 B1=4*AF**2*(2*COS(AF)*SIN(AF)/(SIN(2*AF)-2*AF*COS(2*AF))-1.)
0028      B2=8*AF**2*COS(AF)*SIN(AF)/(SIN(2*AF)-2*AF*COS(2*AF))
0029      17 RETURN
0030      END

```

** NO ERRORS*

```

0001 FTN4,L
0002 PROGRAM SEG5(5)
0003 INTEGER S6(3)
0004 COMMON NA, BR, NB, NTC, NNOS, NC, NDV, N, NPP, NF, NR, NTR
0005 COMMON RR(36,38), RJ(42,42)
0006 COMMON T(2), H(6), AXP(3,6), AZP(3,6), AZV(2,6), AMP(2,18),
0007 *EMOD, DV(42), ESFF(2,18,6), EPA(18), EAP(18), DF(42),
0008 *NIBAC(38), IVOUP(38), ICORD(38), NIBAB(38), MF(38),
0009 *K1(38), K2(38), K3(38), PF(42), PV(42), ESFV(2,18,6),
0010 *DW(2,18,5), ICONT(36), IC
0011 DATA S6/2HSE,2HG6,2H /
0012 JF=6
0013 WRITE(JF,7)H
0014 7 FORMAT(" FECRO - RR - PASSO=",I2)
0015 WRITE(JF,101)NTR
0016 101 FORMAT(" TESTE-FECRO, NTR=",I3)
0017 DO 40 L9=1,N
0018 40 WRITE(JF,8)(RR(L9,L8),L8=1,NTR)
0019 8 FORMAT(1X,10E12.4)
0020 N2=N-1
0021 N3=NR-ICONT(N2)
0022 DO 10 J=1,N3
0023 C VERIFICA SE RR(N2,J) E RR(N,J) MUDARAM RELATIVAMENTE
0024 C SEUS SINAIS. SE MUDARAM, FECHOU ESSA ROTULA.
0025 NEG=0
0026 A2=ABS(RR(N2,J))
0027 B2=RR(N2,J)-A2
0028 IF(B2)30,31,30
0029 30 NEG=1
0030 31 A3=ABS(RR(N,J))
0031 B3=RR(N,J)-A3
0032 IF(B3)32,33,32
0033 32 NEG=NEG+1
0034 33 IF(NEG-1)34,15,34
0035 34 AY=A2-A3
0036 IF(AY)10,10,15
0037 15 K=ICORD(J)
0038 M1=IVOUP(J)
0039 IF(IVOUP(J)-1)11,12,11
0040 11 NI=NIBAB(J)
0041 GO TO 13
0042 12 NI=NIBAC(J)
0043 C K1=IVOUP,K2=NI,K3=ICORD
0044 C VERIFICA PARA NAO FECHAR UMA ROTULA JA FECHADA
0045 13 IF(K1(J)-M1)20,21,20
0046 21 IF(K2(J)-NI)20,22,20
0047 22 IF(K3(J)-K)20,10,20
0048 C SE A SIADA FOR PELO COMANDO 10, INDICA QUE ESSA ROTULA
0049 C JA HAVIA SE FECHADO...
0050 20 K1(J)=M1
0051 K2(J)=NI
0052 K3(J)=K
0053 WRITE(JF,5)

```

PAGE 0002 SEGS (FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0054 5 FORMAT(//, ' FECRO-ROTACOES DA ROTULA QUE SE FECHA')
0055 WRITE(JF,6)RR(N2,J),RR(N,J)
0056 6 FORMAT(6X,2E14.7)
0057 WRITE(JF,2)K1(J),K2(J),K3(J)
0058 2 FORMAT(//, ' K1=',I2,' K2=',I2,' K3=',I2)
0059 MF(J)=N
0060 MF=J
0061 WRITE(JF,1)MF,N,MF(J)
0062 1 FORMAT(//, ' FECRO-FECHOU A ROTULA',I2,' NO PASSO',I2,
0063 * ' MF=',I2)
0064 CALL EXEC(8,S6)
0065 10 CONTINUE
0066 CALL EXEC(29)
0067 CALL SEGO
0068 END
```

** NO ERRORS*

```

0001 FTN4,L
0002 PROGRAM SEC6(5)
0003 DIMENSION RV(4,4),RP(6,6)
0004 COMMON NA,BR,NB,NTC,NNOS,NC,NDV,N,HPP,NF,HR,NTR
0005 COMMON RR(36,38),RJ(42,42)
0006 COMMON T(2),H(6),AXP(3,6),AZP(3,6),AZV(2,6),AMP(2,18),
0007 *EMD,DV(42),ESFF(2,18,6),EPA(18),EAP(18),DF(42),
0008 *HIBAC(38),IVOUP(38),ICORD(38),NIBAB(38),MF(38),
0009 *K1(38),K2(38),K3(38),PF(42),PV(42),ESFV(2,18,6),
0010 *DV(2,18,5),ICONT(36),IC
0011 C DECIDE SE O CALL VEM DO PRGM PRINCIPAL OU DA FECHRO
0012 UZ=AMP(1,1)
0013 JF=6
0014 IF(NF)10,11,10
0015 10 N1=NF
0016 LF1=1
0017 LF2=-1
0018 GO TO 12
0019 11 N1=NR
0020 LF1=-1
0021 LF2=1
0022 12 IF(IVOUP(N1)-1)13,14,13
0023 C VERIFICA SE A VIGA TEM ROTULA NA OUTRA COORDENADA
0024 13 NI=NIBAB(N1)
0025 IT=BR
0026 DO 100 I=1,NR
0027 IF(NIBAB(I)-NIBAB(N1))100,16,100
0028 16 IF(I-N1)17,100,17
0029 17 IF(ICORD(I)-ICORD(N1))18,100,18
0030 18 IF(MF(I))100,19,100
0031 19 IT=1
0032 100 CONTINUE
0033 IF(IT)73,74,73
0034 73 IVC2R=1
0035 GO TO 20
0036 74 IVC2R=BR
0037 C LOCALIZA A PRUMADA DA VIGA NO PAINEL
0038 20 DO 101 IN=1,NB
0039 NX=IN*NA
0040 IF(NIBAB(N1)-NX)21,21,101
0041 101 CONTINUE
0042 21 L=IN
0043 AUX1=T(L)
0044 C LOCALIZA O ANDAR DA VIGA NO PAINEL
0045 W7=NIBAB(N1)
0046 AX=W7/NA
0047 AXI=FRAC6(AX)
0048 NIV=AXI*NA+.2
0049 IF(NIV)22,23,22
0050 23 NIV=NA
0051 22 AUX2=AZV(L,NIV)
0052 NFV=NIBAB(N1)+NA
0053 J2=2*NIBAB(N1)

```

```

0054      J1=J2-1
0055      K2=2*NF9
0056      K1=K2-1
0057 C VERIFICA SE A VIGA JA TEN UMA ROTULA
0058      IF(IVC2R-1)24,25,24
0059      25 IF(ICORD(N1)-2)26,27,26
0060      26 CALL R6GV2(EMOD,AUX1,AUX2,RV)
0061      GO TO 28
0062      27 CALL R6GV3(EMOD,AUX1,AUX2,RV)
0063      28 LX=LF1
0064      LY=1
0065      GO TO 29
0066      24 CALL R6GV1(EMOD,AUX1,AUX2,RV)
0067      LX=LF1
0068      LY=0
0069      29 RJ(J1,J1)=RJ(J1,J1)+LX*RV(1,1)
0070      RJ(J1,J2)=RJ(J1,J2)+LX*RV(1,2)
0071      RJ(J1,K1)=RJ(J1,K1)+LX*RV(1,3)
0072      RJ(J1,K2)=RJ(J1,K2)+LX*RV(1,4)
0073      RJ(J2,J1)=RJ(J1,J2)
0074      RJ(J2,J2)=RJ(J2,J2)+LX*RV(2,2)
0075      RJ(J2,K1)=RJ(J2,K1)+LX*RV(2,3)
0076      RJ(J2,K2)=RJ(J2,K2)+LX*RV(2,4)
0077      RJ(K1,J1)=RJ(J1,K1)
0078      RJ(K1,J2)=RJ(J2,K1)
0079      RJ(K1,K1)=RJ(K1,K1)+LX*RV(3,3)
0080      RJ(K1,K2)=RJ(K1,K2)+LX*RV(3,4)
0081      RJ(K2,J1)=RJ(J1,K2)
0082      RJ(K2,J2)=RJ(J2,K2)
0083      RJ(K2,K1)=RJ(K1,K2)
0084      RJ(K2,K2)=RJ(K2,K2)+LX*RV(4,4)
0085      IF(LY-1)30,31,30
0086      30 IF(ICORD(N1)-2)32,33,32
0087      32 CALL R6GV3(EMOD,AUX1,AUX2,RV)
0088      GO TO 34
0089      33 CALL R6GV2(EMOD,AUX1,AUX2,RV)
0090      34 LX=LF2
0091      LY=1
0092      GO TO 29
0093 C VERIFICA SE O PILAR JA TEM ROTULA NA OUTRA COORDENADA
0094      14 NI=NIBAC(N1)
0095      IT=BR
0096      DO 102 I=1,NP
0097      IF(NIBAC(I)-NIBAC(N1))102,36,102
0098      36 IF(I-N1)37,102,37
0099      37 IF(ICORD(I)-ICORD(N1))38,102,38
0100      38 IF(MF(I))102,39,102
0101      39 IT=1
0102      102 CONTINUE
0103      IF(IT)71,72,71
0104      71 IPC2R=1
0105      GO TO 40
0106      72 IPC2R=BR

```



```

0107 C LOCALIZA A PRUMADA DO PILAR NO PAINEL
0108 40 DO 103 IN=1,NPP
0109 NX=IN*NA
0110 IF(NIBAC(NI)-NX)41,41,103
0111 103 CONTINUE
0112 41 L=IN
0113 C LOCALIZA O ANDAR DO PILAR
0114 U7=NIBAC(NI)
0115 AX=U7/NA
0116 AXI=FRAC6(AX)
0117 NIP=AXI*NA+.2
0118 IF(NIP)42,43,42
0119 43 NIP=NA
0120 42 AUX1=H(NIP)
0121 AUX2=AXP(L,NIP)
0122 AUX3=AZP(L,NIP)
0123 NFP=NIBAC(NI)+1
0124 J2=2*NIBAC(NI)
0125 J1=J2-1
0126 J3=2*NNOS+NIP
0127 K2=2*NFP
0128 K1=K2-1
0129 K3=J3+1
0130 F=EPA(NI)
0131 C VERIFICA SE O PILAR JA TEM ROTULA
0132 IF(IPC2R-1)44,45,44
0133 45 IF(ICORD(NI)-2)46,47,46
0134 46 CALL R6GP2CEMOD,AUX1,AUX2,AUX3,RP,F,IC)
0135 GO TO 48
0136 47 CALL R6GP3CEMOD,AUX1,AUX2,AUX3,RP,F,IC)
0137 48 LX=LF1
0138 LY=0
0139 GO TO 49
0140 44 CALL R6GP1CEMOD,AUX1,AUX2,AUX3,RP,F,IC)
0141 LX=LF1
0142 LY=0
0143 49 RJ(J1,J1)=RJ(J1,J1)+LX*RP(1,1)
0144 RJ(J2,J1)=RJ(J2,J1)+LX*RP(2,1)
0145 RJ(J3,J1)=RJ(J3,J1)+LX*RP(3,1)
0146 RJ(J1,J2)=RJ(J2,J1)
0147 RJ(J2,J2)=RJ(J2,J2)+LX*RP(2,2)
0148 RJ(J3,J2)=RJ(J3,J2)+LX*RP(3,2)
0149 RJ(J1,J3)=RJ(J3,J1)
0150 RJ(J2,J3)=RJ(J3,J2)
0151 RJ(J3,J3)=RJ(J3,J3)+LX*RP(3,3)
0152 C VERIFICA SE E O ULTIMO ANDAR
0153 IF(NIP-NA)50,51,51
0154 50 RJ(K1,J1)=RJ(K1,J1)+LX*RP(4,1)
0155 RJ(K2,J1)=RJ(K2,J1)+LX*RP(5,1)
0156 RJ(K3,J1)=RJ(K3,J1)+LX*RP(6,1)
0157 RJ(K1,J2)=RJ(K1,J2)+LX*RP(4,2)
0158 RJ(K2,J2)=RJ(K2,J2)+LX*RP(5,2)
0159 RJ(K3,J2)=RJ(K3,J2)+LX*RP(6,2)

```

```

0160      RJ(K1,J3)=RJ(K1,J3)+LX*RP(4,3)
0161      RJ(K2,J3)=RJ(K2,J3)+LX*RP(5,3)
0162      RJ(K3,J3)=RJ(K3,J3)+LX*RP(6,3)
0163      RJ(J1,K1)=RJ(K1,J1)
0164      RJ(J2,K1)=RJ(K1,J2)
0165      RJ(J3,K1)=RJ(K1,J3)
0166      RJ(K1,K1)=RJ(K1,K1)+LX*RP(4,4)
0167      RJ(K2,K1)=RJ(K2,K1)+LX*RP(5,4)
0168      RJ(K3,K1)=RJ(K3,K1)+LX*RP(6,4)
0169      RJ(J1,K2)=RJ(K2,J1)
0170      RJ(J2,K2)=RJ(K2,J2)
0171      RJ(J3,K2)=RJ(K2,J3)
0172      RJ(K1,K2)=RJ(K2,K1)
0173      RJ(K2,K2)=RJ(K2,K2)+LX*RP(5,5)
0174      RJ(K3,K2)=RJ(K3,K2)+LX*RP(6,5)
0175      RJ(J1,K3)=RJ(K3,J1)
0176      RJ(J2,K3)=RJ(K3,J2)
0177      RJ(J3,K3)=RJ(K3,J3)
0178      RJ(K1,K3)=RJ(K3,K1)
0179      RJ(K2,K3)=RJ(K3,K2)
0180      RJ(K3,K3)=RJ(K3,K3)+LX*RP(6,6)
0181      51 IF(LY-1)52,31,52
0182      52 IF(IPC2R-1)61,62,61
0183      62 CALL R6GP4(EMOD,AUX1,AUX2,AUX3,RP,F,IC)
0184      GO TO 56
0185      61 IF(ICORD(N1)-2)54,55,54
0186      55 CALL R6GP2(EMOD,AUX1,AUX2,AUX3,RP,F,IC)
0187      GO TO 56
0188      54 CALL R6GP3(EMOD,AUX1,AUX2,AUX3,RP,F,IC)
0189      56 LX=LF2
0190      LY=1
0191      GO TO 49
0192      C LISTAGENS PARA AVERIGUACOES
0193      31 MI=IVOUP(N1)
0194      IF(NTR-N1)57,58,57
0195      58 WRITE(JF,1)N
0196      1 FORMAT(///," AMRP - FORMOU-SE MAIS UMA ROTULA, PASSO=",I3)
0197      GO TO 59
0198      57 WRITE(JF,2)NF
0199      2 FORMAT(///," AMRP - FECHOU ROTULA, FORMADA NO PASSO=",I3)
0200      59 WRITE(JF,3)MF(N1),M1,NI,ICORD(N1)
0201      3 FORMAT(///," AMRP-MF=",I2," IVOUP=",I2," NI=",I2,
0202      *" ICORD=",I2)
0203      CALL EXEC(29)
0204      CALL SEGO
0205      END

```

** NO ERRORS*

PAGE 0001

(FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0001      FUNCTION FRAC6(A)
0002      I=A
0003      FRAC6=A-I
0004      RETURN
0005      END
```

** NO ERRORS*

PAGE 0001

(FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0001      SUBROUTINE R6GV1(EMOD,AUX1,AUX2,RV)
0002      DIMENSION RV(4,4)
0003      JF=6
0004      CTE=EMOD*AUX2
0005      RV(1,1)=CTE*12/AUX1**3
0006      RV(2,1)=-CTE*6/AUX1**2
0007      RV(3,1)=-RV(1,1)
0008      RV(4,1)=RV(2,1)
0009      RV(1,2)=RV(2,1)
0010      RV(2,2)=CTE*4/AUX1
0011      RV(3,2)=-RV(2,1)
0012      RV(4,2)=CTE*2/AUX1
0013      RV(1,3)=RV(3,1)
0014      RV(2,3)=RV(3,2)
0015      RV(3,3)=RV(1,1)
0016      RV(4,3)=RV(3,2)
0017      RV(1,4)=RV(2,1)
0018      RV(2,4)=RV(4,2)
0019      RV(3,4)=RV(3,2)
0020      RV(4,4)=RV(2,2)
0021      WRITE(JF,1)
0022      1 FORMAT(//, "      MATRIZ RIGV1")
0023      WRITE(JF,2)((RV(I,J),J=1,4),I=1,4)
0024      2 FORMAT(6X,4E11.4)
0025      RETURN
0026      END
```

** NO ERRORS*

PAGE 0002 R6GP1 (FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0052      RP(2,5)=RP(3,2)
0053      RP(3,5)=RP(5,3)
0054      RP(5,5)=RP(2,2)
0055      RP(6,5)=RP(6,2)
0056      RP(2,6)=RP(6,2)
0057      RP(3,6)=RP(6,3)
0058      RP(5,6)=RP(6,5)
0059      RP(6,6)=RP(3,3)
0060      20 IF(IC)18,18,17
0061      17 WRITE(JF,4)
0062      4  FORMAT(///,"  RIGP1 - PILAR COM CARGA CRITICA")
0063      GO TO 19
0064      18 WRITE(JF,2)
0065      2  FORMAT(///,"  MATRIZ RIGP1")
0066      WRITE(JF,3)((RP(I,J),J=1,6),I=1,6)
0067      3  FORMAT(6X,6E14.7)
0068      19 RETURN
0069      END
```

** NO ERRORS*

PAGE 0001 (FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0001      SUBROUTINE R6GP2(E,AH,AXP,AZP,RP,F,IC)
0002      DIMENSION RP(6,6)
0003      JF=6
0004      CALL FST6(E,AH,AZP,RP,F,IC,B1,B2)
0005      IF(IC)10,10,12
0006      10 RP(1,1)=E*AXP/AH
0007      RP(4,1)=-RP(1,1)
0008      RP(1,4)=RP(4,1)
0009      RP(4,4)=RP(1,1)
0010      RP(3,3)=B1*E*AZP/AH**3
0011      RP(5,3)=-B2*E*AZP/AH**2
0012      RP(6,3)=-RP(3,3)
0013      RP(3,5)=RP(5,3)
0014      RP(5,5)=B2*E*AZP/AH
0015      RP(6,5)=-RP(5,3)
0016      RP(3,6)=RP(6,3)
0017      RP(5,6)=RP(6,5)
0018      RP(6,6)=RP(3,3)
0019      WRITE(JF,2)
0020      2  FORMAT(///,"  MATRIZ RIGP2")
0021      WRITE(JF,3)((RP(I,J),J=1,6),I=1,6)
0022      3  FORMAT(6X,6E14.7)
0023      GO TO 14
0024      12 WRITE(JF,4)
0025      4  FORMAT(///,"  RIGP2 - PILAR COM CARGA CRITICA")
0026      14 RETURN
0027      END
```

** NO ERRORS*

PAGE 0001

(FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0001      SUBROUTINE R6GV3(EMOD,AUX1,AUX2,RV)
0002      DIMENSION RV(4,4)
0003      JF=6
0004      CTE=EMOD*AUX2
0005      DO 10 I=1,4
0006      RV(4,I)=0.
0007      RV(I,4)=0.
0008      10 CONTINUE
0009      RV(1,1)=CTE*3/AUX1**3
0010      RV(2,1)=-CTE*3/AUX1**2
0011      RV(3,1)=-RV(1,1)
0012      RV(1,2)=RV(2,1)
0013      RV(2,2)=CTE*3/AUX1
0014      RV(3,2)=-RV(2,1)
0015      RV(1,3)=RV(3,1)
0016      RV(2,3)=RV(3,2)
0017      RV(3,3)=RV(1,1)
0018      WRITE(JF,1)
0019      1 FORMAT(///,"  MATRIZ RIGV3")
0020      WRITE(JF,2)((RV(I,J),J=1,4),I=1,4)
0021      2 FORMAT(6X,4E11.4)
0022      RETURN
0023      END
```

** NO ERRORS*

PAGE 0001

(FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0001      SUBROUTINE R6GP4(E,AH,AXP,AZP,RP,F,IC)
0002      DIMENSION RP(6,6)
0003      JF=6
0004      PI=3.1416/2.
0005      AF=AH*SQRT(ABS(F)/CE/AZP))/2.
0006      IF(AF-PI)10,11,11
0007      10 DO 12 I=1,6
0008      DO 12 J=1,6
0009      RP(I,J)=0.
0010      12 CONTINUE
0011      RP(1,1)=E*AXP/AH
0012      RP(4,1)=-RP(1,1)
0013      RP(1,4)=RP(4,1)
0014      RP(4,4)=RP(1,1)
0015      WRITE(JF,2)
0016      2 FORMAT(///,"  MATRIZ RIGP4")
0017      WRITE(JF,3)((RP(I,J),J=1,6),I=1,6)
0018      3 FORMAT(6X,6E14.7)
0019      GO TO 13
0020      11 IC=1
0021      WRITE(JF,4)
0022      4 FORMAT(///,"  RIGP4 - PILAR COM CARGA CRITICA")
0023      13 RETURN
0024      END
```

** NO ERRORS*

PAGE 0001

(FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0001      SUBROUTINE RGGV2(EMOD,AUX1,AUX2,RV)
0002      DIMENSION RV(4,4)
0003      JF=6
0004      CTE=EMOD*AUX2
0005      DO 10 I=1,4
0006      RV(2,I)=0.
0007      RV(1,2)=0.
0008  10 CONTINUE
0009      RV(1,1)=CTE*3/AUX1**3
0010      RV(3,1)=-RV(1,1)
0011      RV(4,1)=-CTE*3/AUX1**2
0012      RV(1,3)=RV(3,1)
0013      RV(3,3)=RV(1,1)
0014      RV(4,3)=-RV(4,1)
0015      RV(1,4)=RV(4,1)
0016      RV(3,4)=RV(4,3)
0017      RV(4,4)=CTE*3/AUX1
0018      WRITE(JF,1)
0019      1 FORMAT(//,' *   MATRIZ RIGV2*')
0020      WRITE(JF,2)((RV(I,J),J=1,4),I=1,4)
0021      2 FORMAT(6X,4E11.4)
0022      RETURN
0023      END
```

** NO ERRORS*

PAGE 0001 (FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0001      SUBROUTINE R6GP3(E, AH, AXP, AZP, RP, F, IC)
0002      DIMENSION RP(6,6)
0003      CALL FST6(E, AH, AZP, RP, F, IC, B1, B2)
0004      JZ=6
0005      IF(IC)10,10,11
0006      10 RP(1,1)=E*AXP/AH
0007         RP(4,1)=-RP(1,1)
0008         RP(1,4)=RP(4,1)
0009         RP(4,4)=RP(1,1)
0010         RP(2,2)=B2*E*AZP/AH
0011         RP(3,2)=-B2*E*AZP/AH**2
0012         RP(6,2)=-RP(3,2)
0013         RP(2,3)=RP(3,2)
0014         RP(3,3)=B1*E*AZP/AH**3
0015         RP(6,3)=-RP(3,3)
0016         RP(2,6)=RP(6,2)
0017         RP(3,6)=RP(6,3)
0018         RP(6,6)=RP(3,3)
0019         WRITE(JZ,2)
0020         2 FORMAT(///, '  MATRIZ RIGP3')
0021         WRITE(JZ,3)((RP(I,J),J=1,6),I=1,6)
0022         3 FORMAT(6X,6E14.7)
0023         GO TO 12
0024         11 WRITE(JZ,4)
0025         4 FORMAT(///, '  RIGP3 - PILAR COM CARGA CRITICA')
0026         12 RETURN
0027         END
```

** NO ERRORS*

```

0001      SUBROUTINE R6GP1(E,AH,AXP,AZP,RP,F,IC)
0002 C   MATRIZ DE RIGIDEZ - PILAR SEM ROTULA PLASTICA
0003      DIMENSION RP(6,6)
0004      PI=3.1416
0005      JF=6
0006      DO 10 I=1,6
0007      DO 10 J=1,6
0008      RP(I,J)=0.
0009      10 CONTINUE
0010 C   VERIFICO SE O ESFORCO AXIAL E PROXIMO DE ZERO.
0011 C   EM CASO AFIRMATIVO S=4, C=0.5, E M=1
0012      AF=AH*SQRT(ABS(F)/(E*AZP))/2.
0013 C   PARA VALORES DE AF MENOR QUE 0.05, AS EXPRESSOES DE S E C
0014 C   CALCULAM VALORES IRREAIS...
0015      TF(AF-0.05)11,11,12
0016      11 B2=4.
0017      B3=6.
0018      B4=2.
0019      B5=12.
0020      GO TO 21
0021      12 IF(F)13,14,14
0022      13 B2=(1.-2*AF*(1./TANH(2*AF)))*AF/(TANH(AF)-AF)
0023      B31=AF**2*(1.-1./SQRT(1.-(TANH(2*AF))**2))*(1.-(TANH(AF))**2)
0024      B32=TANH(AF)*(TANH(AF)-AF)
0025      B3=B31/B32
0026      B41=AF*(2*AF-TANH(2*AF)/SQRT(1.-TANH(2*AF)**2))*(1.-TANH(AF)**2)
0027      B4=B41/(2*B32)
0028      B51=2*B3/(2*B3+4.*AF**2)
0029      B5=2.*B3/B51
0030      GO TO 21
0031      14 IF(AF-PI)16,15,15
0032 C   SE ALFA E MAIOR QUE PI, A CARGA CRITICA DESSE PILAR JA FOI ATINGIDA
0033      15 IC=1
0034      GO TO 20
0035      16 B2=AF*(SIN(2*AF)-2*AF*COS(2*AF))/(2*SIN(AF)*(SIN(AF)-AF*COS(AF)))
0036      B3=AF**2*(1.-COS(2*AF))/(SIN(AF)*(SIN(AF)-AF*COS(AF)))
0037      B4=AF*(2*AF-SIN(2*AF))/(2*SIN(AF)*(SIN(AF)-AF*COS(AF)))
0038      B51=2*B3/(2*B3-4*AF**2)
0039      B5=2*B3/B51
0040      21 RP(1,1)=E*AXP/AH
0041      RP(4,1)=-RP(1,1)
0042      RP(2,2)=B2*E*AZP/AH
0043      RP(3,2)=-B3*E*AZP/AH**2
0044      RP(5,2)=B4*E*AZP/AH
0045      RP(6,2)=-RP(3,2)
0046      RP(2,3)=RP(3,2)
0047      RP(3,3)=B5*E*AZP/AH**3
0048      RP(5,3)=RP(3,2)
0049      RP(1,4)=RP(4,1)
0050      RP(6,3)=-RP(3,3)
0051      RP(4,4)=RP(1,1)

```



```

0001      SUBROUTINE FST6(C,E,AH,AZP,RP,F,IC,B1,B2)
0002      DIMENSION RP(6,6)
0003      DO 10 I=1,6
0004      DO 10 J=1,6
0005      RP(I,J)=0.
0006      10 CONTINUE
0007      C VERIFICO SE O ESFORCO AXIAL E NULO;
0008      C EM CASO AFIRMATIVO S=4, C=0.5 E M=1
0009      AF=AH*SQRT(ABS(F)/(E*AZP))/2.
0010      IF(AF-0.05)11,11,12
0011      11 B1=3.
0012      B2=3.
0013      GO TO 17
0014      12 IF(F)13,14,14
0015      13 B11=2*TANH(AF)*SQRT(1.-(TANH(2*AF))**2)
0016      B12=(1.-(TANH(AF)**2))*(TANH(2*AF)-2*AF)
0017      B1=-4*AF**2*(B11/B12-1.)
0018      B21=8*(AF**2)*TANH(AF)*SQRT(1.-(TANH(2*AF))**2)
0019      B22=(1.-(TANH(AF))**2)*(TANH(2*AF)-2*AF)
0020      B2=-B21/B22
0021      GO TO 17
0022      C SE ALFA FOR MAIOR QUE 2.2467, A CARGA CRITICA DESSE PILAR
0023      C FOI ATINGIDA
0024      14 IF(AF-2.2467)16,15,15
0025      15 IC=1
0026      GO TO 17
0027      16 B1=4*AF**2*(2*COS(AF)*SIN(AF)/(SIN(2*AF)-2*AF*COS(2*AF))-1.)
0028      B2=8*AF**2*COS(AF)*SIN(AF)/(SIN(2*AF)-2*AF*COS(2*AF))
0029      17 RETURN
0030      END.

```

** NO ERRORS*

```
0001 FTN4,L
0002 PROGRAM SEG7(5)
0003 COMMON NA, BR, NB, NTC, NNOS, NC, NDV, N, NPP, NF, NR, NTR
0004 COMMON RR(36,38), RJ(42,42)
0005 COMMON T(2), H(6), AXP(3,6), AZP(3,6), AZV(2,6), AMP(2,18),
0006 *EMOD, DV(42), ESFF(2,18,6), EPA(18), EAP(18), DF(42),
0007 *NIBAC(38), IVUUP(38), ICORD(38), NIBAB(38), MF(38),
0008 *K1(38), K2(38), K3(38), PF(42), PV(42), ESFV(2,18,6),
0009 *DU(2,18,5), ICONT(36), IC, DWI, NUIT
0010 COMMON MT, ICTT, SIG, DYH, D22, D33, OSCIL
0011 C LEIA-SE O VALOR MAXIMO PRESUMIVEL PARA "NR"
0012 KCOD3=5
0013 KCOD4=6
0014 READ(KCOD3,3)SIG,OSCIL
0015 READ(KCOD3,8)HPP,NR
0016 8 FORMAT(3I3)
0017 READ(KCOD3,1)EMOD,8R,NA
0018 1 FORMAT(F6.0,F2.0,I2)
0019 NB=NPP-1
0020 READ(KCOD3,2)(T(I),I=1,NB)
0021 2 FORMAT(18F4.0)
0022 READ(KCOD3,2)(CH(I),I=1,NA)
0023 READ(KCOD3,3)((AXP(I,K),K=1,NA),I=1,NPP)
0024 3 FORMAT(12F6.0)
0025 READ(KCOD3,3)((AZP(I,K),K=1,NA),I=1,NPP)
0026 READ(KCOD3,3)((AZV(K,I),I=1,NA),K=1,NB)
0027 NC=NA*NPP
0028 NDV=NA*NB
0029 C LEITURA DOS VALORES DE "MP"
0030 READ(KCOD3,4)(AMP(I,I),I=1,NC)
0031 4 FORMAT(10E7.3)
0032 READ(KCOD3,4)(AMP(2,I),I=1,NDV)
0033 NNOS=NA*NPP
0034 NTC=2*NNOS+NA
0035 C ZERAR OS VETORES DE CARGA
0036 DO 103 J=1,NTC
0037 PV(J)=BR
0038 PF(J)=BR
0039 103 CONTINUE
0040 CARREGAMENTO VERTICAL, A1,3=VERT., A2,4=MON.
0041 READ(KCOD3,5)NNC,NAC
0042 5 FORMAT(2I2)
0043 IF(NNC)20,20,21
0044 21 DO 104 I=1,NNC
0045 READ(KCOD3,6)NV,NH,A1,A2,A3,A4
0046 6 FORMAT(2I2,4F7.0)
0047 NI=(NV-1)*NA+NH
0048 J2=2*NI
0049 J1=J2-1
0050 PF(J1)=A1
0051 PF(J2)=A2
0052 PV(J1)=A3
0053 PV(J2)=A4
```

```

0054 C 0 CARREG E A ACOO DOS .ESFORCOS SOBRE OS NOS
0055 C OS SINAIIS DEVEN SER COERENTES C/ AS COORD GLOBAIS
0056 104 CONTINUE
0057 CARREGAMENTO HORIZONTAL
0058 20 IF(NAC)22,22,23
0059 23 DO 105 I=1,NAC
0060 READ(KCOD3,7)HAND,A5,A6
0061 7 FORMAT(I2,2F5.2)
0062 J3=2*NNOS+HAND
0063 PF(J3)=A5
0064 PV(J3)=A6
0065 105 CONTINUE
0066 C LISTAGENS
0067 22 WRITE(KCOD4,10)EMOD
0068 10 FORMAT(/,6X,"EMOD=",E14.7)
0069 WRITE(KCOD4,19)SIG
0070 WRITE(KCOD4,29)OSCIL
0071 29 FORMAT(6X,"OSCILACAO=",E12.4)
0072 19 FORMAT(6X,"SIGMA=",E14.7)
0073 WRITE(KCOD4,11)((AXP(I,J),J=1,NA),I=1,NPP)
0074 11 FORMAT(6X,"AXP=",9E12.4)
0075 WRITE(KCOD4,12)((AZP(I,J),J=1,NA),I=1,NPP)
0076 12 FORMAT(6X,"AZP=",9E12.4)
0077 WRITE(KCOD4,13)((AZV(J,I),I=1,NA),J=1,NB)
0078 13 FORMAT(6X,"AZV=",9E12.4)
0079 WRITE(KCOD4,14)(T(I),I=1,NB)
0080 14 FORMAT(6X,"T=",9E12.4)
0081 WRITE(KCOD4,15)(H(I),I=1,NA)
0082 15 FORMAT(6X,"H=",9E12.4)
0083 WRITE(KCOD4,16)((AMP(I,J),J=1,NC),I=1,2)
0084 16 FORMAT(6X,"AMP=",9E12.4)
0085 WRITE(KCOD4,17)(PV(I),I=1,NTC)
0086 17 FORMAT(6X,"PV=",9E12.4)
0087 WRITE(KCOD4,18)(PF(I),I=1,NTC)
0088 18 FORMAT(6X,"PF=",9E12.4)
0089 CALL EXEC(29)
0090 CALL SEGO
0091 END

```

** NO ERRORS*

```

0001 FTN4,L
0002 PROGRAM SEG8(5)
0003 REAL PY(18),AMP(2,18),DU1(12),DW2(12,4),DW3(18),DW4(18,5)
0004 COMMON HA,BR,HB,NTC,NNOS,NC,NDV,H,NPP,NF,HR,NTR
0005 COMMON RR(36,38),RJ(42,42)
0006 COMMON T(2),H(6),AXP(3,6),AZP(3,6),AZV(2,6),AM(2,18),
0007 =EMOD,DV(42),ESFF(2,18,6),EPA(18),EAP(18),DF(42),
0008 *NIBAC(38),IVDUP(38),ICORD(38),NIBAB(38),MF(38),
0009 *KI(38),K2(38),K3(38),PF(42),PV(42),ESFV(2,18,6),
0010 *DU(2,18,5),ITT(36),IC,DWI,NUIT
0011 COMMON MXY,ICTX,SGM,DWT,DWA,DWP,OSCIL
0012 KCOD=6
0013 NIBAB(NR)=BR
0014 NIBAC(NR)=BR
0015 I=0
0016 DO 60 K=1,NPP
0017 DO 60 J=1,HA
0018 I=I+1
0019 PY(I)=AXP(K,J)*SGM
0020 60 CONTINUE
0021 DO 70 I=1,2
0022 IF(I-1)61,61,62
0023 61 DO 70 J=1,NC
0024 IF(ABS(EPA(J)/PY(J))-0.1526)63,63,64
0025 63 AMP(1,J)=AM(1,J)
0026 GO TO 70
0027 64 AMP(1,J)=1.18*AM(1,J)*(1.-ABS(EPA(J)/PY(J)))
0028 IF(AMP(1,J))65,65,70
0029 65 AMP(1,J)=0.
0030 IC=1
0031 WRITE(KCOD,8)J
0032 8 FORMAT(//,," P=PY, NO PILAR - ",I3)
0033 GO TO 86
0034 70 CONTINUE
0035 62 DO 71 J=1,NDV
0036 71 AMP(2,J)=AM(2,J)
0037 WRITE(KCOD,7)((AMP(I,J),J=1,NC),I=1,2)
0038 7 FORMAT(" MP - REDUZIDO",/,5(E14.6,3X))
0039 DO 100 I=1,2
0040 IF(I-1)10,10,11
0041 10 DO 101 J=1,NC
0042 DO 101 K=2,5,3
0043 DIV=ESFV(I,J,K)
0044 IF(DIV)50,51,52
0045 51 DW(I,J,K)=1.E35
0046 GO TO 101
0047 50 DW(I,J,K)=(-AMP(1,J)-ESFF(I,J,K))/DIV
0048 GO TO 101
0049 52 DW(I,J,K)=(AMP(1,J)-ESFF(I,J,K))/DIV
0050 101 CONTINUE
0051 GO TO 14
0052 11 DO 102 J=1,NDV
0053 DO 102 K=2,4,2

```

```

0054      DIV=ESFV(I,J,K)
0055      IF(DIV)53,54,55
0056      54 DW(I,J,K)=1.E35
0057      GO TO 102
0058      53 DW(I,J,K)=(-AMP(I,J)-ESFF(I,J,K))/DIV
0059      GO TO 102
0060      55 DW(I,J,K)=(AMP(I,J)-ESFF(I,J,K))/DIV
0061      102 CONTINUE
0062      14 IF(I-1)17,17,18
0063      17 DO 103 J=1,NC
0064      K=2
0065      L=5
0066      IF(DW(I,J,K)-DW(I,J,L))19,20,20
0067      19 DW3(J)=DW(I,J,K)
0068      IA=K
0069      GO TO 21
0070      20 DW3(J)=DW(I,J,L)
0071      IA=L
0072      21 IF(J-1)22,22,23
0073      22 ICORP=IA
0074      NBARP=J
0075      DW4(NBARP,ICORP)=DW3(J)
0076      GO TO 103
0077      23 IF(DW4(NBARP,ICORP)-DW3(J))103,103,22
0078      103 CONTINUE
0079      100 CONTINUE
0080      18 DO 104 J=1,NDV
0081      K=2
0082      L=4
0083      IF(DW(I,J,K)-DW(I,J,L))24,25,25
0084      24 DW1(J)=DW(I,J,K)
0085      IA=K
0086      GO TO 26
0087      25 DW1(J)=DW(I,J,L)
0088      IA=L
0089      26 IF(J-1)27,27,28
0090      27 ICORV=IA
0091      NBARY=J
0092      DW2(NBARY,ICORV)=DW1(J)
0093      GO TO 104
0094      28 IF(DW2(NBARY,ICORV)-DW1(J))104,104,27
0095      104 CONTINUE
0096      IF(DW2(NBARY,ICORV)-DW4(NBARP,ICORP))29,29,30
0097      30 DWI=DW4(NBARP,ICORP)
0098      IVOUP(NR)=1
0099      NIBAC(NR)=NBARP
0100      ICORD(NR)=ICORP
0101      NIBAB(NR)=0
0102      GO TO 31
0103      29 DWI=DW2(NBARY,ICORV)
0104      IVOUP(NR)=2
0105      NIBAB(NR)=NBARY
0106      ICORD(NR)=ICORV

```

PAGE 0003 SEGB (FTN4--RELEASE 241778--JULY, 1971)

```
0107      NIBAC(NR)=0
0108      31 WRITE(KCOD,1)N
0109      1 FORMAT(///,"      MENOR INCREMENTO DE CARGA, PASSO=",I3)
0110      DWP=(OSCIL*DWI+DWA)/(OSCIL+1.)
0111      WRITE(KCOD,2)IYOU(NR),NIBAC(NR),NIBAB(NR),ICORD(NR),DWI,DWP
0112      2 FORMAT(///,"      IYOU=",I2,"      NIBAC=",I2,"      NIBAB=",I2,
0113      *"      ICORD=",I2,"      DWI=",E14.7,"      DWP=",E14.7)
0114      WRITE(KCOD,3)N
0115      3 FORMAT(///,"      MENOR - INCREMENTOS DE CARGA, PASSO=",I3)
0116      DO 105 I=1,2
0117      IF(I-1)41,41,40
0118      40 WRITE(KCOD,4)
0119      4 FORMAT(///,"      VIGAS")-
0120      WRITE(KCOD,5)((DW(I,J,K),K=2,4,2),J=1,NDV)
0121      GO TO 105
0122      41 WRITE(KCOD,6)
0123      6 FORMAT(///,"      PILARES")
0124      WRITE(KCOD,5)((DW(I,J,K),K=2,5,3),J=1,NC)
0125      5 FORMAT(/,2(E14.6,3X))
0126      105 CONTINUE
0127      86 CALL EXEC(29)
0128      CALL SEGO
0129      END
```

** NO ERRORS*

0130 \$

```

0001 FTN4,L
0002 PROGRAM SEC9(5)
0003 REAL DF(43)
0004 COMMON HA,BR,NB,NTC,NNOS,HC,HDV,N,NPP,NF,NR,NTR
0005 COMMON RR(36,38),RJ(42,42)
0006 COMMON T(2),H(6),AXP(3,6),AZP(3,6),AZV(2,6),AMP(2,18),
0007 *EMOD,DV(42),ESFF(2,18,6),EPA(18),EAP(18),DG(42),
0008 *NIBAC(38),IVOUP(38),ICORD(38),NIBAB(38),HF(38),
0009 *K1(38),K2(38),K3(38),PF(42),PV(42),ESFV(2,18,6),
0010 *DW(2,18,5),ICONT(36),IC
0011 KCOD=6
0012 DO 10 J=1,HR
0013 DO 51 KZ=1,NTC
0014 DF(KZ)=DG(KZ)
0015 51 CONTINUE
0016 IF(IVOUP(J)-1)11,12,11
0017 12 W7=NIBAC(J)
0018 AX=W7/NA
0019 AXI=FRAC(AX)
0020 NIP=AXI*NA+.2
0021 IF(NIP)13,14,13
0022 14 NIP=NA
0023 13 NI=NIBAC(J)
0024 NFP=NI+1
0025 ICES=2*NNOS+NIP
0026 ICEI=ICES+1
0027 J1=2*NI
0028 J2=2*NFP
0029 DX1=DF(J2)
0030 IF(NIP-NA)15,16,15
0031 16 DF(ICEI)=BR
0032 DX1=BR
0033 15 DO 17 IN=1,NPP
0034 NX=IN*NA
0035 IF(NI-NX)18,18,17
0036 17 CONTINUE
0037 18 L=IN
0038 K=ICORD(J)
0039 WRITE(KCOD,101)ICES,ICEI
0040 101 FORMAT(/," TESTE-SRR, ICES,I=",2I4)
0041 IF(K-5)19,20,19
0042 20 F11=(DF(ICES)-DF(ICEI))/H(NIP)
0043 F12=-DX1
0044 F13=(ESFF(1,NI,5)*H(NIP))/(3.*EMOD*AZP(L,NIP))
0045 F14=(-ESFF(1,NI,2)*H(NIP))/(6.*EMOD*AZP(L,NIP))
0046 GO TO 27
0047 19 F11=-((DF(ICES)-DF(ICEI))/H(NIP)
0048 F12=DF(J1)
0049 F13=(-ESFF(1,NI,2)*H(NIP))/(3.*EMOD*AZP(L,NIP))
0050 F14=(ESFF(1,NI,5)*H(NIP))/(6.*EMOD*AZP(L,NIP))
0051 GO TO 27
0052 11 W7=NIBAB(J)
0053 AX=W7/NA

```

```

0054      AXI=FRAC(AX)
0055      NIV=AXI*NA+.2
0056      IF(NIV)21,22,21
0057      22 NIV=NA
0058      21 DO 23 IN=1, NB
0059          NX=IN*NA
0060          IF(NIBAB(J)-NX)24,24,23
0061      23 CONTINUE
0062      24 L=IN
0063          NFV=NIBAB(J)+NA
0064          J2=2*NIBAB(J)
0065          J1=J2-1
0066          K2=2*NFV
0067          K1=K2-1
0068          NI=NIBAB(J)
0069          K=ICORD(J)
0070          IF(K-2)25,26,25
0071      26 FI1=DF(J2)
0072          FI2=(-ESFF(2,NI,2)*T(L))/(3.*EMOD*AZV(L,NIV))
0073          FI3=(ESFF(2,NI,4)*T(L))/(6.*EMOD*AZV(L,NIV))
0074          FI4=-((DF(J1)-DF(K1))/T(L))
0075          GO TO 27
0076      25 FI1=-DF(K2)
0077          FI2=(ESFF(2,NI,4)*T(L))/(3.*EMOD*AZV(L,NIV))
0078          FI3=(-ESFF(2,NI,2)*T(L))/(6.*EMOD*AZV(L,NIV))
0079          FI4=(DF(J1)-DF(K1))/T(L)
0080      27 RR(N,J)=FI1+FI2+FI3+FI4
0081      10 CONTINUE
0082          WRITE(KCOD,1)N
0083      1  FORMAT(//,"      SRR - ROTACAO DAS ROTULAS, NO PASSO=",I3)
0084          WRITE(KCOD,2)(RR(N,J),J=1,NR)
0085      2  FORMAT(6X,8E14.6)
0086          CALL EXEC(29)
0087          CALL SEGO
0088          END

```

** NO ERRORS*

```

0001      FUNCTION FRACCA)
0002      I=A
0003      FRAC=A-I
0004      RETURN
0005      END

```

** NO ERRORS*

0006 \$

PAGE 0001

CFTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0001 FTN4.L
0002 PROGRAM SE10(5)
0003 REAL X(64)
0004 INTEGER B(128),F(3),P(5)
0005 COMMON NA,BR,HB,L,NHDS,HC,NDV,HN,HPP,NF,NR,NTR
0006 COMMON RR(36,38),RJ(42,42)
0007 COMMON T(2),H(6),AXP(3,6),AZP(3,6),AZV(2,6),AMP(2,18),
0008 *EMD,DV(42),ESFF(2,18,6),EPA(18),EAP(18),DF(42),
0009 *NIBAC(38),IVOUP(38),ICDRD(38),NIBAB(38),MF(38),
0010 *K1(38),K2(38),K3(38),PF(42),PV(42),ESFV(2,18,6),
0011 *DW(2,18,5),ICONT(36),IC
0012 EQUIVALENCE (X(1),B(1))
0013 DATA F/2HCE,2HSA,1HR/
0014 CALL RMPAR(P)
0015 IF(P(1))10,40
0016 10 DO 30 N=1,L
0017 DO 20 J=1,L
0018 20 X(J)=RJ(N,J)
0019 30 CALL EXEC(15,2,B,128,F,N)
0020 GO TO 60
0021 40 DO 50 N=1,L
0022 CALL EXEC(14,2,B,128,F,N)
0023 DO 50 J=1,L
0024 50 RJ(N,J)=X(J)
0025 60 CALL EXEC(29)
0026 CALL SEGO
0027 END
```

** NO ERRORS*

0028 \$

```

0001 FTN4.L
0002 PROGRAM SE11(5)
0003 INTEGER Q(5)
0004 REAL B(42),Y(42),X(42)
0005 COMMON NA,BR,NB,N,NHOS,NC,NDV,NN,NPP,NF,NR,HTR
0006 COMMON RR(36,38),A(42,42)
0007 COMMON T(2),H(6),AKP(3,6),AZP(3,6),AZV(2,6),AHP(2,18),
0008 *EMOD,DV(42),ESFF(2,18,6),EPAC(18),EAP(18),DF(42),
0009 *NIBAC(38),IYDUP(38),ICORD(38),HISAB(38),MF(38),
0010 *K1(38),K2(38),K3(38),PF(42),PV(42),ESFV(2,18,6),
0011 *DW(2,18,5),ICONT(36),IC
0012 CALL RMPAR(Q)
0013 KCOD=6
0014 IF(Q(1))10,11
0015 10 DO 12 I=1,N
0016 12 B(I)=PF(I)
0017 GO TO *13
0018 11 DO 14 I=1,N
0019 14 B(I)=PV(I)
0020 13 ERRO=1.E-3
0021 A1=A(I,1)
0022 IF(A1-ERRO)102,102,30
0023 30 AUX1=SQRT(A1)
0024 A(1,1)=AUX1
0025 DO 60 I=2,N
0026 A(I,1)=A(I,1)/AUX1
0027 60 CONTINUE
0028 DO 100 J=2,N
0029 AJ=A(J,J)
0030 IF(AJ-ERRO)102,102,65
0031 65 L1=J-1
0032 SOMA=0.
0033 DO 70 K=1,L1
0034 AUX2=A(J,K)
0035 70 SOMA=AUX2*AUX2+SOMA
0036 A(J,J)=SQRT(AJ-SOMA)
0037 IF(J-N)75,104,104
0038 75 L2=J+1
0039 DO 90 I=L2,N
0040 SOMA=0.
0041 DO 80 K=1,L1
0042 SOMA=A(I,K)*A(J,K)+SOMA
0043 80 CONTINUE
0044 A(I,J)=(A(I,J)-SOMA)/A(J,J)
0045 90 CONTINUE
0046 100 CONTINUE
0047 102 WRITE(KCOD,103)
0048 103 FORMAT(//," A MATRIZ NAO E POSITIVA DEFINIDA")
0049 IC=2
0050 CALL EXEC(29)
0051 CALL SEGO
0052 104 Y(1)=B(1)/AUX1
0053 DO 110 I=2,N

```

PAGE 0002 SE11 (FTN4--RELEASE 24177B--JULY, 1971)

```
0054      L=I-1
0055      SOMA=0.
0056      DO 108 J=1,L
0057      SOMA=SOMA+A(I,J)*Y(J)
0058 108  CONTINUE
0059      Y(I)=(B(I)-SOMA)/A(I,I)
0060 110  CONTINUE
0061      X(N)=Y(N)/A(N,N)
0062      NI=N-1
0063      DO 120 J=1,NI
0064      SOMA=0.
0065      I=N-J
0066      I1=I+1
0067      DO 115 L=I1,N
0068      SOMA=SOMA+A(L,I)*X(L)
0069 115  CONTINUE
0070      X(I)=(Y(I)-SOMA)/A(I,I)
0071 120  CONTINUE
0072      IF(Q(1))15,16
0073      15 DO 17 I=1,N
0074      17 DF(I)=X(I)
0075      GO TO 18
0076      16 DO 19 I=1,N
0077      19 DV(I)=X(I)
0078      18 CALL EXEC(29)
0079      CALL SEGO
0080      END
```

** NO ERRORS*

0081 \$

```

0001 FTN4,L
0002 PROGRAM SE12(5)
0003 COMMON NA, BR, NB, NTC, NMOS, NC, NDV, N, NPP, NF, NR, HTR
0004 COMMON RR(36,38), RJ(42,42)
0005 COMMON T(2), HC(6), AXP(3,6), AZP(3,6), AZV(2,6), AMP(2,18),
0006 *EMOD, DV(42), ESFF(2,18,6), EPA(19), EAP(18), DF(42),
0007 *NIBAC(38), IVOUP(38), ICORD(38), NIBAB(38), MF(38),
0008 *K1(38), K2(38), K3(38), PF(42), PV(42), ESFV(2,18,6),
0009 *DW(2,18,5), ITT(36), IC, DWI, HUIT
0010 COMMON M, ICONT
0011 KCOD=6
0012 ICONT=8R
0013 HD=NR
0014 DO 100 I=1,2
0015 IF(I-1)10,10,11
0016 10 DO 100 J=1,HC
0017 DO 100 K=2,5,3
0018 AY=ABS(DW(I,J,K)/DWI-1.)
0019 IF(AY-0.04)22,22,100
0020 22 IF(NIBAC(HD)-J)12,20,12
0021 20 IF(ICORD(HD)-K)12,100,12
0022 12 NR=NR+1
0023 ICONT=ICONT+1
0024 IVOUP(NR)=I
0025 ICORD(NR)=K
0026 NIBAC(NR)=J
0027 NIBAB(NR)=0
0028 WRITE(KCOD,1)N
0029 1 FORMAT(/," OTRAS - ROTULAS SIMULTANEAS, PASSO="I3)
0030 WRITE(KCOD,2)IVOUP(NR),NIBAC(NR),ICORD(NR)
0031 2 FORMAT(/," IVOUP="I2," NIBAC="I2," ICORD="I2)
0032 100 CONTINUE
0033 11 DO 101 J=1,NDV
0034 DO 101 K=2,4,2
0035 AY=ABS(DW(I,J,K)/DWI-1.)
0036 IF(AY-0.04)23,23,101
0037 23 IF(NIBAB(HD)-J)13,21,13
0038 21 IF(ICORD(HD)-K)13,101,13
0039 13 NR=NR+1
0040 ICONT=ICONT+1
0041 IVOUP(NR)=I
0042 ICORD(NR)=K
0043 NIBAC(NR)=J
0044 NIBAB(NR)=0
0045 WRITE(KCOD,1)N
0046 WRITE(KCOD,3)IVOUP(NR),NIBAB(NR),ICORD(NR)
0047 3 FORMAT(/," IVOUP="I2," NIBAB="I2," ICORD="I2)
0048 101 CONTINUE
0049 WRITE(KCOD,4)NR,ICONT
0050 4 FORMAT(/," OTRAS-"NR="I2," CONT="I2)
0051 CALL EXEC(29)
0052 CALL SEG0
0053 END

```

** NO ERRORS*

0054 \$

BIBLIOGRAFIA

01. TRANBERG, W.; SWANNELL, P. and MEEK, J.L., "Frame Collapse Using Tangent Stiffness", Journal of the Structural Division, ASCE. Vol. 102, No. ST3, Proc. Paper 11979, March, 1976, pp. 659-673.
02. NEAL, B.G., "The Plastic Methods of Structural Analysis", third (S.I.) edition, Chapman and Hall Ltd, 11 New Fetter Lane-London EC4P 4EE, 1977, 205 p.
03. HORNE, M.R., "Plastic Theory of Structures", First M. I.T. Press Edition, Great Britain, 1971, 173 p.
04. MAJID, K.I. and ANDERSON, D., "The Computer Analysis of Large Multi-Storey Framed Structures", The Structural Engineer, Vol. 46, No. 11, November, 1968, pp. 357-365.
05. LIAPUNOV, S., "Ultimate Load Studies of Plane Multistorry Steel Rigid Frames", thesis presented to the Graduate Division of the School of Engineering and Science of New York University, at New York, N.Y., on April 26, in 1973, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
06. WANG, C.K., "Matrix Methods of Structural Analysis", International Texbook Company, Scranton, Pa., 1966, 300 p.
07. ANTUNES, H.M.C.C., "Carregamento Crítico de Instabilidade Geral para Estruturas Tridimensionais de Edifícios Altos", Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos - USP, em São Carlos, SP, 1978.
08. CHEONG-SIAT-MOY, F., "Inelastic Sway Buckling of Multistory Frames", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 102, No. ST1, Proc. Paper 11848, January, 1976, pp. 65-75.

09. HORNE, M.R. and MERCHANT, W., "The Stability of Frames", Pergaman Press Ltd, 1965, 179 p.
10. PACITTI, T., "Fortran Monitor, Princípios", Ao Livro Técnico S.A., R.J., 1968, 219 p.
11. GALAMBOS, T.V., "Structural Members and Frames", Pren^tice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1968, 373 p.
12. MACNAMEE, B.M. and LU, L.W., "Inelastic Multistory Frame Buckling", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 98, No. ST7, Proc. Paper 9062, July, 1972, pp. 1613-1631.
13. SORIANO, H.L., "Formulação dos Métodos de Gauss e de Cholesky para a Análise Matricial de Estruturas", Trabalho apresentado à COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 1972, 77 p.
14. ANTUNES, H.M.C.C., "Instabilidade Elástica de Estruturas Lineares Planas Usuais", Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos, SP, 1972.
15. LU, L.W.; OZER, E.; DANIELS, J.H.; OKTEN, O.S. and MORINO, S., "Strength and Drift Characteristics of Steel Frames", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 103, No. ST11, Proc. Paper 13372, November, 1977, pp. 2225-2241.
16. CHEONG-SIAT-MOY, F.; OZER, E. and LU, L.W., "Strength of Steel Frames under Gravity Loads", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 103, No. ST6, Proc. Paper 13021, June, 1977, pp. 1223-1235.
17. User's Manual, Moving-Head Disc Operating Sistem, Hewlett - Packard Company, 11000 Wolfe Road, Cupertino California 95014, Second Edition, 1971, U.S.A.
18. TRANBERG, W.; SWANNELL, P. and MEEK, J.L., "Frame Collapse Using Tangent Stiffness", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 102, No. ST3, Proc. Paper 11979, March, 1976, pp. 659.



19. TRANBERG, W.; SWANNELL, P. and MEEK, J.L., "Frame Collapse Using Tangent Stiffness", Journal of the Structural Division, ASCE. Vol. 102, No. ST3, Proc. Paper 11979, March, 1976, pp. 660.
20. LIAPUNOV, S., "Ultimate Load Studies of Plane Multistory Steel Rigid Frames", thesis presented to the Graduate Division of the School of Engineering and Science of New York University, at New York, N.Y., on April 26, in 1973, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, pp. 8.
21. LIAPUNOV, S., "Ultimate Load Studies of Plane Multistory Steel Rigid Frames", thesis presented to the Graduate Division of the School of Engineering and Science of New York University, at New York, N.Y., on April 26, in 1973, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, pp. 9.
22. LIAPUNOV, S., "Ultimate Load Studies of Plane Multistory Steel Rigid Frames", thesis presented to the Graduate Division of the Scholl of Engineering and Science of New York University, at New York, N.Y., on April 26, in 1973, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, pp. 10 and 64.